

Il valore dell'interconnessione delle fonti di approvvigionamento idrico

Chiara D'Alpaos*

parole chiave: irreversibilità, incertezza, opzione di switch, servizio idrico

Abstract

La carenza di infrastrutture efficienti, i periodi di prolungata siccità e la tendenza all'aspirazione degli standard qualitativi hanno portato recentemente ad un aumento della frequenza delle crisi idriche. In tale contesto il problema dell'affidabilità dei sistemi di acquedotto è divenuto di cruciale importanza e lo studio dei provvedimenti da adottare per abbattere il risk of failure si è intensificato notevolmente durante gli ultimi anni. Dal punto di vista finanziario, l'affidabilità di un sistema acquedottistico rappresenta la componente di rischio che l'impresa può coprire diversificando gli investimenti. L'idea alla base del presente lavoro è che il gestore del servizio idrico possa ridurre il rischio specifico investendo in sistemi di captazione flessibili a più fonti di approvvigionamento interconnesse. I sistemi interconnessi garantiscono, infatti, una grande capacità di adattamento al diverso andamento dei consumi ed offrono signifi-

cativi margini di flessibilità di funzionamento. Tuttavia tali sistemi non sono realizzati frequentemente nella pratica corrente perché ritenuti troppo costosi e non economicamente vantaggiosi. In realtà l'interconnessione genera delle opzioni operative (option to switch) che, se opportunamente esercitate, possono incrementare il valore attuale dell'asset. La flessibilità ha quindi un valore, ma tale valore non viene catturato dalle tradizionali tecniche di capital budgeting. Il contributo propone un modello di valutazione della flessibilità derivante dall'interconnessione delle fonti di approvvigionamento sviluppato secondo l'approccio delle opzioni reali. Scopo del lavoro è rendere esplicita la dimensione strategica dei progetti e degli investimenti nel settore del servizio idrico, considerando l'opportunità di investimento iniziale come una sequenza di flussi di cassa e di valori di opzione.

INTRODUZIONE

L'acqua è un bene pubblico essenziale¹, in grado di generare utilità multiple e di attirare una pluralità di domande e di usi spesso in competizione tra loro. Ciononostante è sempre stata considerata implicitamente una risorsa talmente

abbondante da non suscitare una significativa competizione tra i vari usi e, conseguentemente, è stato attribuito ad essa un modesto valore economico. L'acqua, tuttavia, è oggi universalmente considerata una risorsa scarsa. La scarsità è percepita non solo nei Paesi in cui la disponibilità della risorsa stessa è modesta per le condizioni geofisiche e naturali, per la forte pressione demografica o per il progressivo deterioramento qualitativo, ma anche nei Paesi in cui la scarsità non si manifesta attraverso il mancato soddisfacimento di bisogni ritenuti essenziali, bensì attraverso l'incremento dei costi sostenuti per garantire il raggiungimento degli stan-

¹ L'acqua e più in generale i servizi idrici si configurano come *merit good*, ovvero come beni funzionali al soddisfacimento di bisogni ritenuti essenziali e in grado di generare una gamma di benefici sociali superiori a quelli percepiti dai singoli utenti.

dard desiderati ed il soddisfacimento della crescente domanda di qualità e salvaguardia ambientale che caratterizza le società economicamente più sviluppate.

Il problema del rifornimento e dell'erogazione dell'acqua potabile, da un lato, e della riduzione degli sprechi, dall'altro, è quindi di grande attualità. La dotazione di portate consistenti e l'esistenza di strutture in grado di fornire con continuità l'acqua alle utenze sono una condizione necessaria per evitare il verificarsi di situazioni di erogazione insufficiente o di vere e proprie emergenze², nonché per favorire lo sviluppo socio-economico di un territorio. Questo problema è particolarmente sentito in Italia e si è aggravato ulteriormente nel corso degli ultimi anni. Già nel 2002, infatti, la "Relazione annuale al Parlamento sullo Stato dei Servizi Idrici" evidenziava la necessità di programmare una serie di investimenti consistenti nel servizio di acquedotto, al fine di rendere efficienti le strutture e le infrastrutture esistenti, ricercare nuove fonti di approvvigionamento e realizzare nuovi impianti (COVIRI, 2003). A livello nazionale si avverte oggi la pressante necessità di effettuare investimenti rilevanti nell'intero settore e di promuovere contestualmente una gestione più razionale della risorsa, in grado di sfruttare le economie di scala e di scopo e di combattere gli sprechi, introducendo opportune innovazioni sotto il profilo sia tecnico che organizzativo³. La mancanza di infrastrutture efficienti ed i periodi di prolungata siccità hanno portato in tempi recenti ad un aumento della frequenza delle crisi idriche; è emblematico in tal senso il caso delle gravi emergenze che si sono verificate in Italia nell'estate del 2002 e nell'estate del 2003. Si assiste infatti ad un calo generalizzato e progressivo dei deflussi dei fiumi e delle riserve nelle falde⁴ e ad un contemporaneo scadimento della qualità dell'acqua imputabile all'inquinamento. A questi fenomeni si aggiunge, inoltre, una tendenza all'aspirazione degli standard qualitativi relativi ai vari usi la quale, di fatto, riduce la quantità di risorse disponibili da destinare agli usi pregiati, tra cui, *in primis*, l'uso civile idropotabile.

In tale contesto, il problema dell'affidabilità dei sistemi di acquedotto è, da un lato, di cruciale importanza per l'esi-

genza di migliorare costantemente la qualità del servizio fornito agli utenti (in modo tale che la domanda di consumo idropotabile sia comunque sempre soddisfatta) e, dall'altro, per l'obiettivo (ritenuto prioritario dalla normativa⁵) di elevare il livello degli standard qualitativi del bene erogato. Per questi motivi, nonostante la preoccupazione per le conseguenze di una possibile "fallanza"⁶ dei sistemi acquedottistici sia sempre stata avvertita, lo studio dei mezzi e dei provvedimenti da adottare per abbattere il rischio di non funzionamento (*risk of failure*) di impianti e sistemi si è intensificato notevolmente nel corso degli ultimi anni. Poiché la normativa stabilisce l'obbligatorietà della fornitura di acqua potabile da parte del titolare della concessione di servizio⁷, è fondamentale per il *provider* sviluppare e implementare modelli di gestione integrata dei rischi (tecnici e finanziari) che gli consentano di allocare il capitale secondo criteri di efficienza e di rispettare gli obblighi contrattuali nei confronti delle utenze. Il rischio relativo ad una mancata erogazione dell'acqua agli utilizzatori finali diviene quindi una variabile decisionale determinante per il gestore non solo in fase di progettazione tecnica, ma anche in sede di analisi economico-finanziaria degli investimenti.

L'affidabilità di un sistema di acquedotto rappresenta, da un punto di vista finanziario, la componente di rischio (rischio specifico) che l'impresa può coprire diversificando l'investimento. Nel caso del servizio idrico, al fine di eliminare parzialmente il rischio specifico, il soggetto gestore potrebbe investire in progetti flessibili e sfruttare le opzioni operative insite negli stessi⁸.

⁵ Si rimanda a tal proposito alla Legge n. 36/1994 recepita dal D.lgs n. 152/2006 e successive modifiche ed integrazioni (in particolare il terzo decreto correttivo D.lgs n. 4/2008) ed alla Direttiva 2000/60/CE.

⁶ Per definizione l'affidabilità è la probabilità complementare della probabilità di fallanza.

⁷ Poiché l'acqua è un bene di prima necessità e la fornitura di acqua ad uso idropotabile è un servizio irrinunciabile, la normativa tutela i consumatori stabilendo l'obbligo per il gestore di fornire acqua alle utenze con continuità e senza interruzioni. La legge stabilisce inoltre che quest'ultimo, in caso di inadempienza, debba in qualche modo risarcire gli utenti pena la revoca, in casi gravi e particolari, della concessione.

⁸ In alternativa, per diversificare e ridurre il rischio specifico, il gestore potrebbe decidere di assicurarsi per una quota parte del rischio specifico di impresa e sottoscrivere una polizza per la copertura dei rischi in caso di insolvenza (mancata erogazione del servizio), il cui valore potrebbe essere calcolato in maniera del tutto analogo a quello delle *default option* vendute dai creditori agli azionisti di un'impresa. Trascurando i problemi di *moral hazard* e *adverse selection*, la gestione del capitale di rischio (Merton e Perold, 1993; Shimpi, 2001) presuppone, da un lato, una precisa rappresentazione dei rischi in portafoglio, finalizzata al contenimento dei costi di copertura attraverso una accurata selezione delle forme più economiche di *risk transfer* e, dall'altro, una stima del capitale di rischio che tenga conto sia degli effetti di portafoglio sia della valutazione della redditività "corretta" per la presenza del rischio (Erzegovesi, 2003). Il *risk manager*, infatti, ha a sua disposizione una serie di alternative per il controllo e la riduzione dei costi legati alle variabili aleatorie: può agire eliminando, assicurando e trasferendo i rischi e valutare, così, in chiave dinamica il trade-off tra i costi e i benefici attesi dalle coperture assicurative. Questa strategia risulta però di difficile implementazione nella realtà del servizio idrico italiano.

