

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA

Dipartimento di Economia Agroforestale e dell'Ambiente Rurale
(D.E.A.R.)

DOTTORATO DI RICERCA IN POLITICA AGRARIA – XX CICLO

Raggruppamento Scientifico-Disciplinare AGR 01

***Analisi degli impatti economici dei Cambiamenti
Climatici: la variabilità della disponibilità di
acqua per l'irrigazione nell'area della Nurra***

Coordinatore:

Prof. Carlo Perone Pacifico

Tutor:

Prof. Gabriele Dono

Dottorando:

Dott. Graziano Mazzapicchio

RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il Prof. Gabriele Dono, per i suoi preziosi consigli e suggerimenti grazie ai quali è stata possibile la realizzazione di questo lavoro, ma soprattutto per aver costantemente stimolato la mia passione per la ricerca.

Ringrazio il Prof. Silvio Franco, per le osservazioni riguardanti le elaborazioni statistiche e per il tempo dedicatomi nelle analisi delle serie storiche.

Ringrazio il Prof. Salvatore Grimaldi, per l'impegno e la professionalità con cui mi ha assistito durante le elaborazioni statistiche.

Ringrazio i professori del dipartimento di Economía y Ciencias Sociales Agrarias dell'Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, per l'aiuto fornitomi nella fase di avvio del lavoro di tesi.

Ringrazio il Dott. Raffaele Cortignani, per i consigli fornitomi in merito all'implementazione del modello di Programmazione Matematica.

Ringrazio l'UCEA di Roma e in particolare il Dott. Luigi Perini per avermi fornito i dati climatici dell'area utilizzati nel presente lavoro.

Ringrazio gli amici del Master di Portici, per le discussioni sempre critiche e costruttive, che mi hanno aiutato a crescere non soltanto dal punto di vista culturale, ma soprattutto umano.

Un ringraziamento particolare va a Doriana, per avermi supportato durante questi tre anni e per aver condiviso serenamente le mie decisioni.

Ringrazio inoltre la mia famiglia per il continuo sostegno in questo periodo.

INDICE

INTRODUZIONE	1
1. I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ATTO IN EUROPA E IN ITALIA. ASPETTI AMBIENTALI E SOCIO-ECONOMICI	8
1.1 Il Clima	8
1.2 Effetto Serra e Cambiamenti Climatici	10
1.3 Il Cambiamento Climatico in Europa	13
1.4 Impatti del Cambiamento Climatico	15
<i>1.4.1 Risorsa idrica</i>	15
<i>1.4.2 Settore agricolo e Strategie di adattamento dell'agricoltura</i>	16
<i>1.4.3 Aspetti socio-economici</i>	21
1.5 Il Cambiamento Climatico in Italia	24
<i>1.5.1 Il cambiamento in atto</i>	24
<i>1.5.2 Conseguenze</i>	26
2. INCERTEZZA E MODELLI DI SCELTA IN CONDIZIONI DI SCARSITA' DEI FATTORI PRODUTTIVI	28
2.1 Programmazione Matematica e Rischio	28
2.2 Programmazione Stocastica Discreta	32
<i>2.2.1 Applicazioni della Programmazione Stocastica Discreta in letteratura</i>	33
<i>2.2.2 Specificazione del modello di Programmazione Stocastica Discreta</i>	35
2.3 Applicazione del modello di PSD in ambito agricolo	39
<i>2.3.1 Determinazione degli stadi</i>	41
<i>2.3.2 Determinazione degli stati della natura</i>	41
<i>2.3.3 Determinazione della probabilità di ciascuno stato della natura</i>	43

3. DESCRIZIONE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	48
3.1 Delimitazione dell'area oggetto di studio	48
3.2 I dati sulle caratteristiche dell'agricoltura e sugli allevamenti della Nurra	53
<i>3.2.1 Settore agricolo</i>	<i>53</i>
<i>3.2.2 Settore zootecnico</i>	<i>56</i>
3.3 Il Sistema Temo-Cuga e il calcolo delle sue disponibilità idriche	58
4. ANALISI DELLE PRINCIPALI COMPONENTI CLIMATICHE	62
4.1 Analisi delle serie storiche	62
<i>4.1.2 Precipitazioni</i>	<i>63</i>
<i>4.1.3 Temperature medie</i>	<i>67</i>
4.2 Risorsa idrica disponibile a livello di bacino e fornita dal Consorzio per uso agricolo	70
5. PROGRAMMAZIONE STOCASTICA DISCRETA E DISPONIBILITA' DELLA RISORSA IDRICA	73
5.1 Determinazione degli stadi, degli stati della natura e della relativa probabilità di verificarsi	73
5.2 La struttura generale del modello	82
<i>5.2.1 Le variabili del modello</i>	<i>83</i>
<i>5.2.2 La funzione obiettivo</i>	<i>86</i>
<i>5.2.3 I vincoli del modello</i>	<i>90</i>
6. RISULTATI DEL MODELLO	101
6.1 Validazione del modello	103
6.2 Risultati economici	105
<i>6.2.1 Intera area</i>	<i>105</i>
<i>6.2.2 Area consortile</i>	<i>107</i>
6.3 Uso agricolo del suolo	109
<i>6.3.1 Intera area</i>	<i>109</i>

6.3.2 <i>Area consortile</i>	111
6.4 Uso dell'acqua per l'irrigazione	112
6.4.1 <i>Intera area</i>	112
6.4.2 <i>Area consortile</i>	114
6.5 Uso del lavoro	115
6.5.1 <i>Intera area</i>	115
6.5.2 <i>Area consortile</i>	117
6.6 Uso dei mezzi tecnici chimici	119
6.6.1 <i>Intera area</i>	119
6.6.2 <i>Area consortile</i>	120
 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	 121
 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	 126

