
Capitolo 1

Introduzione

1.1 Aspetti economici della Direttiva Quadro 60/2000

La Direttiva Quadro 60/2000 rappresenta il frutto più maturo, a livello comunitario, della riflessione giuridica in materia di gestione e tutela delle risorse idriche, facendo propri i concetti di sostenibilità e di gestione integrata delle risorse il cui sviluppo inizia negli anni '80 e trova già compiuta enunciazione nei principi di Dublino (Nazioni Unite, 1992, Loucks e Van Beek, 2005).

Le Direttiva è stata recepita integralmente in Italia dal Decreto Legislativo 152/2006 (nella parte II) che ha anche incorporato la precedente normativa italiana sulla gestione e la tutela delle risorse idriche (L. 36/94, D.Lgvo 152/99) che era del resto già pienamente allineata con le sue indicazioni.

La Direttiva Quadro reimposta la scala territoriale di pianificazione delle misura di tutela e gestione delle risorse idriche sul cosiddetto Distretto Idrografico, definito (art. 2) come “area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere”. La pianificazione e la gestione delle risorse idriche deve pertanto essere ripensata in una prospettiva integrata, che vede, cioè, tra loro strettamente intrecciati gli aspetti quantitativi e qualitativi delle risorse, ed intersettoriale, che tenga conto cioè delle interazioni tra i diversi usi (ma anche le destinazioni di non uso) dell’acqua.

Un altro aspetto fortemente innovativo della Direttiva è la esplicita enunciazione della necessità che principi economici sottendano la scelta delle misure di tutela e di gestione delle risorse idriche: all’art. 5, infatti, viene richiesto che ogni Piano di Distretto sia dotato di un’analisi economica degli usi dell’acqua, e l’art. 9 sancisce che nella pianificazione gli Stati membri tengono conto del principio del recupero dei costi dei servizi idrici, compresi i costi ambientali e quelli relativi alle risorse, secondo il principio “chi inquina paga”. Nello stesso articolo 9 le politiche tariffarie vengono riconosciute come uno strumento efficace per l’uso efficiente delle risorse idriche e la leva tariffaria è indicata esplicitamente come uno degli strumenti per raggiungere (entro il 2010) gli obiettivi ambientali della Direttiva.

Infine, l’allegato III stabilisce, in verità in modo piuttosto conciso, contenuti ed obiettivi dell’analisi economica. Questi ultimi sono riassumibili come segue:

- 1) “effettuare i calcoli necessari per implementare il principio del recupero dei costi, anche tenendo conto della evoluzione della domanda e dell’offerta di acqua nel distretto”;
- 2) “formarsi un’opinione circa le misure di tutela più redditizie, relativamente agli utilizzi idrici, da inserire nel programma delle misure (art.11) in base ad una stima dei potenziali costi di dette misure”. Le misure possono essere di tipo infrastrutturale, gestionale e normativo/amministrativo.

Ciò premesso, l’implementazione dei principi dell’analisi economica, sia in ambito europeo e a maggior ragione in ambito italiano, è in uno stato tutt’altro che avanzato: mentre risulta infatti ben tracciata la *roadmap*, il percorso metodologico, che collega l’analisi economica con i programmi delle misure e le revisioni tariffarie, secondo un cronoprogramma stabilito (che prevedeva il completamento entro il 2005 della caratterizzazione economica del distretto, compresa a valutazione della rilevanza economica degli usi dell’acqua e del livello attuale del recupero dei costi, compresi i costi ambientali e delle risorse, entro il 2007 la valutazione dei costi e dell’efficacia dei programmi di misure proposti per raggiungere gli obiettivi ambientali della direttiva (art. 11) ed entro il 2008 la valutazione della eventuale disproporzionalità dei costi dei programmi di misure rispetto agli obiettivi ambientali (art. 4)), alcuni aspetti terminologici e concettuali, riferibili specialmente ai concetti di costo ambientale e delle risorse, introdotti ma non definiti nella Direttiva, sono ancora oggetto di discussione e dibattito.

Al fine di chiarire gli obiettivi, i contenuti e gli strumenti per l’analisi economica, già nel 2003 il gruppo di lavoro 2.6 WATECO, composto da membri della Commissione Europea, di tutti gli Stati Membri e dei paesi in via di annessione, ha prodotto il cosiddetto Documento Guida n° 1, seguito da fogli informativi del Drafting Group ECO-2 (2004).

La varietà dei casi e delle specificità locali, la vastità e la portata degli aspetti da considerare fa sì che il fabbisogno di ricerca su questi temi sia tutt’altro che soddisfatto.

1.2 Analisi economica degli interventi infrastrutturali e modelli matematici

Per rilevanza ed intensità del capitale investito, l’immediatezza degli effetti sul livello di servizio e finanche per la loro, si direbbe, tangibilità fisica, gli interventi infrastrutturali costituiscono tradizionalmente la categoria di misure che riceve maggiore attenzione nella pianificazione sugli usi delle risorse idriche.

La progressiva maturazione degli schemi idrici, soprattutto nei paesi più sviluppati, nella direzione di una saturazione del fabbisogno di infrastrutture e, dall’altra parte, l’invecchiamento delle infrastrutture esistenti ha progressivamente spostato l’interesse della pianificazione verso i costi della gestione degli *asset* esistenti piuttosto che verso la realizzazione di nuove opere; d’altra parte interesse si è manifestato già da qualche decennio nei confronti di tutte quelle misure non infrastrutturali, in primo luogo le leve tariffarie, che

sono finalizzate a razionalizzare e rendere più efficienti gli usi dell'acqua nei diversi settori d'uso.

Fermo restando tutto questo, il tema della pianificazione di nuove infrastrutture nel settore dell'approvvigionamento idrico continua comunque a ricevere notevole attenzione a tutte le scale del servizio idrico: dai grandi schemi di approvvigionamento a scopo plurimo (si veda p.e. Mays, 2005) fino all'analisi di dettaglio degli investimenti alla scala di utility (Willis et al., 2005 per esperienze in ambiente britannico).

Un fondamentale strumento di valutazione economica di tali investimenti è, già da lungo tempo, *l'analisi costi – benefici*; uno strumento, comunque, spesso ritenuto “standard”, alla stregua di un banale esercizio ragionieristico, quasi una formalità burocratica cui i grandi investimenti devono sottoporsi senza una effettiva motivazione.

Eppure, con la riduzione, da una parte, dei benefici legati ad ulteriori incrementi di capacità dei sistemi e, dall'altra, delle risorse finanziarie disponibili, sia pubbliche che private, mai come ora (e c'è da scommetterci, sempre di più) questo strumento di valutazione sarà caricato della responsabilità di fornire a chi decide importanti punti di riferimento e di riflessione per la comprensione dei reali impatti dei progetti e la loro capacità di incrementare il benessere generale, soprattutto in relazione ai loro costi.

A testimonianza che si tratta di una metodologia che forse è più rispettata che effettivamente conosciuta, più invocata che realmente applicata può essere portata la constatazione che la stessa Direttiva Quadro, nell'indicare gli strumenti di analisi “minimi” per la valutazione delle misure nei Piani di Distretto, individua l'analisi costi – efficacia, non l'analisi costi – benefici come strumento adeguato.

Come si cercherà di mettere in evidenza nei capitoli successivi, un motivo di tale limitazione, tuttavia, esiste, ed è connesso alla difficoltà di quantificare i benefici generati dagli investimenti, specialmente se questi si inseriscono in sistemi complessi con usi plurimi delle risorse. L'uso di modelli matematici dei sistemi idrici, di simulazione e di ottimizzazione, appare come uno strumento indispensabile per la valutazione dei benefici.

D'altra parte il mero uso “ingegneristico” del modello non è sufficiente per quantificare i benefici, che sono connessi al concetto microeconomico di “disponibilità a pagare”, che sarà pure approfondito nei prossimi capitoli.

Il punto di incontro delle due prospettive è offerto dai modelli idroeconomici (Harou et al., 2009), cui sarà dedicata la parte applicativa della tesi.

1.3 Obiettivi ed organizzazione della tesi

L'obiettivo della tesi è quindi quello di fornire un contributo teorico ed applicativo all'applicazione di metodologie di tipo costi – benefici per la valutazione di interventi infrastrutturali nel campo dell'approvvigionamento primario inseriti in sistemi complessi di usi e di risorse, attraverso l'uso di modelli matematici.

Per l'applicazione si farà riferimento al sistema di approvvigionamento primario della Puglia, tra i più vasti del territorio nazionale, caratterizzato da usi plurimi e conflittuali, dal ricorso a fonti di approvvigionamento con caratteristiche diverse (superficiali regolate e sotterranee, queste ultime con rilevanti problemi

di qualità delle acque) ed al servizio di una delle regioni più dinamiche, dal punto di vista economico, del Mezzogiorno Italiano.

Il capitolo 2 è dedicato ai fondamenti teorici dell'analisi costi – benefici a ai loro collegamenti con i principi dell'economia del benessere.

Il capitolo 3 contiene un breve excursus nei concetti di efficienza allocativa, intersettoriale ed intertemporale, che saranno utilizzati in una parte dell'applicazione.

Il capitolo 4 è dedicato ai modelli idroeconomici, alle loro caratteristiche e finalità.

Il capitolo 5 contiene una descrizione del sistema idrico della Puglia e dei più rilevanti dati di tipo idrologico, tecnico ed economico necessari per la successiva applicazione.

Il capitolo 6 mostra un'applicazione di analisi del rischio al problema della valutazione di interventi infrastrutturali di incremento delle risorse idriche utilizzando un modello di simulazione semplificato del sistema di approvvigionamento della Puglia.

Il capitolo 7 mostra un'applicazione simile a quella del capitolo precedente, ma supportata dallo strumento più generale di analisi – un modello di ottimizzazione di una parte del sistema idrico pugliese.

Il capitolo 8 espone, infine, il lavoro svolto per estendere l'approccio dell'efficienza allocativa anche al caso in cui la qualità delle acque è suscettibile di peggioramento per effetto dei prelievi.

Nel capitolo 9 saranno svolte alcune considerazioni conclusive.

Capitolo 2

I fondamenti dell'analisi costi - benefici

L'analisi costi - benefici trova il proprio fondamento nella teoria microeconomica di stampo neoclassico elaborata alla fine del '800 ed affinata nel corso dei primi decenni del secolo scorso, i cui risultati sono poi confluiti nell'economia del benessere (*welfare economics*) e da questa generalizzati, integrandone i concetti in una prospettiva sociale.

L'intuizione originale dell'analisi costi - benefici è da ricondurre al lavoro di Jules Dupuit (lo stesso dell'ipotesi di verticalità delle linee equipotenziali nei moti di filtrazione) che nel 1844 propose di utilizzare il concetto successivamente noto come "surplus del consumatore" (si veda il punto 2.4) per la valutazione degli investimenti nel settore dell'acqua e dei trasporti. Questa idea venne diversi decenni dopo sviluppata da Alfred Marshall e dalla scuola economica di Cambridge e diventò un aspetto integrante della teoria economica neoclassica.

I cardini dell'economia neoclassica sono l'*utilitarismo* ed il cosiddetto *individualismo metodologico*: il valore di un bene viene ricondotto all'*utilità* che scaturisce dal suo consumo, e la massimizzazione di questa utilità venne considerata il principio-guida del comportamento individuale. L'agente economico ha un comportamento individuale ed i fenomeni sociali e le istituzioni vanno analizzati come aggregazione di azioni individuali.

L'approccio neoclassico mostrò i propri limiti nell'interpretare l'evoluzione di due fondamentali mercati, quello del lavoro e quella della moneta, in occasione della grande crisi finanziaria a cavallo tra gli anni '20 e '30, portando così allo sviluppo dell'approccio macroeconomico.

L'impostazione neoclassica è ancora oggi valida nel campo della microeconomia ed è quindi in grado di interpretare e analizzare il comportamento dei singoli agenti economici, fundamentalmente consumatori e imprese, in modo da dedurre da esso una teoria della formazione degli aggregati economici (in particolare domanda e offerta aggregate) e dei prezzi dei beni. L'approccio microeconomico è in ogni caso importante perché, come detto, da

esso discende l'economia del benessere (*welfare economics*) di cui l'analisi costi – benefici costituisce, fondamentalmente, un'applicazione (punto 2.2).

Prima di entrare nel merito degli strumenti di analisi, appare indispensabile sottolineare che ogni analisi economica moderna ha come centro l'analisi della *scarsità*. Un bene o una risorsa può definirsi un bene economico solamente nella misura in cui esso è scarso, cioè è disponibile in quantità limitata. Il valore dei beni e delle risorse nasce dalla loro scarsità e l'economia si occupa essenzialmente di studiare l'allocazione efficiente (cioè ottimale) di questi beni e di queste risorse.

In questa tesi, per essere espliciti, le risorse scarse di cui ci preoccuperemo sono essenzialmente due: l'acqua ed il denaro, ma, come vedremo, il concetto di scarsità e di efficienza nell'allocazione degli input è pervasivo in tutta la teoria che sottende l'analisi degli investimenti pubblici.

2.1 Alcuni concetti di microeconomia – la curva della domanda

Lo studio della domanda dei beni è quindi centrale nella prospettiva microeconomica ed ha delle conseguenze importanti sui fondamenti teorici dell'analisi costi – benefici.

Nel seguito si farà riferimento al problema della determinazione della domanda nel caso delle due tipologie fondamentali di agente economico: il consumatore e l'impresa.

2.1.1 La curva della domanda del consumatore

Nell'approccio neoclassico, la quantità consumata x di un bene può scaturire come soluzione di due distinti problemi di ottimizzazione (p.e. Mas-Colell et al., 1995): in uno dei due problemi, assegnato un paniere di beni con i relativi prezzi p_1, p_2, \dots, p_n , il consumatore razionale massimizza la propria *utilità* $U(x_1, x_2, \dots, x_n)$ sotto il vincolo di bilancio che i beni acquistati non superino il proprio reddito I (income):

$$x(p_1, \dots, p_n, I) = \arg \max_{x_1, \dots, x_n} U(x_1, \dots, x_n) \mid \sum_{i=1}^n p_i x_i \leq I \quad (2.1)$$

Tale funzione di domanda è detta Walrasiana (dall'economista Lèon Walras) o Marshalliana.

Nell'altro problema, invece, la funzione di domanda, detta Hicksiana (dall'economista John Hicks), scaturisce invece dal problema di minimizzazione dei costi del paniere dei beni per un assegnato livello di utilità: il consumatore sceglie la quantità h del bene da consumare seguendo il criterio che venga minimizzato il costo del paniere di beni, in modo che il suo livello di utilità non scenda sotto un certo valore u e che sia rispettato il suo vincolo di bilancio. In termini formali:

$$h(p_1, \dots, p_n, u) = \arg \min_{h_1, \dots, h_n} \sum_{i=1}^n p_i h_i \leq I \mid U(h_1, \dots, h_n) \geq u \quad (2.2)$$

I due problemi di ottimizzazione sono, nel linguaggio della programmazione matematica, *duali*, dato che in ciascuno di essi viene ottimizzata, col segno opposto, la grandezza che nell'altro problema costituisce il vincolo.

Passando dal caso generale di un paniere di beni qualsiasi ad un paniere che comprende l'acqua come bene di consumo, una sezione della funzione di utilità $U(\mathbf{X})$ tale da mostrare l'andamento di U con la sola quantità di acqua consumata w gode di queste proprietà (Griffin, 2006, Figura 2.1):

- $\partial U / \partial w > 0$ (più acqua è preferita a meno acqua)
- $\partial^2 U / \partial w^2 < 0$ (le utilità marginali sono decrescenti)

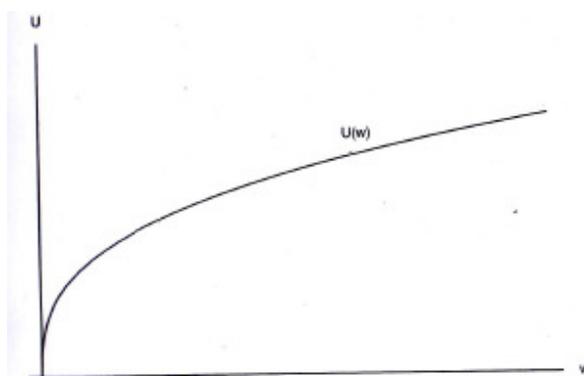


Figura 2.1 – Curva di utilità per l'acqua come bene di consumo

Se si esplicita nell'equazione (2.1) il costo dell'acqua come una funzione $c(w)$ della quantità utilizzata, com'è giusto che sia visto che in genere la struttura delle tariffe idriche prevede più di un prezzo a secondo della quantità di acqua consumata, il problema di ottimizzazione che porta all'espressione della domanda walrasiana, si può scrivere come segue

$$\max U(w, x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ s.t. } c(W) + \sum_{i=1}^n p_i x_i = I \quad (2.3)$$

la soluzione di questo problema di massimo vincolato attraverso i moltiplicatori di Lagrange implica la soluzione di un sistema di condizioni del primo ordine che fornisce, tra le altre cose, la relazione di interesse, cioè il modo di variare di w (la quantità consumata) in funzione della $\partial C / \partial W$ (il costo marginale dell'acqua), dei prezzi degli altri beni p_i , e del reddito I :

$$W = D(p, p_1, p_2, \dots, p_N, I) \quad (2.4)$$

Avendo indicato con p il prezzo dell'acqua (ovvero il suo costo marginale $\partial C / \partial W$).

La curva della domanda è caratterizzata da pendenze decrescenti ($\partial D/\partial p < 0$) e dal fatto che al crescere del reddito la domanda cresce (figura 2.2).

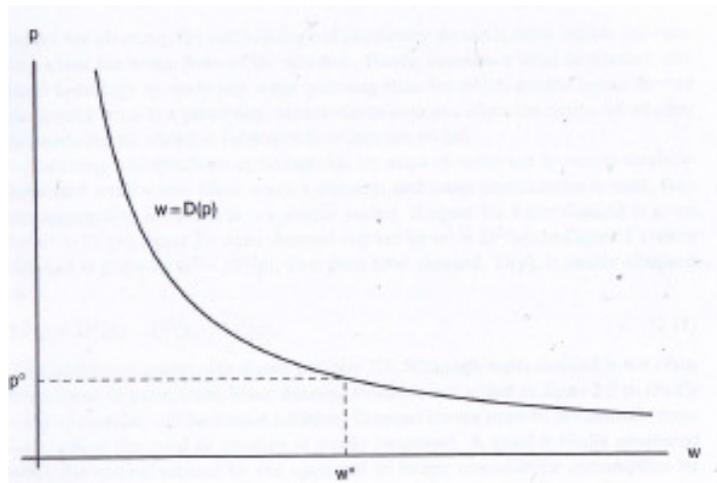


Figura 2.2 – relazione prezzo –domanda per l'acqua

Ogni punto di una curva che esprime la relazione tra la domanda di un bene ed il suo prezzo è quindi il risultato di un problema di ottimizzazione, e per le cose dette o è un punto di massima utilità per un assegnato budget e paniere di beni competitivi, oppure è un punto di minimo costo per assegnato paniere ed utilità. Tutti i punti della curva sono efficienti dal punto di vista del consumatore, dato che rappresentano la scelta ottimale della quantità da consumare per ogni prezzo. La curva della domanda non contiene tuttavia alcuna informazione sulla quantità del bene che è effettivamente disponibile. Questa informazione è contenuta nella curva dell'offerta, che mostra come varia il prezzo (coincidente con il costo marginale) con la quantità prodotta. Il punto di intersezione tra le due curve individua la effettiva quantità consumata ed il prezzo di equilibrio del bene. Il prezzo di equilibrio del bene indica anche il suo costo marginale, cioè il costo necessario per produrre un'unità in più di quel bene: in assenza di distorsioni quali monopoli ed oligopoli, il produttore di un bene non può infatti spendere nella produzione di più del prezzo a cui riesce a vendere il bene (figura 2.3). Com'è noto, domanda e offerta di un bene si incontrano nel *mercato* di quel bene

2.1.2 La curva della domanda per un'impresa

Nel caso in cui l'agente economico sia un'impresa che utilizza l'acqua come mezzo di produzione, la sua utilità coincide con il profitto al netto dei costi. Le caratteristiche della produzione dell'impresa sono sintetizzate dalla funzione di produzione che indica la quantità di prodotto (l'output y) in funzione di diverse combinazioni degli input:

$$y = f(w, x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2.5)$$

in cui, come al solito, è stata messa in evidenza l'acqua.

Con riferimento ad una "sezione" della (5) ottenuta considerando tutti gli altri input costanti e solo l'acqua come variabile, una funzione di produzione $y = f(w)$ è caratterizzata tipicamente da due proprietà: 1) produzione marginale positiva ($\partial f/\partial w$) fino a un certo valore w^* oltre il quale ulteriori quantità di acqua fanno diminuire la produzione e 2) ricavi di scala crescenti fino a w^* , nel senso che la produttività marginale dell'acqua aumenta con la quantità fino a w^* , dopo di che la produttività diminuisce.

Come detto, l'obiettivo dell'impresa è di massimizzare Π , il profitto netto:

$$\max \Pi = p_y \cdot f(w, x_1, x_2, \dots, x_N) - c(w) - \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (2.6)$$

In cui p_y è il prezzo del prodotto. La soluzione del problema (2.6) attraverso la scrittura di un sistema di condizioni del primo ordine su tutte le x_i , porta a concludere che

$$\partial \Pi / \partial w = p_y \partial f / \partial w - dc/dw = 0, \text{ assieme a} \quad (2.7)$$

$$p_y \partial f / \partial x_i = p_i \quad i = 1, \dots, N \quad (2.7a)$$

La (2.5) è, in generale, un'espressione moltiplicativa dei singoli input $y = A \cdot x_1^a \cdot x_2^b \cdot \dots \cdot x_N^n$, ciascuno elevato per un coefficiente appropriato, pertanto la (2.7) non conterrà solamente la variabile acqua, ma anche altri gli altri input. La curva della domanda dell'acqua scaturisce quindi dalla soluzione del sistema costituito dalla (2.7) e dalla (2.7 a).

In ogni caso, la (2.7) dice che la quantità efficiente di risorsa da domandare per la produzione è una funzione del prezzo del prodotto, dalla produttività marginale dell'acqua ($\partial f/\partial w$) e dal costo marginale dell'acqua (cioè il suo prezzo).

Essa esprime, tra l'altro, l'identità tra il beneficio marginale $p_y \partial f/\partial w$ (cioè una variazione unitaria del beneficio a partire dalla condizione di equilibrio) ed il costo marginale dell'acqua (il suo prezzo).

2.1.3 La curva aggregata della domanda

In termini generali, le condizioni di equilibrio che sottendono ogni curva della domanda implicano che ogni punto della curva sia caratterizzato da un'identità tra benefici marginali (che nel caso dell'impresa sono costituiti dai profitti marginali e nel caso del consumatore dalla sua utilità marginale) e costi marginali. E' quindi utile evidenziare che la curva della domanda può anche considerarsi come una curva dei benefici marginali, perché mostra come varia il beneficio marginale (che all'equilibrio abbiamo visto coincidere col prezzo) col variare della quantità del bene consumato.

A partire dalla curva della domanda per un singolo agente è possibile pervenire alla domanda aggregata per più utenti; nell'eseguire tale aggregazione bisogna comunque stare attenti che i costi dell'approvvigionamento siano simili per tutti gli agenti che si desidera aggregare: nel caso dell'acqua, il costo dell'approvvigionamento è molto diverso per i vari settori d'uso ed è in genere

minimo per il settore irriguo (dove viene utilizzata acqua non trattata) e massimo per il settore civile, dove l'acqua deve essere potabilizzata e, dopo l'uso, depurata. Un'altra condizione necessaria perché l'aggregazione abbia senso è che esista una *rivalità* nel consumo del bene tra gli agenti, cioè che una quantità consumata da un agente non sia più disponibile per un altro. Gli usi civili hanno la caratteristica di rivalità, così come quelli irrigui (a meno di ritorni da falda) e industriali, se non vi è riuso. Spesso non vi è invece rivalità tra questi usi e gli usi idroelettrici. Tutti questi elementi spiegano perché il livello di aggregazione della domanda idrica sia sempre di tipo settoriale.

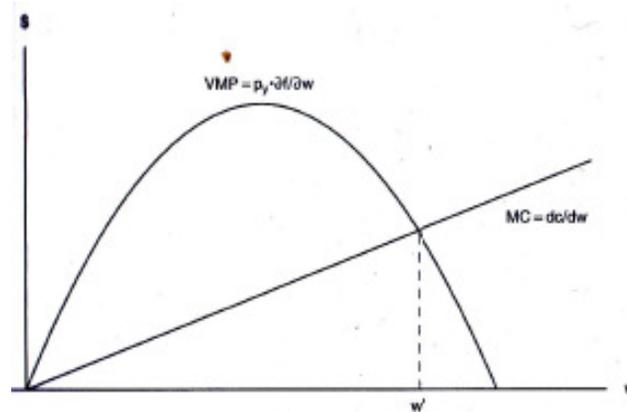


Figura 2.3 – Valore di equilibrio della quantità demandata e del prezzo per l'acqua come fattore di produzione: la curva VMP indica la funzione di produzione marginale, la curva MC la curva dei costi marginali (da Griffin, 2006)

Una volta accettato il fatto che tutti gli agenti da aggregare sopporteranno costi simili e i loro consumi sono tra loro rivali, l'aggregazione avviene sommando le orizzontali, come illustrato in figura 2.4.

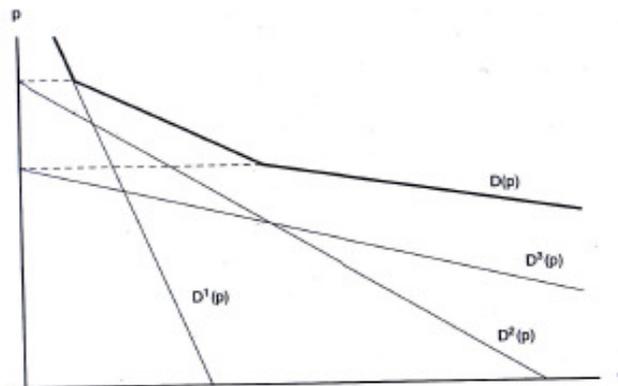


Figura 2.4 – Domanda aggregata $D(p)$ (in linea grossa) per tre agenti economici con costi simili e consumi rivali (da Griffin, 2006)

2.2 Equilibrio parziale ed equilibrio generale – i due teoremi dell'economia del benessere

I concetti di microeconomia presentati succintamente nel precedente capitolo sono necessari per introdurre l'economia del benessere, i suoi teoremi fondamentali ed il loro inquadramento nella teoria dell'equilibrio parziale e generale che hanno un ruolo importante nell'illuminare il significato ed i limiti dell'analisi costi – benefici.

L'economia del benessere (Pigou, 1932) è una branca della economia che usa tecniche microeconomiche per valutare il benessere economico, con speciale riferimento all'equilibrio generale competitivo, all'efficienza economica delle allocazioni e alla distribuzione dei redditi che ne deriva. Oggetto della sua analisi è il benessere sociale, inteso come il livello delle attività economica degli individui che compongono la “società” oggetto dell'analisi.

Gli individui, con le relative attività economiche costituiscono gli elementi unitari dell'analisi: l'aggregazione del loro benessere misura il benessere complessivo della società. Come si può vedere, questo approccio costruisce un modello di benessere della società di tipo “bottom up”, ed è quindi alternativo all'approccio macroeconomico elaborato dalla scuola di Keynes che parte invece da aggregati più vasti per analizzare i processi economici. In realtà, anche la macroeconomia fa uso adesso di modelli di equilibrio per spiegare le fluttuazioni dei mercati di suo interesse (essenzialmente la moneta ed il lavoro).

Lo strumento analitico di lavoro dell'economia del benessere è la teoria dell'equilibrio generale: il principio è che, in un sistema di mercati, la quantità di beni e servizi prodotti ed i prezzi, compreso il prezzo del denaro, sono tra loro tutti collegati. Una variazione del prezzo di un bene può, in linea di principio, determinare un effetto su tutti gli altri prezzi. Nell'analisi di equilibrio parziale, la determinazione del prezzo di un bene è semplificata ipotizzando che i prezzi dei beni sugli altri mercati siano costanti. La teoria Marshalliana della domanda e dell'offerta, che è stata introdotta nei punti precedenti, offre appunto un esempio di analisi di equilibrio parziale. Un'analisi di questo tipo è sufficiente allorquando effetti di primo ordine dello spostamento della curva della domanda non determinano spostamenti della curva dell'offerta: se il settore industriale “A” usa piccole quantità di un certo fattore per produrre i suoi beni, il conseguente piccolo incremento di produzione in quel settore non determinerà variazioni di prezzo del fattore di produzione; con un'approssimazione del primo ordine, cioè per piccoli incrementi nella produzione, le aziende non vedranno quindi diminuire i loro costi, né la curva dell'offerta varierà.

Nel caso in cui, invece, quel settore usi quantità considerevoli di un certo fattore di produzione, l'approccio Marshalliano diventa inconsistente (Sraffa, 1925, Sraffa, 1926): per effetto delle economie di scala negli acquisti, la maggiore produzione del bene mostrerà costi decrescenti. In realtà è probabile che questo fattore di produzione sia pure utilizzato per la produzione di altri beni, cosicché

L'aumento dei prezzi dei beni prodotti negli altri settori che non sono in grado di influenzare il prezzo avrà un effetto sull'offerta di questi sostituti. Di conseguenza lo spostamento nella curva della domanda del settore "A" determina delle variazioni nella curva dell'offerta dei sostituti e di conseguenza anche uno spostamento dell'offerta del settore "A". La teoria dell'equilibrio generale è pensata proprio per prendere in considerazione le interazioni tra i mercati ed i prezzi.

La teoria, elaborata per primo da Walras, è stata rifondata negli anni '50 dai premi Nobel Arrow e Debreu, e da McKenzie. Essa si basa su due importanti teoremi: il primo, e forse più importante, stabilisce che ogni equilibrio di tipo competitivo porta ad un'allocatione efficiente secondo Pareto delle risorse: un'allocatione di beni e risorse tra un certo numero di agenti (o il loro aggregato che è la società) è efficiente o ottimale secondo Pareto se un'allocatione diversa non produce alcun miglioramento paretiano, cioè un miglioramento della condizione di almeno uno degli individui, senza peggiorare quella di nessun altro. Si tratta evidentemente di una importante proprietà, perché a meno delle compensazioni e dei trasferimenti tra chi guadagna e chi perde, il primo teorema garantisce che è possibile ottenere un ottimo sociale attraverso i meccanismi del mercato.

Il primo teorema è spesso considerato come la conferma analitica della fondamentale intuizione di A. Smith sulla "mano invisibile" (p.e. Samuleson et al., 2009): attraverso il conseguimento del proprio tornaconto ciascuno, come guidato da una mano invisibile, promuove lo sviluppo della società. Come vedremo il teorema si basa su alcune ipotesi semplificatrici la cui violazione è tuttavia importante perché serve ad illustrare e a concettualizzare i cosiddetti fallimenti del mercato (*market failures*). Le ipotesi di base del primo teorema sono le seguenti:

- Gli agenti devono operare come *price-takers* (cioè non possono influenzare il prezzo)
- Non ci sono esternalità
- Assenza di beni pubblici
- Assenza di asimmetrie informative

In ogni caso, al di là di ogni sintesi affrettata che porterebbe a concludere che il primo teorema dimostra analiticamente la superiorità del mercato *tout court* per il conseguimento del miglioramento del benessere sociale, bisogna ribadire che il teorema stabilisce semplicemente che attraverso meccanismi di mercato perfettamente competitivo è possibile pervenire ad un'efficienza paretiana, anche detta "neutrale" proprio perché non è interessata a comprendere chi vince e chi perde nell'allocatione delle risorse; tale efficienza è caratterizzata non da una sola possibile allocatione, ma da un insieme di allocationi egualmente efficienti (fronte paretiano).

Il secondo teorema apre invece alla possibilità dell'intervento pubblico di pervenire a specifici obiettivi di efficienza aggregata, specificando che a partire

da un fronte di Pareto, cioè da una condizione di efficienza neutrale, si può pervenire a ciascuna specifica soluzione del fronte, e quindi anche a quella che soddisfa certi requisiti sociali aggiuntivi quali l'equità distributiva, attraverso una redistribuzione di ricchezza conseguibile con una tassa fissa e poi lasciando fare al mercato. Sfortunatamente, una condizione fondamentale perché il teorema sia valido è che i trasferimenti siano fissi (e quindi regressivi dal punto di vista del reddito) e che l'autorità centrale (il governo) possieda una informazione perfetta sulle preferenze dei consumatori e sulle possibilità di produzione delle aziende. Inoltre, preferenze e tecnologie di produzione devono essere convesse (Mas-Colell et al., 1995).

2.3 Violazioni delle ipotesi del primo teorema: fallimenti del mercato – beni pubblici, esternalità e monopoli

Le violazioni delle ipotesi del primo teorema rappresentano situazioni in cui non è detto che i mercati siano in grado di fare pervenire la società all'allocazione ottimale delle risorse: come si vedrà, tali violazioni sono relative ad elementi che rivestono notevole importanza nello specifico campo delle risorse idriche.

1. Esistenza di beni pubblici;
2. Esternalità
3. Monopoli naturali
4. Overdiscounting.

Lasciando da parte i monopoli naturali, che costituiscono il modo migliore di gestire alcuni servizi, tra cui quelli idrici, per la prevalenza in essi dei costi fissi su quelli variabili, e l'overdiscounting, che è legato al differente valore che i mercati attribuiscono agli usi futuri delle risorse rispetto alla società (il mercato tende a sovra sfruttare le risorse attuali e a non conservarle adeguatamente per il futuro), ci concentreremo sui fallimenti del mercato per la gestione delle risorse idriche quando esse rivestono lo status di un bene pubblico, e quando entrano in gioco esternalità. Questi due concetti sono infatti importanti per la successiva valutazione, nel contesto di un'analisi costi – benefici, dei beni pubblici e delle esternalità.

2.3.1 Beni pubblici

Un bene è pubblico se possiede due proprietà: la *non rivalità* e la *non escludibilità* (Samuelson, 1959, Myles, 1995). Si è già parlato del concetto di rivalità nel godimento di un bene; la non escludibilità implica che è praticamente impossibile escludere qualcuno dal godimento di quel bene. Esiste una differenza fondamentale tra bene pubblico e bene di proprietà pubblica: un bene può avere le caratteristiche di un bene privato (come l'acqua per i diversi usi produttivi, dove oltre alle caratteristiche di rivalità gode anche delle caratteristiche di escludibilità) ed essere di proprietà pubblica. Il tipico contesto in cui l'acqua è un bene pubblico è quello dei suoi usi (o non usi, come si vedrà

in seguito) a scopo naturalistico: la possibilità di goderne osservandolo o sapendo che esiste non impedisce agli altri di farlo. Il primo teorema si basa sull'ipotesi di beni rivali e quindi non è valido nell'ipotesi di non rivalità. In una nuova versione del Primo Teorema che contiene la possibilità di considerare beni non rivali (Myles, 1995), il teorema stabilisce che non esiste un unico prezzo per quel bene, ma il teorema continua a valere se ciascuno che ne gode dà personalmente e singolarmente un prezzo al bene pubblico. Questo comporta ovviamente una sottovalutazione dei benefici marginali e la necessità di non ricorrere ai mercati per la gestione di questi beni. I loro livelli di produzione e di mantenimento sono stabiliti dallo Stato ed i costi della loro produzione sono coperti da tasse invece che da prezzi o tariffe.

Vale la pena osservare che il primo teorema sembra fornire, da questo punto di vista, la giustificazione teorica per l'uso di metodi di preferenze dichiarate (si veda il successivo punto 2.4.6.1) per la valutazione di questo tipo di beni.

2.3.2 Esternalità

Una esternalità si verifica allorché la funzione di utilità o di produzione di un agente terzo contiene beni (valutate positivamente o negativamente), i cui livelli vengono stabiliti da uno o più altri agenti senza prendere in considerazione il benessere dell'agente terzo. Detto diversamente (Myles, 1995): “un'esternalità rappresenta un collegamento tra agenti economici che si verifica al di fuori del sistema dei prezzi dell'economia. Dato che il livello dell'esternalità generato non è controllato direttamente dal prezzo, i teoremi standard sull'equilibrio dei mercati non possono essere applicati”.

Un esempio interessante di esternalità nel campo della gestione delle risorse idriche, al di là di quelli già bene regolati come l'inquinamento dei corpi ricettori, è quello che deriva dalla gestione individuale dei prelievi da un acquifero: in assenza di politiche correttive e di controllo (ma il rilascio delle concessioni in teoria dovrebbe già tenere conto di questo aspetto), ognuno solleva più acqua che può nella consapevolezza che gli altri possono abbassare, con i loro prelievi, il livello della falda, rivestendo pertanto contemporaneamente il ruolo di un agente “primo” e “terzo”. Il concetto di esternalità è strettamente legato a quello di “costo ambientale” esplicitamente incluso, nella Direttiva Quadro 60/2000, tra le componenti del costo totale dell'acqua.

Gli strumenti istituzionali, fuori dal mercato, per correggere tali esternalità sono: tassazione (tasse pigouviane), la regolazione, la persuasione morale. Tutti questi strumenti istituzionali presuppongono l'acquisizione di informazioni (tramite l'istituzione di uffici con personale che raccoglie, controlla, elabora i dati ed effettua controlli e monitoraggi) che hanno dei costi. Tali costi, detti *costi di transazione*, devono essere commisurati al valore della esternalità che intendono correggere.

2.4 L'analisi costi - benefici

Il tratto distintivo dell'analisi costi – benefici rispetto ad altre metodologie di analisi degli investimenti (p.e. l'analisi multicriteriale e l'analisi costi – efficacia) è lo sforzo di quantificare nella stessa unità (la moneta) sia i costi che i benefici generati da un progetto e di confrontare il flusso dei costi e dei benefici lungo l'orizzonte del progetto, cioè lungo il periodo (in anni) in cui sono percepibili i suoi effetti, attraverso opportuni indicatori, (quali il valore attuale netto, il saggio di rendimento interno, il rapporto benefici/costi) ricavati effettuando un opportuno *sconto*, cioè una riduzione del peso dei flussi dei costi e dei benefici che si generano negli anni successivi al primo, come conseguenza della maggiore rilevanza percepita da coloro che sono interessati dal progetto (nell'analisi economica questi coincidono con l'intera società) dei costi sostenuti e dei benefici ricevuti nel presente rispetto a quelli futuri.

Un concetto centrale nell'analisi costi – benefici è il cosiddetto *surplus del consumatore* come misura del beneficio di un progetto non rivelata dal prezzo del bene che viene messo a disposizione in quantità incrementale dal progetto stesso. Data una curva della domanda di tipo Marshalliano, il surplus del consumatore relativamente ad una certa quantità del bene consumato rappresenta la disponibilità a pagare (willingness to pay, anche indicata con WTP nel seguito) del consumatore oltre prezzo pagato. Nel caso dell'acqua per uso civile, l'esistenza di un surplus del consumatore è evidente, dato che esiste una disponibilità a pagare molto alta, per l'acqua che si beve, confrontata con il prezzo (la tariffa) a cui viene acquistata.

Con riferimento alla figura 2.5, dunque, che rappresenta per esempio una relazione domanda – prezzo per l'acqua potabile, il prezzo di vendita dell'acqua (ipotizzato costante – la struttura tariffaria prevede cioè un solo blocco) è pari a p_0 e la quantità venduta è w_0 . L'area indicata con A costituisce appunto il *surplus del consumatore* e misura la sua effettiva disponibilità a pagare (in valuta) per la quantità w_0 , l'area B misura invece il ricavo del produttore. La porzione dell'area B che supera la curva dell'offerta (non visualizzata in figura, ma, come detto, è la relazione che lega il costo di produzione alla quantità prodotta) rappresenta il cosiddetto *surplus del produttore*.

Nell'analisi economica degli investimenti può essere utile, in qualche caso, mostrare come e in quale misura i benefici si trasferiscono dal produttore ai consumatori. Tuttavia, come si vedrà, l'interesse principale dell'analisi costi - benefici è rivolto al beneficio complessivo (sociale) che l'investimento può generare. Gli input della produzione (lavoro, materiali, energia, etc.), remunerati ai loro costi opportunità (si ritornerà in seguito su questo argomento), fanno parte anch'essi delle attività economiche della società nel suo complesso. *Questo spiega il motivo per cui l'intera area sottesa dalla curva della domanda per un certo livello di consumo w_0 misura l'intero beneficio sociale (ovvero il livello di benessere) collegato all'utilizzo della quantità w_0 .*

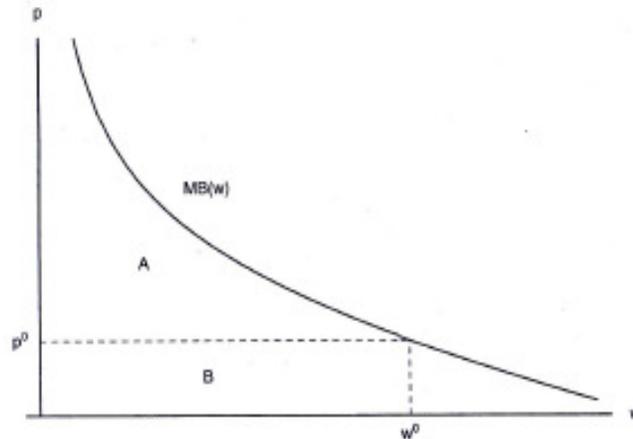


Figura 2.5 – Curva della domanda (o dei benefici marginali) per l’acqua come bene di consumo o intermedio: l’area A indica il surplus del consumatore e B rappresenta il ricavo del produttore.

Il beneficio, espresso come area sottesa dalla curva della domanda, o meglio, come si vedrà meglio nel seguito, la *variazione* di questo beneficio indotta dal progetto, costituisce la prima e fondamentale misura del livello di benessere connesso al godimento di un certo bene o servizio.

Questo approccio, tipico di un’impostazione dell’analisi in equilibrio parziale, è pienamente valido in assenza di effetti distorsivi, cioè di quegli elementi che determinano violazioni del Primo Teorema. Sempre mantenendo un approccio di equilibrio parziale, la presenza di esternalità (positive o negative), ove rilevanti, può essere tenuta in conto cercando di valutarle, secondo le tecniche che saranno descritte succintamente nei punti seguenti. L’equilibrio parziale può ancora tenere in conto, per quanto con problemi concettuali di valutazione della variazione del benessere indotta dal progetto, altri aspetti distorsivi quali il razionamento in alcuni mercati, asimmetrie informative tra produttori e consumatori (Boardman, 2006).

Un aspetto controverso è, inoltre, la valutazione dei cosiddetti effetti sui mercati secondari nell’ambito di un’analisi svolta in equilibrio parziale (Griffin, 1998). Per quanto sia ben noto, infatti, che settori produttivi collegati a quelli cui è direttamente destinato l’investimento e le famiglie risentono di effetti economici secondari, o indiretti, connessi al progetto, il problema è di capire se questi effetti economici siano assimilabili a corrispondenti variazioni di benessere in questi mercati secondari. Un esempio tipico è il caso del mercato del lavoro, un mercato secondario rispetto a quello dell’acqua, oggetto diretto degli investimenti: se il progetto consente di incrementare di un certo numero X di mesi/uomo il livello di occupazione a scala locale, e questi X mesi/uomo sono remunerati Y €/mese, si può dire che, oltre a quelli sul mercato diretto (incremento delle disponibilità idriche per uso civile e irriguo, riduzione dei danni dovuti alle piene etc.) il progetto genera un beneficio di $X*Y$ €? Il

problema è, in questo caso, di capire se esista un impiego alternativo per questi lavoratori: se una tale possibilità esiste ed il salario del lavoro alternativo fosse identico, il beneficio indiretto sarebbe nullo; se al contrario il salario Y offerto per questo progetto fosse maggiore di quello Y_1 ottenibile altrimenti, il beneficio indiretto sarebbe fornito da $X*(Y - Y_1)$.

Ampliare la considerazione dei benefici a quelli sui mercati secondari implica in ogni caso considerare anche i costi indiretti, che esistono e che sono difficili da quantificare almeno quanto i benefici.

Nella pratica dell'analisi costi – benefici, specialmente in un contesto statunitense, è invalso l'uso di matrici di Input – Output, di prevalente utilizzo nella contabilità nazionale o regionale, che forniscono moltiplicatori economici che consentirebbero di trasformare gli effetti diretti in effetti indiretti. L'ordine di grandezza di tali moltiplicatori è di $2,0 \div 3,5$, e indicherebbe che gli effetti indiretti superano abbondantemente quelli diretti. In realtà, dato che le variazioni di benessere di tipo indiretto sono legate essenzialmente a variazioni dei prezzi sui mercati secondari e le matrici di I-O non sono in grado di valutare tali variazioni, le matrici di I – O non appaiono un metodo compatibile con l'impostazione concettuale dell'analisi costi – benefici per la valutazione degli effetti secondari, che probabilmente esistono, ma non sono rilevabili attraverso tali matrici.

2.4.1 L'analisi costi – benefici in un contesto di equilibrio generale

Questi ultimi aspetti richiamano la opportunità, in alcune circostanze, di svolgere l'analisi costi benefici in un contesto di equilibrio generale. Tale esigenza è stata sollevata negli anni '70 a seguito delle ricerche dell'OECD (l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) (Little e Mirrlees, 1974), dell'UNIDO (L'organizzazione per lo sviluppo industriale delle nazioni unite) (Dasgupta et al., 1972) e della Banca Mondiale (Squire e Van de Tak, 1975). Questi studi, cui presero parte due primi nobel (Amartya Sen e James Mirrlees), giunsero alla conclusione che, specialmente nelle economie in via di sviluppo, in cui i prezzi sono oggetto di forti distorsioni, l'approccio dell'equilibrio parziale porta a risultati non credibili; essi pertanto svilupparono un sistema di “prezzi ombra” da valutare e da inserire nelle analisi economiche al posto dei prezzi reali (distorti).

In un problema di programmazione matematica i prezzi ombra rappresentano il valore dei moltiplicatori di Lagrange e forniscono quindi una misura del valore delle risorse impiegate nella attività descritte dal modello. Il modello di equilibrio generale rappresenta, in termini semplificati, l'intera economia di una società ed i prezzi ombra rappresentano quindi i valori delle risorse e dei beni quando essi sono impiegati in maniera efficiente (cioè ottimale). Tale valore è indicato anche come *costo opportunità* dei fattori di produzione. Pertanto, i prezzi ombra, e non quelli reali, dovrebbero essere usati sistematicamente nella valutazione dei benefici del progetto.

I profitti ombra sono quindi misure provenienti da un modello di equilibrio generale della società, in cui si inserisce il progetto da valutare, che tengono conto pertanto di tutti gli effetti diretti ed indiretti e che non rendono pertanto necessario sommare le variazioni di benessere nei diversi mercati e per i diversi agenti come si fa, sostanzialmente, nell'analisi di equilibrio parziale. In definitiva, se un progetto ha un valore attuale netto calcolato con i prezzi ombra positivo, il progetto aumenta il benessere sociale.

La valutazione diretta dei prezzi ombra tramite un modello di equilibrio generale si scontra comunque con la mancanza di dati, per cui gli autori sopra citati hanno proposto metodologie semplificate, ispirate ad un approccio da equilibrio generale, di cui le più celebri sono probabilmente la regola di Little-Mirrless sui prezzi alla frontiera (vedasi punto 2.4.7) per i beni cosiddetti commerciabili (*tradable goods*, cioè beni suscettibili di import-export) e la regola del costo marginale di lungo periodo per i beni non commerciabili.

La Guida UE all'analisi costi – benefici degli investimenti (UE – Regio, 2008) propone un approccio ispirato ad una impostazione da equilibrio generale basata sui prezzi ombra e sui fattori di conversione (si veda successivo punto 2.4.7). Rimane il fatto che, in economie più sviluppate, come anche la nostra, le distorsioni di mercato, pur presenti, non sono, nella maggior parte dei casi, determinanti e quindi le differenze tra i due approcci non saranno, in generale, rilevanti: i prezzi di mercato degli input (lavoro, capitale, terra, materiali, etc.) riflettono per lo più il loro costo opportunità (cioè il valore della migliore loro allocazione alternativa) e quindi i costi finanziari e quelli economici potranno ritenersi per lo più coincidenti.

2.4.2 L'analisi costi – benefici degli investimenti nel settore dell'approvvigionamento primario

A fronte di un ormai imponente corpus di letteratura scientifica disponibile sull'analisi costi – benefici in generale, sia dal punto di vista dei contributi teorici che da quello dei contributi applicativi, l'uso di questo strumento nel settore delle risorse idriche è caratterizzato da specificità dovute, da una parte, alle misure del beneficio generato dai diversi tipi di investimento e, dall'altra, dal fatto di essere rivolto prevalentemente alla valutazione di misure infrastrutturali in contesti regionali, mentre i progetti oggetto di valutazione tramite l'ACB in altri settori riguardano anche misure non infrastrutturali rivolte all'innovazione nel campo della Pubblica Amministrazione o di settori strategici quali la formazione e la sanità, e possono avere una quindi rilevanza di tipo nazionale o, in qualche caso, comunitario.

Per questo motivo, nella ricerca bibliografica ci si è prevalentemente rivolti o alle più recenti pubblicazioni disponibili in letteratura sull'ACB nel settore delle risorse idriche o ai più recenti manuali “generalisti” sull'ACB, che mantengano comunque un taglio decisamente rivolto alla valutazione degli investimenti infrastrutturali.

Si è quindi fatto riferimento da una parte alla Guida all'Analisi Costi – Benefici dei progetti di Investimento della UE (Unione Europea, DG Regio, 2008) e dall'altra al report dell'UK Water Industry Research, dedicato al ruolo ed applicazioni dell'analisi costi – benefici nell'industria dell'acqua britannica (UKWIR, 2007).

Bisogna comunque mettere in evidenza come anche soltanto tra questi due manuali, che hanno carattere prettamente operativo, esistano già differenze di approccio non trascurabili: nel report dell'UKWIR è per esempio praticamente assente la differenziazione concettuale tra analisi economica ed analisi finanziaria, che è rilevante nell'impostazione della Guida UE, così come non vengono esplicitate le metodologie di conversione dei prezzi di mercato a quelli "di conto" (*accounting prices*) per tenere in considerazione eventuali, probabili distorsioni nei mercati dei beni il cui utilizzo contribuisce a formare il costo del progetto.

Tali distinzioni sono dovute, peraltro, allo specifico contesto in cui matura l'analisi: secondo l'impostazione britannica, il perimetro in cui è circoscritta l'analisi costi-benefici dei progetti coincide sostanzialmente con quello delle *utilities*, con uno sguardo verso "l'esterno", cioè ai costi ed ai benefici sociali; la valutazione di questi ultimi è affidata in buona parte agli stessi utenti dei servizi idrici attraverso metodi di valutazione della disponibilità a pagare di tipo "preferenze dichiarate" (*stated choice*) e proprio gli utenti del servizio idrico costituiscono, in ultima analisi, la "società".

L'impostazione della Guida UE è invece orientata al supporto di decisioni pubbliche in cui il soggetto finanziatore è, almeno in parte, la Comunità Europea. La pratica della distinzione tra l'analisi finanziaria e quella economica con l'utilizzo dei coefficienti di conversione per l'aggiustamento dei costi assume significato in un perimetro in cui la "società" è costituita dall'insieme degli individui e delle attività economiche a scala nazionale o, addirittura, europea. L'uso dei fattori di conversione si giustifica in questa ottica, oltre che, probabilmente, alla luce della necessità di fornire indicazioni operative per la valutazione dei progetti in una prospettiva territoriale più ampia (la comunità Europea "a venticinque") in cui le distorsioni dei mercati potrebbero essere più evidenti (con la conseguente necessità di correggerle nelle analisi dei progetti) di quanto non sia nella competitiva economia britannica.

Al di là delle differenze, un'analisi comparata delle due fonti e di altri testi recenti (p.e. Pierce et al., 2006) consente, in ogni caso, di affermare che gli elementi comuni e valutati come imprescindibili nella esecuzione di una buona analisi costi – benefici sono i seguenti:

- identificazione del progetto e dei suoi obiettivi;
- analisi delle alternative;
- valutazione dei costi e dei benefici (finanziari e sociali);
- valutazione degli indici di performance;
- analisi di rischio e di incertezza.

Ciascuno di questi elementi viene trattato con maggiore dettaglio nel seguito.

2.4.3 Identificazione del progetto e degli obiettivi

Le domande fondamentali in ogni esercizio di valutazione di un investimento sono:

- “che tipo di benefici sono ottenibili dal progetto nel suo contesto socio – economico?”;
- “Di che entità sono i benefici netti (cioè al netto dei costi necessari per ottenerli)?”

Rispondere a queste domande significa essere in grado di trasformare gli indicatori fisici che misurano gli output del progetto (nel caso specifico degli investimenti in esame, si potrebbe trattare dei volumi idrici aggiuntivi resi disponibili dalle nuove opere di captazione o dai nuovi trasferimenti) in variabili socio-economiche, cioè in misure di benessere.

Nel caso di investimenti nel settore dell’approvvigionamento idrico a scopo civile, il benessere, come si vedrà meglio nel seguito, è essenzialmente quello del consumatore di acqua potabile. Nel caso di investimenti a scopo plurimo, come per esempio un’opera di integrazione di risorse idriche in un serbatoio ad usi multipli, al beneficio del consumatore di acqua potabile deve aggiungersi quello derivante dal possibile incremento di produzione irrigua. Questi concetti saranno comunque meglio sviluppati nel seguito.

E’ inoltre necessario definire il “progetto”. Secondo la citata Guida UE all’Analisi Costi Benefici un progetto può essere definito come “*un’operazione che comprende una serie di lavori, attività o servizi finalizzati al raggiungimento di uno scopo indivisibile avente una ben precisa natura di tipo economico o tecnico*”. La valutazione deve concentrarsi sull’intero progetto inteso come una unità autonoma di analisi e non su frammenti o parti di esso. Non è considerato accettabile il frazionamento dei progetti per motivi puramente amministrativi.

2.4.4 Analisi delle alternative

In generale, esistono diverse alternative attraverso cui è possibile raggiungere gli obiettivi di un progetto. L’analisi e la valutazione delle alternative va effettuata confrontando la situazione (del servizio, in questo caso) con e senza il progetto ed è quindi necessario definire uno scenario base. Esso è costituito in genere da una situazione futura in termini di domanda del servizio, senza il progetto. Nella Guida UE tale situazione è definita come “business as usual” (BAU) ed è talvolta indicata anche come “scenario zero” (*do nothing scenario*) nel senso che il servizio esistente continua nello “status quo” senza ulteriori investimenti di capitale.

In taluni casi può essere anche opportuno fare riferimento ad uno scenario “minimo” (*do minimum scenario*) nel quale alcuni investimenti vengono affrontati, per esempio per la parziale modernizzazione di una infrastruttura

esistente, al di là dei costi correnti di manutenzione ed esercizio. Tali costi sono legati all'esigenza di evitare ulteriori deterioramenti o evitare sanzioni. In alcuni casi, infatti, gli investimenti pubblici sono motivati dall'esigenza di adattarsi a nuove normative. Lo scenario "minimo" è appunto quello che consente il rispetto della normativa.