² In Italia, secondo recenti stime, i consumi medi per uso idropotabile sono pari a 249 l/giorno pro capite e sono i consumi più alti rilevati in Europa (COVIRI, 2006; 2008). L'Italia è in buona sostanza un Paese che manifesta elevati consumi a basso costo per l'utente. Va osservato, inoltre, che i volumi erogati all'utenza sono mediamente stimati intorno al 73% delle portate addotte, ciò significa che le perdite nelle reti di adduzione e di distribuzione sfiorano il 30%. Tale dato è preoccupante.

³ Tale necessità emerge prepotentemente dall'analisi dei dati messi a disposizione della Commissione Nazionale di Vigilanza sulle Risorse Idriche relativi alla dimensione del comparto dei servizi idrici integrati istituiti dalla Legge n. 36/1994, ora abrogata dal D.lgs. n. 152/2006.

⁴ A titolo esemplificativo, la portata media del fiume Bacchiglione - un fiume del Veneto - è diminuita del 20% negli ultimi 80 anni e la ricarica delle falde pedemontane è diminuita del 25% nell'arco degli ultimi 50 anni (Zanovello, 2003; Passadore et al., 2007; Rinaldo et al., 2007; Rinaldo et al., 2008).

I sistemi di captazione a più fonti di approvvigionamento interconnesse rappresentano un tipico esempio di investimento flessibile. Tali sistemi consentono ampi margini di flessibilità di funzionamento e di esercizio e, garantendo una grande capacità di adattamento al diverso andamento dei consumi, sono in grado di soddisfare la curva della domanda con la massima probabilità⁹.

Nonostante gli evidenti vantaggi in termini di flessibilità derivanti dall'interconnessione, non è tuttavia molto frequente individuare nella realtà sistemi acquedottistici a più fonti di approvvigionamento interconnesse. L'interconnessione è ritenuta dai progettisti e dagli esperti del settore costosa e non economicamente conveniente per le ingenti immobilizzazioni tecniche richieste¹⁰. Nel settore del servizio idrico, la valutazione degli investimenti è quasi esclusivamente effettuata utilizzando come indicatore di convenienza il Valore Attuale Netto (VAN) che non è in grado di far emergere la dimensione strategica e dinamica dei progetti di investimento. Le tradizionali tecniche di capital budgeting non consentono infatti di internalizzare, nell'analisi degli investimenti, il valore della flessibilità che caratterizza sistemi di approvvigionamento che consentano di passare dall'utilizzo di una fonte ad un'altra (*switch*), a fronte di improvvisi cambiamenti delle condizioni economiche o di riduzioni nella disponibilità della risorsa idrica derivanti da fattori esogeni. La rilevanza delle opzioni operative diviene pertanto cruciale in settori caratterizzati da un alto grado di volatilità e da una tecnologia flessibile che permetta interventi di *switch* a costi contenuti (Kulatilaka, 1993; Amram e Kulatilaka, 1999). La possibilità di cautelarsi nei confronti di andamenti sfavorevoli del mercato (ad esempio un forte rialzo del prezzo dell'energia) o di far fronte ad emergenze idriche può, in parte, mitigare la condizione di irreversibilità degli investimenti che contraddistinguono le immobilizzazioni tecniche del servizio idrico – ed in particolare quelle della parte alta della filiera produttiva – riducendo, così, le eventuali perdite per il gestore.

L'approccio delle opzioni reali, incorporando nel modello di *pricing* l'ottima strategia operativa (*optimal operating rule*) e catturando in maniera esplicita la flessibilità ed i suoi effetti sulla riduzione dell'incertezza, fornisce uno strumento robusto di analisi e di gestione del rischio. La variabilità dei prezzi degli input o dell'output, così come la necessità di immettere un certo volume di risorsa in rete, diventano una discriminante essenziale dell'investimento sia in termini di tipologia dello stesso ("tecnologie rigide" vs "tecnologie flessibili"), sia in termini di *capital outlay*. Nel caso di investimenti flessibili, infatti, un'elevata varia-

bilità aumenta il valore del progetto e del rapporto tra il valore di mercato dell'asset ed il costo di ripristino dello stesso (Tobin's q)¹¹.

Il contributo propone un modello di valutazione della flessibilità derivante dall'interconnessione delle fonti di approvvigionamento sviluppato all'interno del *framework* metodologico delle opzioni reali. Scopo del lavoro è rendere esplicita la dimensione strategica dei progetti e degli investimenti nel settore del servizio idrico, considerando l'opportunità di investimento iniziale come una sequenza di flussi di cassa e di valori di opzione. Rispetto ai tradizionali strumenti valutativi, l'approccio proposto consente di fornire una stima più oggettiva del rischio derivante da fonti di incertezza sia endogene che esogene¹² ed è per molti aspetti originale. Infatti, sebbene dopo la pubblicazione degli articoli di Brennan e Schwartz (1985), McDonald e Siegel (1985, 1986), Majd e Pindyck (1987) e Paddock et al. (1988)¹³, si sia assistito ad un crescente sviluppo delle applicazioni della teoria delle opzioni reali a vari settori industriali e ad alcuni settori soggetti a regolamentazione (telecomunicazioni ed energia elettrica)¹⁴, non sono ancora numerosi in letteratura i contributi relativi alla valutazione degli investimenti nel settore del servizio idrico che implementino modelli di *option pricing*¹⁵.

Il presente lavoro è quindi un tentativo di applicazione della teoria delle opzioni reali alla valutazione degli investimenti del servizio idrico integrato per dimostrare agli esperti del settore come l'incertezza e la flessibilità possano creare valore. L'approccio delle opzioni reali può, infatti, modificare significativamente le *performance* decisionali nel settore del servizio idropotabile caratterizzato da forti specificità, da un'incertezza strutturale legata al diverso regime idrologico delle fonti di approvvigionamento e da una significativa aleatorietà dei costi operativi e della futura domanda potenziale¹⁶. Il modello che viene di seguito illustrato e discusso fa riferimento in particolare alla flessibilità dei sistemi di acquedotto.

¹¹ Il fattore q è in buona sostanza il rapporto tra il valore di mercato delle attività di un'impresa (che in un mercato ideale coincide con il valore attuale dei profitti futuri attesi) e il costo di ripristino del capitale investito. Tale rapporto regola la decisione di investimento. Un investimento va intrapreso se $q > 1$.

¹² Il regime idrologico delle fonti rappresenta in tale contesto un tipico esempio di fonte di incertezza endogena, mentre la dimensione di mercato identifica una tipica fonte di incertezza esogena rispetto all'impresa che gestisce ed eroga il servizio.

¹³ Si vedano anche Dixit e Pindyck (1994) e Trigeorgis (1996).

¹⁴ Si vedano a tal proposito Teisberg (1993), Saphores et al. (2004), Teisberg (1994), Trigeorgis (1996) e Child e Triantis (1999).

¹⁵ Si veda a tal proposito D'Alpaos e Moretto (2005) e D'Alpaos, Moretto e Dosi (2006).

¹⁶ Nello specifico, il servizio idrico va analizzato come un qualunque altro settore industriale che operi in un contesto competitivo secondo logiche di mercato, enucleando la flessibilità delle relative opportunità di investimento anche in presenza di un monopolio naturale che determina, di fatto, una regolamentazione sulla condotta del monopolista e l'assenza di un vero e proprio mercato dell'acqua.

⁹ Infatti, sia la disponibilità idrica sia il consumo, almeno per quanto riguarda gli incrementi stagionali, sono fenomeni naturali aleatori.

¹⁰ Il 47% delle previsioni di spesa relative ai Piani d'Ambito è destinato agli investimenti nel servizio di acquedotto ed oltre il 60% del fatturato complessivo dell'industria dei servizi idrici in Italia è rappresentato dai proventi derivanti dai comparti della produzione, adduzione e distribuzione dell'acqua (CONVIRI, 2010).

L'AFFIDABILITÀ DEI SISTEMI DI ACQUEDOTTO E L'INTERCONNESSIONE DELLE FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO IDRICO

È particolarmente sentito nel settore acquedottistico ad uso civile il bisogno della "certezza del servizio", ossia la necessità di fornire una portata prestabilita ad un numero fissato di nodi della rete con un carico piezometrico garantito, per un periodo di tempo pari alla vita "produttiva" utile del sistema medesimo. Tale problema non è sempre di facile soluzione, data l'estrema variabilità della portata richiesta sia lungo l'arco dell'anno che all'interno di una stessa giornata. Generalmente, nel gestire un sistema acquedottistico, si deve infatti far fronte sia a richieste caratterizzate da una certa ciclicità, sia a richieste del tutto casuali ed imprevedibili, quali ad esempio quelle legate alle esigenze anti-incendio¹⁷. A volte, invece, le cause di un'eventuale interruzione dell'erogazione del servizio di acquedotto e, quindi, della mancata affidabilità del sistema, possono dipendere da una carenza di disponibilità di acqua alle fonti di approvvigionamento come in occasione dell'emergenza idrica verificatasi durante l'estate 2003. In questo caso il concetto di affidabilità è strettamente legato a quello di "rischio idrologico", in quanto l'eventuale emergenza potrebbe dipendere da stati di magra eccezionali dei corpi idrici. Tale rischio è piuttosto elevato nel periodo di massimo consumo che coincide con il periodo estivo, in cui la maggior parte delle fonti, come ad esempio le sorgenti, i fiumi e le falde freatiche, possono attraversare fasi di magra pronunciate¹⁸.