INTRODUZIONE

I Cambiamenti Climatici rappresentano le variazioni a livello globale del clima della Terra. Essi si producono a diverse scale temporali su tutti i parametri meteorologici: temperature massima e minima, precipitazioni, nuvolosità, ecc. Sono dovuti a cause naturali e, negli ultimi secoli, anche all'azione dell'uomo. Molti componenti del sistema climatico, in particolare gli oceani e gli esseri viventi, influenzano la concentrazione atmosferica di gas ad effetto-serra. Un esempio evidente riguarda le piante che, attraverso la fotosintesi, trasformano CO₂ ed acqua in carboidrati. Nell'era industriale, invece, l'attività umana, a causa principalmente dell'utilizzo di combustibili fossili e dell'abbattimento delle foreste, ha intensificato enormemente il naturale effetto serra, provocando un surriscaldamento globale, attraverso il rilascio di gas ad effetto-serra, influenzando la presenza di aerosol nell'atmosfera e modificando l'utilizzo dei suoli. Basta considerare che l'ammontare di biossido di carbonio nell'atmosfera è aumentato di circa il 35% nell'era industriale soprattutto a causa delle attività umane. In questo modo, l'uomo ha alterato drammaticamente la composizione chimica globale dell'atmosfera con sostanziali implicazioni sul clima, influenzando la probabilità di verificarsi di eventi estremi, come le forti piogge, o lunghi periodi di siccità.

Le proiezioni dei modelli climatici basati su differenti scenari di emissioni future di gas ad effetto serra indicano che il surriscaldamento della temperatura entro la fine del secolo potrebbe causare un significativo impatto sul ciclo idrologico. Un clima più caldo aumenterà l'evaporazione e l'intensità del ciclo dell'acqua, con un conseguente aumento dell'umidità dell'aria, causa di un maggior effetto-serra. La magnitudine e la frequenza di eventi estremi, come inondazioni e siccità, probabilmente saranno più frequenti e severi sulla maggior parte d'Europa. Questo fenomeno, insieme all'incremento della richiesta di acqua sia in ambito agricolo che da parte di altri settori, renderà l'Europa più vulnerabile alla siccità. Oltre ad effetti sulla quantità di acqua, è probabile che il

Cambiamento Climatico influenzi anche la qualità dell'acqua, provocando variazioni fisico-chimiche, biologiche e idro-morfologiche.

In particolare, l'area del Mediterraneo ha sofferto a causa del deficit idrico strutturale degli ultimi 20 anni che ha spinto gli individui, i governi locali e le comunità internazionali a prendere misure di emergenza (CEDEX, 2000). Oggi, circa il 30% dell'acqua dolce estratta in Europa è utilizzata per scopi agricoli, in particolare per l'irrigazione (Florke ed Alcamo, 2005). Anche se l'acqua di fiume sta qualitativamente migliorando in più Paesi europei (Nixon et al., 2003), l'impatto dell'agricoltura sulle risorse idriche in Europa ha bisogno di essere ridotto se il 'buono stato ecologico' delle acque di superficie e sotterranee deve essere raggiunto come richiesto dalla Direttiva Quadro sulle Acque dell'Unione Europea (Direttiva 2000/60/CE).

Sul settore agricolo, il Cambiamento Climatico può essere affrontato da due punti di vista: uno riguarda gli impatti dell'attività agricola sul clima, mentre l'altro concerne gli interventi di difesa che gli agricoltori possono mettere in atto per far fronte agli effetti dei Cambiamenti Climatici, con adattamenti a corto o a lungo termine. In merito agli impatti sul clima causati dal settore agricolo, un aumento delle temperature potrebbe causare un'accelerazione della decomposizione della sostanza organica, con una conseguente tendenza alla diminuzione da parte del Carbonio Organico nel Suolo e all'incremento delle emissioni di gas ad effetto serra (Smith et al., 2005).

Per quanto concerne gli interventi di difesa che gli agricoltori possono mettere in atto per far fronte agli effetti dei Cambiamenti Climatici, le strategie economiche e agronomiche avranno un ruolo rilevante per ridurre le perdite o accentuare i guadagni. Mentre le strategie economiche prevedono di ridurre i costi agricoli, in funzione delle variazioni che potrebbero verificarsi a carico delle produzioni, le strategie agronomiche prevedono di evitare totalmente o parzialmente la riduzione delle produzioni agricole. Vi sono, innanzitutto, aggiustamenti agronomici a corto termine, che rappresentano i primi interventi di difesa contro gli effetti dei Cambiamenti Climatici. Essi prevedono di ottimizzare la produzione con variazioni minime, in termini di costi, del sistema agricolo,

attraverso modifiche della gestione dei sistemi colturali e della conservazione dell'umidità del suolo. Verranno poi adattamenti a lungo termine, con interventi che prevedono di ovviare alle avversità determinate dai Cambiamenti Climatici attraverso modifiche strutturali del sistema produttivo agricolo.

Il Cambiamento Climatico in corso, quindi, rappresenta un'importante fonte di rischio per l'agricoltore. Infatti, la caratteristica principale dell'attività agricola, ossia quella di svolgersi 'a cielo aperto', la rende particolarmente legata agli andamenti climatici stagionali, come temperatura e piovosità, che a loro volta influenzano la disponibilità di altri fattori, come quella di acqua per l'irrigazione.

Lo scopo di questa tesi è, appunto, quello di valutare l'impatto dei Cambiamenti Climatici sulle principali componenti climatiche (precipitazioni e temperature) e di analizzare gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo in termini di variazioni di redditività, di colture praticate e di utilizzo dei fattori produttivi. Tale incertezza, scaturisce dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla disponibilità di acqua per gli agricoltori.