Non è detto comunque che neanche questa soluzione minima sia quella ottima, così come quella "zero" di minimo costo, propri in virtù dei benefici che si possono generare per esempio sostituendo integralmente la vecchia infrastruttura o cambiando radicalmente e modalità di approvvigionamento.

Altre alternative sono poi quelle collegate a possibili soluzioni semplici e di basso costo (come in questo caso sarebbe la rimozione di piccoli colli di bottiglia infrastrutturali) o collegate alla gestione della domanda attraverso cambiamenti nelle politiche tariffarie. La Guida UE fa rilevare come in generale, nella valutazione delle alternative, le politiche tariffarie costituiscano una variabile di decisione e bisogna verificare la loro influenza sulle performance del progetto, se non altro perché potrebbero influenzare, in linea di principio, la domanda.

2.4.5 Valutazione dei costi e dei benefici nell'analisi finanziaria

E' necessario effettuare una distinzione tra i costi che entrano in gioco in un'analisi di tipo finanziario e quelli che entrano in gioco in un'analisi di tipo economico.

L'analisi finanziaria è rivolta a comprendere la sostenibilità del progetto dal punto di vista del soggetti che lo intraprendono, senza tenere conto delle ricadute sociali (sia positive che negative – le esternalità) del progetto stesso. Anche se ad intraprendere il progetto è un soggetto pubblico, l'ipotesi dell'analisi finanziaria è che il soggetto realizzatore sia un privato che è interessato a comprendere se i ricavi generati dal suo investimento superano i costi e in qual misura, e se tali ricavi gli forniscono tassi di rendimento confrontabili con quelli che potrebbe ottenere da un investimento alternativo.

In questo tipo di analisi, le previsioni sui flussi di cassa del progetto vengono utilizzate per calcolare opportuni indici di rendimento, in particolare il tasso di rendimento interno finanziario (TRIF), sull'investimento ($TRIF/C$) e sul capitale proprio ($TRIF/K$), e il valore attuale netto finanziario (VANF), che verranno definiti nel seguito.

Sebbene l'Analisi Costi Benefici vada oltre la considerazione del puro rendimento finanziario del progetto, la maggior parte dei dati sui costi e sui benefici in essa utilizzati provengono da analisi finanziarie. Queste analisi forniscono all'esaminatore informazioni essenziali circa i fattori di produzione e i prodotti, i loro prezzi e la struttura delle scadenze temporali delle entrate e delle uscite. L'analisi finanziaria è strutturata in un insieme di tavole che raccolgono i flussi finanziari dell'investimento suddivisi per l'investimento totale, i costi e i ricavi operativi, le fonti di finanziamento, e l'analisi dei flussi di cassa per la sostenibilità finanziaria.

2.4.5.1 Costi nell'analisi finanziaria

I costi da considerare in questo tipo di analisi sono i c.d. “costi privati” (*private costs* nella guida UKWIR), ovvero i costi di investimento (terreni, fabbricati, opere civili, impianti, licenze, brevetti) ed i costi operativi (personale, materie prime, forniture di energia). I costi da utilizzare nell'analisi finanziaria sono tipicamente i costi finanziari degli input (terreni, materiali, lavoro etc.).

Nel calcolo dei costi di esercizio per la determinazione del tasso di rendimento finanziario interno devono peraltro essere escluse tutte le voci che non danno luogo ad una effettiva uscita monetaria, anche se si tratta di voci normalmente incluse nella contabilità aziendale (*Conto economico e Stato patrimoniale*). In particolare vanno esclusi, perché non coerenti con il metodo dei flussi di cassa scontati:

- gli ammortamenti, in quanto non si tratta di effettive uscite di cassa;
- gli eventuali accantonamenti per i futuri costi di rimpiazzo, perché anche in questo caso non si tratta di uscite di cassa;
- gli eventuali accantonamenti per far fronte ad imprevisti (“*contingency reserves*”), perché l'incertezza sui flussi futuri va presa in considerazione nell'analisi del rischio e non attraverso costi figurativi.

Occorre precisare che gli imprevisti compresi nel quadro di spesa del progetto (tra le somme a disposizione dell'amministrazione), sono inerenti la realizzazione del progetto e pertanto risultano diversi dai suddetti accantonamenti (“*contingency reserves*”) da escludere.

2.4.5.2 Benefici nell'analisi finanziaria

Per quanto attiene i benefici, nell'analisi finanziaria essi coincidono con i ricavi incrementali (p.e. da tariffa) che il progetto rende possibile rispetto alla situazione “zero”. I benefici possono anche consistere in costi (sempre di tipo finanziario, per esempio, costi energetici o di manutenzione) che non devono essere più sostenuti per effetto dell'attuazione del progetto.

2.4.6 Valutazione dei costi e dei benefici nell'analisi economica

Nell'analisi economica il progetto non viene guardato solamente dal punto di vista di chi intraprende il progetto e dei suoi diretti beneficiari (che, in genere, intrattengono con chi intraprende il progetto qualche forma di transazione monetaria – per esempio pagano una tariffa, o un pedaggio o un ticket etc.), ma dal punto di vista dell'intera società, a scala regionale o nazionale.

Il progetto può determinare infatti, in termini generali, alcune *esternalità* (par. 2.3.2) ovvero impatti, sia positivi che negativi, su soggetti diversi da chi intraprende il progetto e dai suoi diretti beneficiari, senza una compensazione diretta di tipo monetario. Si può dire, in altre parole, che le esternalità vengono

generate ogni qualvolta i mercati non riescono a creare un collegamento tra chi crea l'effetto e chi, nel caso dei costi, lo subisce – ciò accade in genere quando i diritti di proprietà sulle risorse interessate non sono ben definiti. Se tali diritti potessero essere definiti compiutamente (cosa che non è sempre possibile), esisterebbero mercati che garantirebbero che sia i benefici che i costi legati a questi effetti esterni diventino oggetto di transazioni di mercato.

Indipendentemente dal segno (positivo per i benefici, negativo per i costi) delle esternalità, la loro stima richiede tecniche differenziate a seconda della tipologia di bene o servizio interessato da tali effetti esterni.

2.4.6.1 Valutazione delle esternalità

Le tecniche di valutazione delle esternalità trovano in ogni caso fondamento nella teoria del valore: il valore economico totale di un bene (o di un servizio) è dato dalla quantità di denaro che gli individui sono disposti a pagare per godere di quel bene: il concetto di disponibilità a pagare (*Willingness to pay*, WTP nel seguito) è quindi centrale in tutta la teoria dell'Analisi Costi Benefici, come del resto già messo in evidenza nella parte del capitolo dedicata ai principi economici di base e nella discussione sul beneficio del consumatore.

Il modo in cui tale disponibilità a pagare viene stimato è legato al tipo di valore del bene che si prende in considerazione. In generale, il valore totale di un bene è dato dalla somma dei suoi valori di uso e dei valori di non uso. I valori di uso possono essere diretti (il consumo di un certo bene) o indiretti (p.e. quel bene è un input nella produzione di qualche altro bene). Il valore di non uso per un bene rivela invece una disponibilità a pagare da parte degli individui anche se essi non ne fanno né un uso diretto, né un uso indiretto, né nel presente o nel futuro.

Ciò premesso, i benefici collegati all'uso dell'acqua possono essere quindi classificati come segue:

- benefici collegati all'uso dell'acqua (*commodity benefits*) (uso civile, irriguo, industriale);
- valore ricreativo ed estetico pubblico e privato;
- benefici collegati allo smaltimento dei rifiuti liquidi;
- danni evitati ;
- non uso.

Dalle cose dette nella parte introduttiva è semplice intuire che in un sistema economico perfetto, in cui si può realizzare l'equilibrio competitivo, la WTP è inferibile attraverso la curva della domanda del bene, dato che la WTP rappresenta l'area sottesa dalla curva di domanda (la relazione domanda – prezzo) per una certa variazione della quantità disponibile del bene.

Nel caso, invece, di un mercato distorto, cioè di un mercato in cui per esempio sono presenti sovvenzioni e sussidi, la WTP è collegata al prezzo ombra, nel senso che si può ancora costruire una relazione domanda – prezzo, ma i prezzi

sono i prezzi ombra (vedasi capitolo 3 per una deduzione un poco più formale del significato di prezzo ombra).

Infine, laddove un mercato non esiste, altre metodologie devono essere utilizzate per la valutazione delle WTP, quali quella delle preferenze dichiarate, sulle quali si tornerà brevemente nel seguito.

Le metodologie di valutazione delle risorse dipendono quindi dalla presenza o meno di un mercato o dalla possibilità o meno di ricostruire un mercato surrogato a quello del bene che si intende valutare. In generale, quindi, esse variano a seconda di queste quattro casistiche:

- 1) l'acqua ha un impatto in mercati nei quali esiste un prezzo che riflette pienamente il valore della risorsa scarsa;
- 2) l'acqua ha un impatto su mercati per i quali il prezzo esiste, ma va aggiustato per tenere conto della risorsa scarsa;
- 3) l'acqua ha un impatto su mercati per i quali non esiste il prezzo, ma è possibile costruire prezzi di mercato surrogati;
- 4) l'acqua ha un impatto su contesti in cui non esiste un mercato (bene pubblico).

Il primo caso, invero non frequente ed ancora assente in Europa, è quello dei mercati dell'acqua, che sono invece già operativi in California ed in Australia, dove hanno lo scopo di promuovere l'efficienza allocativa soprattutto nei periodi di scarsità di risorsa idrica attraverso scambi di mercato.

Il valore dell'acqua come bene di consumo

Il secondo caso è invece quello tipico dell'acqua come bene di consumo (uso domestico) o intermedio (uso irriguo o industriale). Nel caso dell'acqua come bene di consumo, la metodologia classica di derivazione della WTP è la sua stima attraverso la ricostruzione della relazione domanda – prezzo (curva della domanda) per l'acqua, di cui la WTP rappresenta la curva integrale, che è stata ampiamente introdotta nella prima parte del capitolo. Nel caso dell'acqua come bene di consumo, la stima della curva della domanda è effettuata tipicamente attraverso tecniche di regressione multipla tra la quantità di acqua domandata ed una serie di variabili esplicative quali il prezzo dell'acqua, il prezzo della risorsa alternativa, il prezzo medio di altri bene e servizi, il reddito del consumatore ed altre variabili collegate, per esempio, al clima (specialmente nella letteratura interessata ai consumi domestici *outdoor*). I dati sono tipicamente valori medi e le basi di dati sono o cross-sezionali o serie temporali (Mays, 2005).

Il valore dell'acqua come fattore di produzione

Nel caso in cui l'acqua sia un bene di produzione intermedio, per ricostruire la curva della domanda si possono usare metodi cosiddetti residuali (Young, 1996) che consentono di stimare il valore dell'acqua, noto che siano il prezzo dell'output, cioè del bene prodotto, e quelli di tutti gli altri fattori di produzione. Si tornerà sul tema nel capitolo 7 a proposito della stima della domanda irrigua per un caso concreto. Qui si anticipa che il metodo si basa su due ipotesi fondamentali: 1) che il prezzo di vendita del prodotto sia pari al valore

marginale unitario del prodotto e 2) che nella formazione del valore totale rilevato del prodotto, tutti i fattori di produzione (gli input) siano utilizzati al loro livello di massima produttività marginale. Il valore totale del prodotto è la somma delle quantità degli altri input per il loro valore, identificato con i prezzi di mercato, ed in questo modo si può determinare in via residuale il valore dell'acqua. In ogni caso, questo metodo applicato per com'è fornisce solamente un punto di una curva della domanda e va quindi "espanso" ipotizzando una forma funzionale della curva della domanda ed un'elasticità (Griffin, 2006).

Una variante di questo metodo è il CINI (Change In Net Income) che mette in relazione l'incremento di reddito netto nella produzione (identificato con la WTP) ed un incremento di risorsa disponibile (per effetto di un progetto). Non sfuggono, al di là della semplicità di impostazione concettuale di questi metodi, gli aspetti critici connessi alla loro applicazione: si tratta infatti di tecniche molto sensibili a piccole variazioni dei parametri, l'omissione di qualche fattore di produzione conduce ad una sovrastima del valore dell'acqua, il valore di alcuni fattori è variabile nel breve termine, ma non nel lungo termine (tipicamente, il costo del lavoro), in molti casi il prezzo degli input e degli output non è un prezzo di mercato (per la presenza di tasse e/o sovvenzioni), il valore dell'acqua è collegato proporzionalmente al prezzo dei prodotti.

Tutti questi *caveat* si applicano evidentemente anche al caso in cui il valore dell'acqua come fattore di produzione venga ricavato come prezzo ombra dell'acqua in un modello di ottimizzazione della produzione, in cui la funzione obiettivo è la massimizzazione del profitto aziendale (p.e. Paris, 1991). Tale metodo può essere utilizzato per ricavare il valore dell'acqua per diverse quantità disponibili, permettendo quindi una ricostruzione indiretta della curva della domanda di acqua per quel certo uso produttivo.

Infine, il metodo dei costi alternativi ipotizza invece che la WTP massima sia comunque minore o uguale del costo marginale dell'approvvigionamento alternativo.

Il valore dell'acqua come bene pubblico

Infine, per quel tipo di usi (estetici, ricreativi, etc.) per cui non esiste un mercato e l'acqua può definirsi un bene pubblico, le strade possibili sono due: o cercare di costruire un mercato fittizio (e quindi stimare il valore da preferenze ancora rilevate da un sistema di prezzi) o inferire la WTP attraverso metodi in cui le preferenze di coloro che sono potenzialmente coinvolti dalla misura vengono domandate direttamente agli interessati (metodo delle preferenze dichiarate). Alla prima classe di metodologie appartengono i metodi dei costi di viaggio e quelli dei prezzi edonici. Nel metodo dei "costi di viaggio" la WTP viene inferita attraverso il costo del viaggio (e del tempo) sostenuto per godere di un certo bene naturale. Per la sua applicazione, che riguarda per lo più l'apprezzamento di siti caratteristici e di loro attributi e non può essere estesa al valore del non uso, è necessario un dettagliato campionamento dei viaggi effettuati e dei costi e, per quanto teoricamente corretto, presenta problemi per la presenza di viaggi con più scopi e con più mete. Nel metodo dei "prezzi edonici" il valore di un attributo ambientale viene stimato attraverso la variazione di valore (di mercato) di terreni o immobili. Il metodo è applicabile

solo a quegli attributi ambientali che possono essere capitalizzati nel prezzo di abitazioni o di terreni e non è quindi idoneo alla stima del valore di non uso di un certo corpo idrico. Richiede peraltro una impegnativa raccolta di dati cross-sezionali su vendite di abitazioni o stime di venditori, assieme alla raccolta di altri attributi che possono condizionare il prezzo. Tali dati cross-sezionali vengono utilizzati per tarare un modello di regressione multipla (la *hedonistic price function*), la cui derivata parziale fornisce una stima del valore marginale dell'acqua.

Infine, i metodi del tipo “preferenze dichiarate” (*stated preferences*) sono gli unici in grado di consentire stime sul valore di non uso delle risorse, per quanto abbiano esteso la propria applicazione anche a molti settori in cui potrebbero essere utilizzate tecniche di mercato in contesti caratterizzati da forti distorsioni dei mercati stessi (per esempio nei paesi in via di sviluppo). In questa classe di metodi, il metodo della “valutazione contingente” è indubbiamente il più diffuso ed il più consolidato. Esso consiste nel domandare direttamente, con tecniche specifiche che hanno anche attraversato un processo di standardizzazione (Haab e McConnell, 2002), la disponibilità a pagare per un certo cambiamento ambientale o della qualità del servizio. Nel campo delle risorse idriche esso è stato utilizzato con successo nella stima del valore del mantenimento di un certo livello di deflusso o dei benefici collegati al miglioramento della qualità dell'acqua nei corpi idrici o di quella destinata al consumo umano. Affini ai metodi delle preferenze dichiarate sono i metodi delle scelte dichiarate (*stated choices*) in cui ai soggetti interessati dal progetto viene richiesto di esprimere la propria preferenza relativamente ad un insieme di alternative, ciascuna delle quali contiene un “pacchetto” di opzioni relativamente, per esempio, al servizio idrico integrato (Willis et al., 2005).

2.4.7 Altri aspetti della valutazione dei costi nell'analisi economica

Un altro aspetto collegato alla diversa percezione dei costi nella prospettiva finanziaria ed in quella economica è il fatto che, in quest'ultima (cioè in una dimensione sociale) i prezzi degli input necessari per la realizzazione del progetto (materiali, terreni, lavoro, etc.) ed i prezzi degli output (cioè dei servizi) possono non rappresentare l'effettivo valore di tali input per la società, a causa della presenza di distorsioni (inefficienze) nei relativi mercati. Come già ampiamente illustrato, esempi di tali distorsioni sono la presenza di monopoli od oligopoli, l'esistenza di dazi doganali per prodotti provenienti dall'estero, etc.

Come già introdotto al punto 2.4.1, il valore per la società di un bene è il valore delle risorse (scarse) che sono state usate per ottenerlo. Il valore degli input è il quindi loro costo opportunità, cioè il loro prezzo ombra, che si ottiene, almeno in linea teorica, come soluzione di un problema di equilibrio generale, cioè di un problema di pianificazione sociale (la massimizzazione del beneficio della società a partire dalle risorse disponibili).

Nella evidente difficoltà a risolvere un siffatto problema di equilibrio, sono state sviluppate metodologie approssimate per la valutazione dei prezzi ombra degli input a partire da quelli di mercato. Tali metodologie si basano sull'uso dei

fattori di conversione standard (SFC) che, consentono di trasformare i costi ed i ricavi utilizzati nell'analisi finanziaria in costi e benefici nella prospettiva economica.

Gli SFC si calcolano sulla base dei valori delle importazioni e delle esportazioni di quel bene. La formula da usare nel calcolo è la seguente:

$$SCF = (M + X) / [(M + T_m) + (X - T_x)] \quad (2.8)$$

In cui M e X rappresentano rispettivamente il valore delle importazioni e delle esportazioni del bene, e T_m e T_x le tasse sulle importazioni e sulle esportazioni. In realtà, i calcoli potrebbero essere resi più complessi dall'esistenza di distorsioni nei mercati internazionali, quali restrizioni del commercio tra paesi EU e non EU, o a causa di specifiche normative per quel particolare tipo di bene o di servizio, per diversi regimi fiscali tra diversi paesi etc.

La figura 2.6, tratta dal Quaderno del PONtrasporti n°2 del 2006 che la adatta da Saerbeck (1990) illustra il processo di passaggio dall'analisi finanziaria a quella economica, con particolare dettaglio sulla trasformazione dei prezzi di mercato in prezzi "di conto".

Per i beni scambiati o scambiabili con l'estero (p.e. l'energia, i prodotti agricoli, alcuni prodotti manifatturieri), il prezzo contabile è direttamente il c.d. "prezzo alla frontiera" (*Border price*): per le esportazioni è il cosiddetto prezzo FOB (*free on board*), cioè al netto delle tasse di esportazione, mentre per le importazioni è il c.d. prezzo CIF (*cost, insurance, and freight*), cioè comprensivo delle tasse di importazione.

Particolare attenzione merita il tema delle distorsioni del mercato del lavoro, visto il peso di quest'ultima voce nel quadro dei costi di ogni progetto: in linea di principio, i salari dovrebbero riflettere il valore marginale, per la società, del prodotto ottenuto da un'unità di lavoro. In realtà, distorsioni sul valore dei salari si verificano frequentemente o a causa di imperfezioni del mercato del lavoro oppure perché ci sono squilibri macroeconomici, rivelati da tassi di disoccupazione cronicamente elevati, oppure a causa di un dualismo e segmentazione delle condizioni di lavoro (p.e. quando il mercato del lavoro nero è molto esteso). In questi casi, si può pensare di correggere i salari attraverso dei coefficienti correttivi.

Le distorsioni del mercato del lavoro sono legate, per esempio, ad accordi sindacali o a normative che impongono che i salari non scendano sotto un certo valore minimo, anche se, in contesti di forte disoccupazione, potrebbero esserci persone disponibili a lavorare per meno; ci sono settori di lavoro nero in cui non esistono salari in modo formale, ma il costo opportunità del lavoro è maggiore di zero; in generale, potrebbe esistere una rigidità nei salari.

In una economia caratterizzata da elevata disoccupazione o sotto-occupazione, il costo opportunità "sociale" del lavoro è tipicamente inferiore di quanto non venga segnalato dai salari.

Il salario – ombra dipende dalle condizioni socioeconomiche della regione in cui si svolge il progetto; si può determinare come media pesata dei salari della manodopera specializzata e di quelli non specializzata. Per entrambe queste due

categorie si possono usare i salari “di mercato” se la manodopera non specializzata è già stata utilizzata in attività simili a quelle del progetto. Nel caso di manodopera non specializzata precedentemente disoccupata, il salario ombra si può porre pari (o non inferiore) al sussidio di disoccupazione; se la manodopera non specializzata era impiegata in attività “informali” (lavoro nero), il valore del salario può essere posto pari al valore della produzione persa in quel tipo di attività.

In ogni caso, se gli indicatori economici del progetto sono già soddisfacenti senza l’uso delle correzioni ai valori del costo del lavoro, non vale a pena esercitarsi ulteriormente nella valutazione dei salari-ombra.

2.4.7.1 *Correzioni fiscali*

Oltre a questi aspetti, è pure necessario prendere in considerazione le seguenti regole generali al fine di evitare distorsioni di tipo fiscale nelle valutazioni:

- nell’ACB tutti i prezzi degli input e degli output devono essere valutati al netto dell’IVA e di altre imposte indirette: questo perché le tasse sono pagate dai consumatori al progetto, dal progetto all’amministrazione fiscale, e da questa sono ridistribuite ai consumatori sotto forma di spesa pubblica;
- i prezzi degli input, compreso il lavoro, devono essere considerati al lordo delle imposte dirette: l’impiegato infatti riceve un salario al netto delle imposte; queste vanno al governo che le restituisce ai lavoratori, ai pensionati ed alle loro famiglie sotto forma di servizi pubblici o trasferimenti;
- i sussidi che sono forniti da un Ente pubblico al promotore del progetto sono forme di trasferimento puro e come tali non dovrebbero essere inclusi nei ricavi nel contesto dell’analisi economica.

Queste regole generali hanno ovviamente delle eccezioni: in taluni casi, infatti, le tasse o i sussidi sono istituiti proprio allo scopo di correggere alcune esternalità. Le tasse sulle emissioni di anidride carbonica, per esempio, sono tipici esempi di questo tipo di tassa. In questo caso ed in casi simili, è ammissibile inserire queste tasse all’interno dei flussi del progetto, con l’avvertenza, comunque, di evitare la doppia contabilità (p.e. includere le tasse ed i più i costi ambientali dovuti all’inquinamento).

2.4.8 Valutazione degli indici di performance

I tre principali indicatori quantitativi utilizzati nell’ACB sono: il VAN (valore attuale netto), il TRI (Tasso di Redimento Interno) e, limitatamente all’analisi economica, il rapporto Benefici/Costi (B/C ratio).

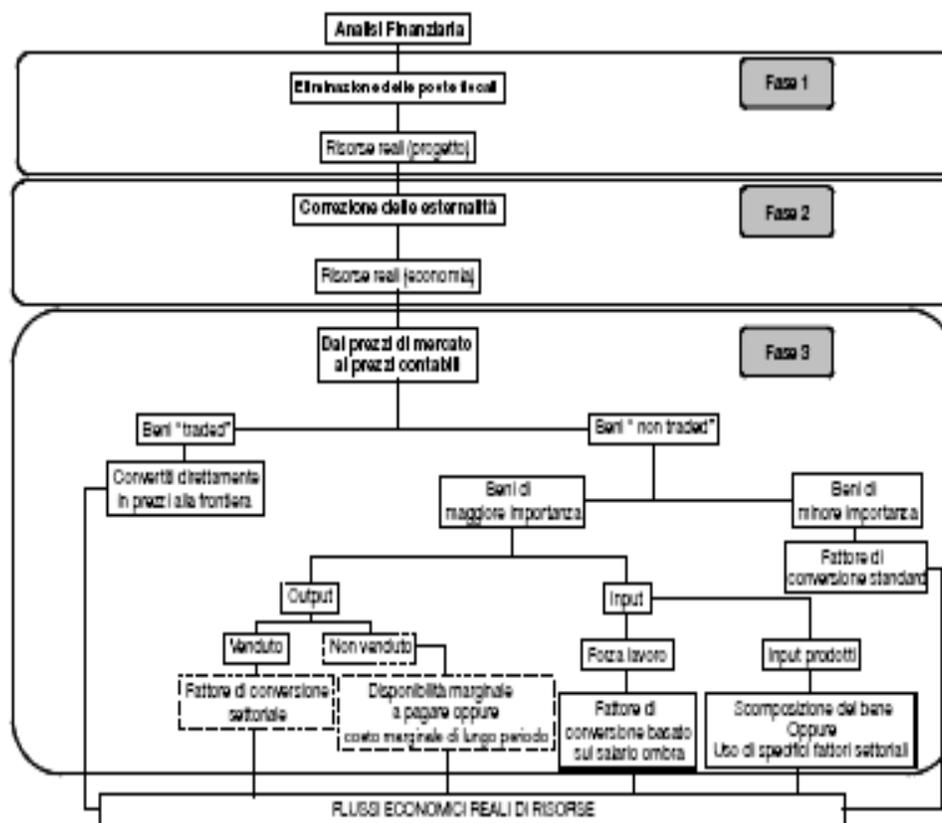


Figura 2.6 – Schema esplicativo della procedura di passaggio dall'analisi finanziaria a quella economica, con particolare rilievo dettagliato sulla conversione dei prezzi di mercato in prezzi contabili

Il VAN di un progetto è la somma dei flussi di cassa netti (Benefici – Costi) di un progetto. E' un indicatore di performance molto conciso: rappresenta l'entità attuale del flusso dei benefici netti espressa attraverso un singolo valore, con lo stessa unità di misura (la moneta) utilizzata nelle tabelle di calcolo. Tali tabelle sono definite dalle entrate (i ricavi o i benefici a seconda della prospettiva finanziaria o economica) I_1, I_2, I_3, \dots , dalle uscite (i costi) O_1, O_2, O_3, \dots .

Sia i costi che i ricavi sono distribuiti lungo l'orizzonte del progetto, consistente in un certo numero di anni. La somma di queste grandezze in anni diversi è concettualmente problematica dato che l'utilità marginale di un'unità di moneta oggi è maggiore dell'utilità marginale della stessa unità di moneta all'anno 2. I motivi per cui ciò si verifica sono due:

- c'è un costo opportunità del denaro: un beneficio unitario vale meno più avanti nel tempo esso si verifica;

- gli individui hanno preferenze temporali positive per una serie di motivi: hanno la tendenza ad evitare il rischio collegato ad eventi futuri, i guadagni sono tendenzialmente una funzione crescente del tempo (per effetto della crescita economica) e quindi l'utilità marginale del consumo diminuisce; infine, esiste una preferenza pura per l'utilità presente rispetto a quella futura.

L'aggregazione dei costi e dei benefici in un unico valore attuale si può effettuare pesandoli attraverso opportuni coefficienti che hanno valori decrescenti nel tempo e che riducono pertanto il valore del beneficio unitario in passi temporali diversi dal primo. Questi coefficienti sono dati dal fattore di sconto $a_t = (1 + i)^{-t}$ in cui t è il tempo e i è il tasso di sconto.

$$VAN = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (2.9)$$

Dove S_t rappresenta la differenza tra benefici e costi al tempo t .

Il VAN è un indice di performance semplice e preciso: $VAN < 0$ significa che il progetto genera un beneficio netto positivo ed è quindi desiderabile, o in termini finanziari o in termini economici. Se si considerano diverse alternative, un ordinamento secondo il VAN può essere utile per individuare la migliore. In generale il VAN è sensibile al valore del tasso di sconto applicato – nel confronto tra le alternative è opportuno quindi verificare che l'ordinamento secondo il VAN si mantenga lo stesso nel range di variazione del tasso di sconto.

Il saggio di rendimento interno (TRI) è definito come il valore del tasso di sconto che annulla il VAN

$$VAN(S) = \sum_t \frac{S_t}{(1 + TRI)^t} = 0 \quad (2.10)$$

Trattandosi di un numero puro, il TIR è un indicatore dell'*efficienza* relativa del progetto, per confronto con tassi di rendimento di investimenti alternativi. In ogni caso è un indicatore complementare, dato che la vera misura dell'incremento del benessere è fornita dal VAN. Esso peraltro è affetto da alcuni inconvenienti (vedasi l'appendice C della Guida UE), che lo rendono adatto appunto solamente come indicatore complementare della sostenibilità economico – finanziaria di un progetto.

Il rapporto benefici costi è definito come:

$$B/C = VA(I)/VA(O) \quad (2.11)$$

Cioè è il rapporto tra il valore attuale dei benefici e quello dei costi. Trattandosi anch'esso di una grandezza adimensionale, si presta al confronto tra progetti simili, ma di dimensione diversa. Esso risulta particolarmente utile per l'ordinamento di diversi progetti alternativi in presenza di vincoli di budget: può infatti mettere in evidenza la convenienza della realizzazione congiunta di due alternative progettuali B e C, aventi assieme una dimensione di investimento minore di una terza alternativa A che si classifica invece al primo posto in un

ordinamento secondo il VAN, ma che, nel complesso producono un VAN maggiore dell'alternativa A.

Come detto, gli indicatori di performance si ottengono attraverso tabelle in cui è disposto il flusso di cassa dell'investimento lungo l'orizzonte temporale scelto. Oltre alla determinazione dei costi e dei benefici, che è già stata oggetto di trattazione, altri elementi che entrano in gioco nella valutazione sono i seguenti:

- l'orizzonte temporale;
- la determinazione dei costi totali (costi di investimento e costi operativi totali);
- i ricavi generati dal progetto;
- il valore residuale dell'investimento;
- il trattamento dell'inflazione;
- la scelta di un appropriato tasso di sconto.

2.4.8.1 Orizzonte temporale

Per orizzonte temporale si intende il numero massimo di anni per cui si forniscono le previsioni. Le previsioni in merito all'andamento futuro del progetto sono formulate per un periodo commisurato alla sua vita utile economica ed estendersi per un arco temporale sufficientemente lungo da poterne cogliere il probabile impatto nel medio-lungo termine. La Guida EU stima un orizzonte temporale medio di 30 anni, per 47 progetti del settore "acqua e ambiente" esaminati nei periodi '92-'94 e '94-'99.

2.4.8.2 Valore residuale dell'investimento

Tra le voci dei ricavi dell'ultimo anno considerato c'è il valore residuale dell'investimento e rappresenta la voce "valore residuale" che prende in considerazione le voci dell'investimento. Il valore residuale rappresenta un'entrata e viene incluso nell'analisi finanziaria, solo quando corrisponde ad una entrata reale per l'investitore. Esso è sempre considerato nel calcolo del TRI e TRI. Questo valore può essere calcolato in due modi:

- considerando il valore residuale di mercato del capitale fisso, come se dovesse essere venduto al termine dell'orizzonte temporale considerato;
- il valore residuale dell'attivo e passivo. Il valore scontato di ogni entrata netta futura oltre l'orizzonte temporale, va incluso nel valore residuo (il valore di liquidazione).

Nel caso degli investimenti nel settore dell'approvvigionamento primario, i "realizzi" considerati sono costituiti dai valori residui delle opere previste dal progetto al termine dell'orizzonte temporale del piano finanziario. In particolare, il valore residuo è una percentuale del valore attuale calcolato sulla base della vita utile (stimata) di ciascuna opera secondo la seguente proporzione:

$$\text{Valore residuo} = \text{Valore attuale} \times (\text{Anni di vita utile} - \text{Anni orizzonte di Piano}) /$$

Anni di vita utile

I ricavi sono sommati ai ricavi dell'ultimo anno d'esercizio (per esempio il 30°).

2.4.8.3 Trattamento dell'inflazione

Nell'analisi di progetto si utilizzano generalmente i prezzi costanti, cioè prezzi corretti dell'inflazione e riferiti ad un anno base. Tuttavia nell'analisi dei flussi finanziari si possono utilizzare anche i prezzi correnti, cioè i prezzi nominali effettivamente osservati anno per anno.

L'effetto dell'inflazione, cioè l'incremento generale nell'indice dei prezzi, o delle oscillazioni nei prezzi relativi, possono influenzare il calcolo del rendimento finanziario dell'investimento.

In questo lavoro, nelle applicazioni saranno utilizzati prezzi costanti.

2.4.8.4 Determinazione del tasso di sconto

Per l'attualizzazione dei flussi finanziari e per il calcolo del valore attuale netto finanziario (VANF) occorre definire un tasso di sconto "adeguato". Nella letteratura teorica e nella pratica esistono differenti posizioni relativamente al tasso di riferimento da utilizzare per l'attualizzazione nell'analisi finanziaria.

Il concetto chiave per comprendere il significato del tasso di sconto è, in ogni caso, quello di "costo opportunità" del capitale. A questo proposito, la Guida della Commissione Europea consiglia la determinazione del tasso di sconto applicando un criterio standard che tenga in considerazione alcuni valori soglia: indicativamente per il periodo 2000-2006 può essere considerato il 5% reale come parametro di riferimento per i costi opportunità del capitale nel lungo periodo.

Nell'analisi economica è invece necessario considerare tassi di attualizzazione che tengano conto di distorsioni nel mercato finanziario e che, in ogni caso, siano in grado di rappresentare il modo in cui la società valuta i costi ed i benefici futuri se confrontati con quelli attuali. Il tasso di attualizzazione sociale è anche detto "saggio marginale di preferenza intertemporale" proprio perché esprime il grado di preferenza del godimento dei benefici attuali rispetto a quelli futuri. Esistono essenzialmente tre approcci:

- un approccio tradizionale è quello di adottare per gli investimenti pubblici un tasso di sconto uguale a quello adottato per gli investimenti "privati";
- un altro approccio deriva invece il tasso di sconto sociale a partire dal tasso di crescita di lungo termine dell'economia;
- un ultimo approccio, più recente, che diventa di particolare interesse nella valutazione di investimenti a lungo termine (oltre i quarant'anni) è invece quello di considerare tassi di interesse decrescenti nel tempo, in modo da dare maggiore peso agli impatti del progetto sulle generazioni

future, mitigando l'effetto di decadimento esponenziale degli impatti (come nella eq. 2.9) che è caratteristico dell'uso di un tasso di sconto costante lungo l'intero orizzonte di valutazione.

Lasciando da parte il primo approccio, che non ha elementi concettuali nuovi, è interessante rilevare che, nel secondo tipo di approccio il tasso marginale di preferenza intertemporale è la somma di una componente di preferenza "utilitaria" e di una componente di preferenza intertemporale pura. La prima componente misura la riduzione dell'utilità di un'unità marginale di moneta per effetto della crescita del reddito, mentre la seconda componente riflette il livello di impazienza del consumatore. Mentre la componente di preferenza intertemporale "pura" viene stimata attraverso i tassi di mortalità, una evidente *proxy* dell'impazienza al godimento dei benefici adesso piuttosto che nel futuro, la componente legata alla riduzione del saggio di preferenza intertemporale per effetto della crescita del reddito si effettua considerando il prodotto della crescita della spesa pubblica per l'elasticità marginale del benessere sociale relativamente alla spesa pubblica.

La Comunità Europea suggerisce per i paesi non sostenuti dal Fondo di Coesione (tra cui l'Italia) un saggio di attualizzazione sociale intorno al 3,5%.

2.4.9 Analisi di incertezza e di rischio

Come tutti gli esercizi di previsione del futuro, anche l'ACB è affetta da incertezze. Le incertezze riguardano sia l'entità dei valori che alcune variabili chiave del progetto assumeranno nel corso della sua realizzazione (principalmente i costi), ma anche l'entità dei costi e dei benefici che saranno generati dal progetto durante l'intero orizzonte di analisi. Tali incertezze determinano quindi un *rischio* di insostenibilità del progetto che, se non può essere evitato *a priori*, può però essere quantificato e comunicato in modo da mettere i decisori nelle condizioni di effettuare le scelte sul progetto nella maniera più informata possibile.

Esiste, per altro, già in fase di analisi la possibilità di mitigare il rischio legato alle incertezze, riducendo il cosiddetto "vizio di ottimismo" (*optimism bias*), cioè la tendenza sistematica ad un eccessivo ottimismo da parte di chi propone il progetto che si manifesta essenzialmente nel sottostimare i costi e nel sopravvalutare i benefici. La possibilità di mitigazione è legata, in concreto, all'aggiustamento dei prezzi, dei benefici e della durata dell'esecuzione del progetto (prima del cui completamento non si riscontreranno verosimilmente benefici).

L'analisi di incertezza e di rischio viene solitamente effettuata in due passi distinti:

- in un primo passo viene eseguita un'analisi di sensitività che consente di individuare i parametri progettuali che hanno un maggiore impatto sugli indicatori di performance economico – finanziari;
- successivamente può essere effettuata un'analisi di rischio vera e propria attraverso l'uso di tecniche di simulazione montecarlo che associano alle diverse variabili sensibili una distribuzione di probabilità,

consentendo così la derivazione della distribuzione di probabilità degli indici di performance.

2.4.9.1 *Analisi di sensitività*

L'analisi di sensitività ha lo scopo di selezionare le variabili ed i parametri del modello "critiche", cioè quelle le cui variazioni, in più o in meno, rispetto al valore utilizzato come migliore stima nel caso base, influenzano maggiormente il TRI o il VAN, facendo cioè variare questi parametri in modo più significativo. I criteri da adottare per la scelta delle variabili critiche sono funzione dello specifico progetto e devono essere valutati accuratamente caso per caso. Come criterio generale, la Guida della Commissione Europea suggerisce di prendere in considerazione i parametri per i quali una variazione (in più o in meno) di 1% da luogo ad una corrispondente variazione di 1% (un punto percentuale) del TRI o del 5% del valore base delVAN. I punti seguenti illustrano schematicamente la procedura da seguire per l'analisi di sensitività.

- a) Individuare le principali variabili utilizzate per il calcolo degli *output* e degli *input* nelle analisi finanziaria ed economica, raggruppandole per categorie omogenee;
- b) Effettuare un'analisi dei parametri elencati per individuare eventuali variabili deterministicamente dipendenti, che darebbero luogo a distorsioni nei risultati e a doppi conteggi. Se, ad esempio, nel modello compare la produttività della manodopera e la produttività generale, quest'ultima include ovviamente la precedente. In questo caso occorre procedere a scartare le variabili ridondanti, scegliendo la più significativa, oppure a modificare il modello per eliminare le dipendenze interne. In conclusione le variabili considerate devono essere variabili indipendenti.
- c) E' opportuno effettuare un'analisi qualitativa di impatto delle variabili, in modo da selezionare quelle che hanno una elasticità marginale o piccola. L'analisi quantitativa successiva può essere limitata alle variabili più significative, verificando anche i casi dubbi.
- d) Selezionate le variabili significative si può procedere alla valutazione dell'elasticità delle variabili eseguendo i calcoli, che sono facilitati se si dispone di un programma informatico, anche semplice, per il calcolo degli indici TRI e/o VAN. Occorre infatti di volta in volta assegnare un nuovo valore (in più o in meno) a ciascuna variabile e ricalcolare con il modello il nuovo TRI o VAN, rilevandone la variazione (assoluta e in percentuale) rispetto al caso base. Poiché non vi é, in generale, alcuna garanzia che l'elasticità delle variabili sia sempre una funzione lineare, é opportuna la verifica, ripetendo i calcoli per diverse deviazioni arbitrarie.
- e) Individuare le variabili critiche, applicando il criterio prescelto. Individuate le variabili critiche, secondo il criterio generale summenzionato, gli indicatori di performance del progetto vengono poi

calcolati per ogni ipotesi. In questo caso non è necessaria una distribuzione di probabilità specificata in modo esatto.

2.4.9.2 Simulazione montecarlo

Una volta individuate le variabili critiche, per effettuare l'analisi del rischio occorre associare a ciascuna di esse una distribuzione di probabilità, definita in un preciso intervallo di valori nell'intorno della migliore stima, utilizzata nel caso base, per il calcolo degli indici di valutazione. La distribuzione di probabilità può derivare, per ciascuna variabile, da fonti diverse.

Stabilita la distribuzione di probabilità delle variabili critiche è possibile procedere al calcolo della distribuzione di probabilità del TRI o del VAN del progetto. Solo nei casi più semplici è possibile un calcolo con metodi diretti, ricorrendo ai metodi analitici di calcolo delle probabilità composte di più eventi indipendenti. Con il crescere della complessità del modello dell'ACB, ben presto, anche per poche variabili, il numero delle combinazioni diviene troppo elevato per una trattazione diretta. A titolo di esempio, si noti che se si hanno soltanto quattro variabili, per ciascuna delle quali si considerano tre valori (la migliore stima e due valori di scostamento, uno positivo ed uno negativo), si devono analizzare 81 possibili combinazioni.

Per quanto detto, per i grandi progetti è possibile ricorrere al *metodo Montecarlo*, che può essere applicato disponendo di un appropriato software di calcolo. Il metodo consiste nell'estrazione ripetuta casuale di un set di valori delle variabili critiche, presi all'interno dei rispettivi intervalli di definizione, e nell'effettuazione del calcolo degli indici del progetto (TRI o VAN) derivanti da ciascun gruppo di valori estratti. Ovviamente occorrerà avere cura che la frequenza di presentazione dei valori delle variabili rispetti la distribuzione di probabilità predeterminata. Ripetendo il procedimento per un numero sufficiente di estrazioni (in genere non più di qualche centinaio) si potrà ottenere la convergenza del calcolo verso una distribuzione di probabilità del TRI o del VAN. La presentazione più utile del risultato è di esprimerlo in termini di probabilità cumulata del TRI o del VAN nell'intervallo dei valori risultanti. La curva delle probabilità cumulate (o una tabella di valori) consente di assegnare un grado di rischio al progetto, ad esempio, verificando se la probabilità cumulata sia o meno superiore ad un valore di riferimento, ritenuto critico.

Si può anche valutare quale sia la probabilità che il TRI (o il VAN) sia inferiore ad un valore dato, anche in questo caso, assunto come limite. Per la valutazione del risultato è molto importante il compromesso che va raggiunto nella preferenza verso progetti ad *alto rischio* ed al *alto rendimento sociale* da un lato e progetti a *basso rischio* e a *basso rendimento sociale* dall'altro

Capitolo 3

Aspetti dell'allocazione intersettoriale ed intertemporale delle risorse idriche

Il capitolo precedente ha introdotto i concetti fondamentali dell'analisi costi – benefici e dell'analisi economica nella prospettiva dell'economia del benessere. In questo capitolo cercherò di trasferire i ragionamenti svolti a proposito dell'allocazione degli input di un sistema in condizioni di equilibrio economico, al caso specifico del problema dell'allocazione efficiente delle risorse idriche. Ritengo che le considerazioni svolte qui saranno utili a fornire un contributo di chiarezza per le analisi dei capitoli successivi.

3.1 L'allocazione intersettoriale ed il costo opportunità delle risorse idriche

Abbiamo già visto come aggregare una curva della domanda per un determinato uso. In generale, alla scala dell'intero sistema economico, esistono diversi gruppi o settori che utilizzano l'acqua e che, tra l'altro, utilizzano acqua di diversa qualità. Né l'aggregazione di questi usi è pertanto proponibile né il punto di equilibrio tra domanda e offerta di risorsa idrica è determinabile *tout court*. Il criterio della massimizzazione del beneficio sociale, tuttavia, continua a rimanere valido: da un punto di vista sociale, pertanto, le allocazioni efficienti per J gruppi di usi tra loro rivali, nel senso specificato nel capitolo precedente, si possono ottenere come soluzione del seguente problema di ottimizzazione (Griffin 2006, Loucks e Van Beek, 2005):

$$\max_{w_1, w_2, \dots, w_j} \sum_{j=1}^J (B_j(w_j) - C_j(w_j)) \text{ col vincolo che } \sum_{j=1}^J w_j = W \quad (3.1)$$

In cui $B_j(w_j)$ rappresenta il beneficio lordo goduto dal gruppo j-esimo per il consumo di w_j unità di acqua e coincide con l'area sottesa dalla curva della domanda del gruppo j-esimo. $C_j(w_j)$ rappresenta invece i costi sopportati dal

gruppo j-esimo per il consumo della quantità w_j . W infine è la quantità di acqua disponibile per tutti gli usi.

L'ottimizzazione tramite i moltiplicatori di Lagrange porge il seguente Lagrangiano:

$$L(\mathbf{w}, \lambda) = \sum_{j=1}^J (B_j(w_j) - C_j(w_j)) - \lambda(\sum_{j=1}^J w_j - W) \quad (3.2)$$

In cui \mathbf{w} è il vettore delle quantità consumate per i diversi usi e λ è il moltiplicatore di Lagrange.

Le condizioni di primo ordine che forniscono l'equilibrio sono le seguenti:

$$\frac{\partial B}{\partial w_j} = \frac{\partial C}{\partial w_j} = \lambda \quad (3.3)$$

La (3.3) dice, *in primis*, che per ciascun uso dell'acqua, in condizioni di equilibrio economico, i benefici marginali (cioè i benefici ottenibili utilizzando una unità in più della risorsa) coincidono con i costi marginali, una proposizione del resto che era già stata vista nel capitolo 2 a proposito della condizione di equilibrio tra domanda e offerta in generale.

Ma la (3.3) dice anche che il moltiplicatore di Lagrange λ rappresenta il valore marginale dell'acqua naturale (cioè prima di attraversare quei processi che la rendono utilizzabile dal gruppo j-esimo, che vengono sintetizzati dal loro costo $C_j(w_j)$) poiché è pari a $\partial B/\partial w$.

Introdotta adesso il concetto di *beneficio netto* NB, cioè di beneficio meno i costi, ed avendo indicato con w_j^* le quantità di risorsa consumate dal j-esimo gruppo in condizioni di efficienza allocativa, la (3.3) si può anche scrivere come:

$$MNB_j(w_j^*) = MNB_k(w_k^*) \quad \forall j, k = 1, 2, \dots, J \quad (3.4)$$

In cui MNB indica il beneficio netto marginale, cioè la derivata del beneficio netto rispetto alla quantità di risorsa. La (3.4) stabilisce che le quantità di risorsa allocate a ciascun uso in condizioni di efficienza sono quelle che rendono uguali i benefici marginali netti di tutti i gruppi interessati.

Il moltiplicatore di Lagrange viene anche indicato come il *costo opportunità* dell'(input) acqua e in questo caso rappresenta il costo opportunità dell'acqua naturale. Il concetto di costo opportunità è fondamentale nell'economia delle risorse ed è strettamente legato a quelli di scarsità da una parte e di efficienza dall'altro. In presenza di risorse scarse, le uniche del resto di interesse per l'economia, ogni volta che un agente fa una scelta e riesce a perseguirla, altre scelte (dello stesso agente e di altri agenti) diventano impraticabili e quindi devono essere sacrificate. Il costo opportunità di un'azione rappresenta il valore della seconda scelta migliore che avrebbe potuto essere effettuata.

Come abbiamo visto nel capitolo precedente a proposito degli input del sistema economico in generale, il loro prezzo può essere diverso dal loro costo opportunità (anche detto prezzo ombra) e i due termini saranno tanto più vicini

quanto più il mercato di quel bene si avvicina alle condizioni di mercato perfetto.

Un esempio interessante (Griffin, 2006) per illustrare la differenza tra costi finanziari e costi opportunità è quello dell'azienda agricola che dispone di acqua a gravità, in quantità limitata, con la quale produce un insieme di coltivazioni. L'azienda ha a disposizione l'acqua a costo zero. Eppure, se la usa per produrre coltivazioni con bassa redditività, esiste un costo opportunità nell'uso di quell'acqua, perché essa, sempre che sia in quantità limitata, poteva essere utilizzata in modo più remunerativo producendo colture più pregiate.

Tutto il problema dell'allocazione efficiente delle risorse idriche ruota, in ultima analisi, intorno alla valutazione del loro costo opportunità. Date le distorsioni dei mercati, il problema diventa di politica pubblica, nel senso, beninteso, che è responsabilità della politica organizzare quelle istituzioni che possono migliorare l'efficienza nell'allocazione delle risorse idriche facendone emergere i loro costi opportunità: Il principio dei mercati dell'acqua, istituiti in diversi grandi stati degli Stati Uniti (p.e. la California, il Colorado ed il Texas) da oltre vent'anni, ma presenti anche in Australia (Turrall et al., 2005, Pigram, 2007), in Brasile e in Cile, in modo informale anche in India (Easter e Feder, 1997) e, in Europa, in Spagna (Marino e Kemper, 1999), è proprio quello di mettere in evidenza il costo opportunità delle risorse permettendo lo scambio, temporaneo o permanente con opzioni di diversa complessità, tra risorse idriche e denaro.

A livello europeo, la strategia perseguita per fare emergere il costo opportunità sembra quella di riconoscerlo come una componente dei costi totali dell'acqua e di inserirlo quindi direttamente nella tariffa di Distretto. Il "costo delle risorse", una delle tre componenti dei costi dell'acqua, accanto ai costi finanziari e ambientali (Arena e Mazzola, 2010) costituisce appunto il valore della scarsità (prevalentemente riferita alla quantità) delle risorse.

3.2 L'allocazione intertemporale delle risorse idriche: l'efficienza dinamica

L'allocazione intersettoriale appena esaminata è un concetto statico. In realtà, molte decisioni, anche nel settore dell'acqua, implicano la considerazione del tempo e assumono quindi una dimensione dinamica. In generale, la dimensione intertemporale entra in gioco perché quanto viene deciso adesso avrà un'influenza sul futuro: in realtà, nell'affrontare un investimento di qualsiasi tipo, si direbbe anche qualsiasi banale scelta che abbia una qualche proiezione temporale, l'atteggiamento naturale è di valutare in anticipo se gli esborsi (che sono purtroppo certi e presenti) bilanceranno i vantaggi (anch'essi purtroppo futuri ed incerti). E' quindi necessario procurarsi uno strumento che permetta di confrontare il valore di grandezze economiche (costi e benefici) che si verificano in tempi diversi.

Si è già visto che questo strumento è il tasso di sconto le cui caratteristiche e componenti, a seconda della prospettiva economica o finanziaria, sono state discusse al punto 2.4.8.4.

In un contesto dinamico, l'allocazione ottimale delle risorse lungo un periodo di T anni si ottiene come soluzione del seguente problema di massimo vincolato:

$$\max_{w_1, w_2, \dots, w_{T-1}} \sum_{t=0}^{T-1} \frac{B(w_t) - C(w_t)}{(1+r)^t} \quad \text{col vincolo che} \quad \sum_{t=0}^{T-1} w_t = W \quad (3.5)$$

Essendo W l'acqua complessivamente disponibile lungo tutto il periodo T.

Il Lagrangiano si scrive in questo caso così:

$$L(\mathbf{w}, \lambda) = \sum_{j=1}^J \frac{B_j(w_j) - C_j(w_j)}{(1+r)^t} - \lambda \left(\sum_{t=1}^{T-1} w_t - W \right) \quad (3.6)$$

E le condizioni di primo ordine che descrivono l'equilibrio portano a:

$$\frac{\partial B}{\partial w_t} - \frac{\partial C}{\partial w_t} = \lambda \quad (3.7)$$

Ovvero, con la notazione della (3.4):

$$\frac{MNB_t}{(1+r)^t} = \delta_0 \quad \text{per } t = 0, 1, \dots, T-1 \quad (3.8)$$

In cui δ_0 si è indicato il moltiplicatore di Lagrange.

Dalla 3.8 discende che, analogamente a quanto accade per le allocazioni intersettoriali, la condizione di equilibrio per l'allocazione intertemporale è che:

$$MNB_0 = \frac{MNB_1}{(1+r)} = \frac{MNB_2}{(1+r)^2} = \dots = \frac{MNB_{T-1}}{(1+r)^{T-1}} = \delta_0 \quad (3.9)$$

Cioè l'allocazione intertemporale efficiente delle risorse implica che il beneficio marginale, ovviamente ridotto del tasso di sconto, sia lo stesso per tutti i passi temporali (di durata solitamente non inferiore all'anno). Il moltiplicatore di Lagrange rappresenta adesso il valore marginale della risorsa scarsa al passo temporale $t = 0$ e viene indicato anche come *costo marginale d'uso* (marginal user cost) o *rendita di scarsità* (*scarcity rent*).

E' evidente che, nell'ambito della gestione delle risorse idriche, l'interesse prevalente per questo tipo di analisi è quello che riguarda lo sfruttamento di risorse non rinnovabili o comunque con un basso tasso di rinnovabilità, quali possono essere gli acquiferi (ma la teoria è stata sviluppata negli anni '30 per il petrolio – Hotelling, 1931). In questi casi, il problema dell'allocazione nasce perché gli usi rivali non sono adesso due diversi settori dell'economia, ma, potenzialmente, gli stessi utilizzatori in due tempi diversi: in questo schema l'acqua usata al tempo $t = 0$ non è più disponibile al tempo $t = 1$.

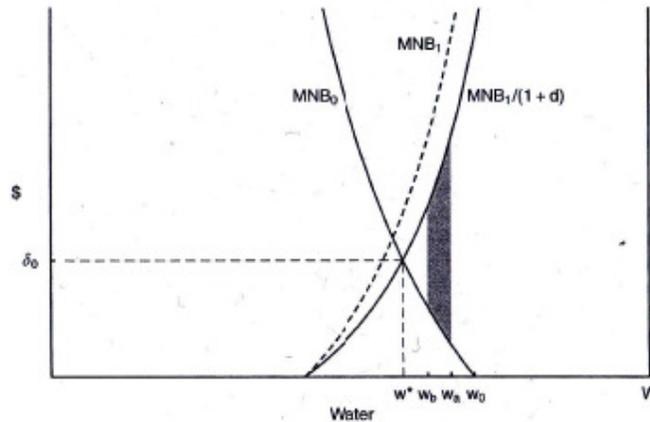


Figura 3.1 Rappresentazione grafica del problema dell’allocazione efficiente tra due periodi (da Griffin, 2006)

Può essere utile visualizzare questi concetti (figura 3.1.) attraverso un modello di allocazione semplificato e relativo a due soli passi temporali denominati con i pedici 0 e 1. L’obiettivo è quello di allocare in maniera efficiente le risorse nei due passi temporali, cioè trovare w_0 e w_1 che massimizzano la (3.5) tenendo presente che l’acqua usata al passo temporale non potrà essere usata al passo temporale 1. La figura visualizza le curve dei benefici marginali netti relativi ai due passi. Tali curve, per le cose dette, rappresentano la curva della domanda cui abbiamo sottratto i costi di produzione.

L’asse delle ascisse indica a quantità complessiva di acqua disponibile nei due passi temporali e visualizza quindi il vincolo $w_0 + w_1 = W$ cioè che l’acqua complessivamente disponibile è W . La w_0 cresce al solito da destra verso sinistra, mentre la w_1 cresce da sinistra verso destra. Con questa rappresentazione, infatti, la curva relativa al passo 0 è orientata come al solito; la curva relativa al passo 1, $MNB(w_1 = W - w_2) / (1 + r)$ deve invece essere ruotata nel modo indicato. Il punto di intersezione rappresenta la condizione di efficienza dinamica cercata.