Un sistema di attingimento integrato¹⁹ che annoveri fonti con diverso regime idrologico (ad esempio un lago ed un corso d'acqua con un bacino idrografico montano a regime nivo-glaciale) può essere considerato un sistema a più elevato grado di affidabilità rispetto ad un sistema di attingi-

¹⁷ Queste ultime potrebbero portare ad un cattivo funzionamento della distribuzione a seguito di un repentino e troppo accentuato abbassamento della quota piezometrica, il cui effetto potrebbe manifestarsi sotto forma di una minore pressione in rete e di un flusso ridotto all'utenza.

¹⁸ Solamente i torrenti di origine nivo-pluviale, le falde freatiche di vaste dimensioni e i laghi non sono soggetti a tale tipo di rischio per la possibilità intrinseca di accumulare notevoli quantità di risorsa, fungendo da grandi serbatoi.

¹⁹ Un sistema integrato è realizzato attraverso l'interconnessione di più filiere, le cui componenti elementari possono essere considerate fra loro complementari da un punto di vista funzionale (Zanovello, 1977). Dall'interconnessione delle diverse filiere, risulta la realizzazione di uno schema caratterizzato dalla presenza di numerose componenti "omofunzionali". Ciascuna "filiera" è costituita da un centro di produzione, da uno o più sollevamenti posti lungo la rete di adduzione, da uno o più serbatoi avente funzioni di regolazione e di riserva, da uno o più sollevamenti realizzati lungo la linea di distribuzione ed infine da un sistema di distribuzione. Un acquedotto, inoltre, è definito politrofico se è alimentato da una serie di fonti differenti, localizzate ad una certa distanza l'una dall'altra, policentrico se serve più centri di utenza e politopico se sviluppa la produzione e la distribuzione in aree differenti (Zanovello, 1977). Si può, pertanto, affermare, che un sistema integrato è un sistema politrofico, policentrico e politopico.

mento costituito da un certo numero di fonti indipendenti, ma caratterizzate dallo stesso regime idrologico²⁰. Appare a tal proposito rilevante ricordare che, secondo quanto già stabilito dalla Legge n. 36/1994 (successivamente recepita nel D.lgs n. 152/2006), un sistema acquedottistico deve garantire l'economicità della gestione e consentire una razionale utilizzazione delle risorse idriche, assicurando "[...] la qualità del servizio in relazione alla domanda dell'utenza e alle esigenze di tutela ambientale". Il legislatore, quindi, in un contesto di radicale e strutturale riorganizzazione del servizio idrico, quale fu quello legato alla promulgazione della legge di cui sopra²¹, ha introdotto un preciso riferimento ai concetti di efficienza nell'allocazione delle risorse e di economicità del servizio, assumendo implicitamente che un sistema può essere considerato affidabile solo quando i requisiti di economicità, efficienza ed efficacia sono soddisfatti contemporaneamente. Il problema dell'affidabilità di un sistema di acquedotto va quindi indagato non solo da un punto di vista puramente tecnico²² con riferimento alla sua efficacia (ovvero alla capacità di soddisfare le esigenze dell'utenza in termini di portata), ma soprattutto da un punto di vista economico ed in relazione sia ai costi operativi del sistema stesso, sia ai costi (diretti, indiretti, tangibili ed intangibili) sopportati dalla collettività a causa di una mancata o deficitaria erogazione del servizio. L'affidabilità, al pari del costo di costruzione, è pertanto una prerogativa rilevante di un sistema e dipende sia dalle sue caratteristiche strutturali²³ sia dalle carat-

²⁰ Un tipico esempio è rappresentato dal caso di una falda adiacente ad un fiume e di un torrente.

²¹ La Legge n. 36/1994 ha segnato un momento di svolta nel processo di riorganizzazione del settore idrico in Italia attraverso l'introduzione del concetto di servizio idrico integrato - che presuppone una completa integrazione verticale delle attività di acquedotto, fognatura e depurazione - e di una netta separazione tra le funzioni di pianificazione e di controllo, attribuite dal legislatore all'operatore pubblico (l'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale), e le funzioni di produzione e gestione intese in senso più stretto, affidate ai nuovi soggetti operanti secondo logiche imprenditoriali. In tal modo, il legislatore ha voluto configurare una gestione industriale su larga scala dell'intera filiera di produzione, distribuzione e depurazione dell'acqua potabile, con il duplice scopo di incentivare gli investimenti nello sviluppo delle infrastrutture e di creare una gestione in grado di autofinanziarsi attraverso le entrate tariffarie (Bardelli e Muraro, 2003).

²² Sebbene il concetto di affidabilità sia abbastanza intuitivo, l'affidabilità di un sistema d'acquedotto, da un punto di vista prettamente tecnico, può essere definita come "[...] la probabilità che un sistema o una parte di esso (componente) assolva correttamente alle proprie funzioni per un prefissato periodo di tempo in determinate condizioni operative [...]" (Bertola, 1996), conservando cioè nel tempo la qualità funzionale per cui è stato ideato e realizzato.

²³ La diversificazione nella composizione e nell'estensione dei centri di utenza può generare effetti compensativi sulla curva globale dei consumi, desiderabili nel caso in cui si debbano attenuare le fasi critiche nell'erogazione. I sistemi "politropici" sono in grado di servire centri di utenza che presentano curve dei consumi differenti tra loro, in cui le punte di maggior consumo hanno un ritardo di fase (es. centri industriali e centri turistici balneari). Più diventano marcati i caratteri di "politropia", più diventano significativi gli indici di qualità ed i connotati di efficienza del sistema, in particolar modo quelli relativi alla produttività e all'affidabilità.

teristiche di affidabilità delle singole parti che lo compongono. Conseguentemente, l'affidabilità andrebbe definita prendendo in considerazione oltre che aspetti qualitativi e quantitativi anche aspetti di natura economica.

LA FLESSIBILITÀ DEI SISTEMI ACQUEDOTTISTICI A PIÙ FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO INTERCONNESSE

Sebbene le questioni da risolvere nella progettazione e nella realizzazione delle strutture essenziali del servizio idrico integrato presentino talune analogie (fra cui la presenza di forti economie di scala e di scopo) con le problematiche che si riscontrano nello studio di altri sistemi di distribuzione a rete (reti per il gas, l'energia elettrica e le telecomunicazioni), i sistemi a rete del servizio idrico si caratterizzano per numerosi elementi distintivi, soprattutto in relazione alla natura del bene prodotto ed ai vincoli fisici e tecnologici²⁴ che caratterizzano le singole componenti e i singoli impianti del sistema. Nonostante i vincoli impongano limitazioni ben precise per quanto riguarda le possibilità di interconnessione delle reti e delle fonti di approvvigionamento e la realizzazione di schemi capaci di servire ambiti territoriali particolarmente estesi, esiste un'ampia gamma di soluzioni progettuali alternative, derivanti da una diversa combinazione dei singoli elementi del sistema, che consentono significativi margini di flessibilità di funzionamento e di esercizio delle infrastrutture del servizio idrico. I progressi tecnologici hanno portato, in particolare, alla progettazione di sistemi acquedottistici complessi di tipo reticolare o integrato²⁵, in grado di garantire flessibilità al sistema di approvvigionamento e grande capacità di adattamento al diverso andamento dei consumi (D'Alpaos, 2003). Un sistema acquedottistico che si approvvigioni da una serie di fonti, aventi un diverso grado di vulnerabilità rispetto a possibili cause di inquinamento ed andamenti idrologici "complementari"²⁶, permette di erogare un servizio efficiente con acqua di buona qualità anche in caso di crisi idriche particolarmente severe. La diversificazione delle fonti comporta, infatti, interessanti effetti di integrabilità tra le stesse, in quanto le varie tipologie di fonte differiscono per il differente regime idrologico e per l'entità delle portate che sono in grado di garantire. Tipico è il caso di un sistema di approvvigionamento che utilizzi acqua di sorgente e acque di falda: mentre il regime delle acque di falda presenta oscillazioni stagionali molto lente del livello piezometrico (e, quindi, una sostanziale costanza delle portate), quello di una sorgente risente di escursioni

di portata più ampie, sulle quali vanno a sovrapporsi gli effetti più rapidamente variabili delle precipitazioni.

Le considerazioni svolte evidenziano, nel loro complesso, per il *provider* l'esistenza di una ampia gamma di scelte tecniche relativamente alle modalità di approvvigionamento ed alla progettazione dei sistemi acquedottistici, che possono generare rilevanti flessibilità dal punto di vista dell'esercizio e della gestione economico-finanziaria degli stessi ed aumentare così il valore degli asset. Questo tipo di flessibilità non è generalmente "catturato" dalle tradizionali tecniche di valutazione degli investimenti. Al contrario, l'approccio delle opzioni reali consente di evidenziare e internalizzare tale flessibilità nelle analisi di capital budgeting, attribuendo un valore economico all'abilità manageriale di esercitare le opzioni operative generate dall'investimento.