L'area oggetto del presente studio è localizzata nella Nurra sarda, un territorio situato nel nord-ovest della Sardegna, in corrispondenza del bacino idrografico del Cuga. La Sardegna, per la sua peculiare posizione geografica ed a causa di eventi climatici estremi quali siccità ed alluvioni, soffre di una scarsa disponibilità di risorse idriche, tanto da farla annoverare tra le regioni più aride del Mediterraneo (Dono et al., 2008).

Per valutare l'impatto dei Cambiamenti Climatici sulle principali componenti climatiche si analizzeranno le serie storiche di precipitazione e temperatura media. In particolare, si esaminerà l'evoluzione di lungo periodo e la variabilità dei fenomeni, per osservare se è presente un andamento generale delle serie e per evidenziarne un eventuale incremento di variabilità nel corso del tempo, in quanto si potrebbe avere un trend costante ma con fenomeni più variabili.

Per analizzare gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo causati dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla quantità di risorsa idrica fornita dal Consorzio agli agricoltori nel corso della campagna irrigua, si applicherà un

modello di Programmazione Stocastica Discreta (PSD). L'importanza attribuita alla PSD risiede, oltre che nella sua flessibilità nel gestire eventi rischiosi, soprattutto nel permettere di considerare un processo decisionale a più stadi e più stati, quale quello che può interessare il settore agricolo. Infatti, generalmente la gestione dell'attività agricola richiede che alcune decisioni vengano prese quando le conseguenze o i risultati di queste decisioni non possono essere conosciuti con certezza. Quindi, molti problemi di gestione in ambito agricolo possono essere convenientemente affrontati in termini di teoria delle decisioni, considerando come gli agricoltori specificano le possibili azioni, gli stati della natura, la probabilità di ciascuno di questi stati, le conseguenze delle varie azioni e la funzione di utilità da ottimizzare. Un modello di PSD, rispetto ad un modello di Programmazione Lineare, permette, quindi, di considerare vari scenari di disponibilità di acqua per il settore agricolo e di esplicitare i risultati per ciascuno di essi. Dato che oggi ogni scenario può verificarsi con una certa probabilità, la situazione attuale può essere identificata come la loro media, pesata per la relativa probabilità di verificarsi. L'effetto dei Cambiamenti Climatici viene analizzato confrontando lo scenario attuale così identificato, con quello di scarsa disponibilità di acqua, in quanto è verso quest'ultimo che spinge la tendenza delle componenti climatiche.

La tesi è suddivisa in sei capitoli.

Nel primo capitolo, dopo aver definito la nozione di Cambiamento Climatico, ne verranno analizzati gli impatti sulle precipitazioni, sulle temperature, sulla risorsa idrica, sul settore agricolo e su aspetti socio-economici. Nello specifico, ci si soffermerà sui cambiamenti in atto, sulle loro conseguenze e su quali strategie intraprendere affinché gli impatti dei Cambiamenti Climatici possano risultare, nel lungo termine, ancora prevedibili e, soprattutto, sostenibili, sia dal punto di vista ambientale che economico. L'analisi verrà condotta sia a livello generale, sia a livello europeo, con particolare riguardo all'area del bacino del Mediterraneo, che italiano, cercando anche di evidenziare gli strumenti normativi con i quali si sta cercando di intervenire.

Il secondo capitolo è dedicato alla presentazione degli aspetti teorici alla base dei modelli di analisi delle decisioni in condizioni di rischio e di studio del comportamento e delle decisioni economiche in condizioni di incertezza, soffermandosi, in particolare, sulla Programmazione Stocastica Discreta. Questa specificazione sarà usata per analizzare gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo causati dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla quantità di risorsa idrica disponibile per gli agricoltori. Dopo una breve rassegna delle principali applicazioni presenti in letteratura, si passerà alla specificazione del modello in ambito agricolo. A tal proposito, si mostrerà in che modo si identificheranno gli stadi, gli stati della natura e la probabilità di verificarsi di ciascuno di essi. In merito a quest'ultimo aspetto, si presenterà un approccio statistico basato sull'utilizzo di una funzione di densità della disponibilità di acqua.

Il terzo capitolo introduce la parte applicativa dell'analisi, esaminando le principali caratteristiche strutturali, socio-economiche ed ambientali dell'area oggetto di studio. In particolare, si analizzeranno le caratteristiche dell'agricoltura della Nurra su cui si sono specificati gli aspetti basilari del modello utilizzato. Questa analisi permetterà di delimitare l'area riprodotta dal modello, che include il bacino idrografico del Cuga e alcune zone esterne al bacino ma incluse nel Consorzio, che usano quindi la principale risorsa idrica della zona. Quindi, si descrive il sistema idrografico Temo-Cuga che, con la rete del Consorzio, permette la gran parte dell'irrigazione. Dell'agricoltura della Nurra si descrivono poi le tipologie aziendali, evidenziando, tra l'altro, la possibilità di alcune di esse di ricorrere a pozzi aziendali per integrare o sostituire l'acqua consortile.

Nel quarto capitolo si analizzano alcune delle principali componenti climatiche dell'area oggetto di studio. In particolare, si considerano le serie di precipitazione e temperatura media per osservare, da una parte, l'andamento generale delle serie e, dall'altra, la variabilità dei fenomeni. Alla luce di quanto emerso, si cercherà, inoltre, di fornire alcune indicazioni in merito all'andamento della disponibilità di acqua a livello di bacino e di quella fornita dal Consorzio nei vari anni.

Nel quinto capitolo si presentano gli aspetti tecnici dell'analisi sui legami tra le componenti climatiche e le disponibilità idriche per l'irrigazione nella diga del Cuga. Inoltre, si mostrano i risultati ottenuti stimando la funzione di densità della disponibilità di acqua a livello di bacino. Sulla base di questa funzione si ricaveranno i valori di probabilità di ciascuno stato della natura. Dall'analisi della serie dei dati di disponibilità di risorsa idrica a livello di bacino, quindi, si valuterà la disponibilità di acqua a livello di Consorzio per ciascuno scenario. A questo punto si implementerà il modello di Programmazione Stocastica Discreta, di cui verranno descritti nel dettaglio le variabili, la funzione obiettivo ed i vincoli, raggruppati per categorie omogenee.