Attraverso la figura si può notare che:

- se aumenta il tasso di sconto la curva $MNB1/(1 + r)$ ruota in senso orario e ciò si traduce in più acqua per il primo periodo e meno per il secondo periodo (il tasso di sconto misura infatti la preferenza per i benefici presenti rispetto a quelli futuri);
- se l’allocazione iniziale al tempo 0 è diversa dall’ottimo, per esempio è w_a , e proponiamo una “politica”, qualsiasi essa sia, per spostarci da w_a ad un punto più vicino all’ottimo, p.e. w_b , avremo ottenuto un miglioramento dinamico che può essere visualizzato come l’area in grigio.
- Infine, se a chi usa l’acqua al tempo 0 vengono fatte pagare δ_0 unità di denaro per ogni unità di acqua, (oltre ovviamente ai costi di trattamento), lo sfruttamento della risorsa seguirà la sua traiettoria ottimale descritta, in termini impliciti, dalla (3.9). Tuttavia, in assenza

di tale pagamento, il livello di consumo non sarà ottimale nella prospettiva temporale. Il livello di consumo si attesterà su w_0 , lasciando troppo poche risorse per gli utenti futuri.

Capitolo 4

I modelli idroeconomici

Efficienza allocativa, estensione spaziale, e rischio

Le analisi svolte finora sono state sviluppate in un contesto deterministico, ovvero facendo riferimento a condizioni medie. In molti contesti è invece importante che il vincolo nella (3.1) sulla quantità di risorsa disponibile sia dato in termini probabilistici e questo perché le risorse idriche presentano una variabilità naturale che, specie nei contesti semi-aridi, può condizionare in maniera determinante gli usi. Esiste cioè una dimensione del *rischio* dell'approvvigionamento, non fosse altro che per motivi legati alla variabilità idrologica, che deve essere tenuto in conto nell'analisi delle allocazioni efficienti.

Mi sembra opportuno rilevare che la dimensione del rischio, da un punto di vista economico, è prevalentemente statica: essa è immanente ad ogni scelta che compiamo ed è quindi indipendente dalla prospettiva dinamica che è stata descritta nel punto precedente: anche se nelle applicazioni classiche di analisi del rischio (quale può essere anche il semplice studio della regolazione di un serbatoio) si fa riferimento al passare del tempo attraverso una serie storica, quello che viene fatto è semplicemente valutare la risposta del sistema alla variabilità idrologica: in assenza di variazioni sulla domanda e sull'offerta, in presenza di risorse rinnovabili (quali con buona approssimazione sono le risorse superficiali) il problema delle allocazioni rimane sempre un problema statico (Loucks et al., 1981).

Il punto di vista economico ha prodotto, sull'argomento delle allocazioni in condizioni di variabilità delle risorse, interessanti ed eleganti lavori che illuminano, per esempio, gli elementi fondamentali dell'allocazione efficiente delle risorse nell'ambito della gestione congiunta tra risorse superficiali e risorse sotterranee:

Tsur e Issar (1989) quantificano il valore "tampono" della risorsa idrica sotterranea (*buffer value*) come integrazione per le fallanze idrologiche di una risorsa idrica superficiale caratterizzata da una variabilità descritta da una distribuzione di probabilità normale in un contesto statico e Tsur e Graham - Tomasi (1991) estendono il concetto ad un contesto dinamico.

L'obiettivo di pervenire a soluzioni in forma chiusa dei problemi di allocazione fa sì che, in questi come in altri studi, gli strumenti di analisi siano applicati a casi schematici.

E' noto invece che gli schemi di approvvigionamento primario sono ormai sempre più estesi e complessi, essendosi sviluppati, ovunque nel mondo, in

relazione alle accresciute domande di acqua per i diversi usi, una conseguenza diretta della crescita economica. Se da una parte, quindi, gli strumenti dell'economia che sono stati introdotti fin qui sono indispensabili per programmare e gestire correttamente gli usi e le allocazioni nel medio – lungo termine, è anche altrettanto indispensabile integrare tali strumenti concettuali in modelli dei sistemi idrici che siano in grado di rappresentare in maniera soddisfacente i vincoli idrologici, tecnologici ed istituzionali dei sistemi reali.

I modelli che integrano le due prospettive sono denominati, già da qualche anno, *modelli idroeconomici*.

Tale denominazione copre quindi un'ampia classe di modelli spazialmente distribuiti che mirano a rappresentare in modo dettagliato le dinamiche e le interazioni tra infrastrutture, ambiente, alternative gestionali e valori economici e quindi ad integrare i due approcci, ingegneristico ed economico, al problema della gestione delle risorse idriche. Per quanto gli intrecci tra le due discipline siano sempre esistiti, un'approfondita integrazione tra gli approcci è ancora di là da venire. Da questo punto di vista la review di Harou et al. (2009) su passato, stato dell'arte e futuro di questo tipo di modelli costituisce una specie di manifesto fondativo che, guardando il passato, cerca di definire, limiti, specificità e prospettive di questo tipo di approccio.

4.1 L'approccio ingegneristico alla gestione delle risorse idriche

L'approccio ingegneristico al problema della modellazione della gestione delle risorse idriche si è sviluppato prevalentemente a supporto della pianificazione infrastrutturale e della gestione operativa di sistemi idrici complessi di approvvigionamento primario a scopo idroelettrico, civile, irriguo ed anche plurimo (Mays, 2005). Queste esigenze richiedono che la descrizione del sistema nei termini delle infrastrutture, della loro capacità (di trattamento, di invaso, di trasporto) e delle caratteristiche delle risorse sia il più possibile dettagliata, compresa la loro variabilità in senso spaziale e temporale. In sistemi che fanno uso di risorse superficiali e sotterranee sono stati proposti modelli per la gestione congiunta dei due tipi di risorsa.

Nell'approccio ingegneristico la domanda di risorsa è quasi sempre fissata, su di un livello individuato come "fabbisogno" da soddisfare; anche altre variabili di tipo ambientale, quali le per esempio concentrazioni degli inquinanti, sono vincolate da valori stabiliti in modo esogeno, per esempio dalla normativa.

La scala spaziale di questi modelli può essere notevole e spesso è di tipo regionale; il punto di vista è tipicamente quello dell'azienda o dell'Ente che si occupa dell'approvvigionamento primario per il servizio urbano di una grande area o il Consorzio di Bonifica o il Gestore Idroelettrico.

Proprio perché uno degli obiettivi di questi modelli è valutare e mitigare il rischio idrologico, la variabilità idrologica viene modellata in modo dettagliato (l'idrologia stocastica è sorta e si è sviluppata prevalentemente a supporto di questo tipo di modelli), ma si tratta comunque di modelli fondamentalmente statici, nel senso che mirano a fornire informazioni sull'impatto della variabilità sulle condizioni attuali del sistema. Tipici modelli ingegneristici di gestione delle risorse idriche sono quelli ormai implementati in architetture GIS con interfacce grafiche avanzate, a guisa di Sistemi di Supporto alla Decisione: tra questi AQUATOOL (Andreu et al., 1996), RIBASIM (Delft Hydraulics, 2004),

WARGI, (Sechi e Sulis, 2009), MODSIM (Labadie e Baldo, 2000), MIKE-BASIN (Jha e Das Gupta, 2003), WEAP (Yates et al., 2005) e AQUATOR.

4.2 L'approccio economico alla gestione delle risorse idriche

L'approccio economico al problema della gestione delle risorse idriche è, di contro, un approccio decisamente "lumped", cioè concentrato (Griffin, 2006), che è finalizzato essenzialmente alla determinazione di scenari di allocazione efficiente delle risorse idriche in senso intersettoriale (cioè tra i diversi usi, incluse le opzioni di "non uso" delle risorse, quali quelle paesaggistiche e naturalistiche) e con attenzione crescente ai problemi di allocazione intertemporale delle risorse, che ormai anche nel caso delle risorse idriche tendono ad essere esauribili, essenzialmente per motivi di sovrasfruttamento con compromissione della loro qualità.

Come è già stato ormai lungamente sottolineato, il raggiungimento dell'efficienza, in termini economici, è rappresentata da una condizione di massimizzazione del beneficio netto, dove il beneficio è, per quanto possibile, quello sociale collegato a tutti gli usi (e valori di non uso) dell'acqua. Questi benefici, che in termini meramente finanziari sono rappresentati dai ricavi della vendita dell'acqua per i diversi usi, in una dimensione sociale sono invece pienamente catturati dalla curva della domanda per l'acqua intesa come bene intermedio o di consumo.

Oltre ad una domanda di acqua in termini di quantità, esiste anche una domanda di qualità dell'acqua che è stata pure oggetto di analisi e tentativi di quantificazione, tutti finalizzati alla valutazione dei benefici conseguenti (p.e. Ragan et al., 2000 per i benefici collegati al controllo della salinità nell'approvvigionamento urbano). I valori di non uso delle risorse idriche (tipicamente quelli paesaggistici ed ambientali, ma non solo), nei quali l'acqua assume in senso economico il significato di bene pubblico, possono essere pure incorporati nelle analisi, ove presenti, stimandoli con metodi di preferenze rivelate (p.e. l'analisi di valutazione contingente) che ricostruiscono la disponibilità a pagare di chi gode del bene per la sua conservazione.

Nell'analisi economica, inoltre, ogni vincolo, imposto e rigidamente accettato nel pragmatico approccio ingegneristico, può essere ridiscusso alla luce dei costi e dei benefici sociali che esso genera.

Basta forse quest'ultima considerazione per mostrare la distanza tra gli interessi e le prospettive dei due approcci: i temi affrontati dall'analisi economica applicata alle risorse idriche sono di importanza cruciale, ma sono abbastanza distanti dalla pratica ingegneristica della gestione dei sistemi idrici.

Esiste tuttavia almeno un luogo in cui i due approcci devono necessariamente integrarsi e questo luogo è quello delle scelte pubbliche sull'uso delle risorse idriche, nel momento in cui tali scelte devono essere contestualizzate in un territorio, quale un Distretto Idrografico. Scelte pubbliche, peraltro tra loro intrecciate, sono le politiche tariffarie, le misure (finanziarie) finalizzate alla protezione ambientale, la programmazione degli investimenti. La ricchezza di dettaglio dell'approccio ingegneristico, tipicamente distribuito, devono allora necessariamente unirsi alle valutazioni eleganti, ma spesso poco contestualizzate, delle analisi economiche.

4.3 Componenti di un modello idroeconomico

4.3.1 Modellazione del sistema

Il cuore di un modello idroeconomico è la descrizione topologica del sistema che si desidera analizzare e dei flussi all'interno di questa topologia. I flussi collegano sostanzialmente i centri di domanda ai centri di offerta attraverso infrastrutture caratterizzate da una certa capacità (di accumulo o di trasporto). Diversi modelli "ingegneristici" (Andreu et al., 1996, Sechi e Sulis, 2009, Draper et al., 2003), che vengono poi espansi per contenere la prospettiva economica, utilizzano algoritmi di flusso di rete (*network flow algorithms* - NFA) per determinare le allocazioni. Attraverso la teoria dei grafi, la rete viene schematizzata come un insieme di nodi e di archi, caratterizzati entrambi da una certa capacità.

L'algoritmo di network flow si occupa prevalentemente di garantire l'ottimalità tra le allocazioni in senso spaziale, cioè tra i diversi centri di domanda, in ciascun passo temporale, attraverso la minimizzazione dei costi nella rete, mentre l'allocazione temporale (in una dimensione sempre statica e nella prospettiva dell'analisi del rischio) può essere effettuata tramite regole di priorità che stabiliscono l'ordine di soddisfacimento dei flussi.

Modifiche (Sechi e Sulis, 2009) possono essere apportate a questo schema in modo da includere nel modello possibili misure preventive, cioè forme di *hedging*, di contenimento dei rilasci in modo da conservare la risorsa per eventuali futuri periodi siccitosi; la durata in avanti di tali misure preventive è calibrata sulla base delle caratteristiche idrologiche e tecnologiche del sistema (essenzialmente le capacità di regolazione dei serbatoi presenti nel sistema).

Ilich (2008, 2009) ha messo in evidenza alcune inconsistenze degli NFA nel valutare le allocazioni in un sistema idrico complesso a scale temporali substagionali (per esempio settimanali o giornaliere). Resta il fatto che nei modelli idroeconomici la scala temporale è solitamente più piccola (generalmente mensile) e a questa scala i risultati forniti dai modelli possono ritenersi attendibili.

La topologia del sistema può comunque anche essere descritta attraverso un sistema di equazioni lineari che costituiscono i vincoli di un problema di ottimizzazione con una funzione obiettivo lineare o non lineare. In altre parole, il sistema può anche essere descritto attraverso un algoritmo di programmazione matematica, in generale non lineare, ma con vincoli lineari e quindi lineare rizzabile (Loucks et al., 1981, Loucks e Van Beek, 2005, si veda il successivo capitolo 7). La possibilità di usare la programmazione mista lineare e a numeri interi (*Mixed Integer Programming* - MIP) in problemi di questo tipo anche di grande scala è diventata realistica anche grazie al notevole sviluppo degli algoritmi di soluzione negli ultimi quindici anni. Bixby (2000) riferisce che dal 1987 al 2002 la velocità degli algoritmi di soluzione dei problemi di programmazione lineare si è incrementata di tre ordini di grandezza.

Boland (2009), valutando che nello stesso periodo a questo sviluppo degli algoritmi si è accompagnato un incremento della capacità dei calcolatori anch'essa stimabile in tre ordini di grandezza, conclude che un problema che nell'87 avrebbe richiesto circa un anno per essere risolto, nel 2000 poteva essere già risolto in trenta secondi!

Boland riporta pure che la tecnologia di soluzione di problemi MIP, basandosi su quella della programmazione lineare, ha avuto pure essa uno sviluppo notevolissimo: recenti applicazioni hanno mostrato che la soluzione di un problema, con cinque varianti, caratterizzato da 95.000 variabili di decisione e 64.000 vincoli è stata ottenuta in un tempo compreso tra 10 e 82 minuti di tempo di CPU.

Il miglioramento degli algoritmi basati sul metodo del simplesso fa sì che la programmazione lineare mista possa essere oggi considerata come alternativa alla tecnica dei NFA.

4.3.2 Modellazione della domanda

La domanda viene tipicamente modellata sottoforme della relazioni domanda – prezzo che sono state introdotte nei capitoli precedenti.

4.3.3 Modellazione dell’offerta

In questi modelli, l’idrologia è solitamente descritta da serie storiche (o sintetiche) di deflussi nelle sezioni di interesse – la scala temporale è generalmente quella stagionale o annuale ma possono essere utilizzate anche serie sintetiche di deflusso.

4.4 Due approcci: ottimizzazione e simulazione

Da quanto esposto fino ad ora, l’allocazione efficiente delle risorse sottende un principio di massimizzazione del beneficio sociale. In questo senso, un modello di ottimizzazione (si veda il capitolo 7 per l’applicazione) apparirebbe come la scelta più adatta e la programmazione matematica fornisce gli strumenti per implementare un modello siffatto. Un approccio ottimizzatorio “puro” può tuttavia avere alcuni inconvenienti, che saranno descritti nel seguito.

4.4.1 Ottimizzazione

In un modello di ottimizzazione, l’allocazione delle risorse è guidata dalla ricerca dell’ottimo, nel rispetto dei vincoli che descrivono il sistema fisico. Nel contesto che abbiamo delineato, cioè un sistema con risorse multiple di cui siamo interessati a conoscere la risposta, anche solamente statica, ad un input idrologico variabile, il modello troverà l’ottimo con riferimento all’intero input idrologico - nella prospettiva del modello, che risolve sostanzialmente un sistema di equazioni algebriche, non esiste infatti una differenza tra un’allocazione intersettoriale ed un’allocazione intertemporale: la domanda di un centro di domanda in N passi temporali successivi corrisponde infatti alla domanda di N differenti utenti in conflitto tra loro. L’ottimo viene quindi determinato con riferimento all’intero orizzonte temporale, utilizzando le risorse come se fossero tutte disponibili nello stesso istante. Questo modo di procedere viene sintetizzato dicendo che il modello alloca le risorse come se avesse una perfetta preveggenza (*perfect foresight*) delle disponibilità idriche future.

Ciò implica, per esempio, che i livelli di invaso dei serbatoi saranno sempre bassi prima di un’annata abbondante e invece tenderanno ad essere molto alti prima di una siccità. La perfetta preveggenza potrebbe portare a sottostimare il valore di capacità addizionali di trasporto, un tema su cui si tornerà nel capitolo 7.

E' pur vero comunque che, al crescere della capacità di regolazione del sistema ed in presenza di una gestione congiunta delle risorse sotterranee, l'impatto della perfetta preveggenza tenderà a ridursi (Draper, 2001). Newlin et al. (2002), in uno studio sul sistema di approvvigionamento primario della California del Sud, hanno mostrato che il ruolo della perfetta preveggenza è limitata, dato che i veri miglioramenti di performance del sistema provengono da variazioni importanti di regole gestionali o di allocazioni.

Oltre alla perfetta preveggenza degli eventi idrologici, che costituisce una rilevante discordanza, almeno concettuale, rispetto alla normale esperienza di gestione (il rischio idrologico esiste proprio perché non abbiamo la capacità di prevedere le disponibilità future), un modello di ottimizzazione, specialmente quando riguarda un sistema con l'uso congiunto di risorse superficiali e sotterranee, presuppone pure la perfetta flessibilità istituzionale del sistema nell'adattarsi alla variabilità idrologica.

In un sistema con risorse superficiali (gestite quasi sempre in maniera centralizzata) e con risorse sotterranee, per esempio anche per usi plurimi, gestite invece da un notevole numero di agenti (cioè con una gestione prevalentemente decentralizzata) la gestione congiunta è invece, frequentemente, poco flessibile per non dire rigida. I costi di transazione, cioè dell'informazione, indispensabili per ottenere una efficace gestione congiunta possono essere elevati e non salvaguardano da rischi riguardanti allocazioni errate o comunque decisamente sub ottimali (Pulido – Velazques et al., 2004). In ogni caso l'ottimizzazione, e solo questa tecnica è in grado di farlo, consente di individuare alternative promettenti alla gestione del sistema, che possono essere poi approfondite tramite la simulazione, e consente anche di identificare i benefici a scala locale e regionale.

4.4.2 Simulazione

Nella simulazione l'allocazione viene completamente determinata da regole, o politiche gestionali, imposte dall'esterno. Per il resto, il modello consiste essenzialmente in bilanci di massa delle capacità di accumulo e di vincoli sulle potenzialità di trasporto di condotte ed impianti. Le regole possono nascere dall'esperienza della gestione dello specifico sistema o possono essere ottenute attraverso regole empiriche (p.e. Olivera e Loucks, 1997) oppure da un modello di ottimizzazione (p.e. Lund e Ferreira, 1996). In ogni caso, le regole tenderanno a fornire indicazioni operative sui rilasci da effettuare basandosi solamente su poche dati, prevalentemente i livelli di invaso e la stagione, che può essere correlata, in senso ampio, con il livello atteso dei volumi in ingresso.

Capitolo 5

Il sistema di approvvigionamento primario della Puglia

La Puglia, la seconda regione del Mezzogiorno peninsulare per estensione e popolazione, è caratterizzata da un complesso sistema di approvvigionamento primario, che si è sviluppato in circa un secolo, la cui configurazione è strettamente legata alle caratteristiche geologiche e morfologiche della regione.

La Puglia è una regione geologicamente giovane, caratterizzata da una estesa presenza di rocce calcaree. Gli estesi e potenti acquiferi carbonatici hanno costituito per secoli praticamente la sua unica fonte di approvvigionamento.

E' prevalentemente pianeggiante, in parte collinosa, mentre la parte montuosa occupa meno del 5% della superficie regionale.

I reticolo idrografico è modesto, e fatta eccezione per i fiumi Ofanto e Fortore, che toccano la Puglia nei tratti terminali del loro corso, il territorio pugliese non annovera corsi d'acqua di rilievo.

Ciò spiega la necessità di approvvigionarsi attraverso fonti esterne al territorio regionale. Da questo punto di vista è stata archetipica, all'inizio del secolo scorso, la costruzione dell'acquedotto Pugliese con il trasferimento in Puglia di risorse (sorgenti) dai bacini del Sele e del suo affluente Calore, ricadenti in Campania e con foce nel mar Tirreno.

Anche le altre importanti fonti di approvvigionamento che si sono, dal secondo dopoguerra in poi, aggiunte al cosiddetto "canale principale" ricadono per lo più al di fuori del territorio regionale: le due importanti risorse idriche costituite dal serbatoio Pertusillo (il cui acquedotto costituisce attualmente la principale ed unica linea di trasporto di acqua potabile per la Puglia meridionale) e dal serbatoio Monte Cutugno (le cui risorse vengono pure sollevate nell'acquedotto Pertusillo) ricadono, per esempio, entrambe in Basilicata.

I rapporti tra le due regioni maggiormente legate dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico, cioè la Puglia e la Basilicata, sono regolati, dal 1999, attraverso un Accordo di Programma Quadro che stabilisce, tra le altre cose, i criteri di ripartizione dei volumi idrici, le misure di riequilibrio e riversamento tariffario nonché gli interventi di completamento sugli schemi di interesse interregionale.

Tutte queste risorse, ed altre che saranno descritte con maggiore dettaglio nel seguito di questo capitolo, sono integrate dalla falda regionale che, come del resto la maggior parte delle altre fonti di approvvigionamento, viene condivisa tra usi plurimi, prevalentemente quello civile e quello irriguo. La condizione di naturale scarsità di risorse idriche sul territorio regionale e la

necessità di ricorrere ad imponenti e complessi schemi di approvvigionamento primario non sembra tuttavia avere incoraggiato una gestione efficiente delle risorse. Anticipando quanto sarà descritto con maggiore dettaglio più avanti nel capitolo, ad oggi circa il 50% delle risorse idriche prelevate dalle fonti di approvvigionamento non arriva alle utenze perché viene perso, a diverso titolo, nelle reti di trasporto primario e secondario (reti urbane). E' pur vero che una parte di queste risorse viene valutata come perdita, ma è di fatto dovuta agli inevitabili (ma non irriducibili) processi di potabilizzazione subiti dalle acque superficiali, ma è anche vero che tali volumi costituiscono solo una parte delle perdite osservate complessivamente. Un altro tema critico è quello del sovrasfruttamento della falda profonda, specialmente in alcune aree della regione quali la penisola salentina, che si manifesta sottoforma di un graduale incremento della concentrazione salina dell'acqua di falda – a questa forma di inquinamento si aggiunge l'altra, non meno rilevante, di tipo microbiologico legata all'insufficiente sviluppo dei sistemi di drenaggio urbano.

5.1 I principali schemi acquedottistici ad uso civile

Il sistema di approvvigionamento primario a servizio dell'A.T.O. Puglia è articolato in cinque schemi principali di adduzione e in una complessa rete di diramazioni e di interconnessioni tra gli stessi (figura 3.1).

Il primo schema afferisce al Canale Principale, avente origine dalle sorgenti del Sele-Calore, che convoglia le portate lungo tutta la Puglia Centrale fino a Villa Castelli a nord di Grottaglie, dopo aver percorso circa 245 Km. Il tracciato è caratterizzato da alcune diramazioni primarie e secondarie rappresentate: dalla condotta primaria per la Capitanata (presso Venosa) per la alimentazione dei comuni della provincia di Foggia; dalla diramazione Andria-Bari, attraverso l'Opera 1 in prossimità di Andria, per l'alimentazione degli abitati del gruppo della fascia Nord barese.

Dal terminale di Villa Castelli ha origine il Sifone Leccese, che in corrispondenza del serbatoio di San Paolo, in agro di San Pancrazio, si dirama nei due adduttori Adriatico e Jonico rispettivamente sino a Galugnano e Seclì.

La domanda d'acqua potabile della Puglia Settentrionale è soddisfatta dall'Acquedotto del Fortore che garantisce l'alimentazione idrica di 35 abitati della provincia di Foggia utilizzando le acque derivate dall'invaso di Occhitto è potabilizzate presso l'impianto di Finocchito.

Nella parte centrale della Regione, ove si concentrano le maggiori esigenze idropotabili, lo schema Sele-Calore è integrato dallo schema dell'Ofanto. La funzionalità di questo schema è attualmente limitata ad una condotta alternativa al Canale Principale, utilizzata in caso di fuori servizio del Canale o in occasione di operazioni di manutenzione straordinaria; essa è attualmente funzionante in continuo per ridurre i carichi idraulici sul Canale Principale.

Lo schema Ofanto contribuisce da una parte a soddisfare il fabbisogno idrico del Nord-Barese e dell'Alta Murgia, e consente l'interscambio di portata con l'acquedotto del Sele, in corrispondenza dell'Opera 2 consentendo di convogliare le acque provenienti da quest'ultimo, garantendo così maggiore flessibilità agli schemi.

A valle di questo nodo fondamentale si sviluppa la condotta Casamassima-Canosa che termina in prossimità di Casamassima nel punto definito Opera 5 in cui si collega alla diramazione Gioia-Bari dello schema Pertusillo.

Sempre nella parte centrale della regione si sviluppa lo schema del Locone, la cui portata viene convogliata nella condotta Canosa-Casamassima fornendo supporto agli acquedotti che ivi confluiscono, quali il Pertusillo e Ofanto.

Infine, l'approvvigionamento dei comuni delle province di Taranto, Lecce, Brindisi e di parte della provincia di Bari è assicurato dall'acquedotto del Pertusillo.

Lo schema presenta un'importante diramazione idraulica in prossimità di Parco del Marchese, località in cui è ubicato un serbatoio di circa 210.000 m³ in cui si immette acqua prelevata dallo schema irriguo del Sinni, previa potabilizzazione e sollevamento. In tale nodo idraulico lo schema Pertusillo si suddivide in due grosse arterie: una raddoppiata ed integrata procede verso Gioia-Bari, intersecandosi presso Gioia con il Canale Principale, l'altra attraversa tutta la provincia di Taranto e Brindisi e prosegue nel Salento raggiungendo il serbatoio di Galugnano nella parte adriatica della Regione per poi alimentare il serbatoio di Seclì che garantisce l'alimentazione della parte jonica del Salento.

Gli schemi suddetti, in particolare nell'area murgiana e salentina, vengono pure alimentati da numerose opere di captazione dalle falde idriche sotterranee della regione.

5.1.1 Lo schema Fortore

Lo schema Fortore garantisce l'approvvigionamento di gran parte della Capitanata e del Gargano, integrando le risorse provenienti dallo schema Sele-Calore. Le acque grezze, derivate dall'invaso di Occhito attraverso una galleria gestita dal Consorzio di Bonifica per la Capitanata sono addotte in un impianto di potabilizzazione esistente (Finocchito), progettato per trattare una portata massima di 2400 l/s.

La criticità dello schema deriva in gran parte dalla insufficienza delle condotte esistenti realizzate nella prima metà del secolo scorso e dalla necessità di una maggiore articolazione dei collegamenti fra le diramazioni principali per garantire il soddisfacimento dei fabbisogni potabili dell'intero territorio, sia in situazioni di deficit di risorsa, che nei mesi estivi, quando le presenze turistiche richiedono volumi di acqua notevolmente superiori alla media.

Lo schema Fortore può essere suddiviso in tre diramazioni principali:

1. La "Primaria per la Capitanata", rappresentata dalla vecchia diramazione dallo schema del Sele-Calore;
2. L'"Integrativa" che corre quasi parallelamente alla Primaria;
3. il Fortore propriamente detto.

Tale suddivisione rappresenta la evoluzione del servizio idrico nella provincia di Foggia, risalendo la Primaria agli anni '20 del secolo scorso, l'integrativa agli anni '50, mentre i tratti relativi al Fortore sono stati realizzati negli anni '80.

5.1.1.1 Fonti di approvvigionamento dello Schema

L'invaso di Occhito, realizzato lungo il corso del fiume Fortore, costituisce l'unica risorsa dello schema.

La diga di sbarramento del corso del Fortore è stata realizzata ai piedi della collina a San Giovanni a m. 640 s.l.m.. L'opera è realizzata in terrapieno argilloso, il cui rilevato a prisma è lungo circa 200 m. con una altezza centrale di metri 15 circa. La superficie dell'invaso di Occhito è pari 4 milioni di m², con una profondità massima di 70 metri, la capacità di invaso è di circa 330 Mm³ (utile 254 Mm³). L'acqua raccolta nell'invaso di Occhito è addotta attraverso una galleria lunga 15.94 km, con una sezione circolare di diametro m. 4,00 e rivestimento in cls. armato di cm. 60 di spessore, successivamente la sezione diventa policentrica di area libera di 13,94 m². In corrispondenza dell'attraversamento del torrente Sente, la livelletta di pendenza taglia le due falde di sponda del torrente e un breve tratto del canale corre a cielo aperto. La continuità dell'opera viene ripristinata con un ponte canale in c.a. della lunghezza di m 252 metri. Lo sbocco della galleria, che attraversa le alture in destra del fiume Fortore, avviene in contrada Finocchito, in agro di Casal vecchio di Puglia, prima in ampio e breve canale a cielo aperto e da questo nella vasca quadrangolare di Finocchito, che ha una capacità di 30.000 m³, dalla quale viene avviene la derivazione tra gli schemi irrigui del Nord e Sud-Tavoliere e l'acquedotto potabile del Fortore.

L'impianto di potabilizzazione di Finocchio, realizzato e in esercizio, è in grado di trattare 2.4 m³/s. Al potabilizzatore è annesso un serbatoio di accumulo delle acque grezze, della capacità di 60.000 m³ circa.

5.1.1.2 Funzionamento dello schema

Dall'impianto di potabilizzazione di Finocchio, si diparte l'acquedotto potabile con due condotte fino al nodo di Foggia con una capacità di trasporto complessiva di circa 4200 l/s. Dal nodo di Foggia l'acquedotto prosegue verso Manfredonia per alimentare l'intera area Garganica Sud. Lungo il tratto "impianto di potabilizzazione-Nodo di Foggia" viene derivata dall'acquedotto un'ulteriore condotta per l'alimentazione di San Severo per proseguire fino al serbatoio Besanese dal quale viene alimentata l'area Garganica Nord. Le condotte del Fortore si sviluppano parallelamente alle preesistenti condotte del Sele e, in alcune zone, si interconnettono per garantire un più corretto funzionamento dello schema acquedottistico.

La interconnessione più significativa si localizza in prossimità di Torremaggiore dove l'acqua del Fortore integra la condotta del Sele per la Capitanata convogliando le acque verso il serbatoio di Foggia.

Una rappresentazione di maggior dettaglio dello schema è fornita nella corografia di figura 4.2

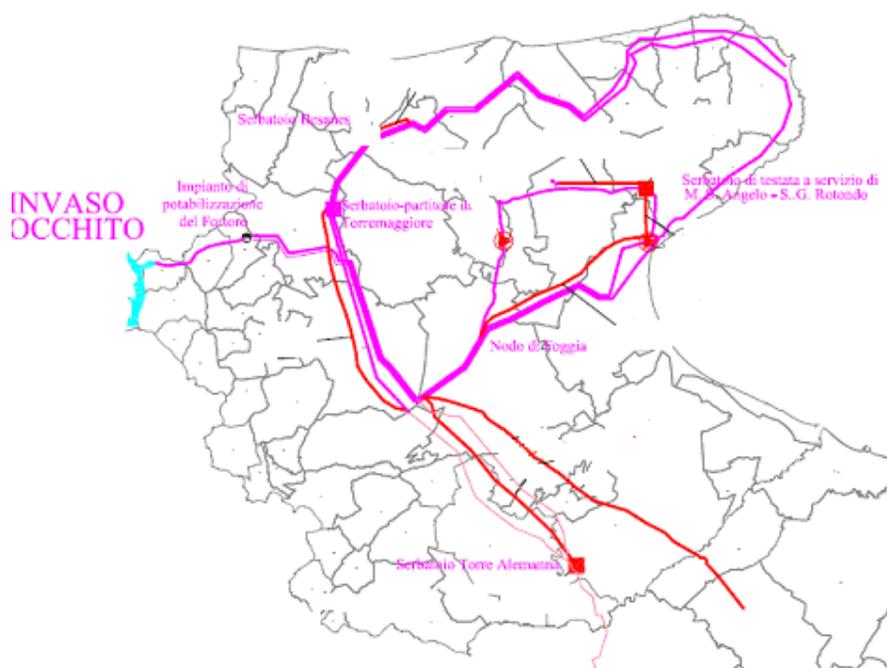


Figura 4.2 Rappresentazione dello schema del Fortore (Fonte: Piano d'Ambito dell'ATO Puglia 2002)

5.1.2 Lo schema del Sele - Calore

L'Acquedotto del Sele rappresenta la più rilevante opera di approvvigionamento e distribuzione delle acque della regione Puglia. L'acqua viene captata dalle sorgenti del fiume Sele e del suo affluente Calore presso Caposele e Cassano Irpino.

Quando all'inizio del secolo venne istituito l'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese, una sola fonte era individuata come idonea a risolvere il secolare problema del fabbisogno idrico per gli usi civili del territorio pugliese: la sorgente Sanità di Caposele. Le sue acque, captate e convogliate in Puglia intorno agli anni '20 raggiunsero i capoluoghi e numerosi comuni. Tale risorsa non poteva comunque da sola fronteggiare la sempre crescente richiesta idropotabile, legata all'incremento di popolazione ed al miglioramento dello standard di vita, pertanto la portata del Sele fu integrata, negli anni '60, con la captazione delle acque del gruppo di sorgenti di Cassano Irpino.

Lo schema è composto dal vettore primario, denominato Canale Principale e diverse diramazioni. Il Canale Principale si sviluppa per circa 245 Km attraverso quattro province fino a Villa Castelli ed è costituito da un canale a pelo libero in muratura, che corre con lieve pendenza a volte in galleria o in rilevato o in trincea o su ponti, attraversando gli Appennini e le Murge. Da detto adduttore si dipartono lungo il suo percorso: la diramazione primaria per la Capitanata (presso Venosa), la diramazione per gli abitati del gruppo della fascia Nord barese, la diramazione per Bari, la diramazione per l'Alta Murgia e le diramazioni per gli abitati della fascia meridionale della provincia di Bari.

Lo schema del Sele – Calore è costituito dalle opere di captazione delle sorgenti di Caposele e di Cassano Irpino, dalla galleria di Valico, che consente il trasferimento delle sorgenti di Cassano Irpino nel Canale Principale, dal canale stesso, nonché da quattro diramazioni principali:

- Diramazione Andria-Bari;
- Diramazione Sifone Leccese Ramo unico;
- Diramazione Sifone Leccese Ramo adriatico;
- Diramazione Sifone Leccese Ramo ionico.

Attualmente è stato realizzato ma non è ancora entrato in esercizio un nuovo adduttore in acciaio, di diametro variabile dal $\phi 800$ mm al $\phi 1200$ mm lungo circa 37 Km che va a sostituire il ramo adriatico del "Sifone Leccese". La necessità di realizzare tale opera è scaturita essenzialmente dalla vetustà dell'adduttore costituito da tubazioni in calcestruzzo armato che negli anni hanno manifestato crescenti perdite.

5.1.2.1 Fonti di approvvigionamento dello schema

La sorgente Sanità sgorga sul versante occidentale del Monte Cervialto, ad una quota di 430 m s.l.m.; il bacino idrologico di appartenenza ha forma quadrilatera delimitato dalla valle del F. Calore, dalla valle dell' Ofanto, del F. Sele e del Rio Zagarone. Il massiccio del monte Cervialto si compone di un nucleo, caratterizzato da un reticolo idrografico a carattere endoreico, costituito da calcari che consentono lo sviluppo di un notevole carsismo in grado di

realizzare una rete di canali sotterranei, e delimitato sui tre lati da terreni flisciodi a carattere argilloso-arenaceo, cui sono ascrivibili caratteristiche proprie dell'Appennino meridionale. La forte permeabilità per carsismo del bacino di alimentazione garantiscono una buona alimentazione dell'acquifero drenato della Sorgente Sanità.

Il Gruppo sorgentizio di Cassano Irpino sgorga su un bacino idrologico che ha forma quadrilatera irregolare, è rappresentato da una parte dal Massiccio dei Monti Terminio-Tuoro, ubicato a nordovest rispetto al monte Cervialto e alla sorgente Sanità di Caposele.

Il gruppo sorgentizio comprende: le sorgenti Pollentina, Peschiera, Prete e Bagno della Regina.

L'aspetto geologico è costituito da un nucleo centrale carbonatico e sui lati da terreni flisciodi a carattere argilloso-arenaceo. L'alimentazione del gruppo sorgentizio è garantita da una serie di fratturazioni e fenomeni carsici che comportano una buona circolazione sotterranea che preferenzialmente si sviluppa sia lungo le linee di faglia sia lungo i condotti carsici.

5.1.2.2 Funzionamento del sistema

La criticità maggiore dello schema risiede senz'altro nella vetustà e nella instabilità del territorio attraversato. Si tratta, infatti, di opere che hanno quasi cento anni e che spesso convivono con strutture moderne concepite, realizzate e gestite, spesso, in un regime di urgenza che, superata la contingenza, si presentavano già in ritardo rispetto al crescere della domanda. Gli eventi sismici degli anni '80 hanno segnato il raggiungimento di una situazione di drammaticità per l'approvvigionamento idrico della regione, con gravi conseguenze sugli ormai obsoleti adduttori del Sele. Pertanto si rese necessario bypassare le principali gallerie dando immediata esecuzione alle opere per la realizzazione dell'acquedotto dell'Ofanto.

Il funzionamento dello schema è tutto sommato semplice se si riferisce al solo Canale Principale: esso, partendo dalle sorgenti del Sele, convoglia le portate attraversando tutta la Puglia centrale dopo la diramazione primaria per la Capitanata (presso Venosa).

Attraverso l'Opera 2 in prossimità di Andria si alimenta la diramazione per gli abitati del gruppo della fascia Nord della provincia di Bari, la diramazione per Bari, la diramazione per l'Alta Murgia e le diramazioni per gli abitati della fascia meridionale della provincia di Bari; dal terminale di Villa Castelli ha origine il Sifone Leccese che in corrispondenza del serbatoio di San Paolo, in agro di San Pancrazio, si dirama nei due adduttori Adriatico e Jonico rispettivamente sino a Galugnano e Galatone.

Con opportuni impianti di sollevamento le portate necessarie per il basso Salento sono ulteriormente addotte con due diramazioni sino a Vitigliano (ramo adriatico) e Leuca (ramo Jonico).

Molto rilevanti sono gli scambi di risorsa che avvengono o possono avvenire con gli altri schemi; si riportano a tal proposito i nodi più importanti di interconnessione:

1. Nodo di Venosa: che consente il trasferimento di risorsa verso lo schema Ofanto;
2. Nodo Opera 2: che consente il trasferimento di risorsa verso lo schema Pertusillo(Canosa – Casamassima);
3. Nodo Opera 3: che consente il trasferimento di risorsa verso lo schema Pertusillo(Gioia- Bari);
4. Nodo S. Paolo: di ripartizione delle acque tra il versante ionico e adriatico della Penisola Salentina.

Una rappresentazione di maggior dettaglio dello schema è fornita nella corografia di figura 4.3.

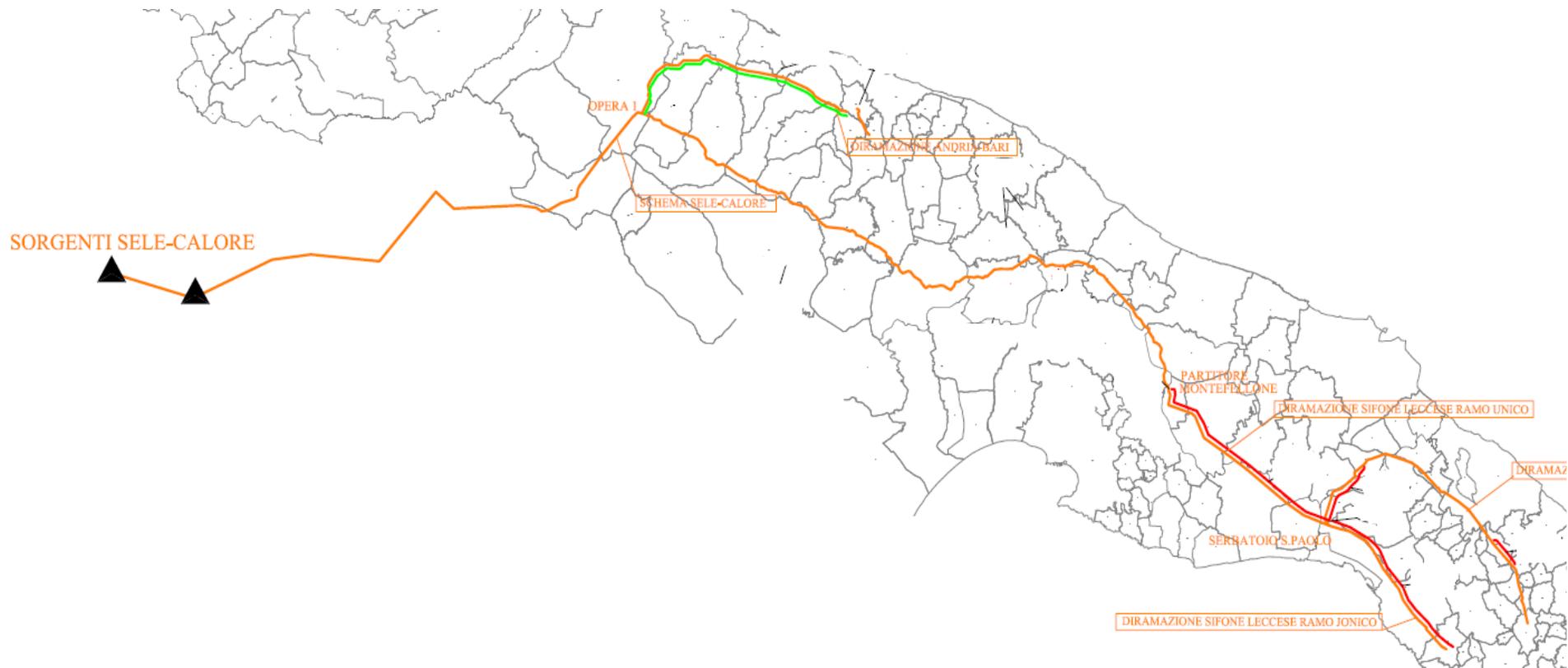


Figura 4.3 – Articolazione territoriale dello schema Sele – Calore (fonte: PdA ATO Puglia, 2002)

5.1.3 Lo schema Ofanto

L'Acquedotto dell'Ofanto si sviluppa dal nodo di "Padula" sino alla connessione di Monte Carafa con la condotta Casamassima-Canosa.

L'utilizzazione a scopo potabile dell'alto corso del fiume Ofanto prevedeva la realizzazione di adduttori che contribuissero all'approvvigionamento idrico del Nord-Barese e dell'Alta Murgia.

Attualmente le condotte dell'Acquedotto dell'Ofanto sono utilizzate per il trasporto di una portata dell'ordine di 1755 l/s, derivata dal Canale principale in modo da alleggerire il carico che grava su

di quest'ultimo. L'acquedotto dell'Ofanto ha una capacità di trasporto di circa 6 m³/sec.

L'acquedotto dell'Ofanto, può essere suddiviso in tre tronchi:

1. Nodo di Padula –nodo di Venosa :
2. Nodo di Venosa – serbatoio di M. Carafa
3. bypass Nodo di Venosa – Contista

L'Acquedotto dell'Ofanto nasce come sistema alternativo al Canale principale quando quest'ultimo è oggetto di manutenzione straordinaria, e ha una continuità di funzionamento a regime per alleggerire il carico sul canale Principale. Si prevede di attribuire all'acquedotto una propria fonte di alimentazione individuata nell'Invaso di Conza, previa realizzazione di idoneo potabilizzatore.

Una rappresentazione di maggior dettaglio dello schema è fornita nella corografia di figura 4.4



Figura 4.4 – Articolazione territoriale dello schema Ofanto (fonte: PdA ATO Puglia, 2002)

5.1.4 Lo schema Locone

L'acquedotto del Locone è stato realizzato con la finalità di integrare gli acquedotti a servizio dei comuni del litorale a nord di Bari.

Lo schema così definito è quindi rappresentato dalla condotta che dall'invaso Locone raggiunge il potabilizzatore e dal collegamento tra quest'ultimo e il serbatoio di Monte Carafa.

In tal modo l'acquedotto del Locone smista dal potabilizzatore le proprie acque nella condotta Canosa-Casamassima e quindi integra i contributi agli acquedotti che ivi confluiscono, come Pertusillo e Ofanto.

5.1.4.1 Fonti di approvvigionamento dello schema

La diga sul Torrente Locone è situata in provincia di Bari, qualche chilometro ad ovest del comune di Minervino Murge. Il Torrente Locone nasce in prossimità del paese di Spinazzola e scorre in direzione ovest, lungo un fondo valle ampio e pianeggiante con fianchi collinari per confluire dopo circa trenta chilometri nel fiume Ofanto. Il Locone presenta le tipiche caratteristiche dei torrenti dell'Italia meridionale e cioè deflussi estivi molto scarsi e piene invernali brevi ma intense.

La capacità totale d'invaso è pari a 131 Mm³, con un volume utile di regolazione pari a 106 Mm³. Attualmente, tuttavia, la capacità di invaso è limitata in ottemperanza alle prescrizioni del Registro Italiano Dighe – la capacità attuale è di circa 40 Mm³. Il serbatoio è stato dimensionato per raccogliere, oltre alle acque del bacino imbrifero sotteso dalla sezione di sbarramento, quelle provenienti dalla Traversa di Santa Venere sull'Ofanto. L'opera di derivazione è collocata in destra della sezione di sbarramento ed è realizzata con una galleria della lunghezza di 894 m, avente diametro interno di 2,5 m.

5.1.4.2 Funzionamento del sistema

Attualmente il funzionamento dello schema Locone consente di addurre le acque al serbatoio di Monte Carafa e di raggiungere attraverso la condotta Canosa-Casamassima il nodo strategico di Andria (Opera 2), dal quale è possibile immettere le acque nel Canale Principale. Dal serbatoio di Monte Carafa viene alimentata la diramazione a servizio degli abitati di Cerignola, Trinitapoli, San Ferdinando e Margherita di Savoia.

Una rappresentazione di maggior dettaglio dello schema è fornita nella corografia di figura 4.5



Figura 4.5 – Articolazione territoriale dello schema Locone (fonte: PdA ATO Puglia, 2002)

5.1.5 Lo schema Pertusillo

L'acquedotto del Pertusillo trae origine a valle del potabilizzatore di Missanello, alimentato dalle acque rilasciate dallo scarico della centrale Enel e derivate dall'invaso di Pietra del Pertusillo sul fiume Agri. La capacità massima di trasporto è pari a circa $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ed è destinato all'alimentazione dei comuni nelle province di Taranto, Lecce, Brindisi e Bari. Lo schema dell'acquedotto presenta un'importante diramazione idraulica in prossimità di Parco del Marchese ove è ubicato un serbatoio di circa 210.000 m^3 nel quale sono immesse le acque prelevate anche dallo schema irriguo del Sinni, previa potabilizzazione e sollevamento.

In tale nodo idraulico lo schema Pertusillo si suddivide in due grosse arterie: una attualmente raddoppiata ed integrata procede verso la Gioia-Bari (diametro DN 1800/1900), intersecando presso Gioia (Serbatoio di Marzagaglia) il Canale Principale; l'altra, attraversa tutta la provincia di Taranto e Brindisi e prosegue nel Salento raggiungendo il serbatoio terminale di Seclì.

Il ramo salentino del Pertusillo può convogliare a gravità una portata massima di $3 \text{ m}^3/\text{s}$ sino al serbatoio partitore di Taranto della capacità di 200.000 m^3 . Dal serbatoio viene alimentata Taranto ed il tronco per Brindisi. Detto tronco, dopo aver servito alcuni abitati della provincia tarantina, perviene al torrino di Monte Ciminiello e da questi al partitore di S. Pancrazio per Brindisi e Lecce. Lo sviluppo complessivo dell'acquedotto fino a Taranto è di 130 Km, mentre a Seclì, sul tratto Taranto – Galatone, lungo 147 km, è presente un impianto di sollevamento che garantisce l'alimentazione della parte del Salento più meridionale. Nel tratto Galatone - Seclì viene derivata la portata (in agro di Corigliano) per l'alimentazione dei comuni salentini del ramo adriatico ivi compresa Maglie.

5.1.5.1 Fonti di approvvigionamento dello schema

La principale fonte di approvvigionamento dell'acquedotto deriva dall'invaso del Pertusillo, realizzato attraverso la diga di sbarramento sul fiume Agri. La diga ad arco in cacestruzzo s'innalza dall'alveo del fiume poco a valle degli abitati di Spinoso, a destra, e di Montemurro a sinistra.

Il bacino imbrifero del Pertusillo ha una superficie di 531 km², inclusa la superficie del lago, costituente il 31.5% dell'intero bacino dell'Agri. Il lago Pietra del Pertusillo, dal nome della località, ha una superficie massima di 7 Km² alla quota di massimo invaso pari a m. 530 s.l.m. con una profondità massima di metri 95.

La capacità globale di invaso delle acque è di 155 Mm³ (capacità utile 142 Mm³). L'E.N.E.L. deriva dall'invaso le acque a mezzo di un canale in galleria, che ha la sua presa a 25 metri sotto il livello di massimo invaso, e lunga 18 km. circa. Le acque rilasciate dall'ENEL sono trattate nell'impianto di potabilizzazione di Missanello. Le portate uscenti dalla centrale vengono accumulate in una vasca della capacità di 600.000 m³, dalla quale, con una portata costante si alimenta l'impianto di potabilizzazione. Nella stessa vasca vengono immesse le acque estratte attraverso pozzi che si attestano nella subalvea del Fiume Agri. L'impianto di potabilizzazione, realizzato con decantatori del tipo pulsatori e filtri di sabbia ed a carbone attivo, è costituito da 6 linee di produzione, ciascuna idonea al trattamento di 1,25 m³/sec, per una potenzialità massima complessiva di 4,5 m³/s.

5.1.5.2 Funzionamento dello schema

Le acque del Pertusillo vengono convogliate con opportuno sollevamento verso la Puglia centrale e, a gravità verso il Salento.

Il funzionamento dello schema è molto articolato poiché è caratterizzato da importanti interconnessioni che permettono di modulare consistenti volumi tra gli schemi del Sele e dell'Ofanto.

Nello schema del Pertusillo è inserito l'impianto di sollevamento (il più grande d'Italia) di Parco del Marchese, di rilevante importanza strategica per l'intero sistema acquedottistico a servizio dell'ATO, in quanto da tale nodo è possibile alimentare gran parte della provincia di Bari e raggiungere il nodo di Andria (Opera 2), attraverso la diramazione Canosa-Casamassima.

Lo schema Pertusillo può integrare le risorse idriche dello schema Sele-Calore nelle diramazioni più distanti del Sifone leccese fino a connettere i grandi serbatoi terminali (rami Adriatico e Jonico) di Galugnano e Seclì chiudendo di fatto una maglia strategica per l'alimentazione dell'area salentina.

Le interconnessioni suddette, rappresentate dai nodi di:

- Parco del Marchese: da cui si alimenta la linea Gioia del Colle - Bari ed il Canale Principale dal serbatoio di Marzagaglia.
- Opera 2, sulla Casamassima-Canosa: dalla quale, per mezzo di un sollevamento (in situazione di risorse idriche limitate), si può alimentare il Canale Principale per servire l'area murgiana centrale;
- Partitore torrino Monte Ciminiello: dal quale è possibile alimentare il serbatoio di San Paolo (Sifone Leccese) dal quale vengono regolati i trasferimenti verso le province brindisine e leccesi;

rappresentano, per contro, i punti critici di tutto il sistema acquedottistico regionale.

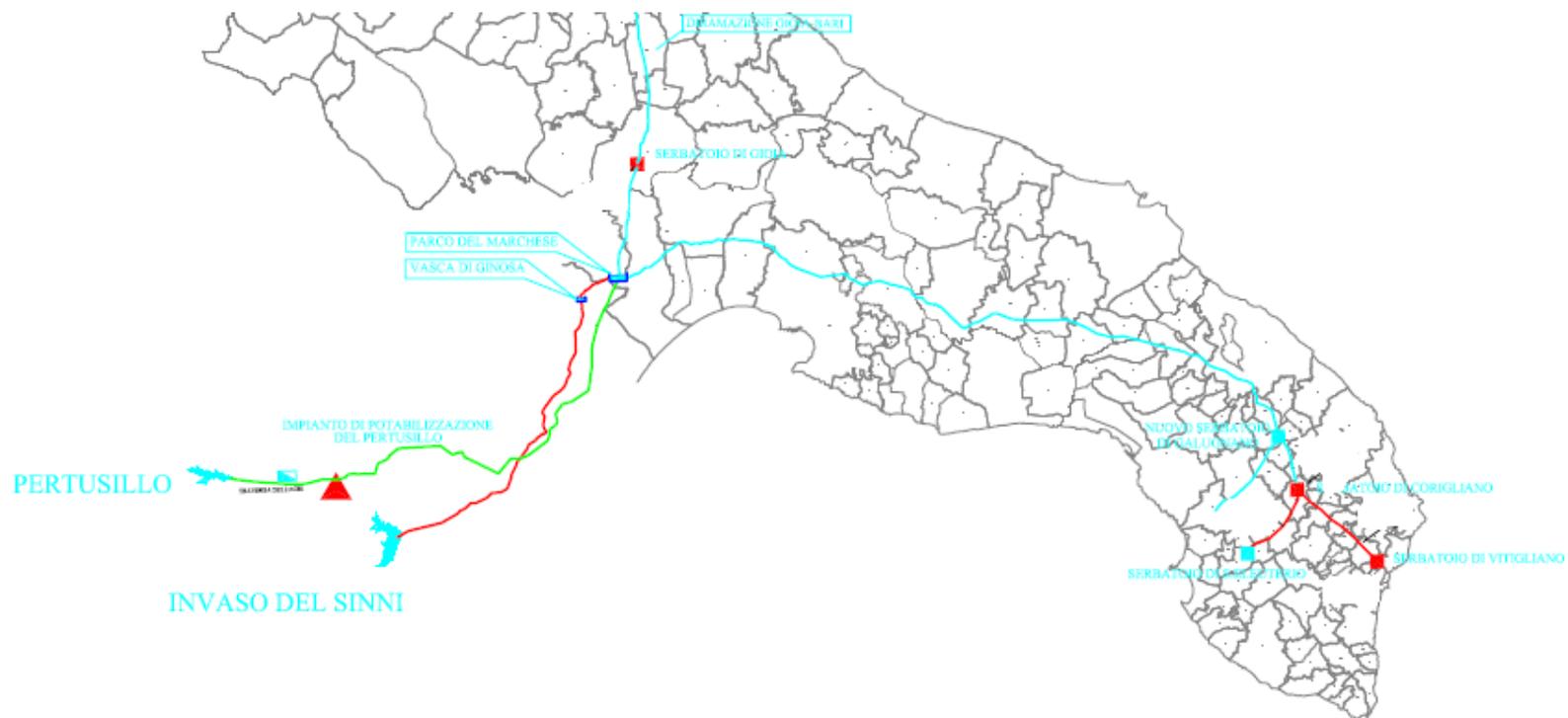


Figura 4.6 – Articolazione territoriale dello schema Agri – Sinni (acquedotto del Pertusillo più il serbatoio Monte Cutugno)
(fonte: PdA ATO Puglia, 2002)

5.1.6 Lo schema Sinni

Lo schema Sinni rappresenta, di fatto, la seconda fonte di approvvigionamento dell'acquedotto del Pertusillo. Le acque dell'invaso di Monte Cotugno sono addotte all'impianto di potabilizzazione del Sinni, e, previo sollevamento dalla vasca di Ginosa, sono addotte al serbatoio di Parco del Marchese dove si miscelano con quelle potabilizzate provenienti dal serbatoio Pertusillo.