Nei paragrafi che seguono si cercherà di mettere in evidenza come l'esistenza di un'ampia possibilità di scelte dal punto di vista tecnico si possa tradurre in una rilevante flessibilità dal punto di vista dell'esercizio e della gestione economico-finanziaria dei sistemi che caratterizzano la parte alta della filiera di produzione dell'acqua potabile.

IL VALORE DELLA FLESSIBILITÀ DI UN SISTEMA ACQUEDOTTISTICO A PIÙ FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO INTERCONNESSE

Gli investimenti nel servizio idrico sono caratterizzati da ingenti esborsi di capitale e da immobilizzazioni tecniche che richiedono un lungo periodo di gestazione ed hanno una vita utile molto lunga. Appare conseguentemente interessante analizzare e valutare la flessibilità dei progetti di investimento in questo settore, attesa un'incertezza strutturale legata al diverso regime idrologico delle fonti di approvvigionamento. È evidente, infatti, l'inadeguatezza delle tecniche tradizionali di capital budgeting (Discounted Cash Flow Analysis) nel fornire una stima oggettiva del rischio derivante da fonti di incertezza endogene ed esogene e nel cogliere la dimensione dinamica degli investimenti. Molte delle flessibilità di natura tecnica che contraddistinguono le infrastrutture della parte alta del ciclo produttivo del servizio idrico integrato possono essere interpretate in chiave dinamica ed assumere un valore economico rilevante. In presenza di investimenti irreversibili, la possibilità di progettare un impianto di tipo flessibile, che consenta di passare da una modalità operativa nell'approvvigionamento, e quindi nella produzione, ad un'altra ha un valore in termini di costo opportunità. La decisione di esercitare un'opzione, quindi, va analizzata e determinata all'interno di un appropriato quadro valutativo in cui i flussi di cassa attesi ed i tassi di sconto (supposti esogeni nelle Discounted Cash Flow Analysis) rappresentano delle variabili endogene. Dalle considerazioni fin qui svolte discende che un'impostazione metodologicamente corretta delle valutazioni dei progetti nel servizio idrico non può prescindere da un accurato studio della flessibilità, fattore chiave nell'analisi della convenienza economica di investimenti irreversibili.

²⁴ Nelle reti del servizio idrico il convogliamento delle acque avviene prevalentemente sfruttando la gravità.

²⁵ Un sistema integrato (in cui le caratteristiche prestazionali delle componenti multiple si integrano reciprocamente) è in grado di fornire prestazioni funzionali di elevata qualità, che si caratterizzano per la regolarità del flusso e della portata di erogazione e per la notevole flessibilità di adattamento ai picchi di consumo.

²⁶ Ciò significa che gli idrogrammi presentano un ritardo di fase l'uno rispetto all'altro e hanno diversi andamenti nel tempo.

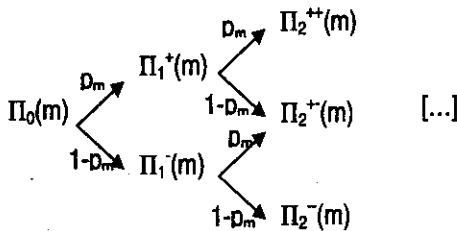
Il modello teorico

Il modello proposto è una specificazione dei modelli di Cox, Ross e Rubinstein (1979), Kulatilaka (1993) e Kulatilaka e Trigeorgis (1994) e consente di stimare il valore dell'opzione di *switch* tra due modalità operative alternative (*operating modes*) nel caso di interconnessione delle fonti di approvvigionamento idrico.

Si considerino due progetti alternativi a tecnologia "rigida" A e B i cui flussi di cassa netti dipendano da una singola variabile di stato esogena. Si supponga che l'orizzonte temporale relativo alla decisione di investimento possa essere schematizzato in n periodi ($t=0,1,2,\dots,n$) e che $T=n$ anni sia la vita di esercizio dei due progetti. Si introducano, inoltre, le seguenti ipotesi semplificative:

- il mercato è senza attrito;
- il processo che descrive l'andamento nel tempo dei flussi di cassa $\Pi(m)$ generati da ogni singolo progetto a tecnologia rigida m è binomiale, stazionario e moltiplicativo;
- il tasso di rendimento privo di rischio r è costante rispetto al tempo;
- la fonte di incertezza è unica²⁷.

Essendo le opzioni di *switch path dependent*²⁸ ed ipotizzando che la variabile di stato evolva secondo un processo binomiale moltiplicativo, il valore Π_t del flusso di cassa generato dai singoli progetti al tempo t dipende dall'evoluzione della variabile di stato incerta e dalla modalità operativa adottata, ovvero dalla tecnologia "rigida" adottata:



in cui:

$m=A,B$;

$\Pi_t^s(m)$ =flusso di cassa atteso del progetto relativo alla tecnologia m, generato all'anno t, nel caso in cui si verifichi lo stato del mondo s;

$t=0,1,2, \dots,n$;

$s=+,-,++,+,-, \dots$;

²⁷ Le trattazioni generalizzate delle opzioni di *switch* (Margrabe, 1978) hanno generalmente due fonti di incertezza correlate, ciascuna delle quali determina una diversa modalità. In questo caso si assume implicitamente che le incertezze siano perfettamente correlate così da introdurre un'unica fonte di incertezza, quale ad esempio quella relativa al prezzo dell'energia (*underlying asset*).

²⁸ In presenza di più modalità operative, per l'individuazione della modalità che sia ottimale in un istante futuro, è necessario tenere in considerazione non solo i prezzi ed i valori di mercato, ma anche la particolare modalità operativa nella quale si trova il sistema al momento di entrare nello stato successivo. Questo implica che per risolvere il problema si debba ricorrere ad un processo di programmazione dinamico e regressivo.

p_m =probabilità che il valore del progetto relativo alla tecnologia m aumenti di un fattore moltiplicativo u_m ²⁹;

$1-p_m$ =probabilità che il valore del progetto relativo alla tecnologia m diminuisca di un fattore moltiplicativo d_m , ove $d_m=1/u_m$.

Il modello consente di valutare un progetto flessibile F che permetta di passare dalla tecnologia A alla tecnologia B a costi di *switch* nulli alla fine di ogni periodo t. In tal caso la flessibilità di conversione può essere determinata sommando le singole opzioni di *switch* S nei periodi considerati, che risultano essere delle *opzioni* di tipo europeo, stante le ipotesi assunte in precedenza.

La possibilità, ma non l'obbligo, di passare da una tecnologia all'altra, $F(A \rightarrow B)$, rende il valore del progetto flessibile maggiore rispetto al valore dei singoli progetti a tecnologia "rigida" A e B. Il valore attuale dei flussi di cassa generati da ciascun progetto m, in assenza di flessibilità, può essere ottenuto scontando i flussi di cassa attesi, calcolati sotto la misura di probabilità p_m , al tasso di rendimento atteso aggiustato per il rischio. In alternativa, è possibile stimare il valore degli asset scontando i flussi di cassa attesi, calcolati sotto la misura di probabilità neutrale rispetto al rischio, al tasso di rendimento privo di rischio (Cox e Ross, 1976; Harrison e Kreps, 1979). In tal caso, la probabilità q_m neutrale rispetto al rischio è³⁰:

$$q_m = \frac{(1+r) \cdot d_m}{u_m - d_m} \quad (1)$$

In assenza di costi di *switch*, il valore della flessibilità si può dimostrare essere pari alla somma delle n opzioni europee S esercitate rispettivamente al tempo $t=0,1,2,\dots,n$:

$$F(A \rightarrow B) = S_0(A \rightarrow B) + S_1(A \rightarrow B) + S_2(A \rightarrow B) + \dots + S_n(A \rightarrow B)$$

e quindi il valore attuale del progetto flessibile F è pari a:

$$V(F) = V(A) + F(A \rightarrow B) \quad (2)$$

dove $V(A)$ è il valore attuale del progetto a tecnologia rigida A e $F(A \rightarrow B)$ è il valore della flessibilità di passare dalla tecnologia A alla tecnologia B.

In particolare, nel generico istante t il pay-off addizionale, $e_t^s(A \rightarrow B)$, derivante dal passaggio nell'istante t e nello stato del mondo s dalla modalità operativa A alla modalità operativa B è:

$$e_t^s(A \rightarrow B) = \max[\Pi_t^s(B) - \Pi_t^s(A), 0] \quad (3)$$

²⁹ In un processo stocastico geometrico $u = e^{\sigma\sqrt{t}}$ in cui σ è la volatilità e t è il periodo di tempo che intercorre tra uno stato del mondo ed il successivo.

³⁰ Passando dal mondo reale ad un mondo neutrale rispetto al rischio la volatilità rimane la stessa per il teorema di Girsanov (Cox, Ross e Rubinstein, 1979).