Nel sesto capitolo, dopo aver verificato che il modello di Programmazione Stocastica Discreta riesce a riprodurre l'uso del suolo nel 2004 (anno di riferimento), si presentano e si discutono i risultati del modello. Quest'ultimi, riguardano gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo, in termini di variazioni di redditività, di colture praticate e di utilizzo dei fattori produttivi. Tale incertezza scaturisce dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla disponibilità di acqua per gli agricoltori. L'analisi è condotta a livello di intera area e di area consortile. Quest'ultima dispone di risorse idriche a scopo irriguo distribuite dalla rete, a differenza dell'area extra-consortile che non dispone di tali risorse. E' su tale area che gli effetti della minore possibilità d'impiego di acqua per l'irrigazione sono più marcati, poiché l'area extra-consortile può reperire acqua solamente dai pozzi aziendali, la cui disponibilità non è, in questa analisi, soggetta ad aleatorietà.

Il lavoro si conclude con una sintesi dei risultati emersi nel corso delle analisi e con alcuni commenti e considerazioni.

I risultati principali evidenziano che l'effetto dei Cambiamenti Climatici sulle componenti climatiche spinge verso una tendenza alla diminuzione delle precipitazioni ed all'aumento delle temperature medie, nonché ad un incremento della loro variabilità mensile. A causa degli effetti della piovosità (le temperature medie non hanno un effetto statisticamente significativo), la quantità di acqua presente a livello del bacino formato dal Cuga e dal Temo e quella disponibile per il Consorzio presentano una marcata variabilità della media annua e una tendenza,

seppur lieve, alla diminuzione. Per quanto riguarda gli effetti dei Cambiamenti Climatici sull'attività agricola dell'area, emerge una diminuzione dei redditi lordi, ed un minor impiego di tutti i fattori produttivi: acqua consortile, lavoro totale e mezzi tecnici chimici, mentre aumenta la quantità di acqua estratta dai pozzi aziendali. Ovviamente, tali variazioni sono dovute ad un cambiamento degli ordinamenti colturali. In particolare, si registra un decremento delle superfici ad ortive, a carciofo e a set-aside, mentre aumentano gli erbai.

CAPITOLO 1

I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ATTO IN EUROPA E IN ITALIA. ASPETTI AMBIENTALI E SOCIO-ECONOMICI

In questo capitolo, dopo aver definito la nozione di Cambiamento Climatico, ne vengono analizzati gli impatti sulle precipitazioni, sulle temperature, sulla risorsa idrica, sul settore agricolo e su aspetti socio-economici. Nello specifico ci si sofferma sui cambiamenti in atto, sulle loro conseguenze e su quali strategie intraprendere affinché gli impatti dei Cambiamenti Climatici possano risultare, nel lungo termine, ancora prevedibili e, soprattutto, sostenibili, sia dal punto di vista ambientale che economico. L'analisi è stata condotta sia a livello generale, sia a livello europeo, con particolare riguardo all'area del bacino del Mediterraneo, che italiano, cercando anche di evidenziare gli strumenti normativi con i quali si sta cercando di intervenire.

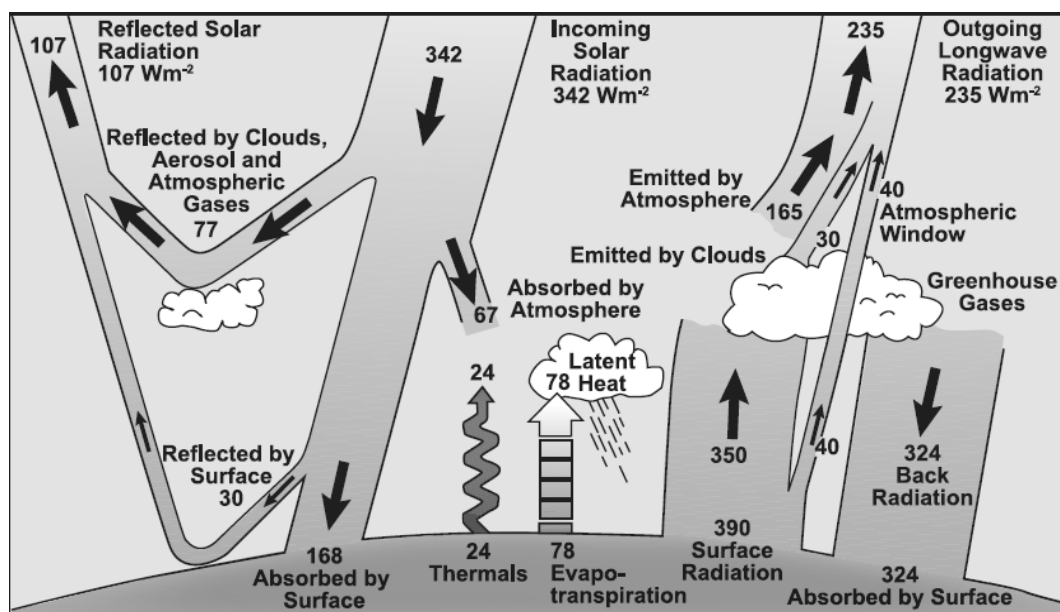
1.1 Il Clima

Il clima è un sistema complesso, che consiste nell'interazione tra atmosfera, superficie terrestre, neve, ghiaccio, oceani ed altri corpi d'acqua ed esseri viventi. Il clima è usualmente descritto in termini di media e variabilità di temperatura, precipitazioni e vento su un certo periodo di tempo che può andare da alcuni mesi a milioni di anni (il periodo classico è di 30 anni). Appare evidente, quindi, che tra clima e tempo (inteso dal punto di vista meteorologico) vi sia uno stretto legame, ma anche sostanziali differenze. Il tempo, infatti, è rappresentato da eventi puntuali e di natura caotica, quindi difficilmente prevedibili dopo alcuni giorni. Il clima, invece, può essere visto come riguardante lo stato del 'Sistema Terra', includendo atmosfera, terra, oceani, neve, ghiaccio ed esseri viventi, analizzato per periodi a volte molto lunghi. Questo permette che le sue variazioni, che avvengono lentamente nel tempo, siano un problema diverso e più maneggevole rispetto al precedente (Solomon et al., 2007).