5.1.6.1 Fonti di approvvigionamento

La fonte di approvvigionamento è rappresentata dall'invaso di Monte Cotugno, gestito dall'Ente per l'Irrigazione di Puglia, Lucania ed Irpinia (EIPLI), ha una capacità di 530 Mm³ di cui 420 Mm³ utili di regolazione. Da tale invaso ha origine un grande sistema di adduzione destinato a soddisfare esigenze irrigue, industriali e potabili delle province di Potenza, Matera, Taranto, Lecce e Brindisi.

Le acque derivate dall'acquedotto ad usi plurimi vengono trattate nel potabilizzatore di Parco del Marchese in agro di Laterza. L'impianto di potabilizzazione, realizzato e in esercizio, è in grado di trattare 6.0 m³/s. Al potabilizzatore è annesso un serbatoio di accumulo delle acque grezze, della capacità di 20.000 m³ circa.

5.1.6.2 Funzionamento dello schema

Dalla diga sull'invaso di Monte Cotugno si sviluppa una condotta adduttrice, ad uso plurimo, che discende lungo la valle del Sinni, attraversa le piane del metapontino e raggiunge la vasca di Ginosa.

L'adduttore da Monte Cotugno al serbatoio di Parco del Marchese, gestito dall'EIPLI, ha una lunghezza di circa 64 Km con diametro di 3000 mm. Parallelamente agli adduttori del Sinni procedono quelli del Pertusillo che costeggiano la vasca di Ginosa e raggiungono anch'essi il nodo di Parco del Marchese dove avviene la miscelazione con l'acqua potabilizzata del Pertusillo. Dal potabilizzatore, l'acqua perviene alla vasca di Parco del Marchese attraverso un sollevamento.

La rappresentazione dello schema è già inclusa in quella dello schema acquedottistico del Perusillo.

5.2 Le criticità rilevate del sistema di approvvigionamento primario in Puglia

Nel seguito si riporta sinteticamente quanto rilevato nel Piano d'Ambito 2002 redatto dall'ATO Puglia in merito alle criticità del sistema di approvvigionamento primario della Puglia. Si ritiene che possa costituire un utile punto di partenza per la modellazione e la successiva analisi delle problematiche dell'approvvigionamento primario.

Secondo il PdA 2002, le criticità sono riconducibili a tre tipologie:

- la prima riguarda l'inefficienza di alcuni grandi adduttori dovuta principalmente al raggiungimento della fine vita utile operativa delle

opere (alcune opere sono entrate in esercizio negli anni '20 del secolo passato);

- la seconda riguarda il crescente fabbisogno di risorsa nei centri di consumo legato soprattutto all'incontrollato aumento delle perdite nelle reti di distribuzione.
- La terza anche se è riferibile alla criticità delle fonti di approvvigionamento idrico ed alla necessità di aumentare la flessibilità degli schemi.

Nello specifico, le maggiori criticità individuate riguardano sostanzialmente, per la parte sud della regione, l'individuazione di fonti alternative di risorsa idrica a fronte della necessaria riduzione dell'emungimento della falda salentina, nonché il ripristino dell'ormai dimezzata capacità di trasporto delle vecchie adduttrici principali (Sifone Leccese).

Per quel che concerne la zona centrale e Nord del territorio regionale, si sono evidenziate le stesse problematiche riportate sopra relativamente alla inefficienza idraulica delle condotte nonché le necessità di interventi di completamento degli schemi principali, al fine di conferire all'intero sistema acquedottistico una maggiore flessibilità di funzionamento attraverso la possibilità di interscambio di risorsa idrica tra la parte settentrionale e centrale della regione.

5.3 il bilancio idrico dell'approvvigionamento civile in Puglia

Di seguito si riportano alcune sintetiche informazioni tratte dal Piano d'Ambito 2010 – 2018 dell'ATO Puglia (ATO Puglia, 2009). Tali informazioni sono tratte dal capitolo 4 del documento, dedicato al bilancio idrico.

5.3.1 Popolazione residente servita

Il dato più recente disponibile nel Piano d'Ambito sulla popolazione residente servita è quello relativo al 2008: risultano serviti 4.045.618 abitanti

5.3.2 Evoluzione demografica

Risulta positiva ed addirittura maggiore dello scenario "alto" ISTAT (cioè il più ottimistico), con una crescita complessiva effettiva della popolazione nel periodo 2003 – 2008 del + 1,3% (corrispondenti in media ad un +0,2% all'anno). L'evoluzione demografica prevista è formulata sulla base dello scenario "alto" dell'ISTAT che prevede comunque una riduzione della popolazione a partire dal 2011.

Sull'orizzonte del 2018, l'ISTAT prevede una variazione del - 1,17% sul dato del 2008 (4.079.702 abitanti residenti a 31 dicembre 2008). Stando agli ultimi saldi demografici disponibili dall'ISTAT, aggiornati ad aprile 2010, la popolazione complessiva della regione è tuttavia in ulteriore crescita ed ha raggiunto a fine aprile 2010 le 4.088.333 unità, circa 4.000 in più di quelle previste dallo scenario "alto" dell'ISTAT.

5.3.3 Volume prodotto

Il dato disponibile più recente è quello relativo al 2008. In quell'anno sono stati prodotti 527 Mm³ di acqua. Nella serie storica 2003 – 2008 non si rileva alcuna precisa tendenza verso un aumento o una diminuzione dei consumi: il 2003 ed il 2007 hanno valori simili a quello del 2008; negli altri anni, cioè nel triennio 2004 – 2006 sono stati prodotti volumi maggiori di circa il 2%, (cioè intorno ai 540 Mm³/anno). Nel complesso l'ampiezza massima di tali fluttuazioni non supera il 4%.

5.3.4 Volume immesso in rete 2008

Il dato disponibile più recente è quello relativo al 2008. In quell'anno sono stati immessi in rete 471,3 Mm³. Anche in questa serie storica non si rileva nessuna precisa tendenza: tutti gli anni, tranne il 2003 con 456,5 Mm³/anno, si attestano intorno ai 470 Mm³/anno

Sembra però significativo che nel 2008 sia stato immesso in rete un volume idrico praticamente uguale al triennio precedente pur avendo complessivamente prodotto di meno: questo dovrebbe essere dovuto ad alcuni interventi effettuati sul sistema dell'adduzione di cui si riferisce più avanti.

Il livello delle perdite in fase di adduzione si è attestato nel 2008 all'8,9 % del volume prodotto (tab. 4.22 del Piano d'Ambito).

5.3.5 Volume consegnato alle utenze

Nel 2008 esso è risultato pari a 237,73 Mm³, valore praticamente costante nel periodo 2003 – 2008.

5.3.6 Perdite apparenti

Sono calcolate come differenza percentuale tra immesso in rete e consegnato. A scala d'Ambito si aggirano attualmente intorno al 50% (49,7%).

5.3.7 Dotazioni procapite al serbatoio

circa 317 l/ab x giorno (dato 2008).

5.3.8 Consumi procapite medi

Circa 160 l/ab x giorno (dato 2008)

A seguito di commesse affidate per la ricerca ed il recupero perdite in ambito urbano, AQP prevedeva di recuperare, anche attraverso sostituzione delle condotte ammalorate, 9,5 Mm³ nel 2009, 18 Mm³ nel 2010, 25,5 Mm³ nel 2011, 22 Mm³ nel 2012, 18 Mm³ nel 2013, 13,5 Mm³ nel 2014, 9,5 Mm³ nel 2015, 7 Mm³ nel 2016 e 6 Mm³ sia nel 2017 che nel 2018.

Si prevede di sostituire circa 1745 km di rete entro il 2018, pari a circa il 14% dell'intera estensione delle reti di distribuzione attualmente in esercizio.

In complesso, in dieci anni si prevede (tabella 4.19) di ridurre il volume prodotto da 527,5 Mm³/anno a 435,0 Mm³/anno (- 17,4 %) ed il volume immesso in rete da 471,7 Mm³/anno a 394,0 Mm³/anno (- 19,7 %). In questi dieci anni, il volume fatturato dovrebbe poi crescere da 237,7 Mm³/anno a 252,1 Mm³/anno (+ 5%).

Nel complesso, il livello atteso delle perdite apparenti in distribuzione dovrebbe attestarsi, nel 2018, al 36%. Il livello delle perdite totali (cioè inclusa l'adduzione) dovrebbe invece attestarsi sul 42,05%.

Questi dati vanno corretti attraverso la considerazione di ulteriori incrementi di efficienza previsti attraverso la sostituzione di una parte dei contatori (400.000) ed una più intensa attività di controllo di tipo amministrativo. Il recupero atteso è di circa 1 Mm³/anno, pari a 10 Mm³/anno in dieci anni, che equivalgono a circa 10/251,1 = 4% del volume fatturato.

Nel complesso, quindi, il volume fatturato si attesterà sui 252,1 Mm³/anno. I consumi procapite dovrebbero aumentare lievemente, in dieci anni, passando dagli attuali 160 l/abxgiorno a 170 l/abxgiorno nel 2018 (tabella 4.23 del PdA).

5.3.9 Risorse idriche

A fronte di questi valori di domanda l'offerta è costituita dalle seguenti risorse (i volumi prelevati sono relativi al 2008).

Sorgenti Caposele e Cassano Irpino	125,89 Mm ³
Invaso sull'Occhito	56,09 Mm ³
Invaso Pietra di Pertusillo	107,17 Mm ³
Falde sotterranee pugliesi	99,65 Mm ³
Invaso Locone	45,95 Mm ³
<u>Invaso Sinni</u>	<u>128,02 Mm³</u>
TOTALE	562,77 Mm³

Il Piano d'Ambito fornisce anche previsioni sull'utilizzo delle diverse fonti di approvvigionamento all'orizzonte del 2018 (tab. 4.27 del Piano). Secondo le previsioni contenute nella tabella:

- già dall'anno 2 di attuazione del Piano (cioè in linea di principio dal 2009) i volumi prelevati dai serbatoi del sistema Agri – Sinni (M.te Cutugno e Pertusillo) vengono stabilizzati su di un valore di prelievo complessivo di 215 Mm³/anno (105 Mm³/anno dal Pertusillo + 110 Mm³/anno dal Monte Cutugno);
- il livello dei prelievi dalla falda converge al valore di 63,1 Mm³/anno nel 2013 a partire dal valore all'anno 1 di 99,6 Mm³/anno e si mantiene costante negli anni successivi;
- le sorgenti del Sele-Calore e Cassano renderanno 148,0 Mm³/anno in modo costante lungo l'orizzonte del Piano;
- i prelievi dall'invaso Locone si ridurranno dall'attuale livello (46 Mm³/anno) fino a 25 Mm³/anno a partire dall'anno 5 del Piano (2013), anno in cui inizierà a funzionare il potabilizzatore di Conza, con una produzione di acqua potabile prevista di 32 Mm³/anno;
- i prelievi dal serbatoio Occhito si mantengono costanti lungo tutto l'orizzonte del Piano e pari a 55 Mm³,
- nel 2015 è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore di San Paolo, per il trattamento di ulteriori 15,7 Mm³ di acqua provenienti dal sistema Agri – Sinni;

- nel 2013 è pure previsto l'ingresso in esercizio del dissalatore di Tara, che renderà disponibili ulteriori 15,7 Mm³/anno di acqua potabile

L'ingresso in esercizio di questi nuovi impianti, unitamente al programma di riduzione delle perdite, renderà disponibile risorse eccedenti il bilancio idrico con funzione di "margine di sicurezza", la cui entità viene, anno per anno, valutata nella tabella 4.27 del Piano d'Ambito e che già dal 2013 supera il 20%. Si riporta integralmente la suddetta tabella del Piano d'Ambito in modo da visualizzare più agevolmente l'evoluzione del bilancio idrico prevista per il periodo 2008 – 2018.

<i>Domanda produzione ATO Puglia</i>	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Volume prodotto	527.540	511.095	492.638	464.456	448.290	434.879	428.982	424.920	424.694	421.505	420.372
Perdite in adduzione %	8,90%	8,70%	8,60%	8,50%	7,80%	7,60%	7,60%	7,50%	7,50%	7,40%	7,40%
Volume in subdistribuzione	8.900	8.900	8.900	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Volume immesso nelle reti	471.689	457.730	441.371	419.477	407.823	396.328	390.879	387.551	387.342	384.814	383.764
Perdite in distribuzione %	49,60%	47,90%	45,80%	42,60%	40,40%	38,20%	37,00%	36,30%	35,70%	35,00%	34,30%

<i>Disponibilità produzione ATO Puglia</i>	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Invaso Occhito	56.088	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000	55.000
Sorgenti Caposele Cassano Iripino	125.887	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000	148.000
Invaso Locone	46.485	32.139	32.139	32.139	32.139	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Invaso Conza						32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
Invaso Pertusillo	107.168	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
Invaso Montecotugno - Sinni	128.023	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000	110.000
Falde regionali	99.646	95.000	90.000	85.234	85.234	63.072	63.072	63.072	63.072	63.072	63.072
Dissalatore Tara						15.700	15.700	15.700	15.700	15.700	15.700
Potabilizzatore San Paolo								15.700	15.700	15.700	15.700
Altre fonti minori		3.500	3.500	3.500	3.500						
Totale volumi addotti	563.297	548.639	543.639	538.873	538.873	553.772	553.772	569.472	569.472	569.472	569.472
Volume ceduti ad altre regioni	35.758	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293	35.293
Totale disponibilità produzione	527.539	513.346	508.346	503.580	503.580	518.479	518.479	534.179	534.179	534.179	534.179

<i>Bilancio idrico ATO Puglia</i>	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Surplus o deficit disponibilità		2.251	15.708	39.124	55.290	83.600	89.497	109.259	109.485	112.674	113.807
Margine di sicurezza		0,44%	3,19%	8,42%	12,33%	19,22%	20,86%	25,71%	25,78%	26,73%	27,07%

Tabella 4.27

Fonte Elaborazioni AATO

Nel PdA i nuovi interventi per incrementare l'offerta si giustificano soprattutto alla luce delle frequenti emergenze idriche (cap. 4, pag. 36). Se ne deduce anche l'opportunità di scavare nuovi pozzi .

Un'analisi multicriteriale porta a riconoscere come soluzione preferibile la riduzione delle perdite, come seconda lo scavo di nuovi pozzi, come terza la costruzione di impianti di dissalazione delle acqua salmastre ed infine la dissalazione delle acque marine.

Vengono anche citate e descritte le seguenti opere o iniziative, tutte di nuova realizzazione, che saranno oggetto dell'applicazione nel capitolo successivo.

1. Ripristino funzionale della traversa sul Sauro
2. Utilizzazione delle acque dall'invaso del Cogliandrino
3. Collegamento San Giuliano – Sinni
5. Adduzione dall'invaso di Ponte Liscione a Finocchito

6. Collegamento invaso di Campolattaro – invaso di Occhito
7. Collegamento vasca di Marascione – invaso del Locone

Questi interventi sono indicati come frecce tratteggiate in rosso nella successiva figura 5.7 che contiene una rappresentazione schematica del sistema di approvvigionamento primario fin qui descritto. La figura visualizza altresì le principali interferenze tra gli usi civili ed irrigui nei serbatoi del sistema.

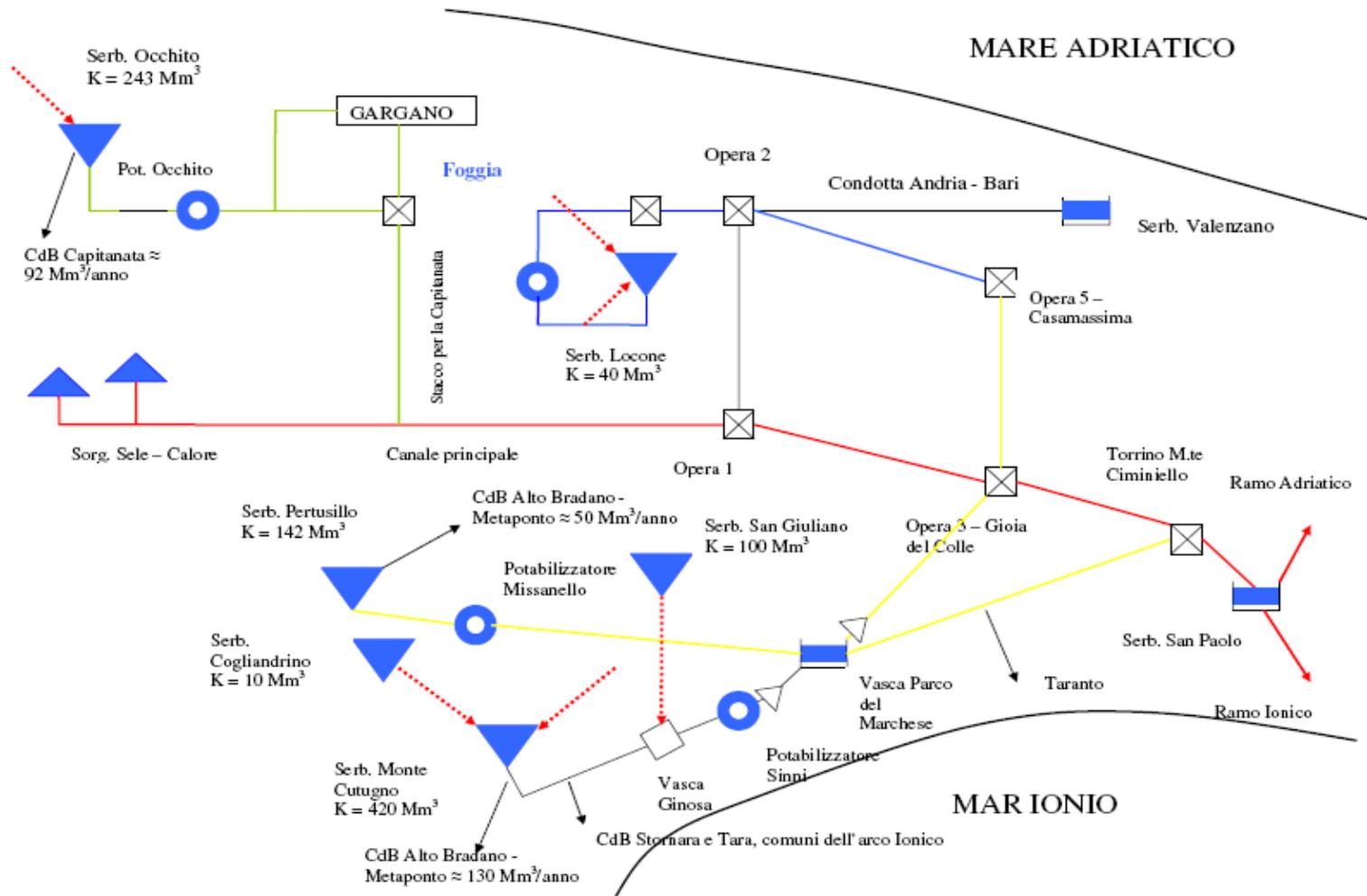


Figura 5.7. Schema semplificato del sistema di approvvigionamento primario dell'ATO Puglia – in rosso il Canale principale, in verde il sistema Fortore, in blu il sistema Ofanto, in giallo di sistema del Pertusillo. I triangoli indicano impianti di sollevamento, le frecce rosse in tratteggio le opere integrative previste.

Capitolo 6

Un modello semplificato dell'approvvigionamento primario della Puglia

Siamo adesso in grado di formulare un modello semplificato dell'approvvigionamento primario della Puglia, finalizzato alla valutazione, tramite un'analisi costi – benefici, di alcuni interventi per integrare e risorse idriche già esistenti.

Dalle sintetiche analisi svolte nell'ultimo paragrafo del capitolo precedente risulta abbastanza chiaro che la funzione degli interventi oggetto di valutazione è fondamentalmente quella di aumentare l'affidabilità del sistema riducendo il rischio di fallanze nell'approvvigionamento: i bilanci eseguiti su valori di disponibilità medie, nello scenario peraltro di progressiva riduzione dei prelievi per effetto della riduzione delle perdite, forniscono infatti sempre dei surplus di risorsa, che possono anche essere cospicui.

Per impostare correttamente il problema della valutazione di tali interventi nel quadro più ampio delle alternative infrastrutturali e gestionali praticabili per l'intero sistema pugliese, appare peraltro necessario distinguere, almeno concettualmente, le cause di tali fallanze, che possono essere di tipo 1) infrastrutturale/organizzativo, 2) di tipo idrologico (siccità), 3) legate alla qualità delle risorse idriche, che possono risultare inadeguate in modo temporaneo o permanente all'uso civile, 4) di tipo "meccanico", cioè legate a rotture o esigenze del gestore industriale di effettuare le manutenzioni programmate su grossi impianti o su linee acquedottistiche di grandi dimensioni.

Tra le cause del primo tipo rientrano le fallanze collegate a colli di bottiglia di tipo infrastrutturale (impianti mal dimensionati o insufficienti) ed organizzativo (difficoltà gestionali collegate all'esercizio del sistema).

La principale causa di fallanze di secondo tipo è invece la ridotta disponibilità di risorse idriche collegate ad eventi siccitosi, mentre cause delle fallanze del terzo tipo possono essere inquinamenti di tipo biologico (p.e. fioriture algali) o chimico (p.e. accresciuta salinità dell'acqua).

Infine, se non è possibile parlare, in senso stretto, di fallanza nel caso di interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria, ma comunque preventivati

dal Gestore, gli interventi infrastrutturali possono essere utili per razionalizzare o migliorare la gestione dei sistemi acquedottistici.

Sembra il caso di evidenziare due aspetti rilevanti per l'impostazione della metodologia:

- 1) qualsiasi ne sia la causa, le fallanze si traducono in una riduzione in termini *quantitativi* del servizio, in altre parole, gli utenti riceveranno meno acqua, con frequenza ed intensità da valutare;
- 2) gli interventi proposti costituiscono in effetti un sottoinsieme delle alternative possibili: la esclusione dell'uso del serbatoio Occhito per problemi di qualità dell'acqua, per esempio, potrebbe essere risolta potenziando i trattamenti del potabilizzatore invece che costruendo un collegamento alternativo, etc.

Considerato che il problema appare collegato prevalentemente alla quantità delle risorse idriche disponibili o è comunque riconducibile ad un problema sulla quantità di risorsa, l'approccio proposto per la valutazione degli interventi si basa sulla quantificazione del rischio idrologico nello "scenario base" proposto dal Piano d'Ambito 2008 – 2018 relativamente alla evoluzione della domanda e della disponibilità idrica.

Per rischio idrologico si intende qui appunto il rischio dell'approvvigionamento collegato ad una mancata disponibilità di risorsa idrica.

Il beneficio derivante dai singoli interventi viene quindi valutato nei termini di riduzione del rischio.

Nel seguito questi concetti sono formalizzati con maggiore dettaglio.

6.1 Definizione di rischio ed applicazione alla valutazione del rischio idrologico

La classica definizione del rischio collegato ad un certo evento E è:

$$R = p(E) \cdot D(E) \quad (6.1)$$

In cui $p(E)$ è la probabilità che l'evento E si verifichi e $D(E)$ è il danno (in termini monetari) associato a quell'evento.

Un indicatore sintetico del livello di rischio è il *valore atteso* del danno $E[D]$ definito come:

$$E[D] = \int_0^{\infty} p(E) \cdot D(E) \cdot dE \quad (6.2)$$

Nel caso di interesse, l'evento E è il verificarsi di un deficit idrico, cioè di un livello di erogazione inferiore a quello atteso, e $D(E)$ è il danno associato alla mancata erogazione. E' quindi necessario disporre da una parte della distribuzione di probabilità dei deficit idrici e dall'altra di una relazione tra il deficit ed il danno associato.

Nella stima del rischio atteso per un sistema idrico come quello dell'ATO Puglia è importante catturare e rappresentare la dimensione dinamica della domanda e dell'offerta, nel senso che la domanda idrica ed i conseguenti livelli

di prelievo mutano di anno in anno per l'effetto combinato della evoluzione demografica, dell'aumento dei consumi unitari e soprattutto per effetto degli interventi di riabilitazione sulle reti idriche di adduzione e distribuzione, che comportano una riduzione complessiva dei volumi domandati e prelevati dall'ambiente.

In questo contesto, la scala temporale corretta per la valutazione del rischio idrologico è quella annua: è in effetti possibile che si renda necessario effettuare valutazioni a scala stagionale o mensile al fine di cogliere particolari aspetti del processo delle allocazioni (p.e. il problema delle presenze estive nei comuni costieri), ma in ogni caso è opportuno che i risultati di tali valutazioni siano comunque aggregati a scala annua in modo da poter essere con più facilità ricondotte all'attualità attraverso il saggio marginale di preferenza intertemporale r (si veda la successiva relazione (6.4)).

La domanda target di risorsa idrica da parte delle utenze a scala annua (in Mm^3/anno) sarà indicata con $T(t)$; essa rappresenta la quantità di acqua consumata per uso civile quando si crea l'equilibrio tra domanda e offerta di risorsa in assenza di vincoli sulla sua disponibilità. Il corrispondente prelievo dalla risorse è dato da:

$$W(t) = T(t) / (1 - L(t)) \quad (6.3)$$

avendo indicato con $L(t)$ il livello medio delle perdite in adduzione e nelle reti di distribuzione, espresso in percentuale rispetto al prelievo.

L'offerta di risorsa idrica varia anch'essa perché ad un certo anno viene attivato, per esempio, un nuovo impianto di potabilizzazione oppure, al contrario, si riduce o viene meno del tutto il prelievo da una fonte di approvvigionamento per effetto, per esempio, dell'ingresso in esercizio di nuovi distretti irrigui, oppure in attuazione di programmi ambientali e di salvaguardia delle risorse (p.e. la riduzione dei prelievi dalle falde avverrà gradualmente, assestandosi sul valore finale di $64,1 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ dal 5° anno in poi).

Tutte queste dinamiche, sia sulla domanda che sull'offerta, sono già state analizzate e modellate nel Piano d'Ambito e sono costituite dalle previsioni per il periodo 2008 – 2018 dei volumi domandati dalle utenze, di quelli prelevati dall'ambiente e dalla serie dei volumi annui mediamente disponibili dalle diverse fonti attive in un certo anno. Esse costituiscono il cosiddetto "caso base" che sarà utilizzato per le analisi successive e che è riassunto nell'ultima tabella del capitolo precedente..

Per comodità di chi legge, i dati salienti di questo scenario base, desunti dalla tabella 4.27 del Piano d'Ambito (pag. 26, cap. 4), sono riportati in tabella 6.1.

Questa dimensione dinamica, di tipo deterministico, (si tratta sostanzialmente di un trend sulle disponibilità e sui consumi) si intreccia con la variabilità idrologica da cui scaturisce il rischio, per come rappresentato dalla (6.2).

Il deficit è definito come:

$$\text{Def} = T(t) - E_r \quad \text{se } E_r < T(t) \quad (6.3a)$$

$$\text{Def} = 0 \quad \text{se } E_r = T(t) \quad (6.3b)$$

Essendo E_r il volume erogato in un certo anno.

La probabilità cumulata di verificarsi di un deficit è data da:

$$P(\text{Def}) = P(Er \leq T(t)),$$

da cui discende la densità di probabilità del deficit, indicata con $p(\text{Def}) = dP/d\text{Def}$.

Tabella 6.1 – Previsione dell'evoluzione dei volumi immessi in rete e dei consumi per il periodo 2008 (anno 1) – 2018 (anno 10)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Volume immesso nella rete primaria [Mm ³]	527,5	511,1	492,6	465,5	448,3	434,9
Volume consumato [Mm ³]	237,7	238,5	239,2	240,8	243,1	244,9
Perdite complessive (%)	55%	53%	51%	48%	46%	44%

	2014	2015	2016	2017	2018
Volume immesso nella rete primaria [Mm ³]	429,0	424,9	424,7	421,5	420,4
Volume consumato [Mm ³]	246,3	246,9	249,1	250,1	252,1
Perdite complessive (%)	43%	42%	41%	41%	40%

Per combinare la dimensione dinamica della domanda e dell'offerta con il rischio collegato alla variabilità idrologica, è necessario allora calcolare il *valore attuale del danno atteso*, che denomineremo PEDV – present expected damage value, così definito:

$$PEDV = \sum_{i=1}^O \frac{E[D(t)]}{(1+r)^t} \quad (6.4)$$

In cui O rappresenta l'orizzonte temporale della valutazione (p.e. trenta anni), r è il tasso di interesse e E[D(t)] rappresenta il valore del danno atteso all'anno t-esimo, anno caratterizzato da un livello di consumo target T(t) da parte degli utenti e di un conseguente prelievo di risorse pari a $T(t)/(1 - L(t))$, essendo L(t) il livello di perdite:

$$E[D(t)] = \int_0^{T(t)} p(\text{Def}) \cdot D[\text{Def}] \cdot d\text{Def} \quad (6.5)$$

In cui D(Def) è il danno (in M€) associato ad un certo livello di deficit. L'integrale è esteso tra 0 e il target T(t) perché il deficit può variare appunto tra 0 ed il target T(t).

Ribadiamo quindi che per l'integrazione della (6.5) è necessario disporre di un metodo per la valutazione della $p(\text{Def})$, cioè della distribuzione di probabilità dei deficit, e di un metodo per la stima della relazione deficit – danno. Partiremo da questo secondo elemento ed illustreremo nel punto 6.3 la metodologia per la valutazione della probabilità di verificarsi di un deficit in un sistema idrico complesso.

6.2 La relazione tra deficit e danno di mancato approvvigionamento: curva della domanda per l'acqua potabile e costi scarsità

Come già illustrato ne capitolo 2, l'acqua è un bene economico che, nel settore civile, assume la dimensione di un bene di consumo (a differenza del settore irriguo od industriale dove è un bene intermedio che serve per produrre altri beni, l'acqua potabile è un prodotto "finale" diretto al consumatore).

La valutazione dei benefici collegati a diversi livelli di disponibilità di risorsa idrica viene effettuata attraverso la curva della domanda dell'acqua, di cui si è ampiamente discusso nel capitolo 2.

Il consumo della quantità target di risorsa $T(t)$ produce quindi un beneficio $B(T)$ che è pari all'area sottesa dalla curva della domanda.

L'erogazione di una quantità x inferiore al target si traduce allora in un danno D (detto anche *scarcity cost* - costo scarsità) che viene quantificato come segue:

$$D = B(T(t)) - B(x(t)) \quad (6.6)$$

Un parametro sintetico che fornisce una misura della dipendenza della quantità domandata dal prezzo è la cosiddetta elasticità della domanda al prezzo:

$$\eta = \frac{dQ}{dP} \times \frac{P}{Q} \quad (6.7)$$

η esprime la variazione percentuale della domanda (Q) per una variazione percentuale unitaria del prezzo.

6.2.1 Calibrazione della curva della domanda per l'acqua potabile

Le curve della domanda possono avere forme diverse: quelle usate più comunemente sono la forma lineare, quella log-lineare (cioè lineare nei logaritmi, detta anche Cobb – Douglas), la Stone-Geary (p.e. Gaudin et al., 2001) quella translog (combinazione lineare dei prodotti incrociati dei logaritmi dei fattori di produzione – Renzetti, 1992, Garcia e Reynaud, 2004).

E' necessario precisare che, in generale, la domanda idrica non è funzione solamente del prezzo, ma può anche essere funzione di un insieme di altre variabili tra cui il reddito e le condizioni climatiche (p.e. Mays, 2004).

La calibrazione avviene sostanzialmente usando tecniche di regressione multipla su set di dati cross-sezionali (cioè serie storiche di consumi e delle altre variabili esplicative relative ad un campione di gestioni del servizio di acquedotto, possibilmente in contesti eterogenei); la stima di modelli di questo tipo offre comunque parecchie sfide alle tecniche econometriche (Amato et al., 2009).

Per la calibrazione è pertanto necessario analizzare i dati di un campione numeroso di gestioni, su finestre temporali sufficientemente lunghe; gli studi condotti negli Stati Uniti comprendono sempre i dati di almeno parecchie decine di *utilities*.

In Italia, lo studio econometrico della domanda d'acqua è agli albori – un importante progetto di ricerca, conclusosi di recente, ha contribuito a prendere le misure dell'impegno necessario per questo tipo di analisi a scala nazionale.

In ogni caso, ad onta della mancanza di studi specifici per il contesto italiano o dell'Italia Meridionale, nonostante la grande variabilità dei risultati ottenuti dagli studi condotti in oltre quarant'anni di lavoro sull'argomento (il primo lavoro, probabilmente di Howe e Linewaver, è del 1967), e per quanto gli aspetti metodologici di valutazione della curva della domanda continuino a porre stimolanti sfide ai ricercatori, si è adesso a disposizione di alcuni punti fermi che rendono l'applicazione della curva della domanda uno strumento affidabile per la valutazione dei costi scarsità:

1. la domanda per uso civile, specialmente per uso *indoor*, è inelastica, cioè ha una elasticità inferiore all'unità;
2. se i valori del deficit non sono troppo ampi rispetto al punto di funzionamento "normale" del sistema, le diverse forme della curva della domanda restituiscono costi scarsità simili (Griffin, 2007).

Gli studi di Espey et al., (1997) e Dalhuisen et al., 2003 contengono cospicui database di valori di elasticità della domanda al prezzo valutati su parecchie decine di studi prevalentemente empirici da cui si possono trarre utili informazioni sulla tendenza centrale dell'elasticità della domanda al prezzo: secondo lo studio di Dalhuisen et al., il valore medio della elasticità al prezzo per l'acqua potabile è di $-0,38$, mentre il valore medio desumibile dagli studi considerati da Espey et al. è $-0,51$, valori tra loro molto simili, vista anche la eterogeneità delle tecniche di valutazione utilizzate ed il lungo intervallo temporale che questi studi coprono (circa trent'anni dagli anni '60 agli anni '90)

Con queste premesse, nel seguito del lavoro le valutazioni saranno effettuate facendo riferimento a due specificazioni funzionali diverse della curva della domanda, e a due distinte metodologie di stima semplificate.

6.2.1.1 Relazione log - lineare

La prima tipologia di specificazione adottata è quella di tipo log – lineare che è caratterizzata da elasticità costante in tutto il dominio di definizione della curva:

se $\eta = \frac{dQ}{dP} \times \frac{P}{Q} = \text{costante}$, se ne deduce che $dQ/Q = \eta * dP/P$ che, integrata,

fornisce: $\ln Q = \eta * \ln P + C$, cioè una relazione lineare nei logaritmi, da cui discende che $P = \exp\{1/\eta * \ln Q + C\}$ ovvero

$$P = \text{cost}_1 * Q^{1/\eta} = a * Q^b \quad (6.8)$$

che è la espressione di una curva della domanda di tipo Cobb – Douglas, in cui l'esponente b è pari all'inverso dell'elasticità della domanda al prezzo ($1/\eta$) e la costante si determina sulla base di un solo punto della curva, cioè di una coppia (domanda, prezzo): si tratta di una metodologia "*point expansion*" perché sostanzialmente l'intera curva della domanda è sviluppata a partire da un punto

di equilibrio noto (la coppia domanda – prezzo in condizioni “normali” o Target) imponendo un’espressione funzionale ed una elasticità.

Questo approccio è ormai consolidato (Griffin, 2006) ed è stato utilizzato in molti lavori di pianificazione sull’uso delle risorse idriche a scala regionale (Jenkins et al., 2003, Pulido – Velazquez et al., 2004)

Ipotizzando una elasticità $\eta = 1/b$, la costante a si determina dalla condizione che quando $Q = T$ (la domanda target), il prezzo è quello p_t della tariffa, quindi risulta $a = P_t/T^b$.

Per integrazione della (6.8) si ottiene l’espressione del beneficio connesso al consumo della quantità Q di acqua:

$$B(Q) = a * \frac{\eta}{1 + \eta} Q^{\frac{1+\eta}{\eta}} + \text{cost} \quad (6.9)$$

Con questa specificazione, l’integrazione definita tra $Q = 0$ e $Q = Q$ non è possibile dato che per $Q \rightarrow 0$, $B(Q) \rightarrow \infty$; si deve fare allora riferimento al beneficio associato al consumo di una quantità piccola, Q_{\min} e risulterà quindi:

$$B(Q) = a * \frac{\eta}{1 + \eta} (Q^{\frac{1+\eta}{\eta}} - Q_{\min}^{\frac{1+\eta}{\eta}})$$

Se si considera che η è una quantità minore di zero ed in valore assoluto compresa tra 0 ed 1 (dato che la domanda civile è inelastica), la quantità $\eta/1+\eta$ è negativa, e risulta quindi $Q^{\frac{1+\eta}{\eta}} < Q_{\min}^{\frac{1+\eta}{\eta}}$ per $Q > Q_{\min}$. Conseguentemente $B(Q)$ risulta sempre maggiore di zero.

Considerando adesso la relazione (3) tra acqua prelevata ed acqua consumata, si ottiene l’espressione del beneficio associato al *prelievo* della quantità W di risorsa.

$$B(W) = a * \frac{\eta}{1 + \eta} \left[\left(\frac{Q}{1 - L(t)} \right)^{\frac{1+\eta}{\eta}} - \left(\frac{Q_{\min}}{1 - L(t)} \right)^{\frac{1+\eta}{\eta}} \right] \quad (6.10)$$

La (6.10) mette in relazione il beneficio collegato al consumo, da parte degli utenti finali, della quantità Q , alla quantità W di risorsa prelevata attraverso la percentuale di perdite L , che nel t -esimo anno del Piano si prevede assuma il livello $L(t)$.

In questo lavoro saranno utilizzati i seguenti parametri:

$$\eta = -0,4$$

$P_T = 1,65 \text{ €/m}^3$. Tale valore è stato ottenuto facendo riferimento all'articolazione tariffaria per l'ATO Puglia del 2010 (Bollettino Ufficiale Regione Puglia n. 207 24.12.09) e rappresenta il prezzo marginale della quantità target di acqua, nel senso che è il valore dello scaglione in cui ricade il consumo di una utenza domestica "media" (cioè costituita dal numero medio di componenti una famiglia, pari a 2,66 persone, secondo i dati intercensuari 2010 dell'ISTAT) i cui componenti consumano il quantitativo attualmente erogato, cioè 160 l/ab * giorno.

6.2.1.2 Relazione lineare

La specificazione lineare è del tipo:

$$P = a - b \cdot Q \quad (6.10)$$

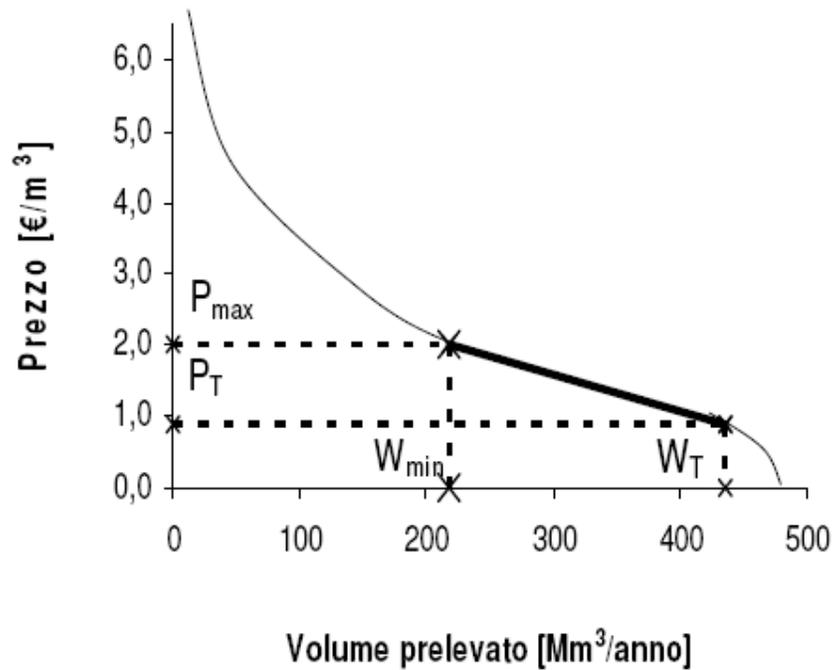
Con P , il prezzo, in €/m^3 e Q , la quantità domandata, per esempio in Mm^3/anno . Risulta inoltre $a, b > 0$.

Una relazione lineare tra domanda e prezzo nell'intero dominio dei volumi domandati in effetti non è proponibile, ma può esserlo nell'intervallo abbastanza ampio tra il volume consumato "target" T ed un volume consumato minimo Q_{\min} , corrispondente ai consumi minimi, e come tali incompressibili. Tale intervallo è quello peraltro di maggiore interesse per le applicazioni. Fuori da questo intervallo la domanda è indifferente al prezzo o perché completamente rigida (per $Q < Q_{\min}$) o perché infinitamente elastica ($Q > T$).

La figura 3 riporta una curva della domanda siffatta con indicazione dei parametri da determinare. La parte lineare di interesse è segnalata con tratto più spesso. In figura 3 il prezzo è espresso in funzione del volume *prelevato* invece di quello domandato, ma non cambia nulla dato che vale la (6.3) che lega appunto il volume target consumato con quello prelevato dalle risorse.

Una curva della domanda lineare è caratterizzata da una elasticità variabile: dalla (6.7) discende infatti che $\eta = p / (p - a)$; per la calibrazione della curva è quindi necessario ricorrere ad un'altra informazione oltre alla coppia prezzo - domanda in condizioni "target"; tale informazione è la coppia prezzo - domanda all'estremo inferiore del tratto lineare.

Qui la domanda minima (p.e. 80 l/ab. x giorno, secondo le determinazioni di Al-Qunabait e Johnston, 1985) è soddisfatta attraverso una tecnologia di approvvigionamento "back stop", cioè di sicurezza, quale può essere la dissalazione oppure il rifornimento dei serbatoi urbani con autobotti. Considerato che nell'ATO Puglia era stata in effetti ipotizzata la realizzazione di alcuni dissalatori con funzione di sicurezza, si può fare riferimento proprio alla tecnologia di dissalazione come "backstop".



Nel Piano d'Ambito vengono fornite stime sui costi di realizzazione e di esercizio di impianti di dissalazione destinati a fornire 72 Mm³/anno, che sono stati poi stralciati dalla pianificazione, e che vengono presi in considerazione come alternative di incremento delle risorse dell'ATO nell'ambito di un'analisi multicriteriale (par. 4.3.2, pag. 38 del cap. 4). Le stime ivi contenute prevedono costi di investimento ed esercizio compresi tra 3,5 e 4,0 €/m³ a seconda che le acque trattate siano salmastre o marine.

Questi valori sono stati confrontati con i modelli di costo ottenuti da Zhou e Tol (2005) che fanno riferimento al probabilmente più grosso database sugli impianti di dissalazione disponibile a livello planetario, aggiornato, al tempo della pubblicazione, al 2001 (Wangnick, 2002).

Per impianti MSF (tabella 1 di Zhou e Tol, 2005):

$$\ln(\text{UC}) = 798,76 - 105,02 \cdot \ln(\text{ANNO}) - 0,14 \cdot \ln(\text{CAP}) + 0,69 \cdot \text{MARE} \quad (6.11)$$

in cui:

- UC sono i costi unitari con valuta US al 1995, in \$/m³ Sono la somma dei costi operativi + i costi di investimento ammortizzati: il fattore di ammortizzazione è valutato per un periodo di 30 anni con un tasso di sconto dell'8%;
- ANNO è l'anno di installazione dell'impianto;
- CAP è la capacità dell'impianto (in m³/giorno);
- MARE è una variabile dummy che assume valore 1 se l'impianto tratta acqua di mare e 0 se tratta acqua salmastra.

Questa relazione è stata determinata utilizzando i dati di 457 impianti MSF costruiti tra il 1957 ed il 2001 con un $R^2_{adj} = 0,84$

Considerando un impianto dalla capacità di 60.000 m³/giorno, in grado quindi di fornire circa 20 Mm³/anno, che tratta acqua di mare si ottiene un costo unitario di $UC = \exp(798,76 - 105,02 \cdot \ln(2011) - 0,14 \cdot \ln(60.000) + 0,69) = 0,4$ \$/m³ al 1995 e 0,45 \$/m³ al 2001 secondo il fattore di conversione USD 1995 / USD 2001 di 1,162 utilizzato da Zhou e Tol nel loro lavoro.

Per ricondurre questo costo a €/m³ con valuta attuale, possiamo ritenere il valore del 2001 coincidente con quello dell'inizio del 2002, quando è entrato in vigore l'Euro, applicare l'equivalenza dollaro – euro al 2002 (1 EUR = 0,90 USD) e poi utilizzare il valore medio del tasso di inflazione rilevato dall'ISTAT nel periodo 2002 – 2010, pari al 2,1 %. In questo modo, il costo unitario risulta pari a $0,45/0,90 \cdot (1 + 0,021)^8 = 0,59$ €/m³.

Nel modello di Zhou e Tol il costo unitario dipende dall'anno di realizzazione, dato che l'analisi dei costi ha messo in evidenza la progressiva riduzione dei costi unitari col migliorare delle tecnologie nel corso del periodo esaminato (1957 – 2001).

Date le incertezze collegate alla estrapolazione dei risultati del modello ad anni successivi a quelli ricadenti intervallo di calibrazione e più in generale al progresso della tecnologia sulla dissalazione negli ultimi 10 anni, il modello di Zhou e Tol può essere usato per valutare il costo unitario per un impianto da 60.000 m³/giorno al 2001 ed il valore trovato può essere rivalutato al 2010 nel modo esposto sopra.

L'applicazione della (11) con ANNO = 2001 fornisce un costo unitario 0,76 \$/m³ al 2001, equivalenti a $0,76 / 0,90 \cdot (1 + 0,021)^8 = 0,99$ €/m³.

In definitiva, il costo unitario con un trattamento MSF di acqua di mare varia tra 0,59 €/m³ (tecnologia al 2011) e 0,99 €/m³ (tecnologia al 2001)

Per impianti RO (tabella 2 di Zhou e Tol, 2005):

$$\ln(UC) = 652,68 - 85,81 \cdot \ln(\text{ANNO}) - 0,09 \cdot \ln(\text{CAP}) + 0,50 \cdot \text{MARE} \quad (6.12)$$

con lo stesso significato dei simboli della (6.11).

Questa relazione è stata determinata utilizzando i dati di 2514 impianti MSF costruiti tra il 1963 ed il 2001 con un $R^2_{adj} = 0,71$.

Ripetendo gli stessi ragionamenti svolti a proposito di un impianto MSF, si ottiene che il costo unitario con un trattamento RO di acqua di mare varia tra 0,87 €/m³ (tecnologia al 2011) e 1,35 €/m³ (tecnologia al 2001).

I valori desunti sono evidentemente molto più bassi di quelli indicati nel Piano d'Ambito, anche se si tratta in effetti solamente di costi di sola produzione che pertanto non comprendono i costi di sollevamento e trasporto. Essi vanno comunque considerati, anche con tutte le incertezze ed approssimazioni collegate ad un modello di costo ed evidenziate nel lavoro di Zhou e Tol, come valori di *benchmark*. Ovviamente non è estraneo al tema della valutazione dei costi di dissalazione il problema della fonte delle informazioni che, se provengono dall'industria della dissalazione, possono fornire sottostime dei valori effettivi.

Altri lavori (Fryer, 2010) stimano che il costo di dissalazione per la California sia realisticamente compreso tra i 2.000 ed i 3.000 \$/af, corrispondente ad un valore compreso tra 1,2 e 1,8 €/m³.

In considerazione delle incertezze collegate alle componenti di costo (sono certamente inclusi i costi di investimento e di gestione, ma non quelli di trasporto) ed alla possibilità di trasferire i risultati dello studio di Fryer svolto per la California (non fosse altro che per le diverse concentrazioni saline dell'acqua di mare) al contesto della Puglia, appare ragionevole basare l'analisi su di un costo della backstop di 2,0 €/m³.

Note le coppia (W_T, p_T) e (W_{min}, p_{max}) è possibile valutare i parametri a e b della (6.10):

$$a = P_{max} \text{ e } b = (P_{max} - P_T)/(W_T - W_{min})$$

L'elasticità η è data da $p/(p - p_{max})$ e quindi cresce all'aumentare del prezzo, cioè al diminuire della quantità domandata, come mostrato in figura 4, in cui vengono riportati i valori assoluti di η : si tratta di un risultato non congruente con l'esperienza (l'elasticità dovrebbe crescere all'aumentare della quantità domandata), d'altra parte anche l'elasticità costante della specificazione log-lineare è un'astrazione. Queste considerazioni hanno spinto alcuni autori (Gaudin et al., 2001) ad esplorare nuove espressioni funzionali da adattare ai panel di dati disponibili – è comunque dubbio che l'impatto di questi aspetti sui risultati delle analisi finalizzate alla valutazione del rischio idrologico possa essere rilevante, dato che il rischio è relativo a periodi limitati e le entità dei deficit sono sempre relativamente piccole rispetto all'intervallo di definizione dei consumi idrici.

Con la specificazione lineare l'espressione del beneficio $B(W_T)$ collegato al prelievo della quantità annua target di risorsa W_T è dato dall'area sottesa dal tratto lineare della curva, più un beneficio, che non viene quantificato perché, come si vedrà, non entra in gioco nelle valutazioni sul danno se i deficit si mantengono all'interno del range di linearità della relazione domanda – prezzo, ma che indichiamo con $B(W_{min})$:

$$B(W_T) = (W_T - W_{min}) * (1 - L(t)) * (P_{max} + P_T) / 2 + B(W_{min})$$

Il beneficio collegato al consumo di risorsa $W > W_{min}$ e $< W_T$ è dato da

$$B(W) = [P_{max} + P_T + (P_{max} - P_T)/(W_T - W_{min}) * (W_T - W)] * (W_T - W) / 2 + B(W_{min})$$

Secondo la (6.6) il danno collegato al deficit Def è dato da:

$$B(Def) = B(W_T) - B(W)$$

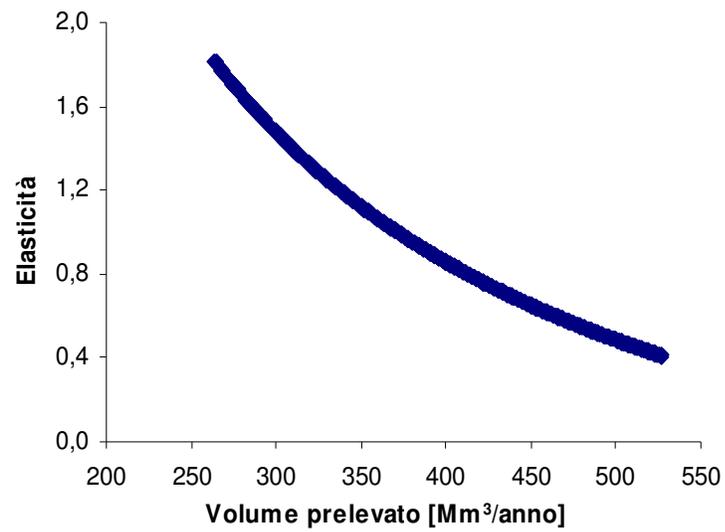


Figura 4 – Andamento dell'elasticità della domanda al prezzo per una specificazione lineare della curva della domanda di acqua potabile.

6.3 Valutazione della distribuzione di probabilità dei deficit

In un sistema idrico complesso la (6.5), che fornisce il valore del danno atteso in un certo anno t caratterizzato da un prelievo target dalle risorse $W_T(t)$ e da un livello di perdite $L(t)$, viene integrata numericamente, simulando le erogazioni ai diversi centri di domanda del sistema sotto un certo input idrologico e sotto assegnate regole gestionali.

In termini generali, quindi, la valutazione del rischio atteso richiede la elaborazione di un modello di simulazione del sistema il cui grado di dettaglio e complessità deve essere commisurato al tipo di fenomeno che si desidera descrivere.

E' altresì opportuno evidenziare che, ai fini della valutazione del rischio, è essenziale effettuare simulazioni Montecarlo che permettano di determinare numericamente la distribuzione di probabilità delle erogazioni.

Lo sviluppo di un modello dettagliato per il sistema dell'approvvigionamento primario dell'ATO Puglia è al di fuori dello scopo di questa tesi. Si può tuttavia formulare un modello più semplice che tenga in conto i principali elementi in grado di determinare il rischio idrologico; tali elementi sono essenzialmente 1) la variabilità idrologica a scala annua delle diverse fonti di approvvigionamento 2) la capacità di regolazione dei serbatoi, 3) la presenza di altre domande in conflitto con quella civile.

La simulazione del sistema a scala sub-annuale, stagionale o mensile, pur essendo sempre auspicabile, diventa veramente importante solamente qualora si desiderino simulare regole operative di dettaglio per il sistema. In molti casi, la simulazione a scala annua può fornire un quadro soddisfacente del livello atteso dei deficit e quindi del rischio.

Per questo lavoro si propone quindi un modello a scala annua che trasforma i deflussi annui in ingresso ai serbatoi e le rese delle sorgenti in disponibilità idriche per il sistema dell'approvvigionamento primario. L'analisi dei dati sulle erogazioni dalle diverse risorse è stata utile per definire quali elementi del sistema necessitano di una modellazione più dettagliata, sempre nei limiti dell'approccio semplificato introdotto più sopra: la tabella 6.2 mostra l'andamento dei prelievi dalle diverse fonti per il periodo 1999 – 2008. I dati 1999 – 2002 sono stati tratti dal Piano di Tutela della Regione Puglia, quelli 2003 – 2008 dal Piano d'Ambito.