Pertanto, qualora l'adozione della fonte B sia vantaggiosa, si ha ad esempio:

$$S_0(A \rightarrow B) = \max[\Pi_0(B) - \Pi_0(A), 0] \quad (4)$$

$$S_1(A \rightarrow B) \begin{cases} e_1^+(A \rightarrow B) = \max[\Pi_1^+(B) - \Pi_1^+(A), 0] \\ e_1^-(A \rightarrow B) = \max[\Pi_1^-(B) - \Pi_1^-(A), 0] \end{cases}$$

$$S_2(A \rightarrow B) \begin{cases} [\dots] \\ [\dots] \end{cases} \begin{cases} e_2^{++}(A \rightarrow B) = \max[\Pi_2^{++}(B) - \Pi_2^{++}(A), 0] \\ e_2^{+-}(A \rightarrow B) = \max[\Pi_2^{+-}(B) - \Pi_2^{+-}(A), 0] \\ e_2^{-+}(A \rightarrow B) = \max[\Pi_2^{-+}(B) - \Pi_2^{-+}(A), 0] \\ e_2^{--}(A \rightarrow B) = \max[\Pi_2^{--}(B) - \Pi_2^{--}(A), 0] \end{cases}$$

ed analogamente per tutti i periodi successivi. In particolare in corrispondenza di ciascun nodo (t,j)

(t,j) con t=0,1,...n-1, j=0,1,...,t

ove nelle coppie t rappresenta lo stadio dell'albero che descrive il processo binomiale e j indica il nodo dello stadio che identifica i movimenti "di tipo u", il valore del sottostante è:

$$\Pi_j = \Pi_0(m) u_m^j d_m^{t-j} \quad (5)$$

Stante l'assunzione di neutralità rispetto al rischio ed essendo q la probabilità neutrale rispetto al rischio, il valore dell'opzione può essere determinato in maniera ricorsiva come segue:

$$S_{t,j}(A \rightarrow B) = \frac{q S_{t+1,j+1}(A \rightarrow B) + (1-q) S_{t+1,j}(A \rightarrow B)}{(1+r)} \quad (6)$$

ovvero il valore dell'opzione al generico istante t, può essere ottenuto attualizzando il valore atteso dell'opzione all'istante successivo (t+1) al tasso di sconto privo di rischio.

Detti u_A, d_A i fattori moltiplicativi relativi alla modalità operativa A e u_B, d_B i fattori moltiplicativi relativi alla modalità operativa B, posto che:

$$S_{n,j} = \max[\Pi_0(A) u_A^j d_A^{n-j} - \Pi_0(B) u_B^j d_B^{n-j}, 0] \quad (7)$$

applicando n volte la formula [6] si ottiene all'istante t=0:

$$S_0 = \frac{\sum_{t=0}^n \binom{n}{t} q^t (1-q)^{n-t} \max[\Pi_0(A) u_A^t d_A^{n-t} - \Pi_0(B) u_B^t d_B^{n-t}, 0]}{(1+r)^n} \quad (8)$$

Il progetto flessibile F risulta essere l'alternativa preferibile nel caso in cui la differenza fra i costi aggiuntivi neces-

sari per acquisire la tecnologia flessibile, I(F), ed i costi di impianto del progetto A, I(A), risulta essere minore del valore della flessibilità. In altre parole risulta conveniente investire nel progetto a tecnologia flessibile qualora:

$$I(F) - I(A) < F(A \rightarrow B) \quad (9)$$

Si può dimostrare, inoltre, che in assenza di costi di switch:

$$V(F) = V(B) + F(B \rightarrow A) \quad (10)$$

L'approccio può essere esteso a più periodi e a più *operating modes*, all'interno di un processo iterativo di tipo *backward*, che discretizzi l'equazione di Bellmann derivata nel continuo.

Siano s=0,1,2,...n i possibili stati e i=0,1,2,...M le differenti tecnologie o i differenti *operating modes*. A partire dall'ultimo periodo M e procedendo a ritroso, il valore di un progetto flessibile nello stato generico s, nell'istante t-1, è determinato a partire dai valori attesi nel caso di un rialzo (s+1) e di un ribasso (s-1), calcolati nell'istante t nel modo seguente:

$$V_{t-1}^s(m) = \max_i \left\{ \begin{aligned} & \Pi_{t-1}^s(i) + [p V_t^{s+1}(i) + (1-p) V_t^{s-1}(i)] / (1+r) + \\ & - I(m \rightarrow i) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

in cui:

$I(m \rightarrow i) = 0$ per $i=m$, ossia i costi sono nulli mantenendo lo stesso *operating mode*.

Per $t=T$:

$$V_T^s(m) = \max_i \{ \Pi_T^s(i) - I(m \rightarrow i) \} \quad (12)$$

essendo:

$\Pi_T^s(i)$ = valore residuo nello stato s con *operating mode* i.

Il procedimento può essere ripetuto in maniera iterativa, andando a ritroso fino all'istante t=0, ottenendo anche l'*optimal operating schedule*.

In maniera del tutto analoga può essere trattato e risolto il caso continuo³¹.

Il valore della flessibilità

L'applicazione di seguito proposta ha finalità puramente esemplificative ed ha lo scopo di dimostrare come, in molte occasioni, il valore della flessibilità risulti essere maggiore del costo aggiuntivo sopportato per acquisire una tecnologia flessibile rispetto ad una tecnologia cosiddetta rigida.

³¹ Si veda a tal proposito Margrabe (1978).

Si supponga, a tal proposito, che un gestore del servizio idrico, titolare di una concessione trentennale, si trovi di fronte alla necessità di dover servire un nuovo bacino di utenza³².

Il gestore, nel proprio territorio di competenza, ha la possibilità di utilizzare due diverse fonti di approvvigionamento e conseguentemente ha la facoltà di decidere tra due alternative progettuali:

- a) realizzare un impianto di captazione mediante campo pozzi (alternativa A);
- b) realizzare un impianto di captazione da fiume (alternativa B).

L'impianto di captazione mediante campo pozzi (alternativa A) è costituito da tre pozzi, un impianto di sollevamento, un impianto di trattamento, un impianto di stoccaggio e un impianto elettrico per le apparecchiature installate dotato di quadro di comando con periferiche per il telecontrollo. In particolare:

- a) l'impianto di captazione è costituito da un pozzo tubolare terebrato mediante sistema a percussione e filtro realizzato in opera tramite tagliatubi idraulico;
- b) l'impianto di sollevamento consiste di due elettropompe sommerse ad asse verticale e relative saracinesche e valvole di ritenuta tipo Venturi;
- c) l'impianto di trattamento include una vasca di accumulo provvisorio, una vasca di rilancio e una filtrazione su carboni attivi granulari (CAG);
- d) lo stoccaggio (volume utile pari a 10.000 m³) ha luogo in vasche di compensazione e accumulo e necessita di un certo dosaggio di ipoclorito di sodio (NaClO) o biossido di cloro (ClO₂) per la disinfezione e la clorazione. Il prelievo da falda garantisce, generalmente, l'approvvigionamento di acqua di buona qualità, che non necessita, quindi, di particolari processi di potabilizzazione per rispettare gli standard di qualità fissati dalla normativa per il consumo idropotabile.

Nell'ipotesi di una produzione idrica di 300 l/s (equivalente a 9.460.800 m³/anno), i costi di costruzione a prezzi attuali sono pari a I_A=3.125.000 Euro e possono essere in prima approssimazione così articolati:

- impianto di captazione da pozzo (n. 3 pozzi) pari a 300.000 Euro;
- impianto di sollevamento pari a 200.000 Euro;
- impianto di trattamento pari a 1.200.000 Euro;
- impianto di stoccaggio pari a 650.000 Euro;
- impianto elettrico pari a 150.000 Euro;
- lavori di difficile valutazione pari a 25.000 Euro;

- costo dei terreni (espropri, vincoli e servitù) pari a 600.000 Euro;

L'impianto di captazione da fiume (alternativa B) è costituito da una presa superficiale, un impianto di potabilizzazione, un impianto di stoccaggio e un impianto elettrico per le apparecchiature installate dotato di quadro di comando con periferiche per telecontrollo. L'impianto di captazione è realizzato mediante presa superficiale da canale irriguo già esistente, dotata di impianto di sollevamento, impianto di trattamento di grigliatura fine e condotta di immissione in vasca di stoccaggio. Al contrario del caso di captazione da campo pozzi, l'acqua derivata mediante presa superficiale richiede un trattamento di potabilizzazione spinto. Lo stoccaggio ha luogo in vasche di accumulo e necessita di un certo dosaggio di ipoclorito di sodio (NaClO) o biossido di cloro (ClO₂), come trattamento di post-disinfezione.

In particolare il ciclo di potabilizzazione include:

- a) il processo di sedimentazione primaria e di ripresa con dosaggio di polielettrolita;
- b) la decantazione in bacino di chiariflocculazione;
- c) la filtrazione a sabbia previa copertura della carica batterica come pre-disinfezione;
- d) l'adsorbimento e la filtrazione su carboni attivi granulari (C.A.G.) per la rimozione dei microinquinanti e dei residui pre-disinfezione. Contrariamente al caso precedente, il prelievo da canale irriguo non garantisce, usualmente, l'approvvigionamento di acqua di buona qualità e necessita, quindi, di processi di potabilizzazione ad alta tecnologia per rispettare gli standard di qualità fissati dalla normativa per il consumo idropotabile.