Il sistema climatico evolve nel tempo sotto l'influenza delle sue proprie dinamiche interne ed a causa di cambiamenti nei fattori esterni che influenzano il clima: le forzature. Queste includono i fenomeni naturali come le eruzioni vulcaniche e le variazioni solari, così come i cambiamenti nella composizione atmosferica indotti dall'uomo. Per comprendere tali dinamiche bisogna considerare che, fondamentalmente, esistono tre modi di cambiare il bilancio della radiazione solare della Terra:

1. variando l'ingresso della radiazione solare (ad es. a causa di cambi nell'orbita della terra o del Sole stesso)
2. cambiando la frazione di radiazione solare riflessa (chiamata Albedo; ad es. a causa di variazioni delle coperture delle nubi, delle particelle atmosferiche o della vegetazione)
3. alterando il passaggio delle radiazioni a onda lunga dalla Terra verso lo spazio (ad es. cambiando la concentrazione di gas ad effetto-serra).

Fig. 1.1: Stima del bilancio energetico medio della Terra (fonte Kiehl e Trenberth, 1997)



L'ammontare di energia che giunge sulla superficie dell'atmosfera della Terra ogni secondo su un'area di un metro quadrato di fronte al Sole durante il giorno è di circa 1.370 Watt e l'ammontare di energia per metro quadrato che

mediamente interessa l'intero pianeta ogni secondo è un quarto di questo. Circa il 30% della luce del Sole che arriva sulla superficie dell'atmosfera è riflessa verso lo spazio, grazie alla presenza di nubi, di piccole particelle dell'atmosfera (aerosol) e alle zone di colore chiaro, principalmente neve, ghiaccio e deserti. L'energia che non è riflessa verso lo spazio è assorbita dalla superficie della Terra e dall'atmosfera. Questa ammonta a circa 240 W/m^2 . Per bilanciare l'energia entrante, la Terra stessa deve irradiare, in media, lo stesso ammontare di energia verso lo spazio emettendo radiazioni di lunga frequenza e come tali produttrici di calore. Una superficie che emette 240 W/m^2 dovrebbe avere una temperatura di circa -19°C . Questo valore, ovviamente, risulta essere molto inferiore alla temperatura media globale della superficie terrestre (circa 14°C). La ragione per cui la superficie terrestre ha una temperatura più alta di quella teorica è dovuta alla presenza di gas ad effetto-serra, che trattengono parzialmente la radiazione a lunga frequenza emessa dalla superficie. Tale fenomeno è noto come Effetto Serra Naturale ed è dovuto, principalmente, alla presenza di nubi e di vapore acqueo e biossido di carbonio nell'atmosfera.

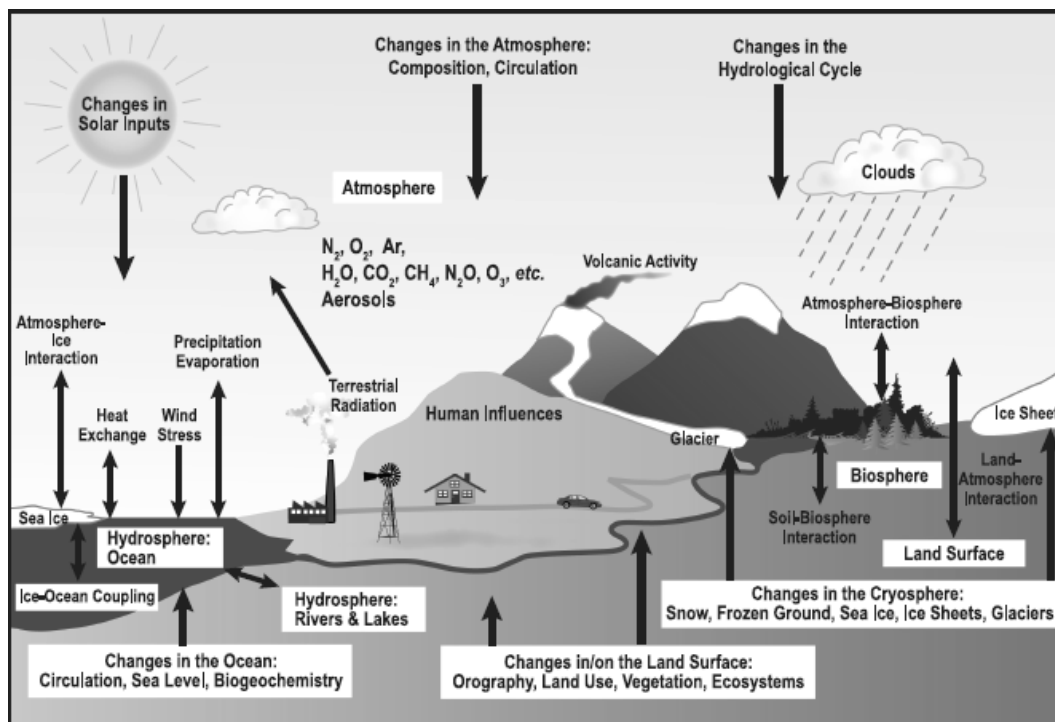
1.2 Effetto Serra e Cambiamenti Climatici