Tabella 6.2 – Prelievi [in Mm³] dalle fonti di approvvigionamento dell'Acquedotto Pugliese nel periodo 1999 – 2008 e statistici di base

Fonti idropotabili	Da Piano di Tutela				Da Piano d'Ambito						Media	Coeff. di variazione.	max	min	(max - min) / media
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008					
Sorgenti Caposele e Cassano Irpino	142,0	164,0	148,0	107,0	144,5	163,9	165,9	172,3	132,5	125,9	147	0,14	172	107	45%
Invaso sull'Occhito	62,0	57,0	49,0	48,0	56,6	57,3	58,2	57,3	58,2	56,1	56	0,08	62	48	25%
Invaso Pietra di Pertusillo	111,4	105,7	93,9	95,9	102,1	113,5	113,9	113,3	110,3	107,2	107	0,07	114	94	19%
Falde pugliesi	122,0	126,0	129,0	134,0	109,2	91,0	69,9	64,7	77,0	99,7	102	0,25	134	65	68%
Serbatoio Locone	15,0	18,0	16,0	32,0	32,9	32,1	38,4	36,9	45,8	46,0	31	0,37	46	15	99%
Serbatoio Sinni	123,6	104,3	125,1	107,1	113,1	117,7	131,5	135,7	141,7	128,0	123	0,10	142	104	30%
	576,0	575,0	561,0	524,0	558,4	575,6	577,8	580,2	565,4	562,8	566	0,03	580	524	10%

Nel decennio 1999 – 2008 i dati mostrano:

1. una considerevole variabilità nelle rese delle sorgenti Caposele e Cassano, con uno scarto tra resa annua massima e minima del 45% della resa media del periodo;
2. una crescita praticamente lineare dei prelievi dal serbatoio Locone, probabilmente per effetto di un sottoutilizzo delle acque del serbatoio, che sono in buona parte destinate all'uso irriguo, anche se solo circa 5 Mm³/anno sono attualmente utilizzati a questo scopo: con le acque del Locone risultano infatti irrigati 2.500 ha, ricadenti nel Consorzio di Bonifica Terre D'Apulia. Vale la pena peraltro osservare che, per quanto soggetto a limitazioni di invaso (attualmente 40 Mm³ contro una capacità utile di 105 Mm³), il serbatoio è stato in grado di fornire 46 Mm³/anno (cioè circa il massimo, data la potenzialità del potabilizzatore di 1,5 m³/s) per l'approvvigionamento civile anche in un'annata moderatamente siccitosa quale il 2008. Più in generale, è probabile che l'intero sistema Ofanto, nella parte alimentata dalla traversa Santa Venere, sia usato in modo difforme da quanto previsto. E' questo probabilmente il motivo per cui degli 81,1 Mm³/anno derivati in media dalla traversa Santa Venere (Dati EIPLI 1995 – 2001) attualmente circa 35 Mm³ sono destinati alla diga Marana Capacciotti e gli altri 46 Mm³/anno sono invece recapitati alla diga Locone dove, assieme ai modesti contributi del bacino diretto (stimabili in circa 11 Mm³/anno) costituiscono la disponibilità attualmente utilizzata per gli usi irrigui e civili.
3. Una sostanziale regolarità nei prelievi dal serbatoio Occhito, intorno a 56 Mm³/anno, con eccezione dei due anni siccitosi 2001 – 2002, nei quali le riduzioni nei prelievi registrate sono state di circa il 25% rispetto al valore di riferimento. E' necessario comunque precisare che gli usi civili dall'Occhito costituiscono solamente una parte dei prelievi da questo serbatoio che in origine era stato realizzato prevalentemente, e forse esclusivamente, per uso irriguo. La consistenza delle aree irrigue a valle ed i relativi fabbisogni irrigui sono da accertare, anche nel contesto del sistema di approvvigionamento irriguo del Consorzio della Capitanata che comprende altri tre serbatoi; in ogni caso, stando a dati INEA del 1999, in quell'anno sono stati derivati dal Consorzio della Capitanata a scopo irriguo circa 130 Mm³ dal serbatoio Occhito. Altri dati, riferiti al 2009, (Piano di Gestione del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale) indicano invece un prelievo a scopo irriguo dal serbatoio Occhito di 92,7 Mm³, in diminuzione forse anche per effetto del recente ingresso in esercizio della diga Capaccio sul torrente Celone, da cui sono stati derivati 13,7 Mm³. Il serbatoio, caratterizzato da una elevata capacità utile di regolazione (circa 250 Mm³) è sconta però apporti del bacino diretto (circa 1000 km²) più bassi di quelli previsti la cui media è stimata in circa 160 Mm³/anno.

4. Una variabilità dello stesso ordine di quella registrata sui prelievi dall'Occhito si osserva anche per i due serbatoi del sistema Agri – Sinni; è chiaro tuttavia che, essendo i prelievi dal sistema Agri – Sinni in media circa quattro volte superiori rispetto a quelli dal Fortore, la loro variabilità avrà un impatto molto maggiore sul sistema nel suo complesso;
5. Nonostante la non trascurabile variabilità di tutte le fonti, il prelievo complessivo si mantiene molto costante, come già rilevato nel capitolo 1: questo viene ottenuto sfruttando la gestione congiunta del sistema delle fonti superficiali e di quelle di falda: annate critiche per le sorgenti Caposele e Cassano, quali l'*annus horribilis* 2002 ma anche il biennio 2007- 2008, sono state affrontate incrementando notevolmente i prelievi dalla falda, che tuttavia è, come si è detto, sovrasfruttata. Non appena le maggiori disponibilità delle fonti superficiali lo hanno permesso, come negli anni dal 2003 al 2006, i prelievi dalla falda sono stati ridotti, anche drasticamente (praticamente quasi dimezzati nelle annate favorevoli rispetto al decennio precedente), salvo che nel 2008 dove la fallanza di altre fonti superficiali quali il serbatoio Monte Cutugno (i cui prelievi sono stati incrementati notevolmente negli anni successivi al 2002, come del resto è successo col serbatoio Locone) ha reso necessario incrementare nuovamente i prelievi dalla falda.

Queste considerazioni portano a formulare le seguenti scelte nella modellazione del sistema:

1. data la loro considerevole capacità, l'elevata entità dei prelievi e la loro relativamente significativa variabilità lungo gli anni, si è deciso di effettuare una simulazione di esercizio a scala annua dei serbatoi Pertusillo e Monte Cutugno, secondo le modalità e le ipotesi che saranno descritte in seguito;
2. verranno considerati due scenari diversi per il serbatoio Occhito e per il Locone: nel primo (Scenario A), tenendo conto che il prelievo per usi civili, da quando si è consolidato, si è mantenuto praticamente costante, si trascura la variabilità nell'offerta idrica dei serbatoi, dato che le disponibilità idriche in questi serbatoi sono sicuramente idonee a soddisfare i livelli attuali di domanda. Nel secondo scenario (scenario B), invece, si tiene conto del fatto che il prelievo per uso civile si sovrappone a consistenti domande irrigue che o non vengono soddisfatte o vengono soddisfatte sovrasfruttando la falda. Si ipotizza pertanto di considerare il prelievo civile come "residuo" rispetto a quello irriguo, secondo le modalità che vengono descritte in dettaglio nel seguito. Si tratta di due scenari estremi, nel senso che entrambi non tengono conto dell'equilibrio economico nell'allocazione delle risorse per i due usi diversi, equilibrio che si ottiene ripartendo le risorse nelle quantità che rendono

- uguali i benefici marginali netti collegati ai due usi (capitolo 7).
3. viene modellata la variabilità delle sorgenti Caposele e Cassano;
 4. le falde intervengono nel bilancio idrico secondo i volumi indicati, per il periodo 2008 – 2018, nella tabella 4.27 del Piano d'Ambito.

6.3.1 Il modello della variabilità idrologica

La stima di una distribuzione di probabilità dei deficit presuppone l'uso di metodi Monte Carlo per la simulazione delle disponibilità idriche alle diverse fonti.

Il processo del deflusso superficiale in una regione di ampiezza relativamente limitata quale quella su cui insistono le fonti di approvvigionamento del sistema pugliese è, in generale, un processo aleatorio multivariato (esiste cioè una correlazione significativa tra le disponibilità delle diverse risorse in un certo passo temporale) e che localmente può pure essere correlato serialmente (esiste cioè una correlazione tra deflussi in un passo temporale e quelli nel passo temporale precedente). In mancanza di ulteriori, decisive evidenze, si ipotizza inoltre che il processo delle disponibilità a scala annua sia un processo stazionario, cioè non esistono trend significativi di lungo periodo in direzione di un aumento o riduzione delle disponibilità idriche.

L'idrologia stocastica fornisce gli strumenti per effettuare le simulazioni Montecarlo necessarie per la valutazione del rischio (Salas, 1993). La procedura è

1) generare un numero elevato di realizzazioni \mathbf{Y}_i del processo aleatorio che rappresenta il deflusso al passo temporale i -esimo delle fonti di approvvigionamento. \mathbf{Y}_i è, in pratica, un vettore di deflussi nei siti di interesse nel passo temporale i -esimo della simulazione.

Si osservi qui come sia stata introdotta una distinzione tra l'indice "t" che è riservato al progredire degli anni nel processo "dinamico" di variazione dell'offerta e della domanda per effetto della riduzione delle perdite e l'ingresso in esercizio di nuovi impianti (si veda il paragrafo 2.1), e l'indice "i" che è invece relativo alla dimensione "statica" della variabilità idrologica che coinvolge in egual modo tutti gli anni di tipo "t".

Per tale motivo si cercherà sempre di parlare di "anno t-esimo" e di "passo temporale i-esimo" in modo da sottolineare il fatto che a t è associato un anno "reale" (p.e. il 2010, il 2015 oppure l'anno "3" dall'inizio effettivo delle azioni previste dal PdA) mentre i è un passo temporale che serve per simulare la variabilità in un certo anno t.

2) introdurre il vettore \mathbf{Y}_i (uno per ogni passo temporale) nel modello (che contiene i dati sulle domande per i diversi usi, le capacità utili dei serbatoi, etc.) che lo trasforma in erogazioni per i centri di domanda.

In questo lavoro vengono generati 1500 anni di deflusso nei siti in cui si modella la variabilità idrologica (sorgenti, fiume Agri alla diga Pertusillo e fiume Sinni alla diga Monte Cutugno, nello scenario B anche il fiume Fortore alla diga Occhito ed i volumi captati alla traversa Santa Venere ed i deflussi diretti al serbatoio Locone); questi deflussi, opportunamente trasformati dal modello di simulazione di cui si parlerà nel seguito, forniscono una serie di 1500 valori di disponibilità idriche per il sistema di approvvigionamento primario pugliese, sufficienti per una adeguata valutazione della distribuzione di probabilità dei deficit.

Per un sistema idrico con n siti di cui si desidera simulare la variabilità idrologica a scala annua, un modello abbastanza generale per la generazione dei deflussi è il seguente:

$$\mathbf{Z}_i = \mathbf{A}_1 \mathbf{Z}_{i-1} + \mathbf{B} \boldsymbol{\varepsilon}_i - \mathbf{C}_1 \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} \quad (6.13)$$

In cui

$\mathbf{Z}_i = \mathbf{Y}_i - \boldsymbol{\mu}$, essendo $\mathbf{Y}_i = [Y_{1i}, Y_{2i}, \dots, Y_{ni}]^T$ e $\boldsymbol{\mu} = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n]^T$ il vettore dei deflussi al passo i -esimo (in Mm^3/anno) e delle medie di lungo periodo (pure in Mm^3/anno) ai siti $1, 2, \dots, n$;

\mathbf{A}_1 , \mathbf{B} e \mathbf{C} sono matrici quadrate $n \times n$ di parametri che contengono informazioni sulla struttura temporale del deflusso al sito j -esimo (\mathbf{A}_1 e \mathbf{C}), e sulla struttura spaziale della correlazione tra i deflussi nei diversi siti ad un certo passo temporale (\mathbf{B})

$\boldsymbol{\varepsilon}_i$ è una variabile aleatoria distribuita normalmente e standardizzata, cioè con media 0 e varianza unitaria.

La generazione avviene estraendo ($I \times n$ numeri casuali distribuiti uniformemente nell'intervallo $[0, 1]$: I sono i passi temporali che si desidera simulare – p.e. 1500 oppure 50 serie da 30 anni ciascuna, ed n è il numero di siti in cui si intende simulare il deflusso.

A tali variabili casuali corrispondono altrettanti valori di $\boldsymbol{\varepsilon}_i$, la variabile normale standardizzata. Partendo da un valore $\mathbf{Z}_0 = \mathbf{0}$ e considerando che i primi valori sono di warm-up, cioè non saranno considerati nella serie utilizzata nelle simulazioni del sistema, usando la (13) si può generare una serie di $\mathbf{Z}_i = [Z_{1i}, Z_{2i}, \dots, Z_{ni}]$.

Per ogni sito, il valore effettivo del deflusso Y_i è dato da:

$$\mathbf{Y}_i = \boldsymbol{\mu} + \mathbf{Z}_i \boldsymbol{\sigma} \quad (6.14)$$

in cui $\boldsymbol{\sigma} = [\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n]$ è il vettore delle deviazioni standard dei deflussi annui in ciascun sito.

La (14) vale quando la distribuzione marginale dei deflussi in ciascun sito è normale o può essere ricondotta ad una distribuzione normale tramite opportune trasformazioni (Box – Cox).

Per l'applicazione del modello sopra descritto è quindi necessario:

- a) fare un'ipotesi sulla distribuzione di probabilità marginale dei deflussi e verificarla tramite test statistici;

- b) analizzare la struttura spaziale di correlazione tra i deflussi delle diverse fonti;
- c) analizzare la struttura della dipendenza seriale che lega il deflusso di un anno a quello degli anni precedenti (funzioni di autocorrelazione).

In merito al punto a) si è scelto di utilizzare una distribuzione lognormale a due parametri per il deflusso annuo dei fiumi Agri e Sinni alle dighe Pertusillo e Monte Cutugno ed una distribuzione normale per le sorgenti Cassano e Caposele. Queste ipotesi sono state verificate con test statistici (PPCC test, Stedinger et al., 1993) usando la serie 1983 – 2005 dei volumi in ingresso ai due serbatoi ricavati in occasione del PRIN 2005 “*Modelli di supporto alle decisioni nella gestione di sistemi idrici in condizioni di carenza idrica*”. Certamente la disponibilità di dati sulle sorgenti Caposele e Cassano precedenti il 1999 risulterebbe molto utile per migliorare l’affidabilità delle stime dei parametri. Infine, per il fiume Fortore alla diga Occhito, ci si è basati sul dato medio di deflusso annuo di 160 Mm³ ed una deviazione standard delle trasformate logaritmiche $\sigma_y = 0,7$ che è il dato regionale di deviazione standard riportato nel Piano di Tutela delle Acque (Regione Puglia, 2006). Anche per gli altri siti in cui si è simulata la variabilità idrologica (si veda cap. 5) sono stati utilizzati i modelli proposti nel Piano di Tutela delle Acque.

Per quanto riguarda i punti b) e c) non è stata analizzata né la correlazione tra i deflussi alle diverse fonti di approvvigionamento né la struttura di autocorrelazione dei deflussi delle diverse fonti di approvvigionamento. Ciò significa che il modello (13) diventa più semplicemente:

$$Y_{1i} = \exp(\mu_{y1} + \varepsilon_i \sigma_{y1}), Y_{2i} = \exp(\mu_{y2} + \varepsilon_i \sigma_{y2}), Y_{3i} = \mu_3 + \varepsilon_i \sigma_3, Y_{4i} = \exp(\mu_{y4} + \varepsilon_i \sigma_{y4})$$

Dove il pedice “1” si riferisce ai deflussi del fiume Agri alla diga Pertusillo, il pedice “2” ai deflussi del fiume Sinni al serbatoio Monte Cutugno, il pedice “3” alle rese delle sorgenti Calore e Cassano Irpino ed il pedice “4” ai deflussi del fiume Fortore alla diga Occhito.

Si osservi che, per quanto non sia esplicitamente modellata, la correlazione tra i deflussi al tempo i -esimo tra le diverse fonti di approvvigionamento è garantita dal fatto che, in un certo anno i , la variabile ε_i è la stessa per tutte e tre le fonti di approvvigionamento: nel complesso, questa metodologia dovrebbe essere cautelativa nei riguardi della valutazione del rischio, dato che deflussi molto alti che si verificano contemporaneamente non giocheranno molto nelle valutazioni perché provocano sfiori nei serbatoi, mentre eventi siccitosi anche severi con questo metodo si verificano contemporaneamente e stressano il sistema in modo particolare.

In ogni caso la struttura spaziale del deflusso può essere analizzata solo avendo a disposizione serie storiche di lunghezza adeguata, per cui si rende necessario acquisire la serie storica dei volumi prodotti dalle sorgenti Caposele e Cassano e, se si desidera mettere in conto la variabilità dei deflussi in arrivo ai serbatoio Occhito e Locone, anche la serie storica dei deflussi del fiume Fortore.

Infine, per quanto attiene l’autocorrelazione, analisi preliminari condotte in occasione del citato PRIN 2005 hanno mostrato che i deflussi annui del Sinni

alla diga Monte Cutugno possono ritenersi serialmente indipendenti, mentre i deflussi annui dell'Agri alla diga Pertusillo risultano correlati e sembrano adattarsi ad un processo di tipo AR(1) con coefficiente di autocorrelazione pari a 0,44. Infine, data la notevole portata delle sorgenti Caposele e Cassano Irpino e le caratteristiche geologiche delle sorgenti, è probabile che anche le loro rese annue mostrino una correlazione significativa con i valori precedenti. Anche questo tema può essere approfondito solamente avendo a disposizione una serie di rese annue delle sorgenti sufficientemente lunga (almeno trent'anni).

6.3.2 Il modello semplificato del sistema idrico dell'approvvigionamento primario

I deflussi generati alle fonti di approvvigionamento la cui variabilità si ritiene che impatti in modo più significativo sull'intero sistema, assieme ai prelievi dagli altri serbatoi (p.e. Conza) ritenuti costanti e dalla falda, contribuiscono a formare l'intera offerta di risorsa idrica per l'ATO Puglia.

Questa disponibilità idrica totale per ogni passo della simulazione potrebbe essere in prima battuta confrontata con la domanda target $T(t)$ all'anno t -esimo in modo da ricavare la distribuzione cumulata dei deficit all'anno t -esimo.

Questo modo di procedere è legittimo qualora valga l'ipotesi che il sistema idrico dell'approvvigionamento primario dell'ATO Puglia sia perfettamente interconnesso, ed è quindi possibile considerare il bacino di utenza dell'intero ATO come un unico centro di domanda. Ed in effetti, la struttura del sistema, con il "canale principale" concepito per il servizio dell'intera regione, al quale si sono andati aggiungendo e sovrapponendo nel tempo gli schemi complementari, fa sì che questa ipotesi possa ritenersi valida.

E tuttavia, sommare in ogni passo della simulazione le disponibilità alle diverse fonti trascurando le capacità di invaso dei serbatoi del sistema, almeno quelle principali (si tratta di circa 560 Mm^3 , cioè dello stesso ordine di grandezza del prelievo complessivo per l'intero ATO in un anno, se si considerano solo le capacità utili dei serbatoi Pertusillo e Monte Cutugno, ma diventano 820 Mm^3 se si considera pure la capacità del serbatoio Occhito), appare poco realistico e porta a risultati fin troppo cautelativi.

Conseguentemente, anche sulla scorta dei dati di tabella 6.2 e dei ragionamenti scaturiti dalla lettura dei dati di esercizio dell'ultimo decennio, si è deciso di considerare due scenari diversi: uno scenario A in cui viene simulato l'esercizio a scala annua solamente dei due serbatoi Pertusillo e Monte Cutugno, ed uno scenario B, in cui viene simulato l'esercizio a scala annua di tutti e quattro i serbatoi principali del sistema: il Pertusillo, il Monte Cutugno, l'Occhito ed il Locone.

Ciò significa valutare per ogni passo temporale e per ciascuno dei due (o quattro) serbatoi l'equazione:

$$S_i^j = S_{i-1}^j + I_i^j - Er_{civ_Aq}P_i^j - Er_{civ_altro}^j - Eirr_j^j - L_i^j \quad (6.15)$$

Con $S_i^j \geq 0, S_i^j \leq K_i^j$ $i = 1, \dots, N_{periodi}; j = 1 \dots 4$

Dove

- S_i è il volume invasato al passo temporale i -esimo,
- S_{i-1} è il volume invasato al passo temporale $(i-1)$ -esimo,
- I_i è il volume in ingresso (generato col modello descritto al par. 6.3.1)
- $Er_{civ_AqP_i}$ e $Er_{civ_altro_i}$ sono i volumi erogati nell'intero passo temporale i -esimo dal serbatoio per scopo civile verso l'ATO e verso altri sistemi acquedottistici,
- E_{irr_i} è il volume destinato per uso irriguo
- L_i sono le perdite (per evaporazione e per Deflusso Minimo Vitale)
- K è la capacità utile di regolazione del serbatoio

Partendo da un volume iniziale di invaso pari a 0, la regola operativa principale, molto cautelativa dal punto di vista della valutazione del rischio, è di soddisfare con l'acqua disponibile (quella invasata e quella in arrivo) per quanto possibile prima tutte le utenze esterne all'Acquedotto Pugliese e poi quelle dell'AqP.

Nel seguito vengono descritti i singoli passi della procedura di simulazione:

NELLO SCENARIO A (la variabilità idrologica e la regolazione dei serbatoi Occhito e Locone non vengono analizzate):

1. Per ogni passo temporale viene prima determinata la *domanda* complessiva ad entrambi i serbatoi da parte del sistema dell'ATO Puglia, come differenza tra il target di prelievo $T(t)$ all'anno t e la somma delle erogazioni/rese da tutte le altre fonti di approvvigionamento, indicate qui col loro nome:

$$\begin{aligned}
 Dom_i^{(M.te\ Cutugno + Pertusillo)} &= Dom_{civ_AqP_i}^{(M.te\ Cutugno)} + Dom_{civ_AqP_i}^{(Pertusillo)} \\
 &= T(t) - (ResaSorgenti_i + Locone_i(t) + Occhito_i(t) + Falda_i(t) \\
 &\quad + San_Paolo_i(t) + Conza_i(t)) \quad (6.16)
 \end{aligned}$$

2. La domanda complessiva ai due serbatoi viene prima confrontata con il volume disponibile all'inizio dell'anno i -esimo, S_{i-1} , più il volume in ingresso in entrambi i serbatoi meno le perdite e tutti gli altri prelievi esterni all'ATO che, come detto, si è deciso cautelativamente di ipotizzare soddisfatti per intero, ovviamente per quanto possibile dalle disponibilità dei serbatoi. Si valuta l'espressione:

$$\sum_{j=1}^2 (S_{i-1}^j + I_i^j - L_i^j - Er_{civ_altro_i}^j - Er_{irr_i}^j) \geq Dom_i^{M.teCutugno+Pertusillo} \quad (6.17)$$

Dove $j = 1$ è il serbatoio Monte Cutugno e $j = 2$ è il serbatoio Pertusillo. Se la (6.17) è soddisfatta, la domanda viene ripartita egualmente tra i due serbatoi:

$$Dom_i^j = Dom_{civ_AqP_i} / 2 \quad j = 1, 2; i = 1, \dots, N_{passi}$$

Se non è soddisfatta, i serbatoi (o uno dei due) vengono svuotati nel tentativo di soddisfare per quanto possibile la domanda:

$$Dom_i^j = S_{i-1}^j + I_i^j - Dom_civ_altro_i^j - L_i^j - Dom_irr_i^j \quad j = 1, 2; i = 1, \dots, N_passi$$

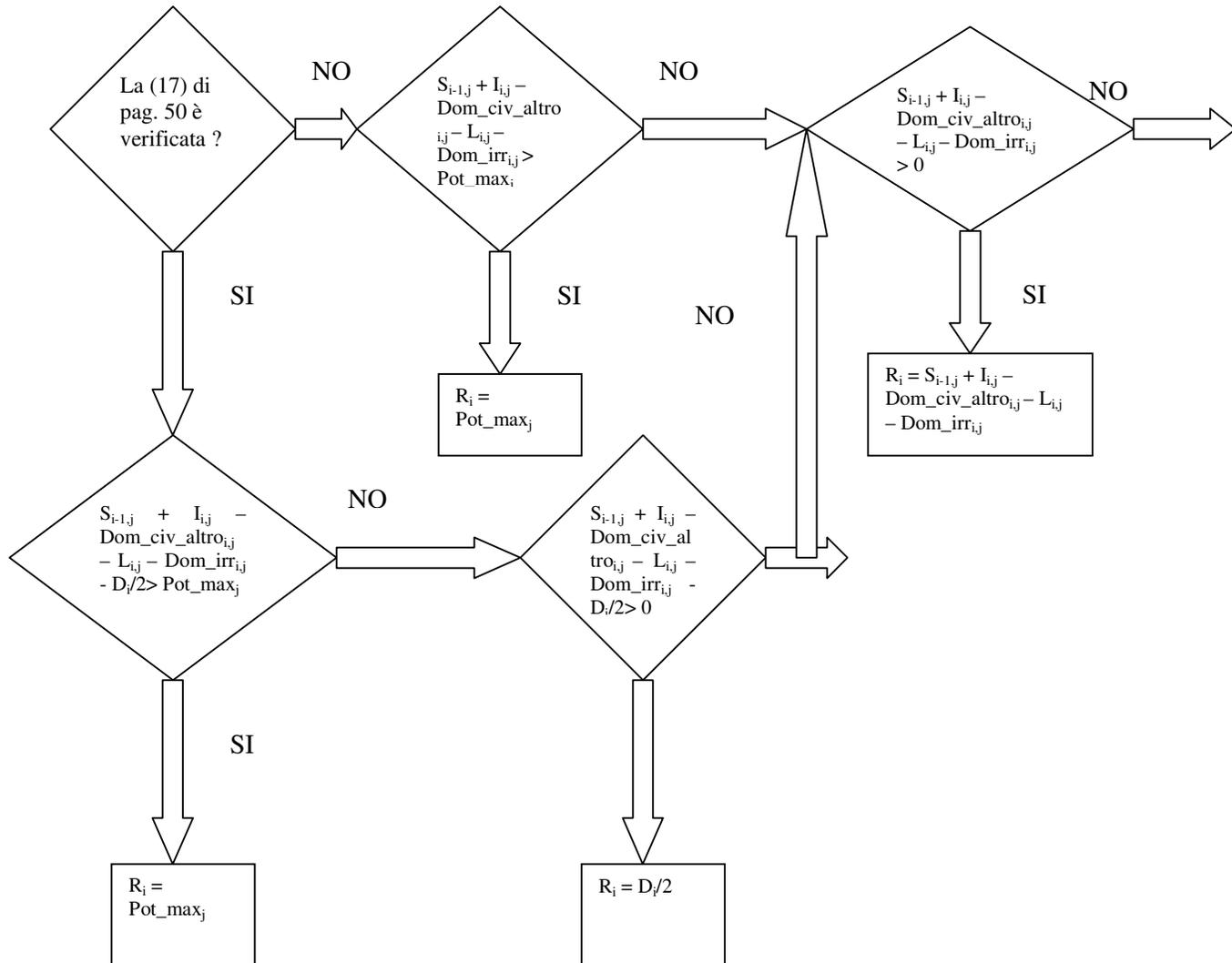
3. Non è detto comunque che questi valori di domanda ai due serbatoi possano trasformarsi in erogazioni effettive: i valori fattibili di erogazione dai serbatoi per uso civile sono infatti vincolati dalla capacità massima del sistema di potabilizzazione e trasporto a valle dei due serbatoi, che indicheremo con Pot_max . Invece di valutare tali capacità sulla base delle portate di punta trattabili, si fa qui riferimento ai dati operativi per il periodo 1994 – 2008 per concludere che il volume massimo derivabile dal serbatoio Monte Cutugno è di 140 Mm³/anno (corrispondente a 4,4 m³/s in portata continua) e quello derivabile dal serbatoio Pertusillo è di 114 Mm³/anno (corrispondente a 3,6 m³/s in portata continua). Colloqui col personale dell'AqP ha rivelato tra l'altro che il vero fattore limitante non è la potenzialità del potabilizzatore, ma piuttosto la capacità di trasporto delle condotte.

Quindi se $Dom_i^j \leq Pot_max^j \rightarrow Erog_i^j = Dom_i^j$, altrimenti $Erog_i^j = Pot_max^j \quad j = 1, 2; i = 1 \dots N_passi$.

4. Infine, è necessario verificare che i prelievi dai due serbatoi non superino mai la domanda al sistema Agri -Sinni. A tal scopo, viene imposta la condizione che il prelievo dal serbatoio Pertusillo non sia mai superiore alla differenza tra la domanda al sistema Agri-Sinni ed il prelievo dal serbatoio Monte Cutugno.

La figura 5.5 illustra il diagramma di flusso per la valutazione dei prelievi dai due serbatoi nel generico passo temporale i -esimo.

Figura 6.5 Diagramma di flusso per la valutazione dei prelievi dai due serbatoi del sistema Agri - Sinni



NELLO SCENARIO B (viene considerata la variabilità idrologica e la regolazione dei serbatoi Occhito e Locone)

L'equazione (15) di bilancio del serbatoio Occhito viene scritta per ogni passo temporale i . La regola gestionale è che il prelievo irriguo (di $92 \text{ Mm}^3/\text{anno}$) venga soddisfatto per primo, per quanto possibile date le risorse nel serbatoio ($S_{i-1} + I_i - L_i$) e poi venga soddisfatta in modo residuo la domanda annua. Se la disponibilità idrica è superiore alla domanda irrigua + quella civile, il volume invasato aumenta, fino alla capacità utile di regolazione, pari a 250 Mm^3 . In uscita dalla simulazione di esercizio del serbatoio Occhito si ottiene una serie di volumi annui "Occhito $_i$ " che, a differenza di quelli che compaiono nella (16) non sono costanti, ma dipendono dalla variabilità idrologica.

Nel caso del serbatoio Locone, i volumi in ingresso al serbatoio sono la somma di quelli provenienti dal bacino diretto + quelli in arrivo dalla traversa Santa Venere. Sono disponibili, dalla parte dello Studio di Fattibilità sul Bilancio Idrico – Potabile dedicata all'idrologia, i parametri della distribuzione di probabilità dei volumi invernali dell'Ofanto captabili dalla traversa Santa Venere, tenendo già conto della massima capacità di derivazione della traversa ($16 \text{ m}^3/\text{s}$) e degli usi a monte futuri (p.e. i volumi invasabili nel serbatoio di Conza). I volumi annui derivati da Santa Venere vengono poi ridotti di un terzo per tenere conto dell'aliquota di volume destinata al serbatoio Marana – Capacciotti.

Anche nel caso del serbatoio Locone la regola è di soddisfare prima gli usi irrigui ($5 \text{ Mm}^3/\text{anno}$) e quindi quelli per uso civile.

I parametri idrologici, tecnici e di domanda utilizzati per le simulazioni sono riportati nella tabella 6.1 del capitolo 6.

Qualche altra annotazione sulle procedura utilizzata:

1. Nell'anno 8 del programma di attuazione del PdA è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo, che tratterà 15 Mm^3 aggiuntivi provenienti dal serbatoio Monte Cutugno: rimane valida l'impostazione della valutazione della domanda ai due serbatoi come parte del target non soddisfatta dalle altre fonti. In questo schema di calcolo, il potabilizzatore San Paolo entra in gioco, fino alla sua massima potenzialità di $15 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, qualora la capacità di trattamento dell'impianto del Sinni è inferiore alla domanda potenziale sopra determinata. Le equazioni si modificano di conseguenza.
2. Il volume complessivamente prelevato dalle risorse del sistema, WA_i , al passo temporale i -esimo è dato quindi da:

$$WA_i = (\text{ResaSorgenti}_i + \text{Locone}_i + \text{Occhito}_i + \text{Falda}_i + \text{Conza}^*_i + \text{Erog}_i \\ (\text{Pertusillo}) + \text{Erog}_i^{(\text{M.te Cutugno})} + \text{Erog}^{**}_i^{(\text{San Paolo})}) \quad i = 1, 2, \dots, N_{\text{passi}}$$

*si prevede che il potabilizzatore di Conza entri in esercizio nel sesto anno di attuazione delle previsioni del PdA

** si prevede che il potabilizzatore di San Paolo entri in esercizio nell'ottavo anno di attuazione delle previsioni del PdA

3. La capacità utile dei serbatoi Monte Cutugno e Pertusillo è stata ridotta per tenere in conto il fatto che alla fine di un'annata idrologica, anche abbondante, non si può avere uno sfioro, visti i forti prelievi estivi per uso irriguo. La capacità massima di regolazione è stata ridotta del volume equivalente al prelievo nei mesi estivi. Anche questo modo di procedere è evidentemente a favore di sicurezza nella valutazione del rischio.

Nel complesso, la procedura è quindi da considerare come molto cautelativa nei confronti della valutazione del rischio; cioè è dovuto:

- alla regola operativa standard adottata nella regolazione dei serbatoi del sistema (soddisfare il target per quanto possibile senza nessuna politica di *hedging*, cioè di limitazione dei prelievi per conservare l'acqua invasata);
- alla regola "estrema" di priorità di soddisfare per quanto possibile tutti gli usi non civili ed esterni all'ATO Puglia prima di quelli dell'ATO;
- alla riduzione della capacità utile dei serbatoi per tenere conto del fatto che, a scala annua, un serbatoio con forti prelievi per il settore irriguo come tutti quelli del sistema, non può trovarsi pieno alla fine della stagione irrigua (cioè all'inizio dell'anno idrologico);
- alla non linearità dei costi scarsità coi deficit.

Tutti questi elementi fanno sì che il danno valutato possa essere molto maggiore di quanto in effetti non si verificherebbe implementando semplici regole operative e di ripartizione dei deficit tra i diversi usi.

6.4 Valutazione degli interventi

6.4.1 Classificazione degli interventi integrativi proposti

Gli interventi integrativi proposti si possono suddividere in due grosse categorie:

- interventi che producono un incremento di risorsa;
- interventi che migliorano la flessibilità gestionale del sistema (aumentando la ridondanza dei collegamenti, riducono i disagi legati a fuori servizio programmati e non programmati di alcune linee acquedottistiche).

Tra i primi ricadono:

1. l'intervento di dismissione della centrale elettrica di Castrocuoco per derivare le portate al serbatoio Monte Cutugno;
2. il collegamento tra il serbatoio Ponte Liscione ed il serbatoio Occhito;
3. Completamento e ripristino delle opere relative alla traversa sul fiume Sauro;
4. il collegamento tra il sistema Basento-Bradano ed il serbatoio Locone (collegamento vasca di Marascione – serbatoio del Locone);
5. il collegamento invaso del Rendina – invaso Locone;
6. il collegamento tra il serbatoio San Giuliano e l'acquedotto del Sinni.

I secondi comprendono invece:

1. la realizzazione dell'acquedotto Locone II lotto,
2. il raddoppio dell'acquedotto del Sinni;
3. la costruzione dell'acquedotto Sinni potabile (I lotto);
4. il collegamento tra sistema Fortore e sistema Ofanto

Gli interventi possono anche essere classificati per il sistema idrico su cui insistono:

Sistema Fortore

- collegamento tra il serbatoio Ponte Liscione ed il serbatoio Occhito
- collegamento tra il sistema Ofanto ed il sistema Fortore

Sistema centrale (Ofanto)

- il collegamento tra il sistema Basento-Bradano ed il serbatoio Monte Locone (collegamento vasca di Marascione – serbatoio del Locone);

- il collegamento invaso del Rendina – invaso Locone
- la realizzazione dell'acquedotto Locone (II lotto)

Sistema meridionale (Agri – Sinni)

- Dismissione della centrale di Castrocucco
- Completamento e ripristino traversa sul Sauro;
- Raddoppio dell'acquedotto Sinni

Da un esame di insieme degli interventi, essi sembrano diretti fondamentalmente a conseguire una maggiore “distrettualizzazione” dell’approvvigionamento primario, polarizzando i centri di domanda tra il sistema Settentrionale e Centrale (che vengono sempre più collegati) e quello meridionale, pur mantenendo l’elevato grado di interconnessione che caratterizza il sistema nel suo complesso. Mentre l’intervento di integrazione delle risorse del serbatoio Occhito si configura quasi come un intervento a parte, ed appare come una forma di ristoro per una risorsa inizialmente concepita per uso irriguo e che adesso fornisce in maniera praticamente stabile circa 55 Mm³/anno al settore civile, gli interventi sul sistema centrale e quello meridionale sembrano rivolti ad accentuare l’autonomia negli approvvigionamenti delle due aree ed a polarizzare ciascun centro di domanda su uno dei due sistemi; i centri di domanda dell’area centrale (cioè la provincia di Bari ed una parte della provincia di Brindisi) verranno così serviti in massima parte dal sistema Ofanto (Locone e successivamente Conza), ed i centri di domanda del sistema meridionale (grosso modo le provincie di Taranto, Lecce e parte delle provincia di Brindisi) saranno approvvigionati in modo esclusivo dal sistema Agri –Sinni.

Gli interventi sono descritti nelle schede di prefattibilità allegate. La tabella 3 riporta invece, per ciascun intervento, una descrizione degli effetti attesi, assieme ad una prima loro quantificazione, ove questa è possibile, ed il valore di costo di investimento stimato e dei costi di esercizio, desunti dalle schede di prefattibilità.

Dove i costi di esercizio non erano esplicitamente indicati (e questo avviene prevalentemente laddove i nuovi interventi non prevedono nuovi sollevamenti) si è stimato un costo di esercizio annuo dell’I per mille del costo a nuovo. Questa stima, certamente da approfondire nelle analisi successive, è stata inserita per completezza.

Per gli interventi, infatti, che consentono un incremento delle disponibilità, un primo indicatore costi – efficacia è

$$CU = \frac{C + OM}{VOL}$$

In cui C è il costo annuo dell’investimento ammortizzato, OM è il costo di gestione (entrambi in M€/anno) e VOL è il volume medio annuo incrementale prodotto dall’investimento (in Mm³/anno). CU è quindi il costo a m³ dell’investimento.

Si tratta di un indicatore costi – efficacia perché si ipotizza che il m³ prodotto da ciascun intervento abbia sostanzialmente lo stesso effetto.

Per ricondurre il costo di investimento ad un costo annuo è stato utilizzata la seguente espressione:

$$C = CI * i * (1+i)^{n-1} / [(1+i)^n - 1]$$

Dove CI è il costo di investimento in M€, concentrato in un anno iniziale, i è il tasso di interesse ed n è a vita utile dell'opera. Il parametro n può risultare inferiore alla vita utile dell'opera, quando l'opera stessa cessa di essere utilizzata. E' il caso, per esempio, delle opere per il trasferimento dal sistema Basento – Bradano al serbatoio Locone, il cui esercizio durerà fino all'attrezzaggio di alcuni distretti irrigui ancora non finanziati, il cui ingresso in funzione può cautelativamente porsi pari a 10 anni.

Seguono altre annotazioni sui dati riportati in tabella:

Il progetto di utilizzo delle acque del serbatoio Cogliandrino a scopo civile prevede il rilascio delle portate nell'alveo del fiume Sinni. A fronte di un costo di investimento nullo, il costo di esercizio è dato dal pagamento al Gestore Idroelettrico della mancata produzione di energia elettrica. Per la valutazione di tale costo si è fatto riferimento a quanto stabilito nella "Convenzione per il rilascio delle acque invase nel serbatoio di Masseria Nicodemo o Cogliandrino nel fiume Sinni" dell'Ottobre 2002 tra ENEL produzione SpA e la Regione Basilicata, in cui il valore della mancata produzione era fissato in 0,071 €/m³.

Tale valore è stato aggiornato in questo lavoro al 2010, sulla base del tasso medio di inflazione rilevato dall'ISTAT nel periodo 2002 – 2010 (2,2 % all'anno) e risulta quindi pari a 0,085 €/m³. Il valore riportato in tabella fa riferimento ad un'ipotesi di rilascio in alveo di 50 Mm³/anno, ma nel seguito dello studio saranno esaminati altri scenari..

Interventi sul sistema centrale

Con questi interventi, il serbatoio Locone diventa il centro di importanti trasferimenti di risorsa (circa 47 Mm³/anno). E' tuttavia necessario rilevare che in questo momento la capacità utile del serbatoio è limitata a circa 40 Mm³, anche se il Gestore ha già avanzato istanza al Registri Italiano Dighe per essere autorizzato ad aumentare il livello di invaso fino al raggiungimento di una capacità utile di 65 Mm³.

A differenza del serbatoio Occhito, non risultano però significativi prelievi per uso irriguo dal serbatoio: da dati del CdB Terre d'Apulia, che lo gestisce (Mastropiero, G., "La qualità delle acque in agricoltura – seminario INEA, Febbraio 2010) il serbatoio approvvigiona i due distretti di Minervino Alto e Loconia, nei quali gli ettari irrigati sono rispettivamente 1.350 e 1.219 e tra le cause del basso grado di utilizzazione delle infrastrutture consortili non viene menzionata la indisponibilità di risorsa idrica.

Ferma restando la necessità di un approfondimento sugli usi non civili presenti e futuri del serbatoio, i trasferimenti di risorse al Locone si inquadrano e prendono significato prevalentemente in uno scenario futuro in cui si verificheranno due eventi: uno, già posizionato dal PdA nel 2013, è l'ingresso in esercizio del potabilizzatore di Conza (per quanto riguarda l'omonimo serbatoio, che l'approvvigiona, sono già in corso gli invasi sperimentali), per un prelievo previsto di 32 Mm³/anno; l'altro, di ben più incerta collocazione

temporale, è il reingresso in esercizio del serbatoio Rendina, ad uso irriguo. Entrambi gli eventi, ed il primo dei due sicuramente con maggiore sicurezza e consistenza, sono destinati a mutare le disponibilità idriche serbatoio del Locone: il primo infatti ridurrà i volumi derivabili a Santa Venere ed il secondo sottrarrà al Locone una parte dei volumi derivati a Santa Venere.

Nella situazione presente, invece, i trasferimenti di risorse verso il serbatoio Locone oggetto delle ipotesi progettuali troverebbero una capacità di invaso inadeguata ad accogliere le risorse in arrivo e soprattutto una potenzialità del potabilizzatore già saturata, in modo praticamente indipendente dalla variabilità idrologica, con le risorse attualmente disponibili.

6.4.2 Valutazione degli interventi

Il capitolo 2 ha mostrato come, a fronte di una relativa semplicità nella valutazione dei costi finanziari del progetto (eventualmente trasferibili nell'analisi economica attraverso i fattori di conversione), il vero *tour de force* richiesto al valutatore è la individuazione e la stima dei benefici che il progetto è in grado di generare.

Per interventi simili a quelli oggetto della presente analisi, oltre ai benefici scaturenti da eventuali costi evitati (per esempio la non sussistenza della necessità di effettuare sollevamenti grazie alla nuova opera), le tipologie di beneficio generate sono essenzialmente due: 1) benefici legati all'incremento di affidabilità del sistema di approvvigionamento primario da un punto di vista idrologico (aumentando le quantità di risorse diminuisce il rischio di carenza idrica per siccità) e 2) benefici legati ad un incremento dell'affidabilità del sistema da un punto di vista gestionale: tali interventi infatti o aumentano il livello di ridondanza del sistema e consentono quindi il vettoriamento della risorsa anche in presenza di fuori servizio programmati e non programmati di alcune linee di trasporto, oppure migliorano la capacità di trasporto di alcune linee acquedottistiche e possono quindi contribuire alla riduzione di deficit stagionali legati a punte di domanda.

Pur scaturendo da una stessa causa (un'interruzione o una riduzione del livello di servizio determina un disagio legato ad una mancata disponibilità di risorsa idrica che viene misurato dalla disponibilità a pagare per quella risorsa, quantificata dalla curva della domanda dell'acqua potabile), i due tipi di beneficio saranno valutati in modo leggermente diverso:

1. per la prima tipologia, come illustrato nel capitolo 5, la valutazione del beneficio è effettuata calcolando il valore attuale del danno atteso dovuto a fallanze idrologiche nella configurazione "con intervento" e nella configurazione base, quella cioè senza alcun intervento. Tale beneficio viene poi inserito in un *tableau* di analisi che riporta i costi e i benefici e valuta gli indicatori di performance economica del progetto (vedasi la tabella 7.11 per un esempio di tabella di calcolo);
2. per la seconda tipologia di benefici, sarà utile fare riferimento ad uno scenario in cui è necessaria una lunga interruzione (p.e. sei mesi) del trasporto su di una linea acquedottistica per l'esecuzione di opere di manutenzione.

La classificazione degli interventi introdotta all'inizio del capitolo consente di assegnare il primo tipo di beneficio in modo praticamente esclusivo alla prima tipologia di interventi, cioè quelli rivolti ad un incremento di disponibilità di risorsa. Ci si può invece avvantaggiare della considerazione del secondo tipo di beneficio nella valutazione degli interventi finalizzati al completamento o al raddoppio di linee acquedottistiche.

E' tuttavia necessario evidenziare come, in taluni casi, i due tipi di interventi non siano disgiunti: il beneficio di un intervento che determina un incremento delle disponibilità può non risentirsi se non esistono opere di collegamento adeguate.

Per gli interventi appartenenti alla prima tipologia, la procedura di valutazione condotta per il singolo progetto può essere ripetuta combinando gli interventi in

modo da trovare le combinazioni che azzerano o riducono il più possibile il danno atteso residuo col minimo costo, oppure le combinazioni cui compete il maggiore VAN, non omettendo di considerare il livello di danno residuo.

Gli indici di performance che saranno utilizzati sono il VAN, il rapporto Benefici/Costi ed il Saggio di Rendimento Interno (SRI)

6.2.1 Anno iniziale dell'analisi e durata degli interventi

Nella valutazione dei flussi di cassa, l'anno 1 viene ritenuto coincidente con il 2010 e vengono usati prezzi costanti.

Per quanto attiene la durata di esecuzione degli interventi, che gioca nella distribuzione dei costi di investimento e nel tempo in cui si iniziano a risentire i benefici, si ipotizza che interventi di importo inferiore ai 30 M€ abbiano durata di 4 anni (3anni + 1 anno iniziale per la progettazione definitiva, l'ottenimento delle autorizzazioni, etc.), mentre interventi di importo superiore a 30 M€ abbiano una durata di esecuzione di 6 anni (5 anni + 1 anno iniziale per la progettazione definitiva, l'ottenimento delle autorizzazioni, etc.).

6.2.2. Analisi economica ed analisi finanziaria

Come specificato nella parte metodologica generale, l'approccio classico dell'analisi costi – benefici prevede che gli interventi vengano valutati sia sotto una prospettiva finanziaria (in cui i prezzi degli input sono i prezzi di mercato ed i benefici coincidono con il ricavo della vendita dell'acqua) che sotto una prospettiva economica, in cui i prezzi degli input vengono corretti dalle distorsioni di mercato e i benefici tengono conto di esternalità positive (nel caso specifico di questo studio l'esternalità positiva è il surplus del consumatore).

L'analisi finanziaria negli investimenti pubblici restituisce in genere indicatori negativi, com'è comprensibile vista appunto la natura pubblica dell'investimento, ma è importante per calcolare la componente di finanziamento pubblico da erogare.

Questo studio ha come principale obiettivo di valutare e confrontare diversi investimenti alternativi, al fine di comprendere la sostenibilità economica dei singoli interventi o di loro combinazioni. Gli aspetti collegati alle modalità di finanziamento del singolo progetto appaiono pertanto di limitato interesse in questa fase.

Come si vedrà, peraltro, già gli indicatori economici di alcune alternative risulteranno negativi, cosicché non ha neanche senso riflettere sugli aspetti di sostenibilità finanziaria.

Si è deciso quindi di limitare l'analisi finanziaria ad alcuni interventi, tra i più promettenti dal punto di vista della redditività economica, in modo da rendere più completa l'applicazione della metodologia.

Nell'analisi finanziaria, come prezzo medio dell'acqua è stato usato il valore di 0,85 €/m³. Esso è stato ottenuto a partire dall'articolazione tariffaria per l'ATO Puglia del 2010 (Bollettino Ufficiale Regione Puglia n. 207 24.12.09) e rappresenta il rapporto tra il costo del consumo annuo di acqua di un'utenza domestica "media" (cioè costituita dal numero medio di componenti una famiglia, pari a 2,66 persone, secondo i dati intercensuari 2010 dell'ISTAT) che utilizza una quantità d'acqua pari alla dotazione procapite del PdA (117

€/utenza) ed il volume consumato ($2,66 \cdot 160 \text{ l/ab} \cdot \text{giorno} \cdot 365 = 155 \text{ m}^3/\text{anno}$). Tale prezzo medio contiene anche una quota fissa di 13,94 €/utenza, previsti nell'articolazione tariffaria.

Infine, occorre precisare che la correzione dei costi nell'analisi economica per tenere conto di effetti distorsivi nei mercati degli input non è stata effettuata. Il motivo risiede nel fatto che, come può anche desumersi dalle ACB di alcune grosse linee acquedottistiche (Regione Siciliana, 2005), la differenza tra i costi finanziari e quelli ottenuti applicando alle singole unità di produzione gli opportuni fattori di conversione è, nel complesso abbastanza ridotta (circa il 2%).

Per tale motivo non è apparso in questa fase necessario tenere conto di queste correzioni, anche nella prospettiva dello studio, che è rivolta ad un confronto tra diverse alternative.

6.2.3 Analisi di rischio

Il carattere esplorativo di questo lavoro, finalizzato ad una prima verifica degli effettivi benefici generati dai diversi progetti proposti ed il loro reciproco confronto, suggerisce di non sviluppare in maniera completa un'analisi di rischio, secondo quanto specificato nella parte metodologica generale.

Si ritiene tuttavia indispensabile valutare, assieme ai casi base già introdotti (gli Scenari A e B – vedasi cap.5), alcuni scenari “perturbati” che fanno riferimento essenzialmente ai due elementi di maggiore incertezza sulla evoluzione del bilancio idrico dell'ATO: 1) l'effettivo recupero di efficienza delle reti di distribuzione e 2) la possibilità di sfruttare la falda ai livelli prospettati dal Piano d'Ambito.

6.2.3.1 *Recupero di efficienza delle reti di distribuzione*

In merito al primo punto si possono articolare due diversi scenari.

- il recupero di efficienza si svolge per come previsto dal Piano d'Ambito fino all'anno 3 (2012) e si mantiene costante da quell'anno in poi (nel seguito sarà anche denominato come “scenario perturbato perdite “pessimistico””);
- il recupero di efficienza si svolge per come previsto dal Piano d'Ambito fino all'anno 3 (2012) e viene poi recuperato il 50% di quanto previsto dal Piano d'Ambito (nel seguito sarà anche denominato come “scenario perturbato perdite “ottimistico””);

La giustificazione di questi due scenari è desumibile dall'analisi della commessa “Accordo di Programma Quadro sulle risorse idriche – Interventi prioritari nel comparto idrico. Interventi di risanamento delle reti idriche”, illustrata nel paragrafo 4.2.2 del Piano D'Ambito.

Il recupero di efficienza è previsto in due distinte *tranche*, una delle quali è già in corso e riguarda interventi di ricerca e riparazione delle perdite, nonché di sostituzione di condotte ammalorate. La conclusione di tali interventi, programmata per il 2010, avverrà verosimilmente nel 2012.

L'altra *tranche* di interventi è invece finalizzata alla sostituzione progressiva delle condotte più vecchie, secondo un programma che prevede la sostituzione

di 895 Km di rete nel periodo 2010-2013, con una media annua di 224 Km da sostituire in 4 anni, e di 850 Km nel periodo 2014 - 2018, con una media annua di 170 Km da sostituire in 5 anni.

Le due ipotesi sono legate quindi o al completamento solamente della prima *tranche*, oppure al completamento della prima *tranche* e della prima parte della seconda, che comporterà verosimilmente un incremento di efficienza pari alla metà di quello prospettato, vista l'estensione molto simile dei due lotti (895 e 850 km rispettivamente).

6.2.3.2. *Prelievo da falda*

In merito al prelievo dai pozzi lo scenario ipotizzato è che, al 01.01.2015, cioè all'inizio del 6° anno di analisi, con la cessazione del regime di deroga sui parametri (L.R: 16/2009), la portata prelevata dai pozzi esistenti si ridurrà a 1,3 m³/s. La previsione del PdA di uno sfruttamento della falda a regime di 63 Mm³ è riferita alla possibilità di sfruttare nuovi pozzi. Lo scenario perturbato fa riferimento alla condizione in cui tali nuove risorse non siano sfruttabili e quindi dal 2015 le risorse sotterranee si ridurranno a 1,3 m³/s.

Per le analisi relative a questi scenari perturbati si farà riferimento solamente allo scenario di tipo B, cioè a quello in cui viene modellata la regolazione di tutti i serbatoi del sistema con la regola di soddisfare prioritariamente tutti gli usi extra – ambito.

Prima di esporre i risultati relativamente a ciascun intervento, nella tabella seguente è riportato il quadro complessivo dei parametri idrologici, tecnici ed economici utilizzati nelle elaborazioni:

PARAMETRI IDROLOGICI

Media deflusso annuo f. Sinni al serb. M.te Cutugno	212,9	Mm ³
Dev.standard deflusso annuo f. Sinni al serb. M.te Cutugno	59,9	Mm ³
Media deflusso annuo f. Agri al serb. Pertusillo	279,1	Mm ³
Dev.standard deflusso annuo f. Agri al serb. Pertusillo	110,9	Mm ³
Media deflusso annuo f. Fortore al serb. Occhito	162,0	Mm ³
Dev.standard deflusso annuo f. Fortore al serb. Occhito	131,4	Mm ³
Media resa annua sorgenti Caposele e Cassano Irpino	146,8	Mm ³
Dev. standard resa annua sorgenti Caposele e Cassano Irpino	21,0	Mm ³
Perdite dal serbatoio M.te Cutugno (evaporazione e DMV)	n.d.	
Perdite dal serbatoio Pertusillo (evaporazione e DMV)	13,1	Mm ³
Perdite dal serbatoio Occhito (evaporazione e DMV)	15%	Deflusso annuo

PARAMETRI TECNICI

Prelievo massimo AqP serb. Pertusillo	113	Mm ³
Prelievo massimo AqP serb. Monte Cutugno	140	Mm ³
Prelievo usi civili extra-ATO Puglia + uso irriguo serb. Monte Cutugno	164	Mm ³
Prelievo uso irriguo serb. Pertusillo	51,5	Mm ³

Prelievo uso irriguo serb. Occhito	92	Mm ³
Capacità utile serbatoio Pertusillo*	118,5	Mm ³
Capacità utile serbatoio Monte Cutugno**	256	Mm ³
Capacità utile serbatoio Occhito***	133	Mm ³

**PARAMETRI
ECONOMICI**

Prezzo del servizio acquedotto in condizioni ordinarie	0,9	€/m ³
Prezzo unitario della backstop technology	2,0	€/m ³
Elasticità della domanda nel modello Cobb-Douglas	-0,4	
Tasso di sconto	6%	

* ridotta rispetto al valore effettivo (170 Mm³) per tenere conto del fatto che, dopo eventuali sfiori

nel periodo invernale e primaverile, i forti prelievi per uso irriguo nel periodo estivo fanno sì che all'inizio dell'anno idrologico successivo il serbatoio non potrà essere pieno

** ridotta rispetto al valore effettivo (430 Mm³) per tenere conto del fatto che, dopo eventuali sfiori

nel periodo invernale e primaverile, i forti prelievi per uso irriguo nel periodo estivo fanno sì che all'inizio dell'anno idrologico successivo il serbatoio non potrà essere pieno

** ridotta rispetto al valore effettivo (225 Mm³) per tenere conto del fatto che, dopo eventuali sfiori

nel periodo invernale e primaverile, i forti prelievi per uso irriguo nel periodo estivo fanno sì che all'inizio dell'anno idrologico successivo il serbatoio non potrà essere pieno

6.3 Danno attuale atteso negli scenari base

A conclusione di questo capitolo introduttivo sulla valutazione degli investimenti, si forniscono, allo scopo di dare un ordine di grandezza, i valori dei danni attuali attesi nelle configurazione base di Piano e perturbate.

Tabella 6.1 Danno attuale atteso (in M€) per gli scenari base considerati

	A - PdA	B - PdA	B - perdite ottimistico	B - perdite pessimistico	B - pozzi
Cobb - Douglas	33,0	126,4	145,7	225,5	166,2
Lineare	25,3	82,3	96,6	140,5	106,3

Come già detto, tali valori sono ottenuti attualizzando il danno atteso lungo i trent'anni che costituiscono il periodo di analisi. Nei primi nove di questi trent'anni, coincidenti con il periodo 2010 – 2018 lungo il quale si sviluppa il transitorio, in termini di recupero di efficienza, descritto dal PdA e modificato negli scenari perturbati, il danno atteso si evolve con il livello di domanda e di infrastrutture previsto; negli altri ventuno anni il danno atteso si mantiene uguale a quello dell'ultimo anno del PdA (il 2018).