Nell'ipotesi di una produzione idrica di 300 l/s, i costi di costruzione a prezzi attuali di detto impianto sono pari a I_B=3.250.000 Euro e possono essere così stimati:

- opera di presa pari a 300.000 Euro;
- grigliatura, dissabbiatura, microsetacciatura, ozonizzazione primaria, preflocculazione pari a 220.000 Euro;
- filtrazione a sabbia pari a 750.000 Euro;
- ozonolisi pari a 130.000 Euro;
- vasca acqua grezza pari a 20.000 Euro;
- filtrazione su carboni attivi granulari pari a 1.000.000 Euro;
- impianto di stoccaggio acqua trattata pari a 650.000 Euro;
- impianto elettrico pari a 150.000 Euro;
- lavori di difficile valutazione³³ pari a 30.000 Euro

Il contesto economico di riferimento prevede, inoltre, le seguenti ipotesi:

- i) il valore attuale del generico progetto m (somma dei flussi di cassa netti attualizzati generati dal progetto) è considerato una buona proxy del valore corrente del-

³² Margrabe dimostra, inoltre, che in assenza di dividendi corrisposti, l'opzione *call* di tipo americano vale maggiormente se non esercitata, così, non essendo ottimale esercitarla prima della scadenza, il valore dell'opzione di conversione dei due asset ha lo stesso valore della corrispondente *call* di tipo europeo.

³³ Prestazioni di manodopera, noli, fornitura di materiali per risolvere aspetti di dettaglio difficilmente quantificabili.

l'asset e può essere linearizzato rispetto al volume erogato V_E :

$$\Pi_t(m) = \pi_t^m V_E = R^m (1-i) V_E - c_t^m V_E \quad (13)$$

ove

$\Pi_t(m)$ = cash flow netto all'istante t relativo al progetto m;

π_t^m = cash flow netto unitario all'istante t relativo al progetto m;

R_t^m = ricavo unitario all'istante t relativo al progetto m;

i = perdite in rete³⁴;

c_t^m = costo operativo unitario all'istante t relativo al progetto m;

- ii) i flussi di cassa netti generati dalle singole alternative progettuali dipendono da un'unica variabile esogena di natura stocastica;
- iii) la vita di esercizio degli impianti è pari alla durata della concessione, ovvero $T=30$ anni³⁵;
- iv) il valore residuo del progetto m al termine della vita di esercizio è nullo³⁶;
- v) il tasso di sconto privo di rischio r è una variabile deterministica nota e costante rispetto al tempo;
- vi) i ricavi del generico progetto m coincidono con i ricavi tariffari e la loro struttura è di natura deterministica³⁷;

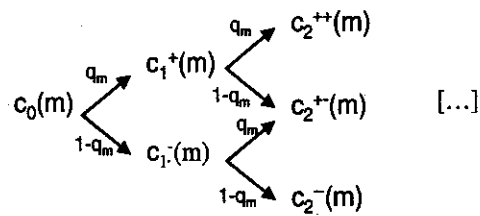
³⁴ Le perdite in rete sono considerate costanti. Un perdita in rete pari al 20% del volume immesso in rete, V_E , è considerata fisiologica dagli esperti del settore e dai progettisti.

³⁵ Nel modello sopra proposto si assume quindi che l'impresa affidataria della gestione realizzi l'investimento all'inizio del periodo di concessione e che quindi possa sfruttare i profitti comandati dal progetto per l'intera sua vita di esercizio.

³⁶ La formulazione della tariffa di riferimento imputa tra le voci di costo la componente relativa all'ammortamento del capitale. Viene quindi qui introdotta l'assunzione secondo cui il valore residuo delle infrastrutture e degli impianti allo scadere della concessione è nullo. Tale assunzione risulta essere ragionevole in quanto in letteratura si suppone che la legge di deprezzamento del capitale sia di tipo iperbolico e che il tasso di deprezzamento sia sostanzialmente elevato, crescendo i costi di manutenzione in maniera più che proporzionale rispetto al tempo (Mauer e Ott, 1995). A conferma di ciò, l'art. 113 del nuovo "Testo unico delle leggi sull'ordinamento degli enti locali" (integrazione della legge 24 novembre 2003, n° 326 e recepimento delle modifiche alla Finanziaria 2004) dispone che, alla scadenza del periodo di affidamento, le reti, gli impianti e le altre dotazioni realizzate in attuazione dei piani di investimento dal gestore uscente sono assegnati al nuovo gestore, che è tenuto a corrispondere all'*incumbent* un indennizzo pari al valore dei beni non ancora ammortizzati (es. il netto contabile al momento della gara).

³⁷ Le tariffe del servizio idrico integrato che il gestore può applicare sono determinate sulla base del Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio l° agosto 1996, detto anche "Metodo Normalizzato per definire le componenti di costo e determinare la tariffa di riferimento". Tale metodo introduce un nuovo concetto di tariffa e fissa un prezzo per l'erogazione del servizio in ciascun Ambito Territoriale Ottimale sulla base del piano economico finanziario degli investimenti previsti nel Piano d'Ambito redatto dall'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale. Il nuovo concetto di tariffa garantisce la copertura dei costi opera-

vii) i costi operativi hanno un andamento di tipo *random walk*³⁸:



ove

$c_t^s(m)$ = costo operativo unitario relativo all'alternativa m generato all'anno t nel caso in cui si verifichi lo stato del mondo s;

$s = +, -, ++, +-, -+, \dots$

Di seguito sono elencati i dati tecnici ed economici relativi al progetto A:

- volume erogato, V_E , pari a $V_E=9.460.800$ m³/anno;
- vita di esercizio, T, pari a $T=30$ anni;
- ricavi unitari medi³⁹ pari a $R=0,5$ Euro/m³;
- perdite in rete, i, pari a $i=20\%$;
- costi operativi unitari all'istante $t=0$ ⁴⁰ pari a $c_0^A=0,15$ Euro/m³;

tivi del servizio idrico integrato e introduce un vincolo di crescita tariffaria secondo una metodologia *price cap*. Al gestore sono quindi garantiti il recupero *ex post* dei costi sostenuti ed una adeguata remunerazione sul capitale investito, ma in virtù del meccanismo di *price cap* il *provider*, trattandosi di un servizio di prima necessità fornito in condizione monopolio naturale regolamentato a tutela del consumatore, non può fissare tariffe che superino per un ammontare prestabilito la tariffa di riferimento stabilita dall'Autorità d'Ambito e determinata da quest'ultima sulla base dei costi modellati relativi al servizio di acquedotto, fognatura e depurazione.

³⁸ I costi operativi, ed in particolare i costi dell'energia necessaria per il sollevamento, sono le voci che maggiormente incidono sulla funzione di costo relativa ad un impianto di captazione da pozzi. I costi per i reagenti chimici nel caso preso in esame possono essere considerati trascurabili rispetto alle spese sostenute per l'energia, il cui prezzo incerto si può ipotizzare segua un processo esogeno di tipo *random walk*. I costi fissi di gestione sono generalmente stimati come percentuale dei costi operativi totali (20-30%) e variano molto a seconda del tipo di gestione e di impresa che gestisce il servizio stesso.

³⁹ Il ricavo unitario medio è stato determinato a partire dall'evoluzione della tariffa media di riferimento per il servizio di fornitura dell'acqua potabile in un ATO di riferimento, l'ATO Bacchiglione. Sulla base dei dati forniti dal CONVIRI tale dato non si discosta in maniera statisticamente significativa dal valore medio dei ricavi tariffari relativi al servizio di acquedotto stimati per l'intero territorio nazionale (CONVIRI, 2009). Inoltre, essendo i ricavi unitari medi del generico progetto m coincidenti con i ricavi tariffari si ha $R^A=R^B=R$.

⁴⁰ I progettisti e gli esperti del settore interpellati sono concordi nello stimare i costi operativi attuali per tale tipologia di impianto mediamente pari a 0,15 Euro/m³. La media è calcolata su una distribuzione. La varianza è stata stimata sulla base di indagini statistiche condotte su progetti analoghi realizzati nel passato, dei

- fattore moltiplicativo, u_A , pari a $u_A=1,241$;
- tasso di sconto privo di rischio, r , pari a $r=5\%$ ⁴².

Il valore attuale netto atteso del progetto A, $VAN(A)$, risulta essere pari a $VAN(A)=11.055.800$ Euro.

Analoghe considerazioni possono essere svolte per l'alternativa B, di cui di seguito si riportano in maniera riassuntiva i dati tecnici ed economici:

- volume erogato, V_E , pari a $V_E=9.460.800$ m³/anno;
- vita di esercizio, T , pari a $T=30$ anni;
- ricavi unitari medi pari a $R=0,5$ Euro/m³;
- perdite in rete, i , pari a $i=20\%$;
- costi operativi unitari all'istante $t=0$ ⁴³ pari a $c_{00}^B=0,17$ Euro/m³;
- fattore moltiplicativo, u_B , pari a $u_B=1,1$;
- tasso di sconto privo di rischio, r , pari a $r=5\%$.