Il **naturale effetto serra**, riscaldando il pianeta, rende possibile la vita come noi la conosciamo. I due gas più abbondanti dell'atmosfera: azoto (78% dei gas totali) ed ossigeno (21%) non esercitano pressoché alcun effetto serra, dovuto, invece, a molecole più complesse e molto meno comuni, principalmente vapore acqueo e biossido di carbonio (CO_2), mentre metano, ozono e altri gas hanno un contributo molto basso. Nelle regioni equatoriali ed umide, dove c'è molto vapore acqueo e quindi l'effetto serra è elevato, incrementando di una piccola quantità la CO_2 o il vapore acqueo, si ottiene un piccolo impatto diretto sulla radiazione infrarossa discendente. Al contrario, nelle regioni polari, fredde ed asciutte, l'effetto di un piccolo aumento di CO_2 o di vapore acqueo è molto più grande. Lo stesso è vero per la fredda e secca parte superiore dell'atmosfera, dove un piccolo aumento del vapore acqueo ha un'influenza ben più grande che vicino alla superficie.

I Cambiamenti Climatici rappresentano le variazioni a livello globale del clima della Terra. Essi si producono a diverse scale temporali su tutti i parametri meteorologici: temperature massima e minima, precipitazioni, nuvolosità, ecc. Sono dovuti a cause naturali e, negli ultimi secoli, anche all'azione dell'uomo. Molti componenti del sistema climatico, in particolare gli oceani e gli esseri viventi, influenzano la concentrazione atmosferica di gas ad effetto-serra. Un esempio evidente riguarda le piante che, attraverso la fotosintesi, trasformano CO₂ ed acqua in carboidrati. Nell'era industriale, invece, l'attività umana, a causa principalmente dell'utilizzo di combustibili fossili e dell'abbattimento delle foreste, ha intensificato enormemente il naturale effetto serra, provocando un surriscaldamento globale. Le attività umane intensificano l'effetto coprente attraverso il rilascio di gas ad effetto-serra, ma influenzano anche la presenza di aerosol nell'atmosfera, così come modificano l'utilizzo dei suoli. Basta considerare che l'ammontare di biossido di carbonio nell'atmosfera è aumentato di circa il 35% nell'era industriale soprattutto a causa delle attività umane. In questo modo, l'uomo ha alterato drammaticamente la composizione chimica globale dell'atmosfera con sostanziali implicazioni sul clima, influenzando la probabilità di verificarsi di certi eventi: a causa della temperatura media in aumento, alcuni fenomeni sono divenuti più frequenti ed intensi (come le forti piogge), mentre altri subiscono l'effetto contrario (come eventi freddi estremi).

Ci sono molti meccanismi di reazione del 'sistema clima' a questi effetti che possono amplificare (feedback positivo) o diminuire (feedback negativo) gli effetti di una forzatura. Per esempio, in seguito all'aumento della concentrazione dei gas ad effetto-serra, le temperature tendono ad aumentare, mentre neve e ghiacci si sciolgono; in questo modo appaiono terre e superfici di acqua più scure, che assorbono più calore del Sole causando un ulteriore riscaldamento e così via, in un ciclo che si autoalimenta. Questo meccanismo, noto come 'Ghiaccio-Albedo feedback', amplifica il riscaldamento iniziale causato da un incremento dei gas ad effetto-serra.

Fig. 1.2: Vista schematica delle componenti del sistema climatico, loro processi ed iterazioni
(fonte IPGG4, 2007)



Impatti importanti sul clima sono causati anche dal settore agricolo. In particolare è ormai globalmente riconosciuto il ruolo dei nitrati percolanti sulla qualità di acquiferi, fiumi ed estuari (Galloway, 2004). Proiezioni effettuate a livello europeo per il grano mostrano per il periodo 2071-2100 grandi variazioni spaziali nel mutamento della percolazione dell'azoto, legate sia alla qualità del suolo che al Cambiamento Climatico (Olesen et al., 2006). Quest'ultimo potrebbe anche condurre ad un incremento delle emissioni di gas ad effetto serra da parte del settore agricolo. Infatti, un aumento delle temperature causerebbe una accelerazione della decomposizione della sostanza organica dove l'umidità del suolo lo permette, con una conseguente tendenza alla diminuzione da parte del Carbonio Organico nel Suolo (SOC) per l'Europa nel suo insieme. Questo effetto è in parte attenuato dall'incremento degli apporti di carbonio nel suolo, dovuti ad un miglioramento della Produzione Primaria Netta (NPP)¹ risultante dalla

¹ La produzione Primaria Netta rappresenta l'energia accumulata negli autotrofi ed è uguale al carbonio assimilato meno le perdite per la respirazione.

combinazione di Cambiamento Climatico e incremento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera. La decomposizione diviene più veloce in quelle regioni dove la temperatura aumenta e l'umidità del suolo è sufficientemente alta (ad es. Nord ed Est Europa), mentre rimane pressoché costante dove il suolo diviene troppo asciutto, nonostante temperature più alte (ad es. Francia meridionale, Spagna e Italia) (Smith et al., 2005).