Come già detto, nella valutazione dei singoli investimenti si terrà conto della durata di esecuzione del progetto; per questo motivo, nella maggior parte dei progetti, il danno atteso relativamente ai primi anni di evoluzione del recupero di efficienza non entrerà in gioco.

6.5 Risultati per intervento

In questo capitolo viene fornita una descrizione dei risultati delle elaborazioni svolte su ciascun intervento al fine di valutarne le performances economiche.

6.5.1 Dismissione della centrale elettrica di Castrocuoco

Il progetto prevede la possibilità di ottenere dall'ENEL, gestore del serbatoio e concessionaria di una derivazione dell'acqua per uso idroelettrico, il rilascio in alveo dell'acqua del serbatoio ed il suo invaso nel serbatoio Monte Cutugno.

A fronte di un costo di investimento nullo, il costo di esercizio è dato dal pagamento al Gestore Idroelettrico della mancata produzione di energia elettrica. Per la valutazione di tale costo si è fatto riferimento a quanto stabilito nella "Convenzione per il rilascio delle acque invasate nel serbatoio di Masseria Nicodemo o Cogliandrino nel fiume Sinni" dell'Ottobre 2002 tra ENEL produzione SpA e la Regione Basilicata, in cui il valore della mancata produzione era fissato in 0,071 €/m³.

In questo lavoro, tale valore è stato aggiornato al 2010 sulla base del tasso medio di inflazione rilevato dall'ISTAT nel periodo 2002 – 2010 (2,2 % all'anno) e risulta quindi pari a 0,085 €/m³.

Nella valutazione si è ipotizzato che il rilascio in alveo comporterà una riduzione dei volumi in arrivo al serbatoio del 25% rispetto a quelli rilasciati. Questa circostanza si verificherà prevalentemente nel periodo estivo. Si tratta in ogni caso di una ipotesi cautelativa per la stima dei benefici e dei flussi di cassa, dato che il costo unitario sopra citato (0,085 €/m³) è applicato invece ai volumi rilasciati dal serbatoio Cogliandrino.

Per analizzare questo progetto, il modello è stato modificato in modo da simulare, per quanto in modo approssimato, l'effettivo andamento dei prelievi in relazione alla variabilità idrologica annua. Per ogni passo temporale è stata introdotta la condizione che non vengono prelevati volumi integrativi, se in quel passo temporale il volume invasato nel serbatoio Monte Cutugno + il volume massimo di rilascio ipotizzato superano la capacità utile (opportunitamente ridotta nel modo illustrato al punto 3.2). Questo richiede l'introduzione di una seconda iterazione per la quantificazione degli effettivi rilasci dal serbatoio Monte Cutugno e quindi del volume complessivamente erogato per l'intero sistema al passo temporale i-esimo.

Di seguito si riporta l'andamento dei principali indicatori di performance del progetto (VAN e rapporto Costi/Benefici) nel caso dell'analisi finanziaria ed economica per i quattro scenari base considerati (Scenario A, Scenario B, Scenario B perturbato con perdite, scenario B perturbato con perdite e pozzi) per diversi possibili livelli assentiti di prelievo massimo dal serbatoio (20, 30, 40...100 Mm³/anno).

Questo tipo di analisi può essere utile per eseguire l'identificazione di massima di un livello ottimale di prelievo, che sarà utilizzata nelle successive analisi in cui saranno valutate alcune combinazioni di diversi interventi.

Tabella 7.1 Volumi effettivamente richiesti al serbatoio Cogliandrino dal serbatoio Monte Cutugno per diversi livelli massimi di rilascio consentito e parametri economici dell'investimento - SCENARIO A

Rilascio annuo max dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³]	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
Volumi effettivamente utilizzati (al netto delle perdite in alveo) [Mm³/anno]									
Anno 1*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anno 2	7,0	10,0	12,6	14,5	16,1	17,7	19,1	19,6	20,0
Anno 3	6,2	8,9	10,9	12,5	13,8	14,9	15,8	16,2	16,6
Anno 4	6,8	9,6	12,1	13,8	15,3	16,6	17,6	18,0	18,5
Anno 5**	8,1	11,7	14,9	17,8	20,0	21,8	23,7	24,8	25,6
Anno 6	7,9	11,3	14,4	17,2	19,1	21,0	22,5	23,6	24,4
Anno 7	7,9	11,3	14,4	17,2	19,0	21,0	22,4	23,6	24,4
Anno 8	7,8	11,1	14,1	16,7	18,6	20,3	21,6	22,6	23,5
Anno 9	7,8	11,1	14,1	16,7	18,6	20,3	21,6	22,6	23,5
Anni 10- 30	7,8	11,1	14,1	16,7	18,6	20,3	21,6	22,6	23,5
Costo di sottensione attualizzato [M€]	8,8	12,5	15,9	18,7	20,9	22,7	24,3	25,3	26,2
Beneficio attualizzato spec. Cobb Douglas [M€]	16,78	20,80	24,15	26,97	28,86	29,62	30,04	30,23	30,20
Beneficio attualizzato spec. Lineare [M€]	17,53	19,09	20,42	21,54	22,36	22,73	22,93	23,00	22,98
VAN specif. Cobb-Douglas[M€]	8,02	8,29	8,28	8,27	8,00	6,88	5,76	4,89	3,98
VAN specif. lineare[M€]	8,77	6,58	4,55	2,85	1,51	-0,01	-1,35	-2,33	-3,24
Rapporto Benefici / Costi Cobb-Douglas	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2
Rapporto Benefici / Costi lineare	2,0	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9

* Si ipotizza che la derivazione inizierà ad avere luogo dopo un anno dalla valutazione del progetto

** i volumi prelevati aumentano perché dall'anno 5 (2014) è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo

Tabella 7.2 Volumi effettivamente richiesti al serbatoio Cogliandrino dal serbatoio Monte Cutugno per diversi livelli massimi di rilascio consentito e parametri economici dell'investimenti - SCENARIO B CON EVOLUZIONE DEL BILANCIO IDRICO COME DA PdA

Rilascio annuo max dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³]	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
Volumi effettivamente utilizzati (al netto delle perdite in alveo) [Mm³/anno]									
Anno 1*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anno 2	8,0	11,5	14,7	17,5	20,1	22,5	24,8	26,2	27,6
Anno 3	7,4	10,6	13,2	15,8	18,1	20,1	21,3	22,7	23,3
Anno 4	7,7	11,1	14,2	16,8	19,4	21,4	23,2	24,6	25,4
Anno 5**	8,8	12,8	16,4	19,8	22,7	25,2	27,8	29,5	31,7
Anno 6	8,6	12,4	16,0	19,3	22,0	24,6	26,7	29,0	30,5
Anno 7	8,6	12,4	16,0	19,3	21,9	24,5	26,6	29,0	30,4
Anno 8	8,5	12,2	15,8	19,0	21,5	24,0	26,1	28,2	29,9
Anno 9	8,5	12,2	15,8	19,0	21,5	24,0	26,1	28,2	29,9
Anni 10- 30	8,5	12,2	15,8	19,0	21,5	24,0	26,1	28,2	29,9
Costo di sottensione attualizzato [M€]	12,9	18,5	23,9	28,7	32,6	36,4	39,5	42,6	45,0
Beneficio attualizzato spec. Cobb Douglas [M€]	34,35	34,35	48,06	58,75	68,26	75,14	80,92	86,91	91,77
Beneficio attualizzato spec. Lineare [M€]	23,38	23,38	32,36	39,50	44,86	48,96	52,01	55,17	57,75
VAN specif. Cobb-Douglas[M€]	21,49	15,81	24,18	30,05	35,70	38,75	41,39	44,31	46,80
VAN specif. lineare[M€]	10,51	4,84	8,48	10,80	12,31	12,58	12,48	12,57	12,78
Rapporto Benefici / Costi Cobb-Douglas	2,67	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
Rapporto Benefici / Costi lineare	1,82	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3

* Si ipotizza che la derivazione inizierà ad avere luogo dopo un anno dalla valutazione del progetto

** i volumi prelevati aumentano perché dall'anno 5 (2014) è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo

Tabella 7.3 Volumi effettivamente richiesti al serbatoio Cogliandrino dal serbatoio Monte Cutugno per diversi livelli massimi di rilascio consentito e parametri economici dell'investimenti - SCENARIO B PERTURBATO CON MANCATO RECUPERO D'EFFICIENZA (OPZIONE "OTTIMISTICA")

Rilascio annuo max dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³]	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
Volumi effettivamente utilizzati (al netto delle perdite in alveo) [Mm ³ /anno]									
Anno 1*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anno 2	8,0	11,5	14,7	17,5	20,1	22,5	24,8	26,2	27,6
Anno 3	7,4	10,6	13,2	15,8	18,1	20,1	21,3	22,7	23,3
Anno 4	7,9	11,4	14,7	17,2	20,0	22,4	24,4	25,8	27,1
Anno 5**	9,1	13,3	17,0	20,7	24,1	26,6	29,1	31,2	33,6
Anno 6	7,4	10,6	13,2	15,8	18,1	20,1	21,3	22,7	23,3
Anno 7	9,0	13,0	16,8	20,3	23,5	25,9	28,5	30,6	32,9
Anno 8	8,9	12,9	16,6	19,9	23,2	25,7	28,1	30,2	32,3
Anno 9	8,9	12,9	16,6	19,9	23,2	25,7	28,1	30,2	32,3
Anni 10- 30	8,9	12,9	16,6	19,9	23,2	25,7	28,1	30,2	32,3
Costo di sottensione attualizzato [M€]	13,2	19,2	24,6	29,5	34,3	38,0	41,5	44,5	47,2
Beneficio attualizzato spec. Cobb Douglas [M€]	38,82	58,06	75,79	88,42	99,67	107,89	114,77	119,90	126,02
Beneficio attualizzato spec. Lineare [M€]	26,00	38,53	49,28	57,38	64,01	68,56	72,42	74,85	77,85
VAN specif. Cobb-Douglas[M€]	25,58	38,87	51,20	58,89	65,38	69,91	73,30	75,45	78,77
VAN specif. lineare[M€]	12,75	19,34	24,69	27,85	29,71	30,58	30,95	30,40	30,61
Rapporto Benefici / Costi Cobb-Douglas	2,93	3,0	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,7
Rapporto Benefici / Costi lineare	1,96	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6

* Si ipotizza che la derivazione inizierà ad avere luogo dopo un anno dalla valutazione del progetto

** i volumi prelevati aumentano perché dall'anno 5 (2014) è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo

Tabella 7.4 Volumi effettivamente richiesti al serbatoio Cogliandrino dal serbatoio Monte Cutugno per diversi livelli massimi di rilascio consentito e parametri economici dell'investimenti - SCENARIO B PERTURBATO CON MANCATO RECUPERO D'EFFICIENZA (OPZIONE "PESSIMISTICA")

Rilascio annuo max dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³]	20,0	40,0	70,0	100,0
Volumi effettivamente utilizzati (al netto delle perdite in alveo) [Mm ³ /anno]				
Anno 1*	0,0	0,0	0,0	0,0
Anno 2	8,0	14,7	22,5	27,6
Anno 3	7,4	13,2	20,1	23,3
Anno 4	8,4	15,7	23,9	29,8
Anno 5**	9,9	18,7	29,5	37,0
Anno 6	7,4	13,2	20,1	23,3
Anno 7	10,1	19,1	30,2	38,5
Anno 8	10,2	19,3	30,5	39,1
Anno 9	10,2	19,3	30,5	39,1
Anni 10- 30	10,2	19,3	30,5	39,1
Costo di sottensione attualizzato [M€]	14,7	24,6	38,0	47,2
Beneficio attualizzato spec. Cobb Douglas [M€]	45,01	75,79	107,89	126,02
Beneficio attualizzato spec. Lineare [M€]	30,84	49,28	68,56	77,85
VAN specif. Cobb-Douglas[M€]	30,30	51,20	69,91	78,77
VAN specif. lineare[M€]	16,14	24,69	30,58	30,61
Rapporto Benefici / Costi Cobb-Douglas	3,06	3,1	2,8	2,7
Rapporto Benefici / Costi lineare	2,10	2,0	1,8	1,6

* Si ipotizza che la derivazione inizierà ad avere luogo dopo un anno dalla valutazione del progetto

** i volumi prelevati aumentano perché dall'anno 5 (2014) è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo

Tabella 7.5 Volumi effettivamente richiesti al serbatoio Cogliandrino dal serbatoio Monte Cutugno per diversi livelli massimi di rilascio consentito e parametri economici dell'investimenti - SCENARIO B PERTURBATO CON RIDUZIONE DEL PRELIEVO DALLA FALDA PER SCADENZA DELLA DEROGA SUI PARAMETRI (L. R. 16/2009)

Rilascio annuo max dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³]	20,0	40,0	70,0	100,0
Volumi effettivamente utilizzati (al netto delle perdite in alveo) [Mm ³ /anno]				
Anno 1*	0,0	0,0	0,0	0,0
Anno 2	9,4	17,7	27,8	34,9
Anno 3	8,7	16,3	24,9	31,2
Anno 4	7,7	14,2	21,4	25,4
Anno 5**	8,8	16,4	25,2	31,7
Anno 6	8,7	16,3	24,9	31,2
Anno 7	9,6	17,9	28,7	35,5
Anno 8	9,5	17,7	27,9	35,0
Anno 9	9,5	17,7	27,9	35,0
Anni 10- 30	9,5	17,7	27,9	35,0
Costo di sottensione attualizzato [M€]	14,3	26,6	41,8	52,2
Beneficio attualizzato spec. Cobb Douglas [M€]	25,41	67,61	109,22	128,39
Beneficio attualizzato spec. Lineare [M€]	23,93	49,37	72,50	81,49
VAN specif. Cobb-Douglas[M€]	11,14	41,00	67,39	76,16
VAN specif. lineare[M€]	9,65	22,77	30,67	29,25
Rapporto Benefici / Costi Cobb-Douglas	1,78	2,54	2,61	2,46
Rapporto Benefici / Costi lineare	1,68	1,86	1,73	1,56

* Si ipotizza che la derivazione inizierà ad avere luogo dopo un anno dalla valutazione del progetto

** i volumi prelevati aumentano perché dall'anno 5 (2014) è previsto l'ingresso in esercizio del potabilizzatore San Paolo

L'analisi delle tabelle mostra che nello scenario A, il livello ottimale dei prelievi è basso ($\leq 20 \text{ Mm}^3/\text{anno}$), mentre spostandosi nelle più realistiche condizioni di bilancio idrico multisettoriale descritto dallo scenario B, gli indicatori economici suggeriscono di spingere il prelievo fino alla quantità massima presa come riferimento (circa 100 Mm^3); in queste condizioni, come detto prima, il volume medio annuo effettivamente utilizzato dal sistema Agri – Sinni è molto più basso del massimo derivabile ($75 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ tenendo conto delle perdite in alveo) si aggira tra i 30 ed i 40 Mm^3 , a seconda dello scenario considerato.

Infine, appare necessario mettere in evidenza come in questa analisi non siano stati considerati i costi di potabilizzazione dei volumi aggiuntivi resi disponibili, che compaiono invece nella valutazione degli altri interventi., assieme ai costi di manutenzione delle nuove infrastrutture, che in questo caso non sono stati considerati perché nulli.

Il motivo risiede nel fatto che lo schema di regolazione del serbatoio adottato in questo modello semplificato fa sì che una parte consistente dei volumi aggiuntivi venga in realtà utilizzata per soddisfare la domanda irrigua del serbatoio, cosicché il volume incrementale effettivamente utilizzato a scopo civile risulta solo una parte di quello che arriva dal Cogliandrino. A titolo di esempio, il volume medio incrementale che, a regime (cioè dal 2018 in poi), viene utilizzato a scopo civile nello scenario "B" è pari a $5,2 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, e questo a fronte di un volume medio annuo effettivamente "richiesto" dal serbatoio (indipendentemente dagli usi) di $29,9 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

Questa constatazione, se da una parte rimanda alla necessità di prendere in considerazione l'effettivo equilibrio delle allocazioni tra i diversi usi nello studio della regolazione dell'intero sistema, mostra dall'altra come i benefici provenienti dai rilasci per il settore civile possano essere stati, in questa sede e per questo specifico investimento, sottostimati. Non è apparso pertanto opportuno gravare l'analisi di ulteriori elementi di costo, quale la potabilizzazione.

In ogni caso, a titolo orientativo, si fornisce un ordine di grandezza dell'impatto dei costi di potabilizzazione sugli indicatori economici dell'intervento: nello scenario "B" con prelievo massimo di 100 Mm^3 dal serbatoio Cogliandrino (ultima colonna della tabella 7.2) il costo attualizzato di potabilizzazione sui trent'anni, ipotizzando un costo unitario di $0,05 \text{ €/m}^3$, è pari a $3,9 \text{ M€}$, cosicché il VAN si riduce a $42,90 \text{ M€}$ nell'ipotesi di beneficio à la Cobb –Douglas e a $8,9 \text{ M€}$ nel caso di beneficio stimato con una curva della domanda lineare. I rapporti benefici/costi si riducono a $91,77 / (45 + 3,9) = 1,9$ nel primo caso e a $57,75 / (45 + 3,9) = 1,2$ nel secondo, con variazioni degli indicatori di performance economica di circa il -10%.

6.5.2 Completamento e ripristino delle opere relative alle traverse sul Sarmento e sul Sauro

Il costo stimato di ristrutturazione della traversa Sauro è di 13,5 M€. La traversa Sarmento risulta invece già finanziata.

Verranno analizzati i seguenti scenari:

- completamento traversa Sauro
- completamento traversa Sarmento
- completamento traverse Sauro e Sarmento

Per articolare gli scenari è necessario valutare il contributo della traversa sul Sauro separatamente da quello sul Sarmento, che nel testo dell'Accordo di Programma tra Puglia e Basilicata (art. 9) sono invece considerati assieme e stimati pari, nel complesso, a $75 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.

A partire dal valore sopra indicato, la ripartizione è stata effettuata partendo dalle valutazioni contenute nell'Accordo di Programma Puglia - Basilicata, allegato 1 Tab. 1a che contiene le disponibilità con $P = 0,2$ per le due traverse.

E' prevista la derivazione di $67 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ con probabilità di non superamento del 20% dalla traversa Sarmento e di $47 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ dalla traversa Sauro.

Conseguentemente i dati utilizzati nell'analisi sono la derivazione di $75 \times 67 / 114 = 44,1 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ dalla traversa Sarmento e di $75 - 44,1 = 30,9 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ dalla traversa Sauro.

Nel modello di simulazione questi valori vengono aggiunti ai deflussi in arrivo al serbatoio Monte Cutugno.

Per tenere poi conto del fatto che è prevista la ripartizione delle risorse aggiuntive tra le due regioni in egual misura, nella valutazione dei costi potrebbero essere presi in considerazione i costi di potabilizzazione per il trattamento di ulteriori $30,9/2 = 15,4 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ nel caso della traversa Sauro e di $44,1/2 = 22 \text{ Mm}^3$ nel caso della traversa sul Sarmento. Il costo unitario di potabilizzazione è stato posto pari a $0,05 \text{ €/m}^3$.

Si osservi tuttavia come, in questo modo, il costo di potabilizzazione risulterebbe certamente sovrastimato in questa analisi, dato che una buona parte dei volumi derivati dalle traverse, nello schema semplificato di regolazione adottato, sono utilizzati per il soddisfacimento della domanda irrigua. Gli indicatori di performance risulterebbero quindi, sotto questo profilo, sottostimati.

Per tale motivo, nella valutazione dei costi di potabilizzazione sono stati utilizzati gli effettivi volumi incrementali per uso civile che l'intervento consente di ottenere rispetto alla situazione base.

La considerazione dei volumi incrementali effettivi può anche essere utile per comprendere il limitato incremento del valore netto dell'investimento nell'ipotesi di realizzazione congiunta di entrambe le opere. La figura 7.1 mostra l'andamento dei volumi incrementali derivati dall'anno 1 all'anno 10 nell'ipotesi di realizzazione della sola traversa Sauro e nell'ipotesi di realizzazione della traversa Sauro + Sarmento.

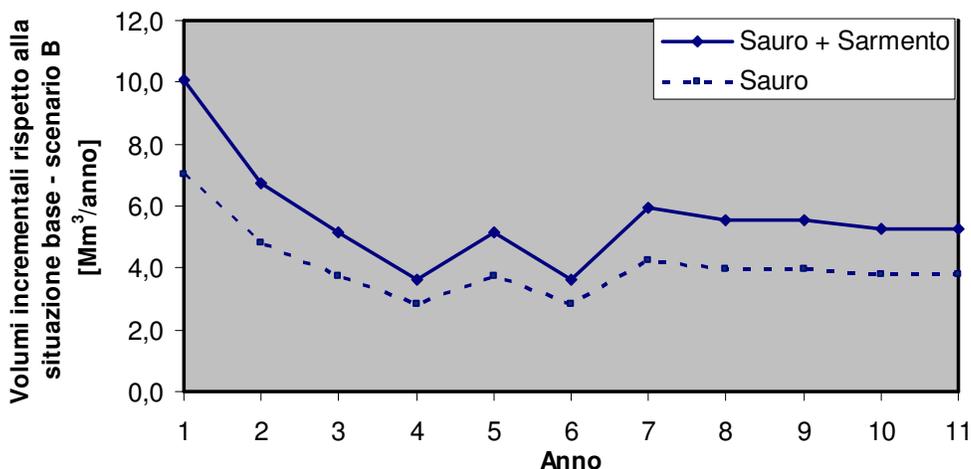


Figura 6.1 Andamento dei volumi incrementali effettivamente utilizzati a scopo civile nell'ipotesi di realizzazione della traversa Sauro e della traversa Sauro + Sarmento nello scenario B.

La figura mostra come l'incremento del volume vari da circa 3 Mm³/anno in media nell'anno 1 a 1,4 Mm³/anno a regime (anno 11 e seguenti).

Nell'analisi sono stati anche considerati i costi di manutenzione ed esercizio delle infrastrutture, fissati nell'1% del costo a nuovo (cioè 135.000 €/anno per la traversa Sauro). In assenza di un dato di investimento per la traversa Sarmento, è stato parimenti assunto il valore di 135.000 €/anno per i costi di manutenzione ed esercizio di quell'opera.

Coerentemente con i criteri generali esposti al punto 5, il costo di investimento della traversa Sauro è stato distribuito lungo tre anni, a partire dal secondo anno dell'analisi, secondo le seguenti percentuali: 30% dei costi nel primo anno dei lavori, 40% nel secondo anno e 30% nel terzo anno

Considerato che gli interventi mostrano indicatori economici positivi già nello scenario da Piano d'Ambito, non si è ritenuto necessario svolgere le simulazioni in tutti gli altri casi. Si è considerato solamente il caso più estremo il "B perturbato perdite pessimistico" come elemento di riferimento per i massimi benefici conseguibili attraverso l'investimento.

La tabella 6.7. riporta i risultati del modello nei tre scenari base considerati.

Tabella 6.7 Indicatori di performance economica degli investimenti sulla traversa Sauro, sulla traversa Sarmento e sul complesso Sauro + Sarmento

Tipo di specificazione della curva della domanda con cui viene valutato il beneficio	SCENARIO			
	Traversa Sauro	A	B	B_perturbato perdite "pessimistico"
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	-0,86	32,75	74,67

	SRIE	-	24%	39%
	B/C	0,94	3,19	5,52
Lineare	VANE [M€]	-3,84	18,34	45,02
	SRIE	-	17%	28%
	B/C	0,72	2,23	3,73
	Traversa Sarmento*			
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	13,24	52,98	112,55
	SRIE	-	-	-
	B/C	5,70	13,97	19,52
Lineare	VANE [M€]	9,69	38,90	70,97
	SRIE	-	-	-
	B/C	4,44	9,52	12,68
	Traverse Sauro + Sarmento*			
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	0,41	53,70	128,29
	SRIE	6%	34%	54%
	B/C	1,02	4,06	7,25
Lineare	VANE [M€]	-3,20	30,07	72,29
	SRIE	3%	23%	38%
	B/C	0,81	2,72	4,52

* il costo di investimento relativo alla traversa Sarmento non è stato considerato in quanto non specificato - i costi utilizzati per il calcolo del VAN sono i costi di potabilizzazione relativi ai volumi incrementali resi disponibili ed i costi di manutenzione ordinaria

6.5.3 Collegamento invaso Ponte Liscione – invaso Occhito

L'intervento ha come obiettivo il trasferimento di risorse idriche (circa 20 Mm³/anno) dal bacino idrografico del Biferno, ove si registra una disponibilità superiore ai fabbisogni, al bacino idrografico del Fortore, sul quale insiste la diga che dà luogo alla principale fonte di approvvigionamento potabile della Capitanata, l'invaso di Occhito.

Sono possibili due alternative progettuali: una dall'importo di circa 65 M€ al netto di IVA (52 M€ per le opere di collegamento vere e proprie di cui alla tabella 2 della scheda + 10 M€ stimati per la costruzione della traversa) prevede la captazione delle acque attraverso un'opera ad acqua fluente; nell'altra, da percorrere nell'ipotesi in cui la traversa di derivazione non sia fattibile, l'opera di presa è posizionata a valle dello scarico della centrale idroelettrica "Molise 62", trasferendo alla Puglia le acque convogliate dall'adduttore irriguo - industriale e turbinate alla centrale idroelettrica, senza intercettare altri flussi naturali. Questa seconda alternativa ha un costo di 66,3 M€ al netto di IVA, cui bisogna aggiungere un costo annuo di sollevamento stimato in 2,2 M€/anno. Verrà prima valutata l'alternativa più economica, per verificare se gli indicatori di sostenibilità finanziaria sono favorevoli; in caso positivo si controllerà che anche l'alternativa più costosa risulti economicamente sostenibile.

La simulazione dell'impatto di questa risorsa integrativa sul danno atteso dell'intero sistema avviene aggiungendo in ogni passo temporale ai deflussi in arrivo al serbatoio Occhito un volume di 20 Mm³.

Analogamente a quanto osservato per gli interventi precedenti, anche in questo caso il volume annuo incrementale per l'uso civile effettivamente reso disponibile dall'alternativa è di circa 7,6 Mm³/anno, a fronte dei 20 Mm³/anno derivati mediamente dal serbatoio Ponte Liscione. Ciò è dovuto al fatto che, nello schema di regolazione del serbatoio adottato, la regola è di soddisfare prima gli usi irrigui e quindi quelli civili: una parte, anche consistente, dei volumi integrativi è quindi impiegata per coprire i deficit irrigui. Una parte, sicuramente meno rilevante, è invece persa per sfiori.

In merito alla possibile influenza dei prelievi irrigui sulla redditività economica dell'investimento, si può utilizzare il modello per indagare l'andamento dei volumi incrementali per uso civile resi disponibili nel serbatoio a seguito del trasferimento della risorsa integrativa di 20 Mm³/anno, al ridursi del prelievo per uso irriguo. Per rendere l'analisi più significativa, è stato ipotizzato un utilizzo del potabilizzatore a 65 Mm³, cioè a livelli compatibili con la sua potenzialità massima (circa 75 Mm³/anno), ma superiori ai valori attuali e previsti di utilizzo.

A tal fine, sono state esaminati diversi scenari, in ciascuno dei quali vengono confrontate due situazioni, entrambe caratterizzate dalla presenza della risorsa integrativa di 20 Mm³, ma in una delle quali il prelievo per uso irriguo viene ridotto di una certa quantità, ovviamente costante, per tutti i passi temporali (riduzione di 10, 20...92 Mm³/anno). Nell'ipotesi di riduzione del prelievo per l'uso irriguo nulla, il volume incrementale per il settore civile è quello di 7,6 Mm³/anno sopra riportato ed il VAN dell'investimento, nello scenario B, è di - 53,8 M€ (tab. 7.9). Al ridursi del prelievo per l'irriguo ad intervalli di 10 Mm³/anno (scenario con 82 Mm³/anno, con 72 Mm³/anno, etc. fino ad arrivare

ad un prelievo irriguo di 0 Mm³/anno) il volume incrementale disponibile per l'uso civile aumenta ed il VAN diventa pure meno negativo, cioè aumenta anch'esso.

La figura 7.2 mostra l'andamento dei volumi funzione della riduzione percentuale del prelievo irriguo, mentre l'andamento del VAN è riportato in figura 7.3. In figura 7.3 gli incrementi del VAN sono valutati a partire dal valore base di -53,8 M€, incrementandolo delle differenze di VAN che si registrano per decrementi successivi di 10 Mm³ della domanda irrigua annua.

Le figure mostrano che, già per una riduzione stabile del 50% dell'uso irriguo, ulteriori decrementi non aumentano la redditività dell'investimento e che, anche in questa ipotesi, il VAN del progetto si mantiene negativo, almeno nello scenario B. E' possibile comunque che una riduzione della domanda irrigua consenta al progetto di assumere VAN positivi in scenari più pessimistici di evoluzione dei prelievi per l'intero sistema.

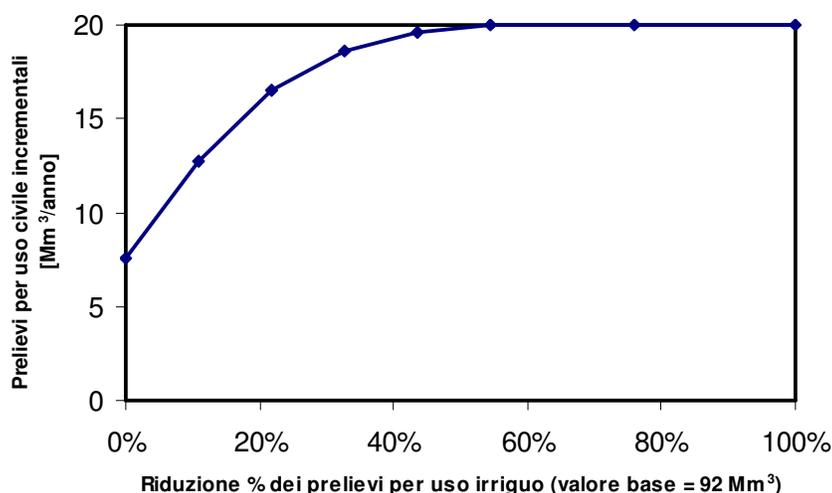


Figura 7.2. – Andamento della disponibilità incrementale dal serbatoio Fortore per uso irriguo al ridursi del prelievo per uso irriguo – potenzialità del potabilizzatore a 65 Mm³/anno.

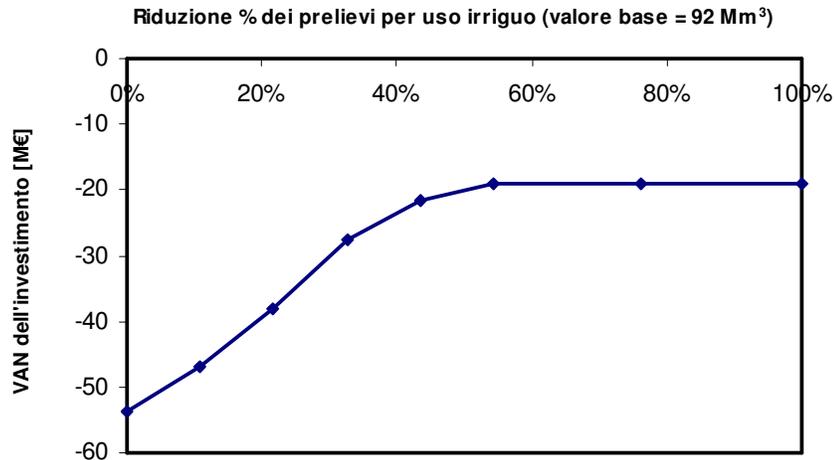


Figura 7.3. – Andamento del VAN dell'investimento al ridursi del prelievo per uso irriguo – potenzialità del potabilizzatore a 65 Mm³/anno.

In altre parole, anche in presenza di una maggiore disponibilità di risorsa idrica, determinata in questa simulazione da una riduzione dei prelievi per uso irriguo, i benefici per il sistema nel suo complesso sono limitati e non compensano i costi.

Si ritiene che l'opera vada vista soprattutto nell'ottica di una integrazione ed incremento delle disponibilità per l'uso irriguo. In questa prospettiva, la considerazione del beneficio irriguo incrementale potrebbe rendere l'investimento sostenibile dal punto di vista economico.

Limitando l'attenzione al beneficio idropotabile, oggetto della Convenzione, gli indicatori economici (tabella 7.9) mostrano che i benefici generati dal progetto, almeno per il solo settore civile, non compensano i costi, anche nella soluzione progettuale meno costosa e in cui non sono presenti sollevamenti.

6.5.4 Collegamento vasca Marascione – serbatoio Locone

Il collegamento ha lo scopo di interconnettere lo schema Basento – Bradano e lo schema Ofanto trasferendo le acque raccolte dallo schema Basento – Bradano sino alla diga del Locone. L'importo dei lavori, al netto di IVA, è di 24,9 M€.

E' prevista la possibilità di trasferire circa 23 Mm³/anno. La possibilità di attivare l'intervento è collegata al completamento dello schema irriguo cui fa capo la vasca Marascione, l'elemento che consente la connessione tra i sistemi. Risulta che è stata già affidata l'esecuzione delle opere che dureranno per sei anni. Conseguentemente, anche se l'importo dell'intervento è inferiore a 30 M€, la sua realizzazione è stata prolungata per cinque anni. I benefici si iniziano a risentire dal settimo anno in poi.

In questo intervento, come per il successivo, nella situazione "con" l'intervento è stato ipotizzato di spingere il funzionamento del potabilizzatore alla sua massima potenzialità (1,5 m³/s, equivalenti a 47,3 Mm³/anno) anche se le

indicazioni del PdA prevedono una riduzione dei prelievi da questo serbatoio, visto il prossimo ingresso in esercizio del potabilizzatore di Conza. Evidentemente l'introduzione di una risorsa integrativa in un serbatoio sottoutilizzato sia per usi irrigui che, prossimamente, per usi civili non appare interessante; per tale motivo è stata valutata la possibilità di sfruttare al massimo la potenzialità dell'impianto.

Tuttavia è anche necessario evidenziare che, per quanto a scala regionale, nell'ipotesi di totale interconnessione tra gli schemi, il beneficio legato all'incremento di risorse nel serbatoio Locone non sia indifferente, la reale possibilità di usare le risorse integrative ai livelli immaginati è condizionata dalla esistenza di opere di interconnessione che siano in grado di rendere la risorsa disponibile anche in altri schemi. Le incrementate risorse del Locone infatti, non saranno necessarie per l'approvvigionamento dei comuni collegati all'omonimo acquedotto, ma potrebbero essere rese disponibili, per esempio, per il sistema del Fortore. In questo spirito si inquadra il progetto di interconnessione di cui al punto 7.10. Se tuttavia è questo il caso, cioè se per rendere utilizzabili le risorse integrative del Locone è necessaria un'interconnessione tra acquedotti, il costo del trasferimento non è più di 24,9 M€, bensì 24,9 M€ + il costo dell'opera di interconnessione.

Se invece le risorse del Locone possono, anche in una prospettiva di medio termine, in cui è già entrato in esercizio il potabilizzatore di Conza, essere utilizzate nel sistema nella sua configurazione attuale o modificata attraverso interventi infrastrutturali già finanziati, il costo del trasferimento è semplicemente di 24,9 M€. E' questo il caso che viene considerato in questo paragrafo. La valutazione di questo intervento assieme a quello di interconnessione tra gli acquedotti Fortore e Locone sarà svolta al punto 7.10.

Nella valutazione sono stati tenuti in conto i costi di manutenzione delle opere (1% del costo a nuovo) e di potabilizzazione delle risorse incrementali (0,05 €/m³ per circa 22 Mm³/anno di volumi incrementali per il settore civile, dato che sul serbatoio Locone non insistono prelievi irrigui di particolare rilevanza). All'ultimo anno di analisi (il trentesimo) è stato considerato il valore residuo delle opere (cfr. punto 2.4.2)

I risultati delle analisi, riportati in tabella 7.2, mostrano che se i prelievi seguiranno le previsioni del PdA per effetto dell'incremento di efficienza delle reti di distribuzione, il costo della risorsa integrativa non giustifica l'intervento; ovviamente questo sarà ancora più vero nell'ipotesi in cui la possibilità di utilizzare queste risorse è condizionata dalla esistenza di un'opera di interconnessione tra acquedotti di nuova realizzazione.

L'unico caso in cui il trasferimento mostra un rapporto benefici/costi favorevole è quello in cui la previsione sull'effettiva riuscita della rimessa in efficienza del sistema sia, nel medio termine, pessimistica. In questo caso la realizzazione dell'intervento, da solo, potrebbe ancora essere giustificata.

6.5.5 Collegamento serbatoio Rendina – serbatoio Locone

Questo intervento intende sfruttare le fluenze del torrente Olivento attualmente non invase dalla diga del Rendina (fuori esercizio per disposizioni del

Registro Italiano Dighe) e richiede la realizzazione di manufatti e impianti che consentano alle suddette fluenze di raggiungere l'invaso del Locone.

Il collegamento si inserisce infatti all'interno di esistenti sistemi di adduzione appartenenti allo schema Ofanto ed in particolare costituisce connessione tra lo schema idrico irriguo della diga del Rendina e l'adduttore che, dal partitore a valle della traversa di S. Venere, adduce l'acqua per il riempimento dell'invaso del Locone. Con quest'opera si renderebbero disponibili circa 24 Mm³/anno. Il costo dell'intervento è pari, al netto di IVA, a 4,3 M€.

Nell'analisi dell'intervento è necessario tenere conto, oltre ai costi di manutenzione delle opere (1% del costo a nuovo) e di potabilizzazione delle risorse incrementali (0,05 €/m³), anche di costi energetici per un sollevamento, stimati in 0,77 M€/anno. Nell'ultimo anno di analisi è stato considerato il valore residuo delle opere

I volumi incrementali resi disponibili dall'investimento per il settore civile sono circa 22 Mm³/anno, dato che sul serbatoio Locone non insistono prelievi irrigui di particolare rilevanza.

Valgono su questo intervento per intero le considerazioni svolte al punto precedente in merito alla possibilità di assorbire i volumi incrementali da parte del sistema nella sua configurazione attuale o alla necessità di ricorrere a nuove opere di interconnessione ancora da finanziare.

Gli indicatori economici, riportati pure in tabella 7.9, sono ovviamente più favorevoli che nel caso precedente visto il minor costo di investimento. Essi consentono di valutare come economicamente sostenibile l'intervento anche qualora le previsioni di Piano d'Ambito in merito alla riduzione dei prelievi dovessero effettivamente verificarsi.

Infine, è stata anche analizzata la convenienza economica dell'incremento della capacità utile del serbatoio Locone, dagli attuali 40 Mm³ a 65 Mm³. A tal fine, sono stati valutati i danni attuali attesi nello scenario base con le due diverse capacità utili – la differenza tra due valori fornisce il beneficio dell'incremento di capacità, da confrontare con i costi. È stata quindi valutata la differenza tra il danno attuale atteso nella situazione “senza” e “con” a partire dall'anno 5°, quando potrebbero iniziare a risentirsi i benefici dell'incremento di invaso. La simulazione avviene con prelievo target di 47 Mm³/anno, prossimo a quello massimo desumibile dai dati di esercizio.

Il beneficio è risultato pari a 0,3 M€ (tabella 7.8) utilizzando una specificazione della curva della domanda di tipo log-lineare e di 0,1 M€ nel caso di specificazione lineare. Dato il valore medio dei volumi in ingresso al serbatoio (circa 48 Mm³/anno), in presenza di bassi valori di domanda irrigua, come quelli che si registrano attualmente, e di coefficienti di variazione dei deflussi annui in arrivo al serbatoio relativamente contenuti (< 0,40) non sembra esistere un vantaggio economico nel prevedere un incremento di capacità, almeno per quanto attiene la regolazione pluriennale e nel contesto dell'intero sistema di approvvigionamento considerato.

Tabella 7.8 – beneficio derivante dall'incremento della capacità del serbatoio Locone

Capacità utile [Mm ³]	40	65
Erogazione media [Mm ³ /anno]	38,1	38,4
Danno attuale atteso [M€] (domanda log-lineare)	77,4	77
Danno attuale atteso [M€] (domanda lineare)	50,4	50,3

6.5.6 Uso delle acque del serbatoio San Giuliano a scopo potabile

L'intervento prevede la derivazione di una portata massima di 2,5 m³/s dal serbatoio San Giuliano verso il nodo di Ginosa e la sua successiva potabilizzazione nell'impianto del Sinni. Il trasferimento delle risorse è previsto per sollevamento sfruttando il funzionamento in senso inverso di una condotta realizzata con l'obiettivo di trasferire risorse dal serbatoio Monte Cutugno al serbatoio San Giuliano.

Le analisi svolte nel Bilancio Idrico dell'Autorità di Bacino della Basilicata (cap. 8) portano a concludere che il serbatoio San Giuliano può garantire con un livello di affidabilità dell'80% un'erogazione di circa 55 Mm³/anno, già al netto di tutte le derivazioni a monte.

Considerato che il serbatoio eroga attualmente circa 15 Mm³/anno per uso irriguo e per gli usi ambientali del corso d'acqua a valle (tab. 8.16 del Bilancio Idrico), se ne deduce la possibilità di derivare 40,0 Mm³/anno a scopo civile, equivalenti a 1,25 m³/s in portata continua.

Secondo la scheda fornita, i costi di investimento previsti, al netto di IVA, ammontano a 11,22 M€. A questi devono aggiungersi i costi di esercizio, identificabili prevalentemente nei costi di energia per il sollevamento.

Per la loro valutazione, a partire dai dati tecnici contenuti nella scheda, si può valutare una potenza necessaria di $9,81 \cdot Q \cdot H / \eta = 9,81 \cdot 90 \cdot 1,25 / 0,8 = 1.840$ kW. Ipotizzando un costo di 0,17 €/kWh ed un funzionamento continuo degli impianti, il costo energetico annuo si può stimare in 2,05 M€.

Nel modello, questa risorsa integrativa (40,0 Mm³/anno) viene aggiunta a tutte le altre e contribuisce a formare la domanda al serbatoio Monte Cutugno, dato che si tratta di una risorsa che viene resa disponibile a valle del serbatoio.

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi. Oltre ai predetti costi energetici, sono stati anche considerati i costi di potabilizzazione (0,05 €/m³) per tutti i 40 Mm³ integrativi ed i costi di esercizio (1% del costo a nuovo delle opere). All'orizzonte dell'analisi (30°anno) è stato aggiunto come beneficio il valore residuo dell'opera scontato.

Lo scenario "minimo" che rende economicamente sostenibile la realizzazione dell'infrastruttura (VAN > 0) è lo scenario in cui il recupero delle perdite avviene in modo più lento ed incompleto rispetto a quanto previsto dal PdA, ma le riduce comunque nel medio termine al 41,3 %. Il VAN risulta positivo tuttavia solo nell'ipotesi che la relazione domanda - prezzo sia di tipo log - lineare con elasticità pari a -0,4. Nell'ipotesi, più conservativa dal punto di vista della spesa, di curva della domanda con specificazione lineare, il VAN dell'intervento risulta sempre negativo. In questa ipotesi l'intervento si

giustificerebbe ($B/C = 1$) solamente nello scenario “pessimistico” di recupero di efficienza del sistema (perdite nel medio termine al 45,8%).

Tabella 7.9 Riepilogo degli indicatori economici per le opere integrative sul Fortore, sul Locone e dal serbatoi San Giuliano

Tipo di specificazione della curva della domanda con cui viene valutato il beneficio	Denominazione intervento	SCENARIO				
	Collegamento serb. P.te Liscione - serbatoio Occhito	A - PdA	B - PdA	B_perturbato perdite "ottimistico"	B_perturbato perdite "pessimistico"	B_perturbato Pozzi
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	-	-53,8	-50,6	-37,6	-48,0
	SRIE	-	-	-	-	-
	B/C	-	0,2	0,2	0,4	0,3
Lineare	VANE [M€]	-	-100,5	-99,1	-90,1	-74,7
	SRIE	-	-	-	-	-
	B/C	-	0,1	0,1	0,2	0,1
	Collegamento vasca Marascione - serbatoio Locone					
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	-	-14,6	-8,8	5,2	-3,6
	SRIE	-	-	2%-	8%	5%
	B/C	-	0,6	0,7	1,2	0,9
Lineare	VANE [M€]	-	-26,1	-21,9	-8,5	-15,6
	SRIE	-	-	-	-	0,6%
	B/C	-	0,4	0,5	0,8	0,6
	Collegamento serb. Rendina - serbatoio Locone					
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	-	10,6	23,2	38,2	26,4
	SRIE	-	25,5%	37%	43%	41%
	B/C	-	1,4	1,9	2,8	2,1
Lineare	VANE [M€]	-	-1,6	5,8	12,6	7,5
	SRIE	-	-	14%	20%	18,5%
	B/C	-	0,9	0,9	1,5	1,3
	Collegamento serb. San Giuliano - nodo Ginosa					
Log-lineare (Cobb - Douglas)	VANE [M€]	-41,17	-4,3	14,8	41,2	24,3
	SRIE	-	1%	16%	29%	21%
	B/C	0,26	0,9	1,3	1,7	1,4
Lineare	VANE [M€]	-44,58	-21,6	-14,6	-1,5	-6,8
	SRIE	-	-	-	-	-
	B/C	0,20	0,6	0,7	1,0	0,9

7.7. Sintesi degli interventi finalizzati ad un incremento di risorse per il sistema

Di seguito si riporta un quadro sinottico degli indici di performance economici degli interventi fin qui analizzati, assieme ad una valutazione del danno atteso residuo a valle della realizzazione di ogni opera. Vengono forniti separatamente i risultati ottenuti usando una specificazione log-lineare della curva della domanda (tabella 7.10 a) e quelli ottenuti usando una relazione lineare (tabella 7.10 b).

Per chiarezza di esposizione, e per facilitare il confronto tra gli scenari, si sono riportati solamente gli indicatori economici relativi allo scenario "minimo" in cui essi attingono un valore positivo (p.e. se l'intervento ha un VAN positivo già nello scenario con l'evoluzione "ottimistica" delle perdite, non verrà riportato il VAN dello scenario "pessimistico" anche se questo è maggiore del precedente).

Le tabelle 7.10 a) e 7.10 b) riportano anche il valore del danno attuale residuo in termini % sul valore base – questo approccio è necessario perché si stanno confrontando interventi su scenari differenti (p.e. il valore base del danno nello scenario pessimistico è maggiore del valore base del danno attuale atteso nello scenario di Piano d'Ambito).

Tabella 7.10 a) Indicatori di performance economica per gli investimenti finalizzati ad incrementare la disponibilità di risorsa nel sistema e danno attuale residuo dopo della realizzazione dell'investimento- benefici valutati con un a curva della domanda di tipo log-lineare

Denominazione intervento	SCENARIO "MINIMO" CON VAN >0	VANE [M€]	SRIE	B/C	Danno attuale residuo [% sul danno base]
Collegamento serb. P.te Liscione - serbatoio Occhito	-	(-4,0)*	-	(0,9)*	82%
Collegamento vasca Marascione - serbatoio Locone	B_perturbato perdite "pessimistico"	5,2	8%	1,2	77%
Collegamento serb. Rendina - serbatoio Locone	B -PdA	10,8	-	1,4	70%
Collegamento serb. San Giuliano - nodo Ginosa	B_perturbato perdite "ottimistico"	25,1	21%	1,5	35%
Traversa Sauro	B -PdA	32,75	24%	3,19	45%
Traversa Sarmiento*	B -PdA	52,98	-	13,97	31%
Traverse Sauro + Sarmiento*	B -PdA	53,70	34%	4,06	13%
Rilasci da serbatoio Cogliandrino**	B -PdA	46,80		2,00	21%

* valore massimo degli indicatori economici - ottenuto in corrispondenza dello scenario "B_perdite_pessimistico"

**con tetto di prelievo dal serbatoio di 100 Mm³/anno

Tabella 7.10 b) Indicatori di performance economica per gli investimenti finalizzati ad incrementare la disponibilità di risorsa nel sistema e danno attuale residuo dopo della

realizzazione dell'investimento- benefici valutati con un a curva della domanda di tipo lineare

Denominazione intervento	SCENARIO "MINIMO" CON VAN >0	VANE [M€]	SRIE	B/C	Danno attuale residuo [% sul danno base]
Collegamento serb. P.te Liscione - serbatoio Occhito	-	(-66,6)*	-	(0,4)*	80%
Collegamento vasca Marascione - serbatoio Locone	-	(-8,5)*	-	(0,8)*	71%
Collegamento serb. Rendina - serbatoio Locone	B -PdA	6,0	0%	0,9	73%
Collegamento serb. San Giuliano - nodo Ginosa	-	(-1,5)*	-	1,0	53%
Traversa Sauro	B -PdA	32,75	24%	3,19	39%
Traversa Sarmiento*	B -PdA	52,98	-	13,97	31%
Traverse Sauro + Sarmiento*	B -PdA	53,70	34%	4,06	14%
Rilasci da serbatoio Cogliandrino**	B -PdA	46,80		2,00	37%

* valore massimo degli indicatori economici - ottenuto in corrispondenza dello scenario "B_perdite_pessimistico"

**con tetto di prelievo dal serbatoio di 100 Mm³/anno

L'esame delle tabelle mostra che gli interventi idonei a generare flussi di cassa economici con valori attuali positivi, già nelle condizioni previste dal PdA per quanto riguarda il recupero delle perdite apparenti, sono principalmente quelli sul sistema Agri - Sinni. Questi interventi sono pure quelli che determinano una maggiore riduzione del danno atteso per fallanze idrologiche. Al primo posto in una classifica di performance economica si posiziona il completamento della traversa Sarmiento, non fosse altro perché il suo costo di investimento è nullo, dato che viene considerata come già finanziata. Dopo questo intervento, l'istituzione di rilasci permanenti dal serbatoio Cogliandrino sembra essere la soluzione economicamente più efficace, seguita dal completamento della traversa Sauro. Si tratta di interventi che rendono disponibili considerevoli volumi integrativi: dai 31 Mm³/anno della traversa del Sauro fino ai 75 Mm³/anno disponibili dal Cogliandrino.

Gli interventi sui sistemi Locone e Fortore sembrano invece meno efficaci. Nel caso dell'intervento integrativo sul serbatoio Occhito, i bassi livelli di performance, anche in termini di danno residuo, sembrano essere legati da una parte ai volumi integrativi in gioco relativamente più contenuti (20 Mm³/anno), assieme alla circostanza che una buona parte di questi volumi sarebbero impiegati come ristoro per l'uso irriguo più che per determinare un incremento diretto del beneficio potabile, e dall'altra, naturalmente, al maggiore costo di investimento rispetto a quelli sul sistema Agri - Sinni.

Probabilmente proprio per l'assenza di conflitto sugli usi nel serbatoio Locone (gli usi irrigui ammontano a 5 Mm³/anno), gli interventi integrativi su questo serbatoio sembrano avere performance migliori, specialmente l'intervento di collegamento col

serbatoio Rendina, caratterizzato da bassi costi di investimento. Il fattore limitante al successo del trasferimento, in questo caso, potrebbe essere legato da una parte la potenzialità del potabilizzatore del Locone e dall'altra alla necessità di ulteriori interventi di interconnessione, ancora da finanziare, per consentire l'incontro tra offerta e domanda nei bacini di utenza degli acquedotti Fortore e Locone: a seconda della effettiva necessità di nuovi collegamenti e del loro costo, potrebbe infatti non sussistere più la convenienza di integrare le risorse idriche del Locone.

A completamento di questa fase di analisi sugli interventi finalizzati ad incrementare le risorse idriche del sistema, sono stati valutati gli indicatori economici di due combinazioni di investimenti: Cogliandrino + Sauro e Cogliandrino + trasferimenti Rendina –Locone.

I risultati sono mostrati nelle tabelle 7.11 e 7.12 che forniscono anche un esempio di come sono state impostate le analisi per il calcolo degli indicatori economici.

Tabella 7.11 – Tableau costi – benefici per la combinazione degli interventi “Rilascio dal Cogliandrino” e “traversa Sauro” – Analisi ad Euro costanti. Benefici valutati con una relazione domanda –prezzo di tipo loglineare

Costo di investimento:	13,5 M€
Costo di sottensione	0,085 €/m ³
Costo unitario di potabilizzazione	0,05 €/m ³
Costo annuo di manutenzione (in M€)	1% del costo di investimento

	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anni 10-30
Volumi incrementali medi disponibili per il settore civile [Mm ³ /anno]	15,86	12,92	13,82	10,23	8,54	3,74	6,07	5,61	5,60	5,27
Volumi medi rilasciati dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³ /anno]	43,1	39,8	25,0	19,8	16,7	18,4	23,6	22,6	22,5	21,7
COSTI										
Investimento [M€]	0,00	4,05	5,40	4,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Potabilizzazione dei volumi aggiuntivi per il settore civile [M€/anno]	0,00	0,65	0,69	0,51	0,43	0,19	0,30	0,28	0,28	0,26
Sottensione per i volumi rilasciati dal serb. Cogliandrino [M€/anno]	0,0	3,4	2,1	1,7	1,4	1,6	2,0	1,9	1,9	1,8
Manutenzione [M€/anno]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
TOTALE COSTI [M€/anno]	0,00	8,08	8,21	6,25	1,98	1,88	2,44	2,34	2,33	2,24
Costi scontati	0,00	7,62	7,31	5,25	1,57	1,41	1,72	1,56	1,46	1,33
BENEFICI										
Benefici derivanti dalla vendita incrementale di acqua e dal surplus del consumatore [M€/anno]	0,00	11,24	8,93	6,02	7,36	6,72	6,81	6,35	6,33	6,33
Benefici scontati [M€/anno]	0,00	10,60	7,95	-6,25	-1,85	-1,75	-2,31	-2,20	-2,19	-2,11
Benefici - costi	0,00	3,16	0,72	-0,22	5,38	4,84	4,37	4,02	4,00	4,09
$1/(1+r)^t$	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59
$(B - C)/(1+r)^t$	0,00	2,98	0,64	-0,19	4,26	3,62	3,08	2,67	2,51	2,42
VALORE RESIDUO	1,13 M€									
VAN =	50,45 M€									
B/C =	1,2									
TRI =	-									
Danno atteso residuo	17,1 M€ in trent'anni con una riduzione del danno atteso dell'86,5% sul caso base (Scenario B: 126, 4 M€)									

Tabella 7.12 – Tableau costi – benefici per la combinazione degli interventi “Rilascio dal Cogliandrino” e “Rendina – Locone” – Analisi ad Euro costanti. Benefici valutati con

una relazione domanda –prezzo di tipo loglineare

Costo di investimento:	4,29 M€
Costo di sottensione	0,085 €/m ³
Costo unitario di potabilizzazione	0,05 €/m ³
Costo annuo di manutenzione (in M€)	1% del costo di investimento

	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anni 10-30
Volumi incrementali medi disponibili per il settore civile [Mm ³ /anno]	37,53	34,47	24,76	21,00	19,36	14,80	17,12	16,50	16,68	16,38
Volumi medi rilasciati dal serbatoio Cogliandrino [Mm ³ /anno]	59,7	55,3	35,6	27,9	23,4	25,5	33,8	32,6	32,5	31,2
COSTI										
Investimento [M€]	0,00	1,29	1,72	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Potabilizzazione dei volumi aggiuntivi per il settore civile [M€/anno]	0,00	1,72	1,24	1,05	0,97	0,74	0,86	0,83	0,83	0,82
Costi energetici per sollevamento trasferimenti Rendina - Locone[M€/anno]	0,00	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Sottensione per i volumi rilasciati dal serb. Cogliandrino [M€/anno]	0,0	4,7	3,0	2,4	2,0	2,2	2,9	2,8	2,8	2,6
Manutenzione [M€/anno]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
TOTALE COSTI [M€/anno]	0,00	8,48	6,75	5,48	3,77	3,72	4,54	4,41	4,41	4,28
Costi attualizzati	0,00	8,00	6,00	4,60	2,99	2,78	3,20	2,93	2,77	2,53
BENEFICI										
Benefici derivanti dalla vendita incrementale di acqua e dal surplus del consumatore [M€/anno]	0,00	12,19	9,53	6,73	7,64	6,82	7,08	6,64	6,58	6,58
Benefici attualizzati	0,00	11,50	8,48	-5,48	-3,73	-3,68	-4,50	-4,37	-4,37	-4,24
Benefici - costi	0,00	3,71	2,78	1,25	3,86	3,10	2,54	2,23	2,17	2,30
$1/(1+r)^t$	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59
$(B - C)/(1+r)^t$	0,00	3,50	2,47	1,05	3,06	2,31	1,79	1,48	1,36	1,36
Valore residuo	1,07 M€									
VAN =	34,18 M€									
B/C =	0,5									
TRI =	-									
Danno atteso residuo	10,5 M€	in 30 anni		Con una riduzione del 91,7 % sul caso base (Scenario B: 126, 4 M€)						

Il confronto tra le due combinazioni mostra che i migliori indicatori economici sono posseduti da quella che concentra tutte le integrazioni sul serbatoio Monte Cutugno, per quanto la soluzione in cui le integrazioni sono differenziate su due sistemi è in grado di ridurre in modo più efficace il danno atteso residuo.