Il valore attuale netto atteso del progetto B, $VAN(B)$, risulta pertanto essere pari a $VAN(B)=5.065.100$ Euro.

Si consideri ora una terza alternativa progettuale F derivante dall'interconnessione delle fonti di approvvigionamento.

Il progetto F è un investimento flessibile che consente di utilizzare due fonti di approvvigionamento, passando dall'una all'altra. Ipotizzando per semplicità uno *switch* totale⁴⁴, F è un impianto di acquedotto integrato ed è la risultante dell'interconnessione dei due impianti di captazione A e B. Le due fonti di approvvigionamento da fiume e da falda risultano pertanto essere interconnesse⁴⁵. Si stima, inoltre, che i costi di realizzazione dell'impianto flessibile ammontino a 4.250.000 Euro.

Supponendo che i costi sostenuti per passare dalla produzione di acqua potabile tramite l'utilizzo dell'impianto A

alla produzione tramite l'esercizio dell'impianto B siano nulli ($I_S=0$), il valore attuale atteso del progetto flessibile, $VA(F)$, risulta essere maggiore o al più uguale al valore attuale dei progetti A e B considerati separatamente:

$$V(F) \geq \max [V(A), V(B)]$$

ovvero:

$$V(F) = V(A) + F(A \rightarrow B)$$

in cui:

$V(A)$ = valore attuale atteso del progetto A

$V(B)$ = valore attuale atteso del progetto B

$F(A \rightarrow B)$ = valore della flessibilità derivante dallo *switch* da A a B.

Il valore della flessibilità (*option to switch*) risulta, conseguentemente, essere dato dalla somma dei valori delle n opzioni europee S_t ($t=0,1,2,\dots,n$), che possono essere esercitate in ogni periodo.

Pertanto, la somma dei valori della flessibilità derivante dalla possibilità effettuare uno *switch* in ogni nodo decisionale ($t=0,1,2,\dots,n$) dall'impianto A all'impianto B per la produzione di acqua ad uso potabile risulta essere:

$$F(A \rightarrow B) = S_0(A \rightarrow B) + S_1(A \rightarrow B) + S_2(A \rightarrow B) + \dots + S_n(A \rightarrow B) = 1.821.800 \text{ Euro.}$$

È del tutto evidente come l'investimento in un progetto flessibile sia preferibile rispetto all'investimento nel progetto A, essendo i costi addizionali da sostenere per acquisire la flessibilità minori del valore della flessibilità. In particolare:

$$VA(F) - I(F) = VAN(F) > VAN(A)$$

o equivalentemente:

$$I(F) - I(A) < F(A \rightarrow B)$$

$$1.125.000 \text{ Euro} < 1.821.800 \text{ Euro}$$

In modo analogo, stante l'ipotesi di costi di *switch* nulli ($I_S=0$), si ha:

$$F(B \rightarrow A) = S_0(B \rightarrow A) + S_1(B \rightarrow A) + S_2(B \rightarrow A) + \dots + S_n(B \rightarrow A) = 7.687.400 \text{ Euro}$$

e, conseguentemente, $VAN(F) > VAN(B)$.

Ne deriva che la decisione di investire nel progetto a due fonti di approvvigionamento interconnesse risulta essere economicamente la più vantaggiosa. L'effetto positivo della flessibilità è maggiore all'aumentare dell'orizzonte temporale all'interno del quale esercitare le opzioni di *switch*, poiché al trascorrere del tempo ne aumenta il pay-off⁴⁶.

⁴⁶ Al variare della volatilità dei prezzi degli input varia il valore della flessibilità. In accordo con la teoria delle opzioni reali, all'aumentare della volatilità relativa dei flussi di cassa netti relativi alle due fonti di approvvigionamento aumenta il valore della flessibilità. In particolare se $u_A=1,3$ e $u_B=1,2$ il valore della flessibilità di passare dalla modalità operativa A alla modalità operativa B risulta essere $F(A \rightarrow B) = 2.206.260$ Euro, mentre se $u_A=u_B=1,1$ il valore della flessibilità è nullo. In altre parole in quest'ultimo caso non risulterebbe mai conveniente passare da A a B.

quali è nota la sequenza dei costi operativi durante la vita utile. Il risultato di queste elaborazioni è stato, inoltre, avvalorato da un'analisi di scenario, associando all'effettivo occorrere di ogni scenario una distribuzione di probabilità e determinando i relativi costi.

⁴¹ Il fattore moltiplicativo è stato determinato dagli esperti e suffragato da analisi statistiche condotte sulle serie storiche dei costi operativi di impianti simili e sulle serie storiche dei prezzi degli input.

⁴² Il tasso privo di rischio corrisponde al rendimento effettivo di un titolo di Stato italiano a reddito fisso di durata pari alla vita utile del progetto.

⁴³ I progettisti e gli esperti del settore interpellati sono concordi nello stimare i costi operativi attuali per tale tipologia di impianto mediamente pari a 0,17 Euro/m³. La media è calcolata su una distribuzione. La varianza è stata stimata sulla base di indagini statistiche condotte su progetti analoghi realizzati nel passato, dei quali è nota la sequenza dei costi operativi durante la vita utile. Il risultato di queste elaborazioni è stato, inoltre, avvalorato da un'analisi di scenario, associando all'effettivo occorrere di ogni scenario una distribuzione di probabilità e determinando i relativi costi.

⁴⁴ Potrebbe essere ipotizzato anche uno *switch* parziale, tale da non prevedere l'abbandono totale della produzione di uno dei due impianti a favore dell'altro.

⁴⁵ Si ipotizza infatti che ogni impianto sia dotato di una condotta di adduzione di uguali dimensioni e caratteristiche.

L'equivalenza per cui $VAN(A) + F(A \rightarrow B) = VAN(B) + F(B \rightarrow A)$ non sussisterebbe in presenza di costi di *switch* non nulli. In tal caso cadrebbe, infatti, il principio dell'additività dei singoli valori di opzione per la presenza di effetti di interazione tra due istanti decisionali successivi. L'assenza di costi di *switch* implica che l'esercizio dell'opzione influenzi il pay-off corrente, ma non abbia effetti sulle decisioni future. Al contrario, l'esistenza di costi di *switch* comporta che le opzioni di conversione non siano più tra loro indipendenti e modifica di volta in volta il loro prezzo di esercizio. In presenza di costi di *switch*, l'esercizio dell'opzione in un generico istante t , genera una serie di cosiddette *nested option*, del tutto analoghe ad una opzione di opzione: in tal caso va di volta in volta risolto un problema di ottimizzazione dinamica che porti alla determinazione simultanea del valore del progetto flessibile e dell'*optimal operating mode strategy*⁴⁷. È, da ultimo, interessante rilevare che, nel caso in cui $I_s = 0$, la soluzione del problema dinamico è equivalente alla soluzione di una serie problemi indipendenti tra loro (*myopic*).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto esposto, appare chiaro che il gestore del servizio idrico potrebbe essere fortemente incentivato ad investire in progetti dalla tecnologia flessibile per fare fronte, da un lato, all'incertezza relativa al regime idrologico delle fonti di approvvigionamento e, dall'altro, ad eventuali fluttuazioni significative dei costi variabili di produzione, quale potrebbe essere un improvviso aumento del costo dell'energia. Esiste pertanto per il *provider* un evidente trade-off tra l'implementazione di un sistema a fonti interconnesse più costoso, ma flessibile, in grado di passare da una modalità operativa all'altra a fronte di ridotti costi di *switch*, e la realizzazione di un sistema rigido di

⁴⁷ McDonald e Siegel (1986) hanno dimostrato che in presenza di costi di *switch* non nulli potrebbe risultare ottimale in un'ottica di lungo periodo attendere ad investire anche qualora il valore attuale netto dell'investimento fosse positivo; in alternativa, potrebbe comunque risultare ottimale continuare a mantenere in vita un progetto attualmente non economicamente vantaggioso il cui profitto, cioè, sia negativo, al fine di sfruttare eventuali inerzie o isteresi derivanti dalle conversioni.

grandi dimensioni ad un'unica fonte di approvvigionamento. Nella pratica di gestione aziendale, l'esercizio dell'opzione di *switch* potrebbe anche essere re-interpretato in chiave di "*Just in time (JIT)*" per produzioni ripetitive ad alti volumi di produzione. Analogamente al principio del "*Just in Time*", secondo il quale nell'attività di produzione industriale va utilizzato un sistema di input talmente flessibile da ridurre in maniera considerevole le scorte e i costi dello stoccaggio, un esercizio ottimale dell'opzione di *switch* insita in un sistema interconnesso può consentire all'impresa erogatrice del servizio di implementare un processo di utilizzo più razionale delle risorse. All'aumentare del numero di fonti di approvvigionamento interconnesse, la flessibilità di *switch* – in particolare nel caso di *switch* parziale – potrebbe di fatto eliminare la necessità di accumulare acqua in grandi serbatoi per fare fronte al diverso andamento dei consumi con le portate direttamente erogate dalle fonti stesse. La disponibilità di più fonti interconnesse contribuisce inoltre alla mitigazione degli effetti negativi legati alla aleatorietà del regime idrologico, riducendo in maniera notevole i costi irrecuperabili di investimento e contribuendo all'erogazione di acqua di buona qualità.