1.3 Il Cambiamento Climatico in Europa

Il Cambiamento Climatico è divenuto un argomento che ha assunto sempre maggiore importanza nei programmi di Ricerca e Sviluppo dell'Unione Europea. A dimostrarlo sta anche il fatto che rappresenta una priorità del Settimo Programma di Ricerca, attivo dal 2007 al 2013. In particolare, un aspetto chiave che viene tenuto in considerazione, riguarda la gestione della risorsa idrica.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente ha condotto nel 2006 una analisi di dettaglio sul continente europeo e ha rilevato che (Ferrara, 2007):

1. La temperatura media in Europa è aumentata più di quella media globale: l'aumento è stato pari a 0,95°C (in estate di 0,7°C, in inverno di 1,1°C). Con gli attuali ritmi, in Europa la temperatura media annuale avrà nel 2100 un ulteriore aumento, rispetto a oggi, compreso fra 2 e 6,3°C.
2. Le precipitazioni totali annue nel Nord Europa sono aumentate, nell'arco di un secolo, dal 10 al 40%, mentre nel Sud Europa sono diminuite dal 10 al 20%. Con questi ritmi le precipitazioni totali annue nel 2100 aumenteranno di un ulteriore 10-20% nel Nord Europa e diminuiranno di circa il 10% nel Sud Europa.
3. Negli ultimi 25 anni in Europa si sono avute 238 alluvioni disastrose. Tuttavia, grazie al miglioramento dei sistemi di protezione civile, pur essendo molto aumentati i danni economici, sono viceversa diminuite le perdite umane. In futuro è probabile che continueranno ad aumentare sia gli eventi alluvionali che quelli siccitosi.
4. La portata dei fiumi che si gettano nel Mediterraneo è diminuita dal 10 al 50%. Questa tendenza potrebbe accentuarsi in futuro.

Le proiezioni dei modelli climatici basati su differenti scenari di emissioni future di gas ad effetto serra indicano che il surriscaldamento della temperatura entro la fine del secolo potrebbe causare un significativo impatto anche sul ciclo idrologico. Un clima più caldo aumenterà l'evaporazione e l'intensità del ciclo dell'acqua, con un conseguente aumento dell'umidità dell'aria, causa di un maggior effetto-serra. La magnitudine e la frequenza di eventi estremi, come inondazioni e siccità, probabilmente saranno più frequenti e severi sulla maggior parte d'Europa. Questo fenomeno, insieme all'incremento della richiesta di acqua sia in ambito agricolo che da parte di altri settori, renderà l'Europa più vulnerabile alla siccità. Oltre ad effetti sulla quantità di acqua, è probabile che il Cambiamento Climatico influenzi anche la qualità dell'acqua, provocando variazioni fisico-chimiche, biologiche e idro-morfologiche.

In merito all'area del Mediterraneo, bisogna considerare che per capire la complessità di predire la risposta regionale al Cambiamento Climatico è importante riconoscere che, in questa zona, le terre sono state in pressoché continuo cambiamento. Vita Finzi (1969) ha dimostrato che la degradazione estesa della superficie del suolo era già in atto da moltissimo tempo, sebbene non poteva essere determinato se questa fosse dovuta alla naturale variabilità del clima o all'attività dell'uomo. Tuttavia, negli ultimi 30 anni una grande rivoluzione ha investito le terre del Mediterraneo europeo: il progressivo abbandono delle campagne, un'agricoltura sempre più intensiva, una sempre crescente meccanizzazione e richiesta di input chimici, l'intervento dell'Unione Europea con politiche a sostegno delle produzioni (prima) e del set-aside (successivamente), l'aumento delle terre irrigate. In particolare, quest'ultimo aumento ha portato a considerare che la crisi dei Paesi del Mediterraneo europeo fosse dovuta ad un problema di approvvigionamento idrico da parte del settore agricolo (Margat, 1988), inasprito dalla richiesta di acqua da parte di altri settori, in particolare turismo e attività industriale, e dal problema dello spreco.

1.4 Impatti del Cambiamento Climatico

1.4.1 Risorsa idrica

Il clima è strettamente legato alla risorsa idrica. L'area del Mediterraneo ha sofferto a causa del deficit idrico strutturale degli ultimi 20 anni che ha spinto gli individui, i governi locali e le comunità internazionali a prendere misure di emergenza (CEDEX, 2000). Molti Paesi del sud del Mediterraneo devono affrontare una situazione di pesante carenza idrica, che potrebbe peggiorare entro il 2025 a causa dell'incremento della domanda risultante dalla crescita economica e della popolazione (IPCC, 2001).

Le caratteristiche idrologiche europee sono molto differenti tra loro ed esiste una grande diversità nell'utilizzo della risorsa idrica, nelle pressioni e negli approcci di gestione. Oggi, circa il 30% dell'acqua dolce estratta in Europa è utilizzata per scopi agricoli, in particolare per l'irrigazione (Florke ed Alcamo, 2005). Anche se l'acqua di fiume sta qualitativamente migliorando in più Paesi europei (Nixon et al., 2003), l'impatto dell'agricoltura sulle risorse idriche in Europa ha bisogno di essere ridotto se il 'buono stato ecologico' delle acque di superficie e sotterranee deve essere raggiunto come richiesto dalla Direttiva Quadro sulle Acque dell'Unione Europea (Direttiva 2000/60/CE). Inoltre, va tenuto presente che ci sono molte pressioni sulla qualità e sulla disponibilità di acqua, tra cui agricoltura, industria, aree urbane, famiglie e turismo (Lallana et al., 2001). Le recenti inondazioni e siccità hanno aggiunto ulteriori stress sull'approvvigionamento di acqua e sulle infrastrutture esistenti e necessarie a mitigare gli effetti di eventi estremi (Estrema et al., 2001). Alcuni modelli climatici regionali mostrano che il riscaldamento globale potrebbe causare piogge estive più intense in gran parte d'Europa (Christensen e Christensen, 2002) ed un incremento della frequenza futura di piogge nell'Europa centrale (Pal et al., 2004). Le variazioni del ciclo dell'acqua è probabile che aumentino il rischio di inondazioni e di siccità. Alcune proiezioni mostrano che il primo fenomeno dovrebbe riguardare pressoché tutta Europa, mentre il secondo le aree del Mediterraneo e l'Europa centro-orientale (Lehner et al., 2005).