Grava sulla seconda soluzione (Cogliandrino + trasferimento Rendina), oltre ai costi di sollevamento, anche la maggior richiesta di volumi integrativi al serbatoio Cogliandrino, dato che non è presente la traversa Sauro ad integrare i volumi in arrivo al serbatoio, con il conseguente incremento dei costi di sottensione.

E' stata anche provata la combinazione traversa Sauro + Rendina – Locone. Essa ha fornito un VAN di 28 M€ ed un danno residuo di 35,9 M€ ed è quindi da ritenersi dominata dalle altre due soluzioni.

Capitolo 7

L'analisi costi – benefici in un contesto di efficienza allocativa

Nel capitolo precedente, l'analisi di alcuni interventi integrativi per l'approvvigionamento potabile della Puglia è stata svolta appoggiandosi ad un modello di simulazione a scala annua del sistema, uno strumento che, per quanto semplificato a causa della scala temporale e dell'ipotesi di perfetta interconnessione tra tutti i centri di offerta, si è tuttavia rivelato insostituibile per la valutazione dei benefici collegati alla riduzione del rischio idrologico (e del danno conseguente) dato che ha consentito di tenere in conto la capacità dei serbatoi di regolazione del sistema, le potenzialità di trasporto almeno delle condotte principali, la capacità di trattamento degli impianti di potabilizzazione e, naturalmente, la variabilità idrologica - tutti elementi fondamentali per la comprensione dell'effettivo gioco dei volumi integrativi e di quanto il sistema li richieda effettivamente nei diversi scenari di recupero di efficienza del sistema, con conseguente riduzione dei prelievi nel medio termine.

Le altre semplificazioni del modello (p.e. modellazione semplificata della struttura spaziale delle disponibilità idrica etc.) sono il risultato di una non disponibilità di dati ed informazioni che hanno condizionato le scelte modellistiche.

L'altra ipotesi decisamente semplificatrice, ma che nasce dalla non completa conoscenza del sistema degli usi irrigui, è legata alle modalità di gestione dei serbatoi ad uso multiplo: si è presa la decisione drastica di inserire la regola di soddisfare per primi tutti gli usi fuori dall'Ambito, quindi in primo luogo proprio i fabbisogni irrigui, e solo successivamente la domanda civile.

Per effetto di questa regola, una buona parte dei volumi integrativi viene in realtà utilizzata proprio per coprire la domanda irrigua non soddisfatta. Può essere di interesse quindi indagare cosa accada se viene preso in considerazione l'equilibrio economico delle allocazioni tra i due settori, civile e irriguo e quale sia l'impatto sulla valutazione dei benefici tenendo in considerazione i due

effetti opposti: da una parte, infatti, i benefici che sono stati considerati nella valutazione dell'intervento sono solo quelli del consumatore civile, mentre in effetti esiste anche un beneficio irriguo. D'altra parte nella situazione "senza" intervento il danno atteso è stato valutato facendo riferimento alla regola di soddisfacimento prioritario degli usi irrigui ed il risultante beneficio (ottenuto come differenza tra il danno atteso nella situazione senza e quella nella situazione con) sarà quindi probabilmente sovrastimato.

Cercherò di analizzare questi aspetti utilizzando un modello di ottimizzazione che risolve il problema dell'allocazione efficiente delle risorse idriche su di un orizzonte ventennale utilizzando una scala temporale di tipo mensile.

Il modello sarà applicato solamente ad una porzione del sistema di approvvigionamento primario della Puglia, ovvero il sistema Agri – Sinni (si veda punto , che approvvigiona praticamente per intero, con la importante integrazione della falda, le provincie di Lecce, Taranto e Brindisi e attraverso una diramazione, anche una parte della provincia di Bari. Al sistema sono pure collegati rilevanti usi irrigui, che saranno quantificati e modellati nel seguito.

7.1 La stima della domanda irrigua per il settore irriguo nel sistema Agri – Sinni

I centri di domanda irrigua compresi nel sistema Agri – Sinni sono le aree irrigate ricadenti nei consorzi di bonifica Basso Bradano – Metaponto (ricadente in Basilicata), Stornara e Tara, Arneo ed Ugento Li Foggi. Tali aree si approvvigionano sia attraverso risorse consortili centralizzate (cioè i serbatoi di regolazione del sistema) che con risorse decentralizzate (cioè la falda acquifera, in special modo nel consorzi Arneo ed Ugento Li Foggi).

La tabella 7.1 riporta il quadro delle aree irrigate, dei fabbisogni colturali unitari (m^3/ha) e complessivi per i comprensori irrigui collegati al sistema Agri – Sinni. Le aree ricadenti nei due consorzi Arneo ed Ugento Li Foggi si approvvigionano in modo praticamente esclusivo dalla falda salentina, venendo raggiunti in questo momento solo marginalmente dalle risorse del serbatoio Sinni. Per tale motivo, tali aree sono state unificate sotto l'unica denominazione di "Salento".

Le informazioni sono state ottenute elaborando numerose fonti, non tutte invero pienamente in accordo tra di loro e con aspetti contraddittori che verranno messi in evidenza nel seguito: le estensioni delle aree irrigue del consorzio Alto Bradano – Metaponto sono state ottenute dal documento INEA "Aspetti Economici dell'Agricoltura Irrigua in Basilicata" (Prezioso, 2009) mentre quelle sui Consorzi di Bonifica della Puglia sono state valutate attraverso il confronto dei dati del censimento ISTAT dell'Agricoltura del 2000, dei dati

dell'INEA (La produttività dell'agricoltura in Puglia, 2008 - basati sul date-base della rete RICA – Rete di'Informazione Contabile Agricola).

Per i fabbisogni irrigui ci si è avvalsi di un esteso studio svolto all'interno del progetto POM-OTRIS, tra gli altri, da diverse istituzioni universitarie della Puglia e dall'Istituto sull'Orticoltura Industriale del CNR di Bari, che hanno stimato i fabbisogni irrigui delle tipologie colturali prevalenti nelle rispettive aree di studio, tra cui anche quella di interesse per questo lavoro.

E' appena il caso di evidenziare che già la ricostruzione di un quadro attendibile delle superfici irrigate distinte per consorzio e per tipologia colturale ha richiesto un ingente sforzo di "conciliazione" delle diverse fonti di informazione che non sempre forniscono dati univoci.

Tabella 7.1 a) Aree del Consorzio Alto Bradano – Metaponto irrigate con acque del serbatoio Sinni, fabbisogni e domanda "lorda"

Tipologia colturale	Area irrigata [Ha]	Fabbisogno unitario [m ³ /ha]	Fabbisogno [m ³ /anno]	Fabbisogno lordo [m ³ /anno]
Agrometo	3.346	4.750	15,9	45,3
Frutteto	3.670	4.750	17,4	49,7
Oliveto	1.068	3.125	3,3	9,5
Vigneto	747	3.375	2,5	7,2
Ortaggi	1.789	4.000	7,2	13,8
Pomodoro	278	4.500	1,2	3,6
TOTALE	10.898		45,3	129,0

Tabella 7.1 b) Aree del Consorzio Alto Bradano – Metaponto irrigate con acque del serbatoio Pertusillo, fabbisogni e domanda "lorda"

Tipologia colturale	Area irrigata [Ha]	Fabbisogno unitario [m ³ /ha]	Fabbisogno [m ³ /anno]	Fabbisogno lordo [m ³ /anno]
Agrometo	3.346	4.750	15,9	45,3
Frutteto	1.223	4.750	5,8	18,9
Oliveto	356	3.125	1,1	3,6
Vigneto	249	3.375	0,8	2,7
Ortaggi	596	4.000	2,4	5,2

Pomodoro	93	4.500	0,4	1,4
TOTALE	3.633		15,1	49,1

Tabella 7.1 c) Aree dei Consorzi Arneo ed Ugento Li Foggi irrigate con acque della falda Salentina, fabbisogni e domanda “lorda”

Tipologia colturale	Specie	Superficie irrigata [ha]	Fabbisogno idrico unitario [m ³ /ha]	Domanda annua [Mm ³]	Domanda annua lorda [Mm ³]
ORTAGGI E PATATE	Finocchio	1.037	2.000	2,1	2,6
	Cavolfiore	940	1.800	1,7	2,1
	Insalata	759	1.500	1,1	1,4
	Patata	838	2.000	1,7	2,1
	Popone o melone	746	4.500	3,4	4,2
	Pomodoro da				
	Industria	486	4.500	2,2	2,7
	Melanzane	220	5.500	1,2	1,5
	Peperone	97	5.500	0,5	0,7
	Altri ortaggi	761	2.707	2,1	2,6
TOTALE/MEDIA ORTAGGI		5.885	2.707	15,9	19,7
TABACCO	Tabacco	896	3.000	2,7	3,3
PIANTE DA SEMI OLEOSI	Girasole	3.506	5.500	19,3	23,9
	Agumi	2.483	4.750	11,8	14,6
ARBOREE	Olivo	27.095	3.125	84,7	104,9
	Frutteto	960	3.125	3,0	3,7
	Vite	9.266	3.375	31,3	38,8
TOTALE/MEDIA IRRIGAZIONE DA FALDA		50.090	3.367	168,6	209,0

Nelle tabelle 7.1 a) e 7.1 b) compare una colonna relativa ai fabbisogni “lordi”. Essa è stata ottenuta a partire dal dato medio di esercizio sui volumi consegnati dai serbatoi Monte Cutugno (129 Mm³/anno) e Pertusillo (49 Mm³/anno) ai distretti irrigui del CdB Alto Bradano – Metaponto ripartendolo

proporzionalmente ai fabbisogni unitari “netti” delle colture, ottenuti da dati di letteratura (p.e. il citato progetto POM-OTRIS). Il confronto tra valori netti e lordi di domanda mette subito in evidenza un rapporto di circa 1 a 3, ad indicare l’elevatissimo livello delle perdite nelle reti di distribuzione irrigua. Anche considerando altri dati di fabbisogno irriguo attuale rilevati sul distretto “sinistra Bradano” del consorzio di bonifica di Stornara e Tara (Zaccaria et al., 2009), il rapporto tra volumi consegnati alle reti consortili e volumi effettivamente applicati alle colture risulta pari al 44%, dato che non meraviglia vista l’attuale efficienza delle reti di distribuzione urbane.

Tabella 7.2 Aree del Consorzio Alto Bradano – Metaponto irrigate con acque del serbatoio Sinni e domanda “lorda” valutata a partire dai fabbisogni unitari attuali rilevati da Zaccaria et al. (2009)

Tipologia colturale	Area irrigata [Ha]	Fabbisogno unitario [m ³ /ha]	Fabbisogno [m ³ /anno]	Fabbisogno lordo [m ³ /anno]
Agrumeto	3.346	7.920	26,5	45,3
Frutteto	3.670	7.920	29,1	49,7
Oliveto	1.068	3.125	3,3	9,5
Vigneto	747	6.120	4,6	7,2
Ortaggi	1.789	4.680	8,4	13,8
Pomodoro	278	4.500	1,2	3,6
TOTALE	10.898		73,1	129,0

Il tema degli investimenti per il miglioramento dell’efficienza dell’uso dell’acqua rimane ovviamente aperto e non è l’obiettivo di questo lavoro entrare nel merito dell’argomento. Mi pare tuttavia opportuno osservare che nel contesto dell’allocazione di risorse che sono scarse o perché devono essere condivise tra diversi usi, o perché sono ad un basso tasso di rinnovabilità o perché sono molto variabili, il miglioramento della produttività dell’acqua in agricoltura si può ottenere o “sulla pianta” migliorando le modalità di applicazione dell’acqua in modo da tenere conto del ciclo vegetativo delle colture e dei relativi fabbisogni idrici (Zaccaria et al., 2009) oppure, analogamente a quanto detto per le reti urbane, impegnandosi nel ridurre le perdite delle estese reti consortili ed aziendali (ma, in assenza di un’adeguata politica tariffaria o di sussidi resta il problema di comprendere quale dovrebbe essere il driver di queste iniziative).

Nel caso del Salento, il dato di riferimento per il prelievo da falda è quello del Piano di Tutela delle Acque della Puglia (2009). Le perdite in questo caso si attesterebbero intorno al 20%, forse per effetto dell'assenza di reti consortili vere e proprie: nelle aree ricadenti nel perimetro dei due consorzi le aree sono infatti per lo più irrigate con fonti extra-consortili (pozzi) a servizio di aziende molto frammentate (la superficie media è di circa 2 ha) e manca un'articolata rete di distribuzione consortile. Non è escluso, comunque, che il dato di prelievo da falda riportato dal Piano di Tutela siano in realtà sottostimato.

Acquisiti questi dati, è possibile ricostruire una curva della domanda per l'acqua irrigua utilizzando la metodologia dell'"attribuzione residua" (*Residual Imputation*) (Young, 1996), secondo cui la produttività dell'acqua come input per la produzione di un bene Y si ottiene sottraendo dal ricavo della vendita del prodotto i costi di tutti gli altri input tranne quello dell'acqua e dividendo il risultato per la quantità di acqua applicata.

Il metodo si basa su due ipotesi fondamentali: 1) che il prezzo di vendita del prodotto sia pari al valore marginale unitario del prodotto e 2) che nella formazione del valore totale rilevato del prodotto, tutti i fattori di produzione (gli input) siano utilizzati al loro livello di massima produttività marginale, in altre parole il prezzo degli input corrisponde al suo valore marginale.

Il valore totale TVPy del prodotto Y è la somma delle quantità degli altri input per il loro valore, identificato con i prezzi di mercato, ed in questo modo si può determinare in via residuale il valore dell'acqua.

In simboli:

$Y = f(Q_k, Q_L, Q_R, Q_W)$ Y prodotto, e Q_L, Q_k, Q_R, Q_W rispettivamente le quantità di capitale, lavoro, terra e acqua applicati

Prima ipotesi:

Prezzo \cong VMP

$$TVPy - [(P_k \times Q_k) + (P_L \times Q_L) + (P_R \times Q_R)] = P^*_W \times Q_W \rightarrow P^*_W$$

Seconda ipotesi:

Proprietà additiva secondo la quale ciascuno utilizza un bene sino al massimo della produttività marginale VMP. ($P_j = VMP_j$)

$$TVPy = (VMP_k \times Q_k) + (VMP_L \times Q_L) + (VMP_R \times Q_R) + (VMP_W \times Q_W)$$

I dati economici necessari per l'applicazione sono contenuti in una preziosa monografia dell'INEA (INEA e Regione Puglia, 2008) che utilizza i dati di oltre 1000 aziende del Data Base RICA. In tale monografia sono riportate le fondamentali disaggregazioni delle diverse componenti di costo per le principali colture presenti nell'area (ulivo, vite da vino, alcuni ortaggi) che hanno consentito di applicare la metodologia; per le tipologie colturali non considerate nello studio INEA ci si è appoggiati anche ad un simile lavoro della Regione Campania (Regione Campania, 2006).

Nel complesso, è stato quindi possibile associare alle quindici differenti tipologie colturali maggiormente diffuse nell'area in esame (non riportate tutte in tabella) un valore di produttività marginale dell'acqua (in €/m³) ottenuto come differenza tra ricavi e costi unitari divisi per il volume (lordo) utilizzato. Evidentemente l'estensione areale (ed il relativo fabbisogno idrico complessivo) di ciascuna di queste colture è molto diverso: per esempio nel Salento si va dai 27.000 ha di uliveto irriguo ai 97 ettari del peperone.

Prendere in considerazione una significativa varietà di tipologie colturali è apparso necessario per conferire ai dati di produttività ricostruiti attraverso la metodologia il significato, anche se approssimato, di punti di una curva della domanda. Come osservato da Griffin (2007, pagg. 281 - 286), infatti, il valore di produttività marginale relativo a una singola coltura fornisce solamente un punto di una ipotetica curva della domanda d'acqua di quella coltura, ma se si considerano attività multiple, cioè numerose diverse tipologie colturali, si può considerare una domanda aggregata in cui le risorse idriche disponibili vengono via via assegnate, secondo altri vincoli non rimovibili quali il fabbisogno unitario e la superficie irrigata, alle colture con produttività marginale più bassa.

Concettualmente, questo tipo di aggregazione simile a quella fatta da Tsur (1997) in uno studio sulla domanda nei distretti irrigui della San Joaquin Valley in California. I valori di produttività marginale possono essere ordinati in senso decrescente e possono essere plottati contro il volume idrico richiesto cumulato. In tal modo si ottiene una curva di produttività decrescenti all'aumentare della quantità domandata. L'area sottesa dalla curva rappresenta l'intero beneficio (il ricavo netto) collegato all'irrigazione.

Si tratta di un approccio parziale perché parte, in realtà, dalla presunzione che la distribuzione attuale delle aree irrigue alle diverse tipologie colturali rifletta un'utilizzazione ottimale di tutti gli input (terra, lavoro etc.) e che anche l'acqua sia utilizzata in maniera ottimale. L'approccio più completo è quello che utilizza la programmazione lineare (p.e. Paris, 1995) per modellare in maniera completa le attività multiple di un'azienda agricola e di determinare quindi il livello ottimale di utilizzo di tutti gli input ed il loro valore (cioè il loro prezzo

ombra), secondo quanto già descritto nel capitolo 2 a proposito della determinazione della curva della domanda di un input per un'impresa.

Si tratta evidentemente di un approccio più complesso, che richiede una quantità di informazioni considerevole. Inoltre, come spesso accade, i risultati in uscita dai modelli di programmazione matematica sulla organizzazione delle aziende agricole a scala regionale sono utili per suggerire strade per il miglioramento delle attività, aprendo importanti possibilità di dibattito sulle strategie da perseguire nel medio – lungo termine, ma non riflettono il livello attuale dei servizi e della produzione. Per questo motivo, per non aggiungere ulteriore complessità, in questo lavoro si è deciso di basarsi sui dati di produttività attuale.

Una curva della domanda ottenuta con la procedura semplificata descritta sopra può essere considerata come una domanda di “breve termine”. Le figure 7.1 a) e 7.1 c) riportano le curve della domanda così ottenuta rispettivamente per l'area salentina, per le aree del Consorzio Alto Bradano – Basento approvvigionate dal serbatoio Monte Cutugno e per le aree del Consorzio Alto Bradano – Basento approvvigionate dal serbatoio Pertusillo.

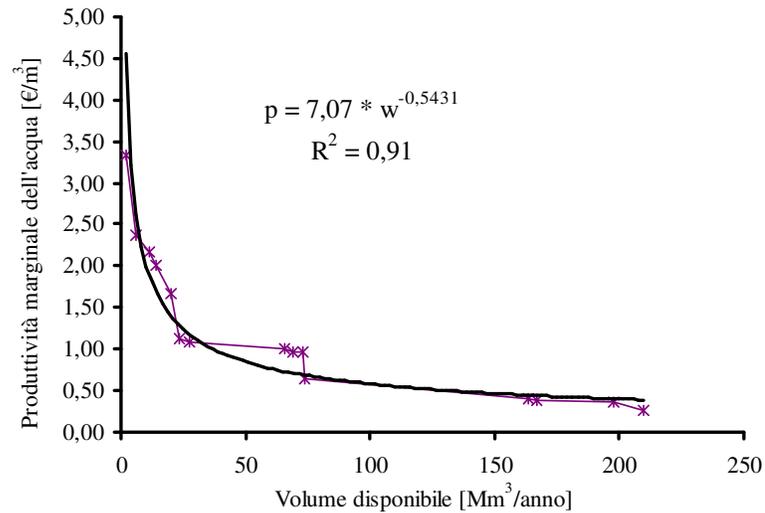


Figura 7.1 a) – Curva della domanda per l'acqua irrigua nel Salento

L'interpolazione attraverso una curva continua non è concettualmente corretta (la produttività marginale è costante per una certa coltura), ma è utile per le

successive utilizzazioni della curva nel modello intersettoriale di allocazione delle risorse idriche. I valori di elasticità della domanda d'acqua per l'irrigazione desumibili dalle curve di figura 7.1 a) 7.1 b) e 7.1 c), a partire dalla (6.8) risultano pari a -1,84 per il Salento e a -1,10 per le aree consortili irrigate dal . Si tratta di valori che, pur essendo compatibili con i valori di elasticità trovati in studi di tipo econometrico o modellistico (Griffin, 2007, pagg. 312 – 317) sono alquanto più elevati dei valori di tendenza centrale ottenuti da meta-analisi (Scheierling et al., 2006) e da studi cross-sezionali effettuati a partire da dati relativi a consumi per uso irriguo antecedenti e seguenti una riforma tariffaria (Schoengold et al., 2006). I valori ottenuti con la metodologia adottata sembrerebbero suggerire che la domanda sia, anche nel breve termine, elastica ($\eta < -1$).

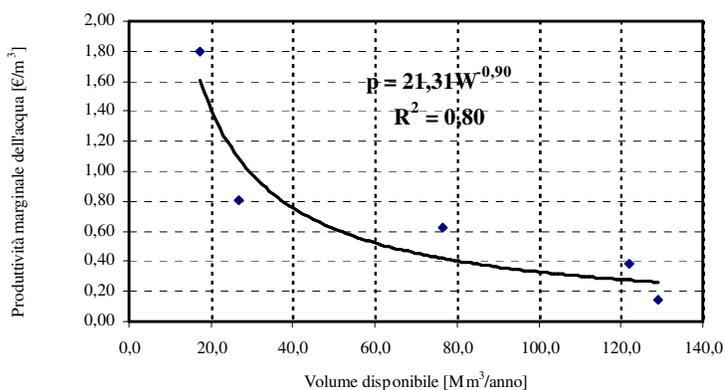


Figura 7.1 b) – Curva della domanda per l'acqua irrigua nelle aree del consorzio Bradano – Metaponto approvvigionate dal serbatoio Monte Cutugno

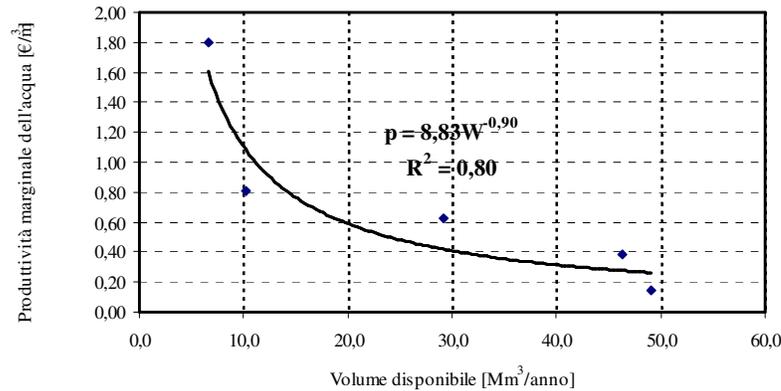


Figura 7.1 c) – Curva della domanda per l’acqua irrigua nelle aree del consorzio Bradano – Metaponto approvvigionate dal serbatoio Pertusillo

Quando la disponibilità idrica è inferiore al valore massimo richiesto, esiste una mancata produzione (un danno). In mancanza di acqua infatti, non vengono irrigate le colture con la produttività marginale più bassa.

Questo schema implica concettualmente che il distretto irriguo sia visto come un’unica entità aggregata. In ogni caso, l’indisponibilità di risorsa idrica può portare concretamente alla decisione di non coltivare certe tipologie solamente nel caso in cui queste sono seminativi (quindi inclusi gli ortaggi). Per le colture arboree, la scelta di non irrigare non comporta una mancato introito pari all’intera produzione, perché anche se non irrigate al massimo le colture arboree sono in grado di fornire una certa produzione: questo è per altro il principio della *deficit irrigation*, cioè la tecnica di irrigazione “di precisione” che accetta lo stress idrico della pianta in alcuni momenti dell’accrescimento, riservando volumi idrici maggiori in altri, in modo da ottenere significativi risparmi di risorsa idrica (o, a parità di risorsa, consente l’irrigazione di un maggior numero di piante).

Per tenere conto di questo fatto, è stata svolta innanzitutto una estesa indagine bibliografica sull’argomento, almeno per le coltivazioni più diffuse sul territorio in esame (essenzialmente la vite e l’ulivo). Il primo obiettivo era di determinare una relazione che leghi la produzione alla quantità di acqua applicata. E’ ben noto che tali relazioni sono fortemente *site-specific* (i dati sull’ulivo trovati in Toscana sono diversi da quelli che si potrebbero trovare in Puglia a causa del diverso regime delle precipitazioni questi sono a loro volta diversi da quelli

della Spagna, etc.) e dipendono per giunta pure dalla cultivar, dalla modalità di coltivazione, dall'età delle piante etc. In ogni caso, una relazione lineare tra acqua applicata e produzione esiste, indipendentemente dai valori dei coefficienti, che possono variare da sito a sito (Goldhamer, 2007).

Facendo riferimento ai dati di D'Andria et al. (2002) determinati per diverse cultivar di ulivo in Campania, la produttività raddoppia passando da allevamento in asciutto ad allevamento con una irrigazione pari al 100% del fabbisogno idrico della pianta con un andamento pressappoco lineare; studi statunitensi (Goldhamer, 2007) e spagnoli sulla vite mostrano che la produzione di uva varia pressappoco linearmente con una variazione della produzione tra allevamento in asciutto e piena irrigazione di meno del 40%. Per gli alberi da frutta (compreso l'agrumeto) si trovano valori simili.

Pur nella complessità dei processi bioagroclimatici e nelle incertezze collegate alla mancanza di dati specifici, si è voluto tenere conto di queste informazioni nella definizione della curva della domanda d'acqua per uso irriguo almeno per le due principali coltivazioni arboree (ulivo e vite) praticate nell'area studiata.

Il risultato è semplicemente che la produttività marginale dell'acqua applicata a queste due tipologie colturali è pari alla pendenza della relazione tra acqua applicata e quantità prodotta e questo valore è quello che è stato inserito nelle curve della domanda sopra rappresentate.

Le relazioni rappresentate nelle figure fanno riferimento ad una curva della produttività marginale riferita al cosiddetto margine *lordo* della produzione, cioè i ricavi dalla vendita dei prodotti agricoli meno i cosiddetti costi specifici, cioè i costi dei fertilizzanti, delle sementi, dei prodotti di difesa.

La figura 7.2 confronta invece la curva della domanda riferita al margine lordo e quella riferita alla produttività marginale netta, cioè quello che rimane una volta che è remunerato pure il lavoro della manodopera aziendale.

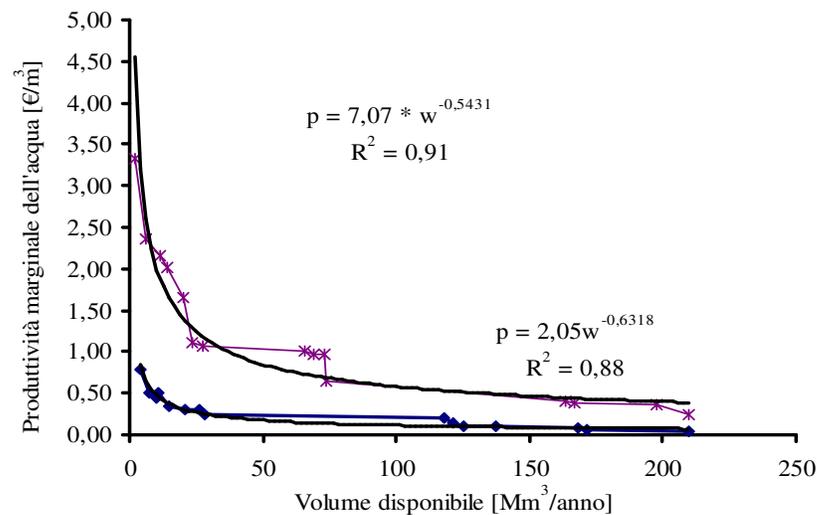


Figura 7.2 – Curva della domanda per l’acqua irrigua: produttività lorda e netta.

Si pone quindi il problema di quale sia la curva da utilizzare. Ritengo che nei problemi di allocazione di tipo intersettoriale o di valutazione dei benefici collegate a misure (infrastrutturali e non) nel settore irriguo, la curva corretta da utilizzare sia quella ottenuta facendo riferimento al prodotto lordo: è infatti nel prodotto lordo che è contenuta la remunerazione del lavoro aziendale, che costituisce una parte considerevole del beneficio sociale collegato agli usi irrigui. La produttività netta è invece il *driver* che guida la riorganizzazione aziendale e culturale ed è quindi la variabile corretta da utilizzare in problemi di micro-economia agraria.

7.2 Il modello delle allocazioni

Siamo adesso in grado di scrivere il modello delle allocazioni con riferimento al sistema descritto in figura 7.3. In una prima fase il modello sarà scritto non tenendo conto del serbatoio Cogliandrino, che rappresenta una risorsa integrativa.

La funzione obiettivo del modello è la minimizzazione dei costi variabili, cioè dei costi operativi (essenzialmente trattamento delle acque e sollevamenti dai pozzi o all’interno del sistema) più i costi scarsità, cioè il danno derivante dalla impossibilità di soddisfare la domanda target, lungo un periodo di ventitre anni.

I vincoli sono quelli di continuità per i due serbatoi e di capacità (di trasporto e di trattamento) su condotte ed impianti di potabilizzazione.

La scala temporale è quella mensile. L'ottimizzazione viene effettuata usando come input idrologico le serie storiche 1982/83 – 2005/2006 dei volumi in ingresso al serbatoio, ricostruiti attraverso i dati di esercizio dei serbatoi (vedasi capitolo precedente). Il modello è statico, nel senso che i valori di domanda sono riferiti al medio termine, in cui, con fortune diversamente rappresentate dagli scenari del capitolo precedente, si è completato il processo di recupero delle perdite fisiche nel settore civile. Non vengono fatte ipotesi sull'evoluzione della domanda nel settore irriguo.

Si osservi incidentalmente come la minimizzazione dei costi variabili sia identica all'obiettivo di massimizzazione del beneficio netto: infatti ricordando la (6.6) e la (6.3a) e con la stessa notazione (T è la domanda target in $Mm^3/anno$, D è il costo scarsità in $M€/anno$, x il volume allocato in $Mm^3/anno$, Def è il deficit in $Mm^3/anno$) risulta:

$$\text{Costo scarsità} = D = B(T) - B(x) = B(T) - B(T - Def)$$

$$\text{Quindi costi variabili} = B(T) - B(T - Def) + C(x)$$

Poiché $B(T)$ è una costante non entrerà in gioco nella ottimizzazione (che, indipendentemente dalla tecnica usata implica sempre la considerazione di derivate prime) per cui:

$$\text{min costi variabili} = -B(T - Def) + C(x) = \max -(-B(T - Def) + C(x)) = \max B(x) - C(x) = \max \text{beneficio netto.}$$

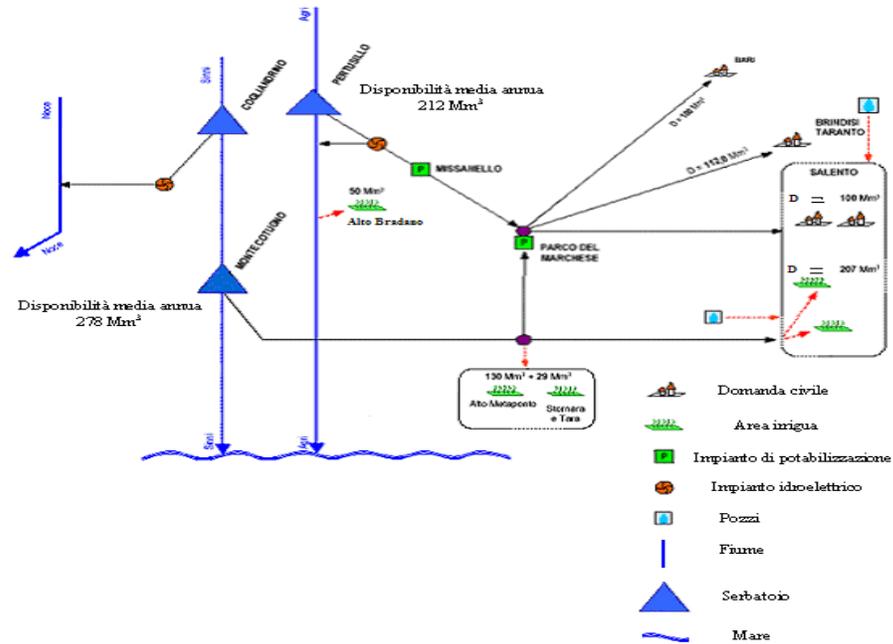


Figura 7.3 – Una rappresentazione del sistema Agri – Sinni

Il modello si scrive come segue, avendo indicato gli anni con l'indice j , i mesi con l'indice i , con s i centri di domanda civile e con p i centri di domanda irrigua; i parametri del modello sono indicati in grassetto:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{N_anni} \sum_{j=1}^{12} \text{financ_civ}(i,j) + \text{financ_irr}(i,j) + \text{scarc_civ}(i,j) + \text{sfori_1}(i,j) + \\ \text{sfori_2}(i,j) + \sum_{j=1}^{N_anni} \text{scarc_irr}(j)$$

s.t.

Definizioni delle componenti della funzione di costo:

$$\text{Deficit_irr}(i, j, p) = \mathbf{T_irr}(i, p) - x_irr_1(i, j, p) - x_irr_2(i, j, p) - x_pozzi_irr(i, j, p)$$

$$\text{Deficit_irr_anno}(j,p) = \sum_{i=1}^{12} \text{Deficit_irr}(i, j, p)$$

$$\text{scarc_irr}(j,p) = \sum_{p=1}^P \mathbf{a}_1(\mathbf{p}) * \text{Deficit_irr_anno}(j, p) + \mathbf{a}_2(\mathbf{p}) * \text{Deficit_irr_anno}(j, p)^2$$

$$\text{Def_civ}(i, j, s) = \mathbf{T_civ}(i) - x_{\text{civ}_1}(i, j, s) - x_{\text{civ}_2}(i, j, s) - x_{\text{pozzi_civ}}(i, j, s)$$

$$\text{scarc_civ}(i, j, s) = \mathbf{b}_1(s) * \text{Def_civ}(i, j, s) + \mathbf{b}_2(s) * \text{Def_civ}(i, j, s)^2$$

$$\text{financ_civ}(i,j) = \mathbf{cw_pozzi} * x_{\text{pozzi_civ}}(i, j) + \mathbf{c_pot_Miss} * x_{\text{civ}_1}(i, j) + \mathbf{c_pot_Parco} * x_{\text{civ}_2}(i, j)$$

$$\text{financ_irr}(i, j) = \mathbf{cw_pozzi} * x_{\text{pozzi_irr}}(i, j)$$

Vincoli di continuità ai nodi (serbatoi)

Serbatoio 1 (Pertusillo)

$$S_1(i, j) = S_1(i-1, j) + I_1(i, j) - x_{\text{civ}_1}(i, j) - x_{\text{irr}_1}(i, j) - \mathbf{DMV_1}(i, j) - \mathbf{evap1_1}(j) - \mathbf{evap2_1}(j) * S_1(i-1, j) - \text{sflori}_1(i, j)$$

Serbatoio 2 (Monte Cutugno)

$$S_2(i, j) = S_2(i-1, j) + I_2(i, j) - x_{\text{civ}_2}(i, j) - x_{\text{irr}_2}(i, j) - \mathbf{DMV_2}(i, j) - \mathbf{evap1_2}(j) - \mathbf{evap2_2}(j) * S_2(i-1, j) - \text{sflori}_2(i, j)$$

Vincoli sulle capacità

$$S_1(i, j) \leq \mathbf{K}_1$$

$$S_2(i, j) \leq \mathbf{K}_2$$

$$x_{\text{civ}_2}(i, j) + x_{\text{irr}_2}(i, j) \leq \mathbf{C}_1$$

$$x_{\text{irr}_2}(i, j) \leq \mathbf{C}_2$$

$$x_{\text{civ}_2}(i, j) \leq \mathbf{C}_3$$

.....

$$x_{\text{pozzi_civ}}(i, j) \leq \mathbf{P_{max_civ}}(j)$$

$$x_{\text{pozzi_irr}}(i, j) \leq \mathbf{P_{max_irr}}(j)$$

$$0 \leq x_{\text{civ}_1}(i, j) + x_{\text{civ}_2}(i, j) + x_{\text{pozzi_civ}}(i, j) \leq \mathbf{T_civ}(j)$$

$$0 \leq x_{\text{irr}_1}(i, j) + x_{\text{irr}_2}(i, j) + x_{\text{pozzi_irr}}(i, j) \leq \mathbf{T_irr}(j)$$

Il modello sopra descritto è non lineare nella funzione obiettivo e lineare nei vincoli. Le relazioni non lineari dei costi scarsità (le curve integrali delle curve della domanda) $scarc(def(i,j))$ sono state sostituite con approssimazioni, sempre non lineari, del secondo ordine. Il danno irriguo è valutato su base annua, mentre quello civile è valutato su scala mensile.

Un modello di questo tipo può essere risolto tramite un risolutore non lineare o può essere linearizzato: la funzione obiettivo può essere cioè ricondotta ad una funzione lineare a tratti. La linearizzazione richiede l'introduzione di variabili binarie, secondo le tecniche riportate, p.e., da Loucks e Van Beek (2005).

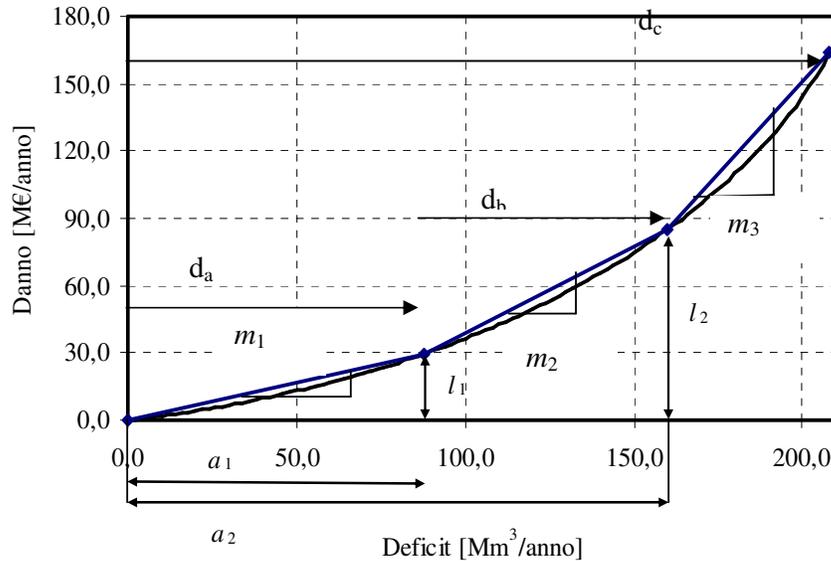


Figura 7.4 Schema di linearizzazione a tratti di una funzione non lineare: m_1 , m_2 ed m_3 indicano le pendenze dei tre tratti

Con riferimento alla figura 7.4., la variabile deficit in un generico passo temporale (i, j) e per un generico uso si può scrivere come segue:

$$\text{Deficit}(i, j) = d_a(i, j) + \mathbf{a}_1 * (1 - I(i, j)) + d_b(i, j) + d_c(i, j) \quad (7.1)$$

$$d_a(i, j) \leq \mathbf{a}_1 * I_1(i, j) \quad (7.2)$$

$$d_b(i, j) \leq (\mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_1) * (1 - I(i, j)) \quad (7.3)$$

$$d_c(i, j) \leq \mathbf{T}(i, j) * (1 - I(i, j)) \quad (7.4)$$

$$d_a(i, j), d_b(i, j), d_c(i, j) > 0 \quad (7.5)$$

$$\text{Deficit}(i, j) \leq \mathbf{T}(i, j) \quad (7.6)$$

$I(i, j)$ binario

$$\begin{aligned} \text{Danno} = \text{scarc} = & \mathbf{l}_1 * I(i, j) + \mathbf{m}_1 * d_a(i, j) + \mathbf{l}_2 * (1 - I(i, j)) + \mathbf{m}_2 * d_b(i, j) \\ & + \mathbf{m}_3 * d_c(i, j) \end{aligned} \quad (7.7)$$

Quando $I(i, j) = 1$, il deficit è vincolato a rimanere nel dominio di definizione della variabile $d_a(i, j)$, cioè deve essere minore di \mathbf{a}_1 ; quando invece $I(i, j) = 0$, il deficit può assumere valori superiori a \mathbf{a}_1 , ma sempre inferiori al target. Quando il deficit è maggiore di \mathbf{a}_2 , risulterà $d_b(i, j) = (\mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_1)$ e $d_c(i, j)$ assumerà il valore appropriato proprio perché vale il vincolo $\text{Deficit}(i, j) \leq \mathbf{T}(i, j)$. Queste condizioni assicurano che anche il danno (7.7) assuma il valore appropriato nella relazione deficit – costo scarsità

7.3 Tecniche di soluzione del modello

La risoluzione del modello sopra descritto può essere effettuata utilizzando software che implementano tecniche di ricerca dell'ottimo nel rispetto dei vincoli. Una prima, generale distinzione dei modelli di programmazione matematica è in modelli lineari e modelli non lineari.

Modelli lineari

L'algoritmo standard per la soluzione di problemi di programmazione lineare è l'algoritmo duale del simplesso (p.e. Hillier e Liebermann, 2010)

Capitolo 8

Un problema (aperto) di allocazione efficiente delle risorse in presenza di vincoli sulla qualità delle acque

Desidero concludere questo percorso all'interno dei temi dell'analisi degli investimenti in un contesto di efficienza allocativa, esponendo il lavoro da me svolto per espandere l'approccio illustrato nei capitoli precedenti anche al caso in cui una parte delle risorse sia degradata dal punto di vista della qualità delle acque e questo degrado sia legato, in parte o del tutto, al regime dei prelievi.

Come è stato illustrato nel capitolo 3, il costo opportunità delle risorse, cioè il loro valore, possiede in questo caso anche una dimensione intertemporale di tipo dinamico, nel senso che esiste un costo opportunità tra usare una risorsa esauribile adesso piuttosto che sfruttarla questa risorsa meno adesso, e conservarla per il futuro. Questa dimensione è diversa da quella, sempre intertemporale, ma "statica" presa in considerazione fino a questo punto del lavoro e presuppone necessariamente la modellazione dell'evoluzione della qualità delle acque sotterranee per effetto dei prelievi, oltre che la considerazione di un valore attuale del beneficio, che è funzione del saggio marginale di preferenza intertemporale (che abbiamo visto equivalere al tasso di interesse "sociale").

L'analisi è evidentemente ispirata al caso dell'acquifero salentino, di cui viene lamentato il progressivo degrado qualitativo (Regione Puglia, 2009) dal punto di vista dell'incremento della concentrazione salina per effetto dell'estensione del cosiddetto cuneo salino nell'entroterra. In realtà, il problema è più complesso ed è legato anche all'inquinamento chimico (nitrati) e microbiologico delle acque, dovuto allo stato certamente problematici del sistema fognario – depurativo ed aggravato dalla facilità con cui gli inquinanti possono infiltrarsi in acquifero fessurato.

Nell'analisi impostata in questo capitolo, il degrado della qualità delle acque è legato esclusivamente all'incremento della concentrazione salina, che è del resto l'unico elemento controllabile attraverso un'adeguata politica di prelievi.

La comprensione e quantificazione del fenomeno e la sua inclusione in un modello di allocazione efficiente presuppone inevitabilmente la modellazione del processo di avanzamento del cuneo salino in una falda costiera. Nel seguito del capitolo, pertanto illustrerò il lavoro svolto per pervenire ad espressioni che leghino i livelli di acqua dolce in un acquifero con i prelievi a scala annua ed indicherò come queste informazioni possano essere introdotte in un modello idroeconomico.

8.1 Modelli di intrusione del cuneo salino

Nell'affrontare questo aspetto, è stata innanzitutto analizzata la letteratura esistente sui modelli di intrusione del cuneo salino in acquifero costiero. Preso atto che esiste una ricca ed ampia gamma di modelli numerici che consentono di valutare l'evoluzione della concentrazione salina nell'acquifero in relazione a variazioni nella ricarica e nei prelievi (Bear et al., 1999), ci si è indirizzati sui modelli più semplici, precisamente su modelli concepiti su geometrie semplici e con un numero limitato di parametri che riescono a descrivere il processo di avanzamento o ritiro del cuneo salino attraverso espressioni che integrano in forma chiusa le equazioni del processo, nell'ipotesi fondamentale di moto piano (bidimensionale).

Tali modelli appartengono alla categoria dei modelli ad interfaccia brusca (*sharp interface*), essendo l'interfaccia la superficie di separazione tra l'acqua dolce e quella salata. In realtà è ben noto che, in relazione alla macro e micro geometria dell'acquifero, intorno all'interfaccia esiste una zona di transizione con concentrazioni saline variabili secondo un profilo approssimativamente assimilabile alla forma di una Gaussiana cumulata. La scelta di modelli semplici è ovviamente collegata al carattere esplorativo del lavoro, ma appare anche perfettamente legittima alla luce 1) delle poche informazioni dettagliate esistenti sull'intero acquifero che si intende modellare (l'acquifero carbonatico profondo del Salento) e dall'altra 2) per il tipo di informazione che si desidera estrarre dal modello: vista l'impostazione modellistica scelta del problema di equilibrio economico (ottimizzazione attraverso programmazione matematica) sarà necessario determinare espressioni che legano la concentrazione salina alla variabile di decisione chiave del problema che è il volume estratto dall'acquifero, per esempio a scala annua.

Lo schema del processo di equilibrio dinamico tra acqua dolce ed acqua salata è rappresentato in figura 8.1 con riferimento ad un acquifero non confinato.

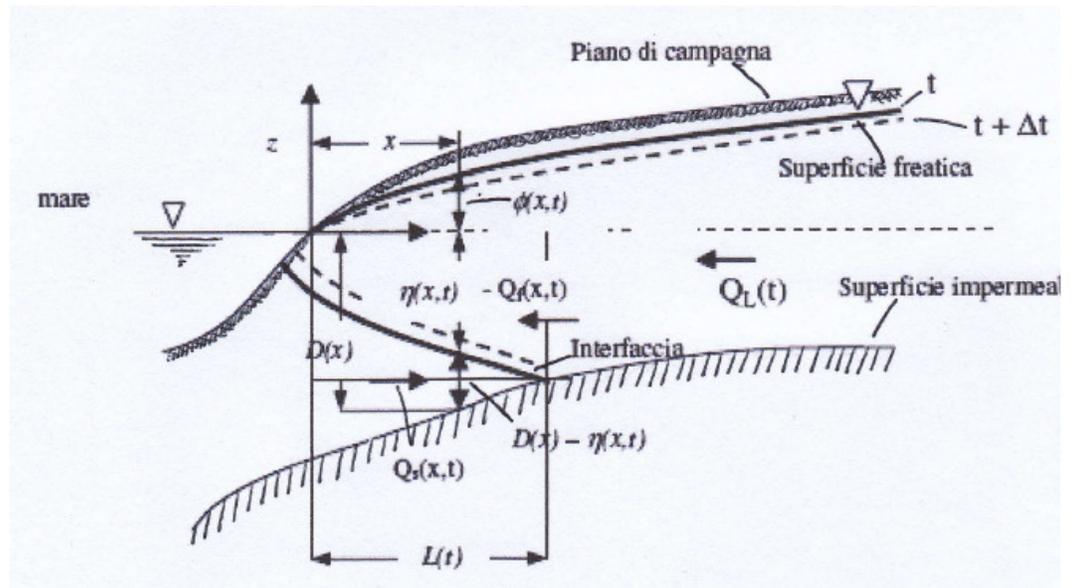


Figura 8.1 – Rappresentazione dell'equilibrio dinamico tra acqua dolce ed acqua salata in un acquifero costiero

Posta l'origine degli assi all'intersezione tra la linea di costa ed il livello del mare e l'ascissa x positiva verso l'interno, $D(x)$ misura l'affondamento, variabile con la distanza dal mare, della superficie impermeabile che limita inferiormente rispetto al livello del mare l'ammasso poroso, che è caratterizzato da porosità "n" e permeabilità K .

In un certo istante t , $\eta(x)$ misura l'affondamento dell'interfaccia rispetto a livello del mare e $\phi(x)$ rappresenta invece la quota della superficie libera della falda. "L" rappresenta la distanza dall'origine degli assi del punto in cui l'interfaccia interseca la superficie di contenimento impermeabile. Il livello della superficie freatica e dell'interfaccia è controllato dalla portata Q che fluisce verso il mare: una brusca riduzione della portata dal valore Q_{L0} ad un valore finale Q , per esempio per effetto di un aumento dei prelievi o per una diminuzione della ricarica, determina un abbassamento della superficie freatica ed un avanzamento dell'interfaccia verso l'interno con relativo movimento dell'acqua di mare verso terra. Viceversa, un brusco incremento della portata Q , per effetto di una riduzione dei prelievi od un incremento della ricarica, determina uno spostamento verso l'esterno dell'interfaccia con espulsione di acqua di mare.

Nel tempo che va dalla brusca variazione di portata alle nuove condizioni di regime, descritte dalla portata Q_f e da una nuova posizione dell'interfaccia, si determina un transitorio durante il quale la portata di acqua dolce verso il mare varia nel tempo ed esiste pure un movimento di acqua di mare. In condizioni semplici, cioè quando $L \gg D$, si può ritenere valida l'ipotesi di Dupuit di superfici equipotenziali verticali. E' quindi possibile scrivere l'equazione dell'equilibrio dinamico dell'interfaccia tenendo conto che sui due suoi lati si muovono liquidi con densità diversa, e per ogni istante si può scrivere anche l'equazione di continuità, secondo la quale, durante il transitorio, la variazione nell'unità di tempo del volume di acqua dolce è pari alla somma algebrica del volume di acqua dolce scaricato a mare nell'unità di tempo e del volume di acqua salata (entrante o uscente a seconda del segno della variazione della portata di acqua dolce).

8.1.1 Il modello di Dagan e Bear

Questo sistema di equazioni è stato risolto da Bear e Dagan (1964) in uno dei primi lavori sull'argomento facendo alcune ipotesi semplificatrici. Seguendo un approccio quasi-stazionario, i due autori scrivono le equazioni di continuità e del moto esprimendo nella prima l'uguaglianza, in ogni istante, tra la variazione del volume occupato dall'acqua di mare e la differenza tra la portata di acqua dolce in ingresso ed in uscita:

$$n \cdot \frac{d}{dt} \int_0^D x d\eta = Q_{Lf} - Q_s \quad (8.1)$$

in cui $Q_s(t)$ indica la portata di acqua dolce scaricata in mare

e nella seconda l'equilibrio dinamico dell'interfaccia.

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{Q_L}{K'(D-\eta)} - \frac{Q}{K' \eta(D-\eta)} \quad (8.2)$$

Il metodo adottato per l'integrazione consiste nel fare un'ipotesi sull'andamento della $Q = Q(Q_s, Q_L, \eta)$; con questo andamento ipotizzato si risolve l'equazione del moto in x , trovando la relazione $x(\eta, Q_s, Q_L)$. Tale espressione viene inserita nell'equazione di continuità in modo da trovare la funzione $Q_s(t)$.

Bear e Dagan fanno due diverse ipotesi in merito all'andamento della $Q(Q_s, Q_L, \eta)$: la prima ipotesi è che in ogni istante Q vari linearmente con η :

$$Q(\eta, t) = Q_{Lf} - [Q_{Lf} - Q_s(t)] \cdot (D - \eta(x, t)) / D$$

Tale ipotesi si traduce sostanzialmente in una successione di interfacce, ciascuna avente forma parabolica identica a quella ottenibile nel caso

stazionario, ma nel caso non stazionario il profilo dell'interfaccia varia in ogni istante. Con queste ipotesi è possibile valutare la portata $Q_s(t)$ di acqua dolce scaricata in mare in funzione del tempo t trascorso dal brusco instaurarsi della portata Q_{Lf} :

$$t = \frac{nK'D^3}{6} \left[\frac{1}{Q_{Lf}} \left(\frac{1}{Q_{L0}} - \frac{1}{Q_s} \right) + \frac{1}{Q_{Lf}^2} \ln \frac{Q_{Lf} - Q_{L0}}{Q_{Lf} - Q_s} + \frac{1}{Q_{Lf}^2} \ln \frac{Q_s}{Q_{L0}} \right]$$

Nota la portata $Q_s(t)$, l'equazione del profilo dell'interfaccia $\eta(x,t)$ è la seguente:

$$\eta^2(x,t) = -2 \cdot \frac{Q_s(t)}{K'} x$$

Nella seconda approssimazione, Bear e Dagan rilassano l'ipotesi di brusca variazione di portata dal valore Q_{L0} al valore Q_{Lf} e la sostituiscono con una ipotesi di variazione lineare della portata anche nel tempo. Con tale ipotesi, Bear & Dagan trovano l'espressione (implicita) del profilo dell'interfaccia in funzione della distanza dalla linea di costa:

$$x = \frac{K'}{aQ_{Lf} + (1-a)Q_s} \left[\frac{\eta^2}{2} - \frac{a(Q_{Lf} - Q_s)D}{aQ_{Lf} + (1-a)Q_s} \eta - \frac{a(Q_{Lf} - Q_s)D^2}{[aQ_{Lf} + (1-a)Q_s]^2} \ln \frac{\eta[aQ_{Lf} + (1-a)Q_s] - Q_s D}{-Q_s D} \right]$$

Attraverso integrazioni numeriche Bear e Dagan plottano poi la relazione tra il tempo t intercorso dalla variazione di portata che genera il transitorio e la portata Q_s usando i due raggruppamenti adimensionali: $t = tQ_{Lf}^2/(nK'D)$ e $Q_s = Q_s/Q_{Lf}$.