A conclusione, si vuole sottolineare nuovamente il carattere innovativo della teoria delle opzioni reali come tecnica di capital budgeting nel settore dei servizi idrici. I rischi inerenti la gestione operativa (danni da aumento dei prezzi delle materie prime o degli input, aleatorietà delle fonti di approvvigionamento, possibile incremento della domanda) e quelli attinenti alla gestione finanziaria (volatilità dei tassi di interesse e dei tassi di rendimento) trovano copertura nella costruzione dei portafogli equivalenti e nella valutazione del rischio di mercato effettuata attraverso l'*option pricing*. L'approccio delle opzioni reali consente, infatti, di internalizzare nei modelli di valutazione degli investimenti il rischio totale di impresa, somma del rischio sistematico e del rischio specifico. A fronte di tutto questo è da evidenziare che le tecniche tradizionali di valutazione degli investimenti sono del tutto inadeguate a fornire una stima oggettiva del rischio derivante, come in questo caso, da cause esogene ed endogene. Il gestore del servizio dovrà, infatti, tenere in considerazione nelle proprie decisioni di investimento sia il rischio finanziario di mercato, sia il rischio tecnico, ovvero l'affidabilità re-interpretata in chiave economica.

Summary

THE VALUE OF FLEXIBILITY TO INTERCONNECT WATER SUPPLY SOURCES

Technological innovations lead to the construction of water utilities characterized by a high operational flexibility and high irreversible sunk costs. It is quite common today to design integrated aqueduct systems

(namely vertical integrated systems with several interconnections between the network infrastructures). The interconnection and integration between supply sources, in fact, enables the system to handle crisis in the provision of the service caused, for example, by pollution emergencies or peaks in day

demand curves. We argue that this operational and technical flexibility has an economic value which might turn out to be economically relevant in terms of the provider's profits if optimally exercised. The interconnection of water abstraction plants, in fact, gives, de facto, the provider the option to strategically decide the optimal switching rule between two different water sources in order to maximise its profits. According to the real option theory, we develop an

investment decision model under uncertainty which takes into account the value of the flexibility to switch and we show that interconnection between water sources, though it is costly and involves high irreversible sunk costs, may be more profitable than investing in a single-source water abstract plant.

key words: irreversibility, uncertainty, option to switch, water utilities

* Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale - Università degli Studi di Padova.
Il Curriculum Vitae è disponibile sul n. 3 di Valori e Valutazioni.

e-mail: chiara.dalpaos@unipd.it

Bibliografia

AMRAM M., KULATILAKA N., *Real Options, Managing Strategic Investments in an Uncertain World*, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1999.

BARDELLI L., MURARO G., "L'offerta e la regolamentazione dei servizi idrici", in Muraro G., Valbonesi P. (a cura di), *I servizi idrici tra mercato e regole*, Carocci Editore, Roma, 2003, pp. 347-383.

BERTOLA P., "L'affidabilità dei sistemi acquedottistici", in Frega G. (a cura di), *Tecniche per la difesa dall'inquinamento*, Atti del 16° corso di aggiornamento - giugno 1995, BIOS, Cosenza, 1996, pp. 427-448.

BRENNAN M.J., SCHWARTZ E.S., *Evaluating Natural resource investments*, Journal of Business, 58, 2, 1985, pp. 137-157.

CHILD P.D., TRIANTIS A.J., *Dynamic R&D Investment Policies*, Management Science, 45, 10, 1999, pp. 1359-1377.

COX J.C., ROSS S.A., *The valuation of Options for Alternative Stochastic Processes*, Journal of Financial Economics, 3, 1 e 2, 1976, pp. 145-166.

COX J.C., ROSS S.A., RUBINSTEIN M., *Option pricing: A Simplified Approach*, Journal of Financial Economics, 7, 1979, pp. 229-264.

COVIRI, *Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici, anno 2002*, Roma, giugno 2003.

COVIRI, *Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici, anno 2005*, Roma, luglio 2006.

COVIRI, *Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici, anno 2008*, Roma, luglio 2010.

COVIRI, *Relazione annuale al Parlamento sullo stato dei servizi idrici, anno 2009*, Roma, luglio 2010.

D'ALPAOS C., "Aspetti tecnologici del ciclo dell'acqua", in Muraro G., Valbonesi P. (a cura di), *I servizi idrici tra mercato e regole*, Carocci Editore, Roma, 2003, pp. 41-58.

D'ALPAOS C., MORETTO M., *La valutazione della flessibilità nel servizio idrico integrato*, Economia Pubblica, 3, 2005, pp. 27-60.

D'ALPAOS C., DOSI C., MORETTO M., *Concession Length and Investment Timing Flexibility*, Water Resources Research, 42, W02404, doi:10.1029/2005WR004021, 2006.

DIXIT A.K., PINDYCK R.S., *Investments Under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1994.

ERZEGOVESI L., *Sistemi di gestione integrate dei rischi e di allocazione del capitale nelle imprese finanziarie*, Atti del workshop di presentazione dei risultati della ricerca Cofin 2000-2002: "Fonti, valutazione e gestione integrata dei rischi nelle imprese non finanziarie", 18-19 settembre 2003, Sardagna, Trento.

HARRISON J.M., KREPS D.M., *Martingales and arbitrage in multiperiod securities markets*, Journal of Economic Theory, 2, 1979, pp. 381-420.

KULATILAKA N., *The Value of Flexibility: the Case of Dual-fuel Industrial Steam Boiler*, Financial Management, 22, 3, 1993, pp. 271-279.

KULATILAKA N., TRIGEORGIS L., *The General Flexibility to Switch: Real Options Revisited*, The International Journal of Finance, 6, 2, 1994, pp. 778-798.

MAJD S., PINDYCK R.S., *Time to Build, Option Value, and Investment Decisions*, Journal of Financial Economics, 19 (marzo), 1987, pp. 7-27.

MARGRABE W., *The value of an option to exchange an asset for another*, Journal of Finance, 33, 1, 1978, pp. 177-186.

MAUER D.C., OTT S.H., *Investment under Uncertainty: The Case of Replacement Investment Decisions*, Journal of Financial and Quantitative Analysis, 30, 4, 1995, pp. 581-605.

MC DONALD R., SIEGEL D., *Investment and the evaluation of firms when there is an option to shut down*, International Economic Review, 26, 2, 1985, pp. 331-348.

MC DONALD R., SIEGEL D., *The value of waiting to invest*, Quarterly Journal of Economics, 101, 4, 1986, pp. 707-727.

MERTON R.C., PEROLD A.F., *Theory of Risk Capital in Financial Firms*, Journal of Applied Finance, 6, 3, 2001, pp. 16-31.

- PADDOCK J.L., SIEGEL D.R., SMITH J.L., *Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases*, *The Quarterly Journal of Economics*, 103, 1988, pp. 479-508.
- PASSADORE G., MONEGO M., SARTORI M., PUTTI M., ALTISSIMO L., SOTTANI A., RINALDO A., *3D Flow model of aquifer systems of Central Veneto (Italy)*, *Proceedings of Congress of IAHR*, July, 1-6 2007, Venice, Italy.
- RINALDO A., ALTISSIMO L., PUTTI M., PASSADORE G., MONEGO M., SARTORI M., *Bacino del Bacchiglione: studi e ricerche idrologiche, finalizzati alla messa a punto di modelli matematici per la tutela e la gestione delle risorse idriche sotterranee. Relazione Conclusiva*, Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini", Università degli Studi di Padova, Luglio 2007.
- RINALDO A., ALTISSIMO L., PUTTI M., PASSADORE G., MONEGO M., SOTTANI A., *Modelli matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "AATO Brenta". Prima relazione Intermedia*, Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini" - Università degli Studi di Padova, Novembre 2008.
- SAPHORES J.D., GRAVEL E., BERNARD J.T., *Regulation and Investment under Uncertainty: An Application to a Power Grid Interconnection*, *Journal of Regulatory Economics*, 25, 2, 2004, pp.169-186.
- SHIMPI P.A., *Integrating Corporate Risk Management*, Texere LLC, London, 2001.
- TEISBERG E.O., *Capital Investment Strategies under Uncertain Regulation*, *RAND Journal of Economics*, 24, 4, 1993, pp. 535-548.
- TEISBERG E.O., *An option valuation analysis of investment choices by a regulated firm*, *Management Science*, 40, 4, 1994, pp. 591-604.
- TRIGEORGIS L., *Real Options- Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1996.
- TWORT A.C., RATNAYAKA D.D., BRANDT M.J., *Water Supply-Fifth Edition*, Arnold Hodder Headline Group, London, 2000.
- ZANOVELLO A., *Sistemi di attingimenti integrati*, in *Atti del 5° Convegno Nazionale Aziende Acquedottistiche Municipalizzate*, Trieste 26-29 ottobre 1977, pp. 219-244.
- ZANOVELLO G., *L'ingegneria illuminata: pensare in grande, progettare in piccolo*, *Ingegneri del Veneto*, 5, 2003, pp. 14-16.