Gli autori considerano due casi, nel primo $|Q_{Lf}| < |Q_{L0}|$ e $Q_{L0} < 0$, cioè si ha una riduzione della portata circolante nell'acquifero ed inizialmente la portata fluisce verso il mare; nel secondo caso invece la riduzione della portata è tale che il movimento di acqua è esclusivamente dal mare verso terra: $Q_{Lf} > 0$.

E' stato necessario interpolare tali relazioni in modo da renderle utilizzabili per le procedure automatiche impiegate in questo studio. Si è trovato che le seguenti due espressioni interpolano bene quelle derivate da Bear e Dagan:

$$Q_s(t) = 0,1299 * t^{-0,598} \quad R^2 = 0,9882$$

Valida per $Q_{Lf} > 0$, $Q_{L0} < 0$

$$Q_s(t) = 0,7028 * t^{-0,298} \quad R^2 = 0,9827$$

Valida per $|QL_f| < |QL_0|$ e $QL_0 < 0$

Attraverso prove su modello, Bear e Dagan hanno trovato che l'approssimazione 1 può essere utilizzata per modellare in modo attendibile l'andamento dell'interfaccia qualora questa avanzi verso il mare (*retreating interface*, dove l'aggettivo "retreating" fa riferimento al movimento dell'interfaccia in verso opposto a quello positivo delle x), condizione che si registra quando la nuova portata che si instaura è maggiore di quella di stato stazionario precedente: $|QL_f| > |QL_0|$; la seconda approssimazione invece può adoperarsi sia quando la portata finale è minore di quella iniziale, pur mantenendosi in direzione del mare Entrambi questi casi sono detti di *advancing interface* (l'interfaccia avanza verso terra).

8.1.2 Applicazione del modello

L'applicazione di questo modello per la tesi prevede lo studio dei livelli di acqua dolce nella sezione trasversale di un acquifero costiero con caratteristiche morfologiche confrontabili con quelle dell'acquifero salentino in risposta ad un input di ricariche e di prelievi anch'essi compatibili con quelli che si registrano nell'area del Salento. La morfologia è drasticamente semplificata, nel senso che si considera un acquifero di lunghezza indefinita e di dimensione trasversale pari a 15 km (figura 8.2)

L'analisi viene svolta a scala stagionale, considerando una stagione umida di otto mesi (ottobre – maggio) nella quale ha luogo la ricarica per effetto delle precipitazioni e non si verificano prelievi per uso irriguo, ma solo per uso civile, ed una stagione secca (giugno – settembre) nella quale la ricarica cessa ed ha luogo il prelievo per uso irriguo che si sovrappone a quello potabile. La distanza dal mare è discretizzata in numeri interi di km: in altre parole, le equazioni in cui compare la variabile x sono valutate per $x = 1000 \text{ m}, 2000 \text{ m} \dots L * 1000 \text{ m}$.

Poiché nella formulazione originaria del modello l'unico parametro idrologico è la portata circolante nell'acquifero, è stato elaborato ed incluso nel modello una semplice procedura iterativa che consente di rispettare il bilancio idrologico tra ricarica stagionale (nulla nel periodo estivo), prelievi e portate che fluiscono verso il mare (figura 8.3).

La procedura iterativa si rende necessaria perché se non viene imposta alcuna condizione sul livello delle ricariche e dei prelievi, la variazione del corpo di acqua dolce a scala stagionale (la figura riporta fuori scala tale variazione come l'area tratteggiata tra le due interfacce) ΔV_{act} non eguaglierà la variazione di volume ΔV_{theor} che si ottiene come differenza tra le ricariche e la somma dei

prelievi e dei volumi che defluiscono a mare nel periodo (media tra la portata all'inizio ed alla fine del periodo) (Figura 5).



Figura 8.2 – Schematizzazione dell'acquifero salentino in due semiacquiferi di lunghezza pari a 100 km e dimensione trasversale di 15 km – le frecce rosse indicano la direzione del flusso, che è congruente con la idrogeologia dell'acquifero reale

La convergenza tra i due valori si ottiene, garantendo così la congruenza tra ricariche, prelievi e variazioni del corpo di acqua dolce, decrementando la portata uscente di una piccola percentuale se risulta $\Delta V_{theor} \leq \Delta V_{act}$, aumentandola se risulta il contrario. Ciò perché se $\Delta V_{theor} \leq \Delta V_{act} \rightarrow Q_t(t)$ è troppo grande e deve essere ridotta. La riduzione di $Q_t(t)$ determina dall'altra parte uno spostamento verso terra della $\eta(x, t)$ e quindi una riduzione del valore di ΔV_{act} ; la procedura tende quindi a convergere.

Viceversa, $\Delta V_{theor} \geq \Delta V_{act}$, implica che Q_t è troppo piccolo e quindi deve essere aumentato. L'aumento della portata circolante nell'acquifero determina un allontanamento della $\eta(x, t)$ dalla $\eta(x, t-1)$ e quindi un aumento della ΔV_{act} , che tende quindi a convergere verso ΔV_{theor} .

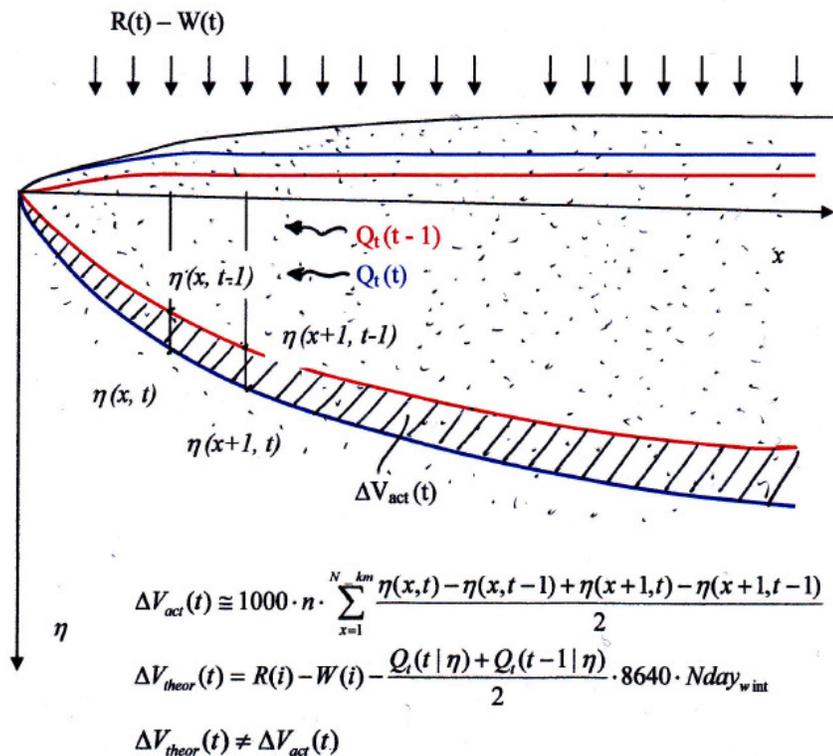


Figura 8.3 – Schema concettuale e simbologia della procedura di bilancio tra ricarica, prelievi e variazioni di volume d'acqua dolce

La figura 8.4 sintetizza la procedura di simulazione dei livelli d'acqua dolce nell'acquifero.

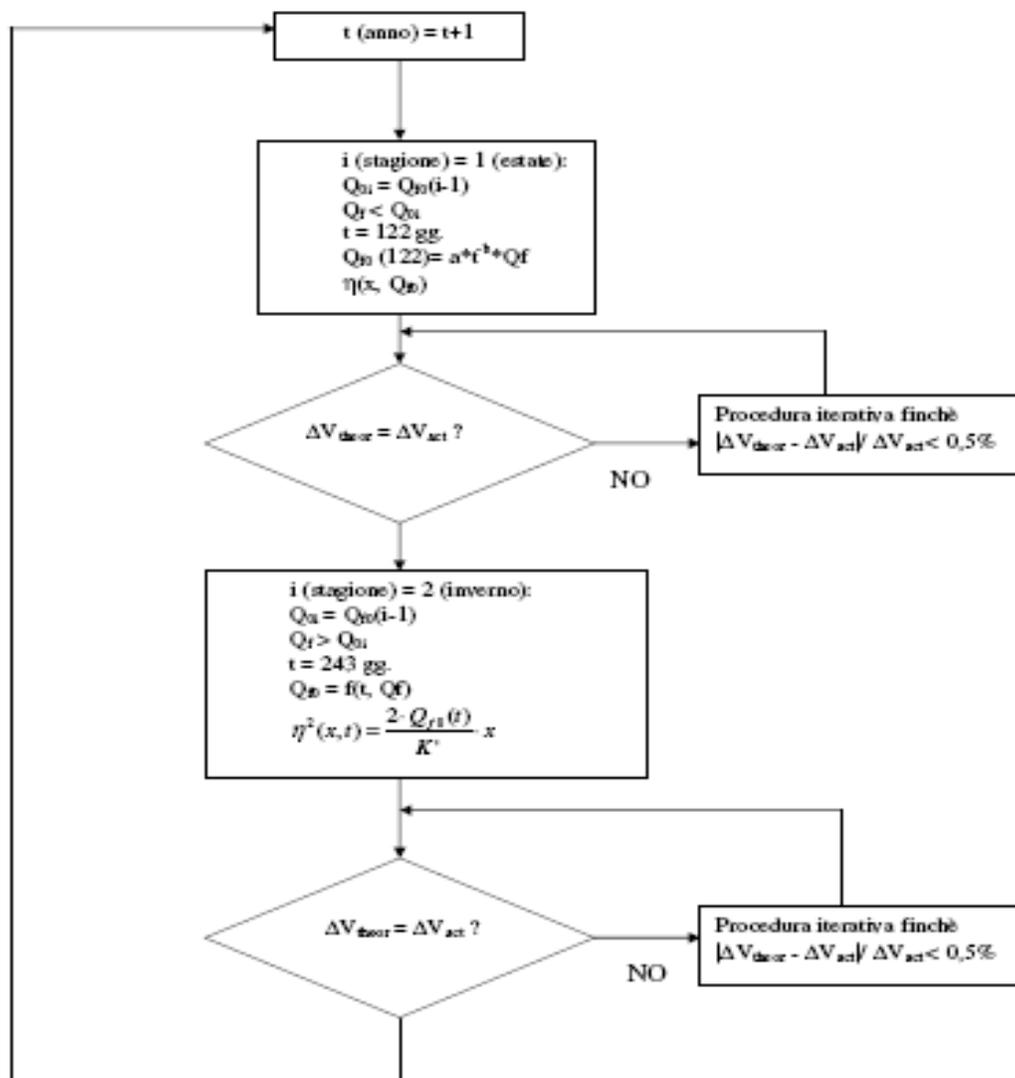


Figura 8.4 Diagramma di flusso della procedura automatica di simulazione dei livelli di acqua dolce nell'acquifero

Il modello è stato testato su alcune condizioni base, quali per esempio il caso di condizioni antecedenti allo sviluppo, corrispondenti a prelievi nulli, in cui pertanto ci si aspettano fluttuazioni stagionali intorno ad un valore medio.

La figura 8.5 mostra l'andamento delle portate in uscita dall'acquifero e dell'affondamento dell' interfaccia (in figura, a 5 km dalla linea di costa) per valori diversi di portate iniziali in uscita. E' evidente come, al di là della scelta del valore iniziale di portata, il sistema tenda verso una condizione di stato stazionario, con fluttuazioni stagionali costanti, caratteristico di acquifero di assegnata permeabilità, spessore, porosità e ricarica. Sono queste condizioni e stazionarie a cui fare riferimento se si desidera analizzare l'evoluzione dell'acquifero a partire da una condizione di pre-sfruttamento.

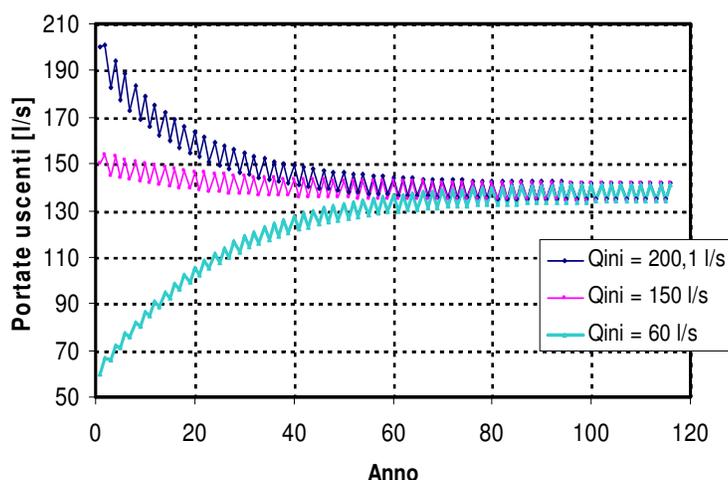


Figura 8.5 - Andamento delle portate in uscita dall'acquifero e dell'affondamento dell' interfaccia a 5 km dalla linea di costa, per valori diversi di portate iniziali in uscita. Acquifero non confinato con $L = 15$ km, $D = 200$ k = 430 m/giorno, $n = 5\%$, $\rho_s = 1037$ kg/m³

I risultati in uscita dal modello sono stati poi oggetto di analisi di sensitività, volte a valutare l'impatto dei parametri, fondamentalmente lo spessore, la permeabilità e la porosità, ed a confrontare i risultati del modello con quelli forniti da un modello quasi - tridimensionale alle differenze finite (Essaid, 1986). Nel suo lavoro, Essaid valutava la risposta di un acquifero di geometria semplice (identica a quella utilizzata in questa applicazione) ad un emungimento della metà della portata circolante a metà della lunghezza dell'acquifero stesso. Dato che il modello usato in questo lavoro non riconosce

prelievi concentrati, è stata considerata una ricarica all'acquifero pari alla portata circolante nell'acquifero di Essaid, ed un prelievo pari a metà di tale ricarica.

Il modello usato per il confronto usa una scala annua, per cui è stato necessario esporre i risultati del modello a quella stessa scala. Le figure 8.6a e 8.6b mostrano un buon adattamento di un modello semplice, come quello usato in questo studio, con i risultati di un modello numerico ben più complesso: quando la geometria è semplice è probabile infatti che modelli semplici e modelli più sofisticati forniscano risultati simili.

8.1.3 Relazioni funzionali tra livelli e prelievi

Il modello può essere utilizzato per simulare i livelli di acqua dolce nell'acquifero in relazione ad una variazione dei prelievi, ciò permette di valutare l'impatto sui livelli di eventuali misure di contenimento delle estrazioni, quali quelle indicate nel Piano di Tutela della Regione Puglia. Poiché l'obiettivo è di incorporare questo tipo di analisi dentro un modello di programmazione matematica ed è molto difficile pensare di poter riversare l'intero modello sopra descritto dentro un algoritmo di programmazione, è opportuno pervenire a relazioni approssimate tra i livelli di acqua dolce ed i prelievi.

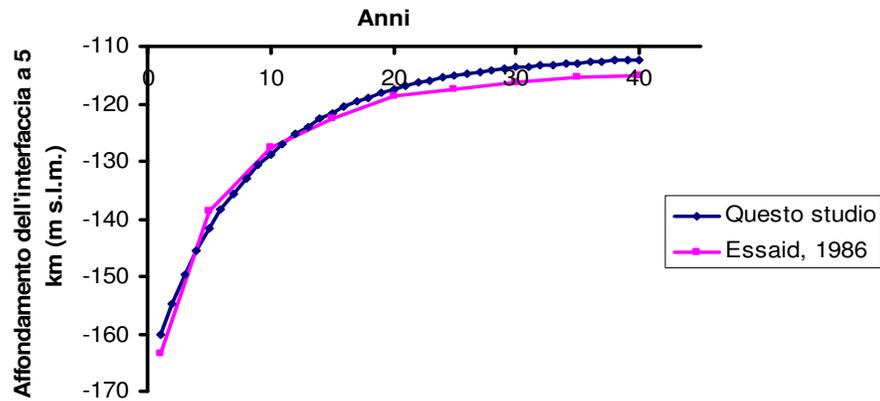


Figura 8.6a Andamento transitorio dell'interfaccia a 5 km dalla linea di costa per effetto di un pompaggio a 5 km per un acquifero con parametri uguali a quello del caso base di Essaid (1986): $D = 1800$ m, $k = 0,0053$ m/s, $n = 10\%$, $Q = 0,33 \cdot 10^{-3}$ m³s⁻¹, $\rho_s = 1025$ kg/m³, L 10 km.

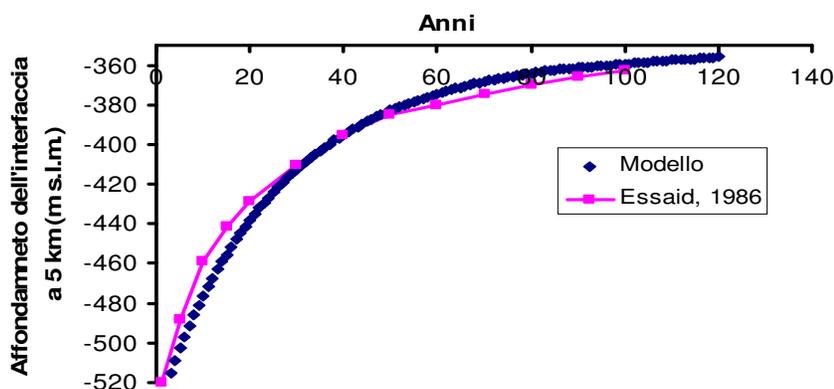


Figura 8.6 b Andamento col tempo dell'interfaccia a 5 km dalla linea di costa per un acquifero con parametri uguali a quello del caso base di Essaid (1986), ma con $k = 0,00053 \text{ m/s} = 46 \text{ m/giorno}$ (permeabilità ridotta di un ordine di grandezza)

A tal fine, è stata provata la forma funzionale più semplice, cioè quella lineare, tra livelli di acqua dolce $\eta(x, t)$ al passo temporale t , livelli di acqua dolce al passo temporale precedente $\eta(x, t-1)$ ed i prelievi $W(t)$:

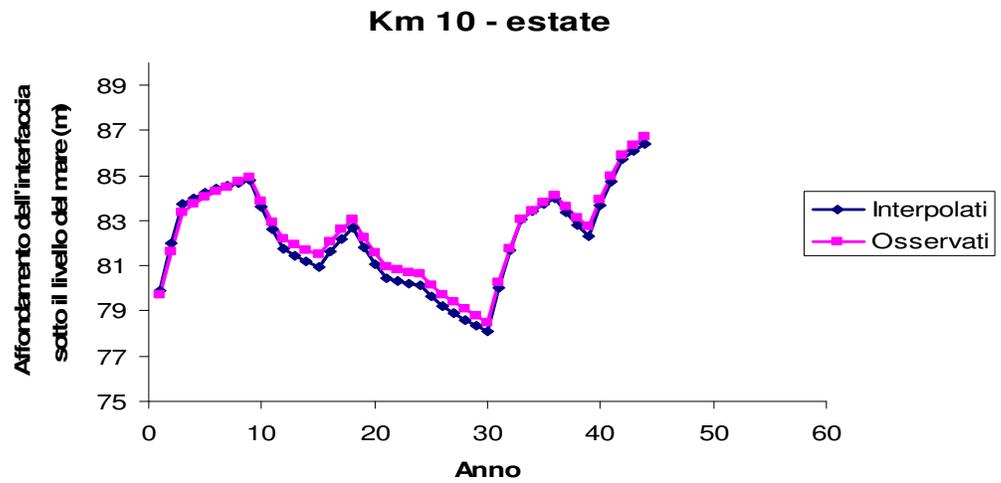
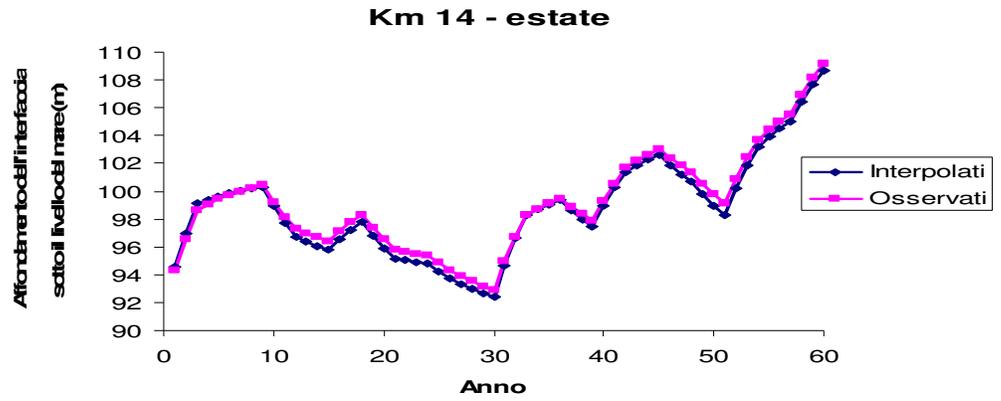
$$\eta(x, t) = a(x) + b(x) \cdot \eta(x, t-1) + c(x) \cdot W(t) \quad (8.3)$$

Relazioni di questo tipo sono state calibrate per tutti gli x ($x = 1 \text{ km}, 2 \text{ km} \dots L \text{ km}$) per le due stagioni, estiva ed invernale, utilizzando 137 valori di livello ottenuti dal modello di simulazione per diversi scenari di prelievo. Come scenari di prelievo, sono stati utilizzati 22 anni di prelievi assimilabili a quelli storici per il periodo 1960 – 1982 + 50 anni di prelievi corrispondenti al valore attuale + 15 anni di prelievi nulli + 30 anni di prelievi dimezzati rispetto alla situazione attuale, seguiti infine da 20 anni di prelievi nulli. L'obiettivo è naturalmente di fare in modo che il campo di calibrazione delle relazioni (8.3) sia il più ampio possibile e comprenda un vasto spettro di condizioni di prelievo a cui si desidera conoscere la risposta dell'acquifero.

I livelli in uscita dal modello sono stati correlati ai livelli della stagione (invernale o estiva) dell'anno precedente ed ai prelievi dell'anno. I valori di R^2 in calibrazione non sono mai inferiori a 0,998, sia in estate che in inverno, ad indicare l'eccellente adattamento dei dati ad un modello lineare.

Il set di dati usato per la calibrazione dovrebbe essere sufficientemente vario per garantire una risposta attendibile delle relazioni lineari per qualsiasi scenario di

prelievo. A questo scopo le relazioni calibrate sono state validate con dieci scenari di prelievo random ed è stato verificato l'adattamento tra i risultati del modello completo e quelli forniti dalle relazioni lineari (Figura 8.7).



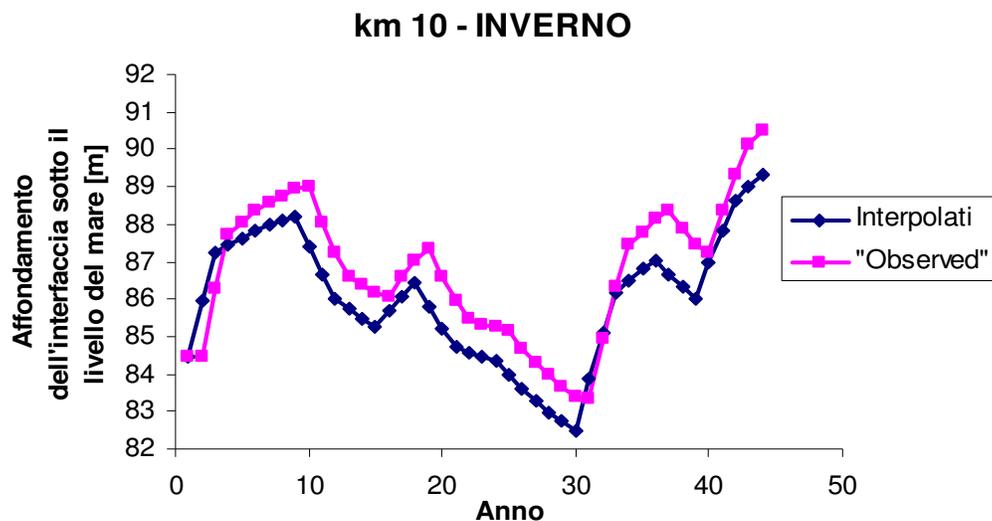


Figura 8.7 – Validazione delle relazioni lineari di interpolazione del modello per alcune distanze dal mare nella stagione estiva ed invernale

8.1.4 Il modello della concentrazione salina

Lo strumento introdotto sopra definisce l'andamento dei livelli di acqua dolce a scala stagionale; poiché l'intenzione è di introdurre nel modello idroeconomico esplicitamente la concentrazione salina come fattore limitante dei prelievi per uso civile e delle produzioni agricole, questo strumento deve essere integrato da un modello del profilo di concentrazione lungo la verticale. Si sono usati i risultati di Bear e Todd (1960, pag. 86) che determinano il seguente andamento per il profilo di concentrazione:

$$C(y, t) = C_s/2 * \operatorname{erfc}(-y/\sqrt{2} * \sigma) \quad (8.4)$$

In cui C_s è la concentrazione salina dell'acqua di mare, σ è la dispersività trasversale data da

$$\sigma = \sqrt{2D_a \ell} \quad \text{e} \quad \operatorname{erfc}\left(-\frac{y}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{-y/\sqrt{2} \cdot \sigma} e^{-t^2} dt \quad (8.5)$$

$y = z - \eta$, essendo z la profondità del punto in cui si desidera valutare la concentrazione salina e η l'affondamento dell'interfaccia (figura 8.8). Risulta $y < 0$ se il punto è più in alto rispetto all'interfaccia, $y > 0$ se il punto è più in basso.

In definitiva:

$$C(y, t) = \frac{C_s}{2} - C_s \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{-y/\sqrt{2\sigma}} e^{-t^2} dt \quad (8.6)$$

Cioè quando $y < 0$ sottrarremo alla concentrazione salina per $y = 0$, pari a metà della concentrazione salina dell'acqua di mare, il termine integrale (infatti in questo caso l'integrale è positivo, dato che $-y > 0$) ed aggiungeremo alla concentrazione salina il termine integrale quando $y > 0$.

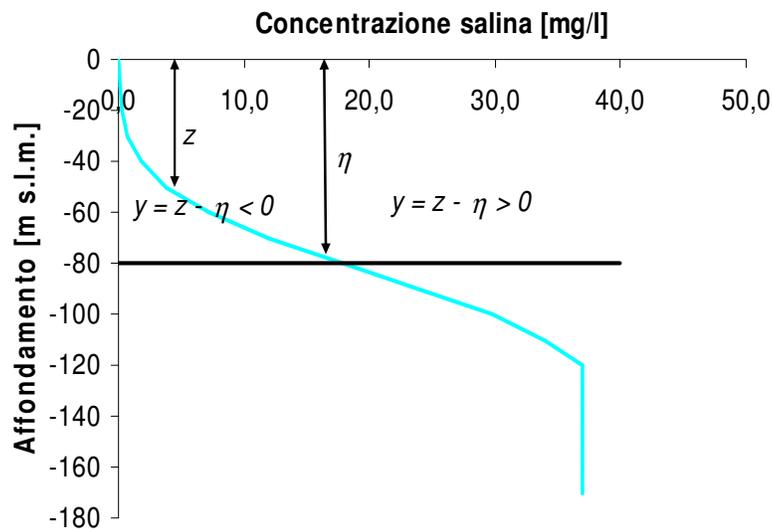


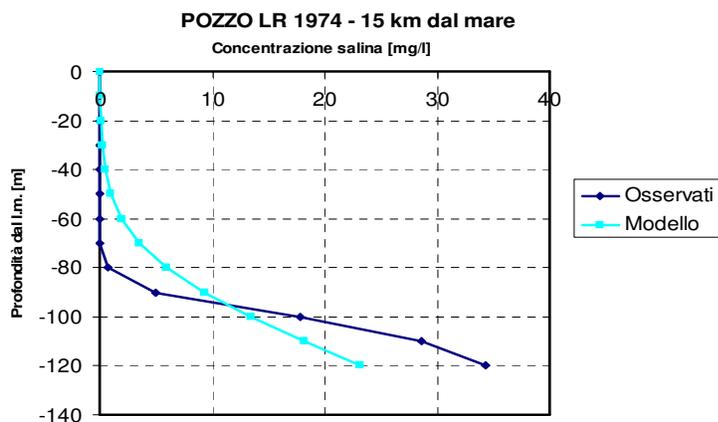
Figura 8.8 – Simbologia per il calcolo della concentrazione salina

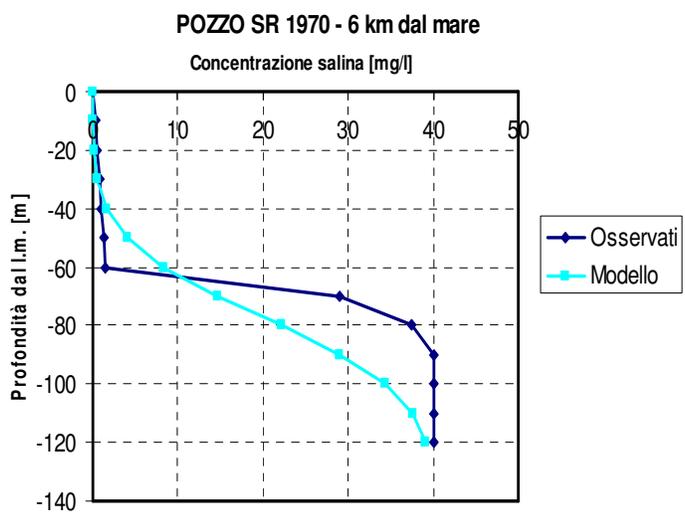
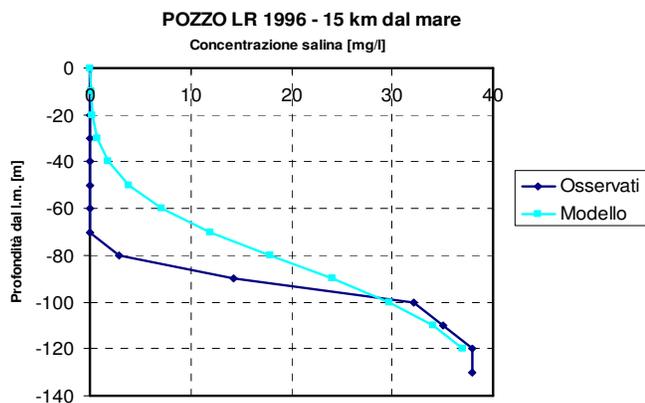
In merito alla dispersività trasversale σ , essa è legata alla dinamica della zona di transizione, che si forma essenzialmente per effetto delle oscillazioni (per esempio stagionali a causa della variazione delle portate che fluiscono verso il mare) dell'interfaccia tra acqua dolce ed acqua salata. Un fenomeno molto studiato che determina lo sviluppo dell'interfaccia le maree che presentano anch'esse una forma di periodicità. Nell'espressione

della dispersività laterale compare il termine $l = \bar{u}t$ in cui l è la lunghezza totale percorsa dal fluido durante lo spostamento dell'interfaccia. C'è quindi da attendersi che la zona di transizione vari pure di dimensioni al variare dei prelievi dall'acquifero. Nell'approccio semplice di questo lavoro si è fatto riferimento ad una condizione stazionaria di oscillazione dell'interfaccia per effetto della stagionalità per la valutazione dello spostamento dell'interfaccia e questo valore dello spostamento l è stato mantenuto anche in presenza di una variazione dei prelievi.

Il coefficiente di dispersione laterale α_T è stato posto pari a 0,01 m: si tratta di un parametro di incerta valutazione, che soprattutto negli acquiferi carsici può variare anche di due ordini di grandezza in relazione alla micro e macro geometria delle fratture (Gelhar et al., 1992) ed è tipicamente di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla dispersività longitudinale.

Al fine di validare questa parte del modello, sono stati usati alcuni profili di salinità di pozzi dell'acquifero salentino. Le figure che seguono (Figg. 8.9) illustrano alcuni di questi confronti.





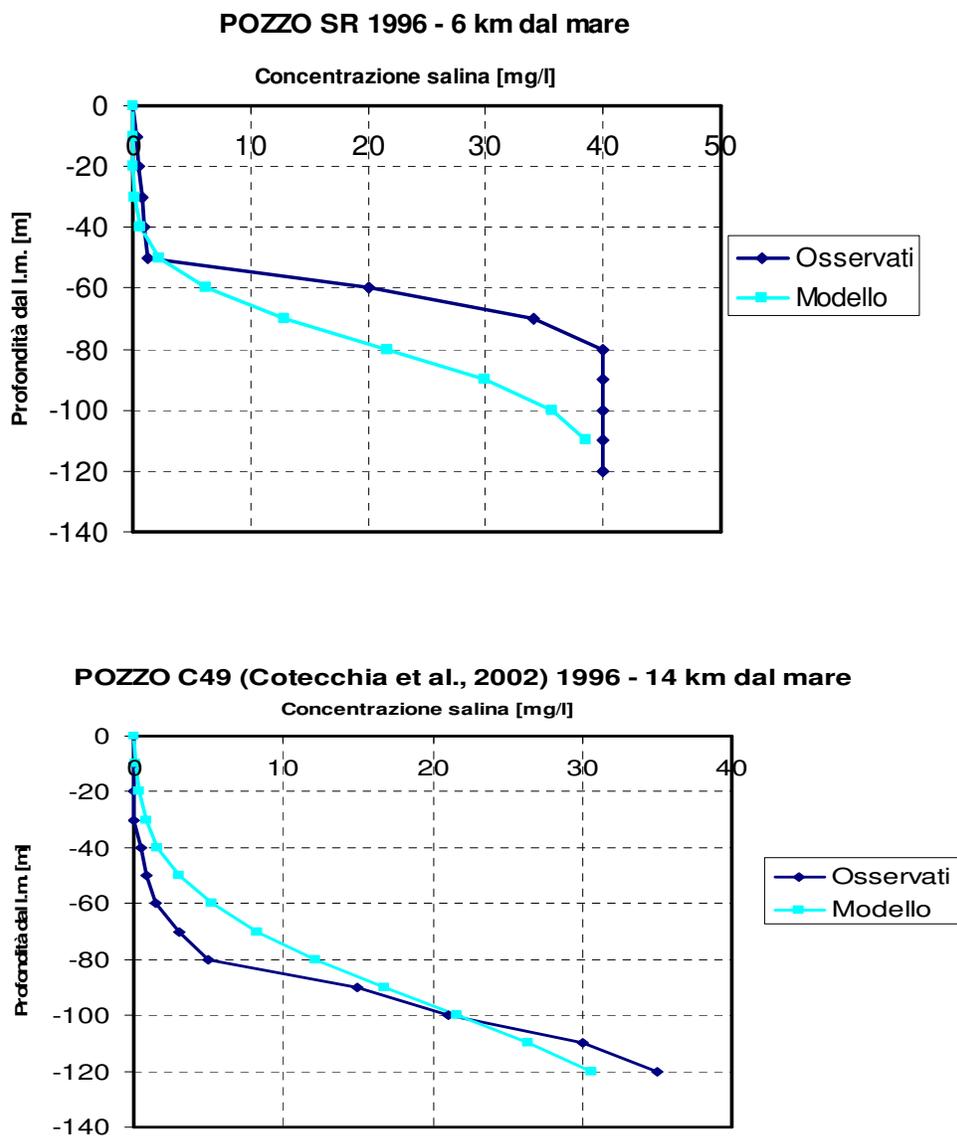


Figure 8.9 a) – 8.9 e) – Confronto tra i profili di concentrazione salina osservati e simulati in alcuni pozzi del Salento.

La (8.6) è valida ad una certa profondità y : l'espressione della concentrazione salina alla profondità H dei pozzi (p.e. - 50 m s.l.m.) sarà data dall'integrazione del profilo di salinità a diverse profondità a distanza Δh l'una dall'altra, (per esempio di 10, 20, 30,40 e 50 m). Detto quindi N l'intero che approssima per difetto il rapporto $H/\Delta h$, si ha:

$$\text{Sal}(H, t) = \Delta h/H * \left[\sum_{i=1}^N C(y_i, t) + C(H, t) / 2 \right] \quad (8.7)$$

Dove Sal rappresenta la concentrazione media di acqua di mare in un pozzo con fondo ad H metri sotto il livello del mare.

Sono stati pure istituiti alcuni confronti tra i livelli di acqua dolce osservati (ricostruiti dai profili di salinità) e quelli modellati in anni diversi. E' evidente che l'esercizio si fa ancora più arduo, dato che le condizioni locali di permeabilità sono diverse ed è quindi difficile che un modello caratterizzato da un unico valore di permeabilità riesca ad interpretare i dati; inoltre l'andamento dei prelievi negli anni, che condiziona pure la concentrazione, non è noto con certezza. Cionondimeno, il modello fornisce variazioni delle concentrazioni saline negli anni che sono dello stesso ordine di grandezza di quelle osservate (tabella 8.1), anche se sembra fornire valutazioni conservative sul peggioramento della qualità dell'acqua di falda.

Tabella 8.1 – Confronto tra i livelli di acqua dolce osservati e quelli modellati e variazioni % osservate e modellate tra anni '70 ed anni '90.

		Posizione dell'interfaccia (m sotto il livello del mare)			
		Osservati	Modello $k = 0,005 \text{ m/s}$	Modello $k = 0,0075 \text{ m/s}$	Modello $k = 0,01 \text{ m/s}$
POZZO LR (15 km dalla costa)	1974	107	137,3	209,5	101,9
	1996	95	116,7	179,2	86,8
	Variazione%	-11%	-15%	-14%	-15%
POZZO SR (6 km dalla costa)	1970	70,0	92,9	75,0	64,5
	1996	62,0	76,4	61,7	53,0
	Variazione%	-11%	-18%	-18%	-18%

Accoppiando la relazione tra livello di acqua dolce e prelievi (8.3) con l'integrazione del profilo di salinità (eq. 8.7) si ottiene l'andamento della concentrazione salina per ogni distanza dalla costa al variare dei prelievi. La figura 8.9 mostra tale andamento per un km tipo. L'introduzione della concentrazione salina modifica in senso leggermente peggiorativo l'aderenza tra i risultati del modello e quelli dell'interpolazione lineare (1), ma gli indici di determinazione si mantengono sempre molto alti per tutte le distanze dal mare ($R^2 > 0,95$)

Infine, si è tentato di istituire una relazione lineare simile alla (8.3) direttamente tra la concentrazione salina ad una certa profondità (p.e. 50 m, la profondità media, sotto il livello del mare, dei pozzi del Salento) ed i prelievi. I risultati sono stati meno incoraggianti di quanto ottenuto utilizzando gli affondamenti dell'interfaccia già in calibrazione, come del resto c'era da attendersi, considerata la notevole sensibilità del dato di concentrazione salina alle "code" del profilo di salinità, per cui si è rinunciato ad approfondire ulteriormente il tema.

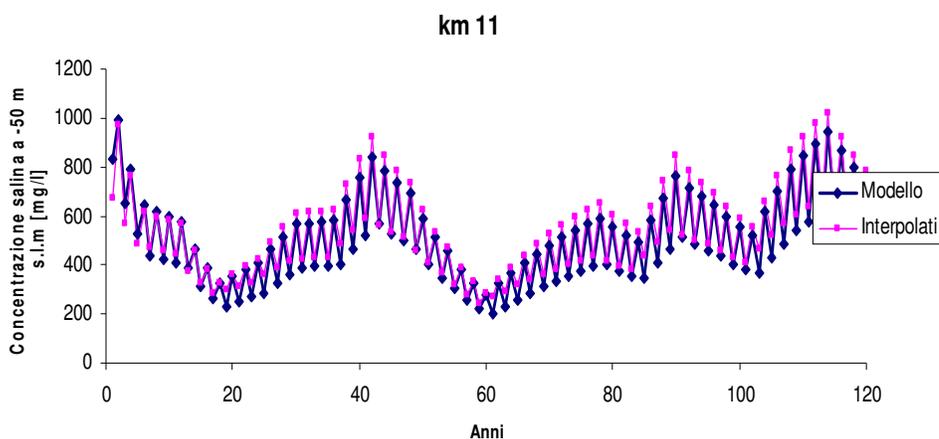


Figura 8.10 – Andamento delle concentrazioni saline modellate ed interpolate per un profilo random di prelievi stagionali

8.2 Il modello idroeconomico con la salinità

Il modello idroeconomico descritto nel capitolo precedente è stato quindi arricchito con le relazioni lineari tra livelli di acqua dolce e prelievi (8.3), assieme alle equazioni che permettono le integrazioni numeriche sul profilo di

concentrazione per determinare la concentrazione salina media (sal) in un pozzo di profondità H (8.7)

Sono stati quindi rimossi i vincoli sui prelievi dall'acquifero, ma viene aggiunto il vincolo sulle concentrazioni massime di ione cloruro per l'acqua potabile. Per tenere conto dell'effetto della salinità sulle produzioni irrigue, il valore della produzione, desumibile dalla curva della domanda, viene ridotto secondo dei coefficienti che utilizzano i risultati di Maas e Hoffmann (1977) sulla riduzione della produttività delle colture soggette a stress salino:

$$y = y_0 * [1 - b(CE - a)] \quad (8.8)$$

dove:

a = soglia di tolleranza alla salinità, corrispondente al valore di salinità dell'estratto di pasta satura del terreno o dell'acqua irrigua oltre il quale comincia a verificarsi una riduzione produttiva rispetto alle condizioni non saline.

b = pendenza, ovvero riduzione della produzione relativa per ogni incremento unitario di salinità.

CE = conducibilità elettrica dell'acqua irrigua o dell'estratto di pasta satura del terreno

y_0 è la produzione (in kg/ha) con acqua non salina.

Un modello siffatto, che è chiaramente non lineare, diventa un modello di programmazione non lineare misto a numeri interi (Mixed Integer Non Linear Programming - MINLP) data la presenza di scelte dicotomiche sulla produttività in presenza di salinità (sotto una certa soglia di salinità, la produttività delle colture non viene affetta da acqua) e di concentrazioni legate all'affondamento dell'interfaccia. Si tratta peraltro di un modello con una componente spaziale, dato che le concentrazioni saline sono valutate a 1, 2 ...L km dalla costa. Il modello, che è già stato scritto e testato su di un numero limitato di anni di funzionamento e di distanze dalla costa, necessita di software specifici per la risoluzione, che sono in fase di acquisizione da parte del Dipartimento.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Al-Qunaibet, M., Johnston, R., 1985. Municipal Demand for Water in Kuwait: Methodological Issues and Empirical Results, *Water Resour. Res.*, 21(4), 433-438.

Andreu, J., Capilla, J., Sanchiz, E., 1996. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management, *J. Hydrology*, 177 (3-4) 269 – 291.

Bear, J., Cheng, A.H.-D., Sorek, S., Ouazar, D., Herrera, I (Eds.), 1999. *Seawater intrusion in coastal aquifers – concepts, methods and practices*, Kluwer Academic Publishers.

Bear, J., Dagan, G. 1964a. Moving interface in coastal aquifers. *J. of Hydraulics ASCE*, HY4, 193-216.

Bear, J., Todd, D., K., 1960. *The transition zone between fresh and sat waters in coastal aquifers*, University of California Berkley, Water Resources Center Contribution n° 29.

Bixby, R.E., Solving real-world linear programs: a decade and more of progress", *Operations Research*, 50: 3-15, 2002.

Boland, N., 2009. Solving Environmental Problems with Integer Programming:Recent Experience and Challenges, *Proceedings 18th World IMACS / MODSIM Congress*, Cairns, Australia 13-17 July 2009.

Boardman, A. E., Greenberg, D.H.,Vining, A.,R., Weimer, D.L. Cost –benefit Analysis – concepts and practice, Pearson Education International, 2006.

Brouwer, R., Pearce, D. (Eds), *Cost –Benefit analysis and Water Resources Management*, Edwar Elgar, 2005.

D’Andria R., Morelli, G., Lavini, A., Aterio, G., 2002. *Irrigazione, produzione e qualità di cinque cultivar di olive da mensa e a duplice attitudine: risultati dell’attività di ricerca a Piano Cappelle.*, Atti del corso internazionale di aggiornamento tecnico-scientifico”Gestione dell’acqua e del territorio per un’olivicoltura sostenibile” pubblicato dal Consorzio Oleicolo Internazionale (COI), 270-279.

Dasgupta, P., Marglin, S, Sen, A.,1972, *Guidelines of project evaluation*, UNIDO, Vienna.

Dalhuisen, J. M., Florax, R. J. G. M., Henri L. F. De Groot H.L. F., Nijkamp, P. 2003, Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: A Meta-Analysis, *Land Economics* 79(2), 292-308.

Del Treste, A., Mazzola, M. R.,

Draper, A. J. (2001), *Implicit stochastic optimization with limited foresight for reservoir systems*, Ph.D. dissertation, University of California, Davis.

WL Delft Hydraulics. (2004). "RIBASIM, Version 6.32." WL Delft Hydraulics, Delft, Holland.

Easter, K. W., Feder, G., 1997, Water Institutions, Incentives, and Markets, in Parker (Ed.) *Decentralization and coordination of water resources management*, Kluwer Academic Publishers.

Essaid, H.I., 1986. A comparison of the coupled fresh water – salt water flow and the Ghyben-Herzberg sharp interface approaches to modeling of transient behavior in coastal aquifer systems, *J.of Hydrology*, 86, 169 – 193.

M. Espey, J. Espey, and W. Shaw, 1997, Price Elasticity of Residential Demand for Water: A Meta Analysis, *Water Resources Research*, 33(6), 1369 - 1374

European Union REGIO, *Guide to Cost –Benefit Analysis of Investment Project*, 2008.

Florio, M., La valutazione degli investimenti pubblici , Franco Angeli, 2001.

Fryer, J., 2010. An investigation of the marginal cost of seawater desalination in California, <http://R4RD.org>

Garcia, S., Reynaud, A., 2004. Estimating the benefits of efficient water pricing in France, *Resource and Energy Economics*, 26, 1–25.

Gaudin, S., Griffin, R.C., Sickles, R.C., 2001, Demand specification for municipal water management: Evaluation of the Stone –Geary form. *Land Economics*, 77(3) 399 -422.

Gehlar, L.W., Welty, C., Rehfeldt, K. R., 1992. A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers, *Water Resources Research*, 28(7), 1955 – 1974.

Goldhamer, 2007
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=11880&page=70

Griffin, R. D., The fundamental principles of cost – benefit analysis, *Water Resources Research*, 34(8): 2063 – 2071, 1998.

- Griffin, R.C. *Water Resources Economics – The analysis of scarcity, policies, and projects*. MIT press, Cambridge, Massachusetts, 2006.
- Harou, J.J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D.E., Medellin-Azuara, J., Lund, J.R., Howitt, R.E., 2009, Hydro-economic Models: Concepts, Design, Applications, and Future Prospects," *Journal of Hydrology*, 375, 3-4, 627-643.
- Hotelling, H. The Economics of Exhaustible Resources. *J. Polit. Econ.*, Vol. 39: 137-175, 1931
- Haab, T. C., McConnell, K. Valuing Environmental and Natural Resources. Edwar Elgar Publishing, Cheltenham UK, 2002.
- Hillier, F. S., Lieberman, G. J., *Ricerca Operativa* 8a edizione, McGraw – Hill, 2006.
- Howe, C., W., Lineweaver, F. P., 1967. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure, *WaterResources Research*, 3(1), 13 – 32.
- Ilich, N. (2008) Shortcomings of linear programming in optimizing river basin allocation, *Water Resources. Research*, 44, W02426, doi:10.1029/2007WR006192.
- Ilich, N., 2009. Limitations of Network Flow Algorithms in River Basin Modeling, *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.* 135(1), 48-55
- INEA, 2008., *La Produttività dell' Agricoltura in Puglia* 2005.
- Jenkins, M. W., Lund J.R., Howitt, R.E.. Using economic loss functions to value urban water scarcity in California, *Journal AWWA*, 95(2): 58-70, 2003.
- Jenkins, M. W., Lund J.R., Howitt, R.E, Draper, A. J., Msangi, S. M., Tanaka, S. K., Ritzema, R. S., Marques, G.F. Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(4): 271 – 280, 2004.
- Jha, M. K., and Das Gupta, A. (2003). "Application of Mike Basin for water management strategies in a watershed." *Water International*, 28(1), 27-35.
- Labadie, J. W., and Baldo, M. L. (2000). *MODSIM: Decision Support System for River Basin Management: Documentation and User Manual*. Dept. of Civil Engrg., Colo.State Univ., Ft. Collins, Colo.
- Little, I.M.D., Mirrlees, J.A., 1974, *Project appraisal and planning for developing countries*, Heinemann Educational Books, London.
- Loucks, D.P., Stedinger, J. R., Haith, D. A., 1981, *Water resource systems planning and analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- Loucks, D.P., Van Beek, E. *Water Resources Systems Planning and Management – An Introduction to Methods, Models and Applications*. UNESCO, 2005.
- Lund, J. R., Ferreira, I. 1996. Operating Rule Optimization for Missouri River Reservoir System, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(4), 287-295.
- Maas, E.V., and Hoffmann, G. J., 1977. Crop salt tolerance – current assessment, *J. Irrigation and Drainage Division ASCE*, 22: 115 - 134.
- Mays, L.W., *Urban Water Supply Management Tools*, McGraw-Hill Engineering Reference, 2004.
- Mays, L. W., *Water Resources Systems Management Tools*, McGraw-Hill Professional Engineering, 2005.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., Green, J. R., *Microeconomic Theory*, Oxford University Press, 1995 - ISBN 0195102681.
- Marino, M, Kemper, K., E. (Eds), 1999, Institutional Frameworks in successful water markets – Brazil, Spain, and Colorado, Usa, World Bank Technical Paper No 427, The World Bank, Washington D.C., USA.
- Myles, G. D., *Public Economics*, Cambridge University Press, 1995
- Newlin, B. D., M. W. Jenkins, J. R. Lund, and R. E. Howitt (2002), Southern California water markets: Potential and limitations, *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 128(1), 21–32.
- Oliveira, R., Loucks, L. 1997, Operating Rules for Multireservoir Systems, *Water Resources Research*, 33(4), 839-852.
- Paris, Q., *Programmazione Lineare – Un'interpretazione economica*. Il Mulino, Bologna, 1991
- Pearce, D., Atkinson, G., Mourato, S. Cost – Benefit Analysis and the environment – recent developments, OECD Publishing, 2006.
- Pigou, C. A., *The Economics of Welfare*, quarta ed., 1932 - ISBN 0-7658-0739-4
- Pigram, J. J., 1997, Australia's water situation: resource allocation and management in a maturing system, in Parker (Ed.) *Decentralization and coordination of water resources management*, Kluwer Academic Publishers.
- Piper, S., Impact of water quality on municipal water price and residential water demand and implications for water supply benefits, *Water Resources Research*, doi:10.1029/2002WR001592, 2003.

Pulido-Velazquez, M., Jenkins, W., Lund, J.R. Economic values for conjunctive use and water banking in southern California, *Water Resources Research*, 40, W03401, doi: 10.1029/2003WR002626, 2004.

Regione Campania, 2006. Costi di Produzione nell'Agricoltura Campana.

Renzetti, S., 1992. Evaluating the welfare effects of reforming municipal water prices, *Journal of Environmental Economics and Management* 22(2), 147-163 .

Saerbeck, R., 1990, *Economic appraisal of projects. Guidelines for a simplified cost-benefit analysis*, EIB Paper n.15, European Investment Bank, Luxembourg.

Salas, J., 1993. Analysis and modelling of hydrologic time series, in Maidment, D. R. (Ed.) *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.

Samuelson, P. A., Nordhaus, W. D., Bollino, C. A., *Economia*, McGraw – Hill, 2009.

Samuelson, P., The Pure Theory of Public Expenditure. *The Review of Economics and Statistics*, 36:387-9, 1954.

Sechi, G. M., Sulis, A., Water System Management through a Mixed Optimization-Simulation Approach, *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.* 135, 160, 2009.

Squire, L., Van der Tak, H., 1975, *Economic analysis of projects*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Sraffa, P., Sulle relazioni tra costo e quantita' prodotta, *Annali di Economia*, 2(1), 1926: 277-328, rist. in *Rivista Trimestrale*, 1964, 9: 177-213.

Sraffa, P. (1926), The Laws of Returns under Competitive Conditions, *Economic Journal*, 36(12): :535-50, 1926.

Stedinger, J., Vogel, R., Foufoula-Georgiou, E., 1993, Frequency analysis of extreme events, in Maidment, D. R. (Ed.) *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.

Tilmant, A., Pinte, D., Goor, Q., 2008. Assessing marginal water values in multipurpose multireservoir systems via stochastic programming, *Water Resources Research*, 44, W12431, doi:10.1029/2008WR007024.

Tsur, J., 1997. The economics of conjunctive ground and surfacewater irrigation systems: basic principles and empirical evidence from southern California, in Parker (Ed.) *Decentralization and coordination of water resources management*, Kluwer Academic Publishers.

- Tsur, Y. , Graham-Tomasi., T. 1991. The buffer value of groundwater with stochastic surface water supplies, *Journal of Environmental Economics and Management* 21, 811-818.
- Tsur, Y., Issar, A., 1989, The buffer value of groundwater when supply of surface is uncertain, in Custodio, E., Gurguì, A. (Eds) *Groundwater Economics*, Developments in Water Science n° 39, Elsevier.
- Turrall, H. N., T. Etchells, H. M. M. Malano, H. A. Wijedasa, P. Taylor, T. A. M. McMahon, Austin, N., (2005), Water trading at the margin: The evolution of water markets in the Murray-Darling Basin, *Water Resour. Res.*, 41, W07011, doi:10.1029/2004WR003463.
- UK Water Industry Research, The role and application of cost –benefit analysis, 2007
- Wangnick, K. (2002), 2002 *IDA worldwide desalting plants inventory*, Rep. 17, International Desalination Association ,Topsfield, Mass.
- Willis, K. G., Scarpa, R., Acutt, M. Assessing water company customer preferences and willingness to pay for service improvements: A stated choice analysis, *Water Resources Research.*, 41, W02019, doi:10.1029/2004WR003277, 2005
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., and Huber-Lee, A. (2005). WEAP21 - A demand-, priority-, and preference-driven water planning model Part 1: Model characteristics, *Water International*, 30(4), 487-500.
- R. A. Young. *Measuring economic benefits for water investments and policies*. World Bank Technical Paper No. 338, World Bank, Washington D.C., USA., 1996.
- Zaccaria, D., Oueslati, I., Neale, C.M.U., Lamaddalena, N., Vurro, M., Pereira, L.S., 2009. Flexible delivery schedules to improve farm irrigation and reduce pressure on groundwater: a case study in southern Italy, *J. Irrigation Science*, 28: 257-270.
- Zhou, J., Tol, R. S J., Evaluating the costs of desalination and water transport *Water Resources Research.*, 41, W03003, doi:10.1029/2004WR003749, 2005.