1.4.2 Settore agricolo e Strategie di adattamento dell'agricoltura

Recenti risultati indicano che la variabilità della temperatura e della piovosità potrebbe aumentare considerevolmente su gran parte dell'Europa centrale (Christensen e Christensen, 2002; Schär et al., 2004). In effetti, ondate di calore e di siccità simili a quelle del 2003 potrebbero diventare la norma nel centro e nel sud Europa entro la fine del ventunesimo secolo (Beniston e Diaz, 2004), con la conseguente riduzione della produttività degli ecosistemi terrestri e con una forte diminuzione dei redditi derivanti dall'attività agricola (Olesen e Bindi, 2004; Ciais et al., 2005). Il possibile impatto dei Cambiamenti Climatici sul settore agricolo può essere scomposto in un effetto diretto, dovuto ad un incremento dei gas ad effetto serra, ed in uno indiretto, legato alle variazioni climatiche. Le varie componenti del sistema agricolo risponderanno ciascuna in maniera differente a tali effetti (Bindi, 2003).

Sulle piante, l'effetto primario porterà presumibilmente ad un incremento delle rese unitarie delle maggiori colture agrarie, soprattutto di quelle a ciclo C3 (ortaggi, frumento, vite, ecc.), mentre per quelle a ciclo C4 e per le colture estive (mais, girasole, ecc.) l'aumento dovrebbe essere più contenuto. L'effetto secondario, invece, dovrebbe modificare gli areali di produzione di alcune colture, espandendo quelli di coltivazione di olivo e vite, e diminuire la lunghezza del ciclo di crescita. Per quanto riguarda le rese, dovrebbero diminuire quelle delle colture a ciclo annuale, mentre un effetto opposto si dovrebbe avere su quelle a ciclo pluriennale. L'effetto combinato (CO_2 + variazioni climatiche) dovrebbe portare ad un incremento della produzione media delle colture a ciclo C3 e ad una diminuzione di quelle a ciclo C4, ad un aumento della variabilità della produzione e ad un effetto incerto sulla qualità che, per alcune colture (come gli ortaggi) dovrebbe diminuire.

Per quanto riguarda il suolo, l'incremento delle temperature comporterà un probabile aumento della decomposizione della sostanza organica, con una conseguente riduzione di fertilità, e del ciclo degli elementi nutritivi (carbonio, azoto, fosforo, potassio) nel sistema suolo-pianta-atmosfera, con l'effetto di aumentare l'emissione di gas ad effetto serra. L'aumento di CO_2 dovrebbe causare

un aumento dei processi di fissazione dell'azoto in seguito all'accrescimento dello sviluppo radicale ed un incremento della sostanza organica trattenuta a causa dell'aumento della biomassa accumulata. Le variazioni delle precipitazioni dovrebbero essere la causa dell'incremento dell'erosione idrica a causa dell'intensificarsi di eventi piovosi estremi.

Per quanto riguarda la risorsa idrica, si prevede che la disponibilità di acqua dovrebbe diminuire per la contemporanea variazione delle precipitazioni e per l'aumento dell'evapotraspirazione, oltre che per fattori legati alla degradazione dei suoli e alla sedimentazione per erosione. La domanda di acqua per l'irrigazione potrebbe essere tendenzialmente crescente, con la conseguenza di accentuare la competizione con gli altri settori (ad es. civile e industriale), mentre un probabile accentuarsi di ondate di calore porterà a picchi di domanda per l'irrigazione. Per quanto riguarda la qualità delle acque è previsto un aumento del rischio di salinizzazione (a causa di maggiori livelli evaporativi, dell'aumento del livello del mare e dell'aumento dei prelievi) e dell'inquinamento (a causa della riduzione del livello di fiumi e laghi).

Per quanto riguarda l'allevamento di bestiame, gli effetti diretti interesseranno la salute, lo sviluppo e la riproduttività degli animali. Gli effetti indiretti, invece, riguarderanno le variazioni della disponibilità e dei prezzi degli alimenti vegetali (cereali, leguminose, ecc.), i cambiamenti della produttività dei pascoli e delle colture foraggere, con un impatto positivo dell'aumento delle concentrazioni di CO₂ sulla produzione di latte ottenuto da animali con una alimentazione a base di leguminose, ad esempio il trifoglio. Altri impatti interesseranno le spese di alloggiamento del bestiame, soprattutto in merito all'isolamento degli ambienti e al condizionamento dell'aria e il turn-over e le perdite delle sostanze nutritive per la produzione di concime animale, a causa dell'aumento della volatilizzazione dell'ammoniaca dovuto all'aumento della temperatura.

Per quanto riguarda le fitopatie, l'incremento delle temperature potrà favorire la proliferazione degli insetti parassiti, che avranno maggiori probabilità di sopravvivenza durante il periodo invernale, mentre l'aumento delle

concentrazioni di CO₂ potrà influire sui fabbisogni nutritivi degli stessi, attraverso un'azione sulla quantità e sulla qualità della biomassa della pianta ospitante (aumento del rapporto C/N). Infine, la diversa risposta delle specie coltivate e di quelle infestanti potrà portare ad alterazioni delle interazioni competitive infestante-coltura e l'azione di controllo degli erbicidi sarà in parte compromessa a causa delle variazioni di temperatura, precipitazioni, vento e umidità dell'aria.

Gli effetti del Cambiamento Climatico interesseranno in maniera differente l'agricoltura nei vari Paesi europei. Il continente europeo, infatti, presenta una grande variabilità per quanto riguarda il clima attuale, il tipo di agricoltura praticata, le condizioni del suolo, la direzione del cambiamento, la disponibilità di risorse e le infrastrutture disponibili. Ad esempio, i sistemi di agricoltura intensivi dell'Europa occidentale generalmente presentano una bassa sensibilità al Cambiamento Climatico (Chloupek et al., 2004). Dall'altra parte, alcuni sistemi agricoli di tipo intensivo localizzati in aree marginali ne possono essere maggiormente colpiti (Reilly and Schimmelpfennig, 1999). Aumenti di produzione legati al Cambiamento Climatico sono attesi solamente in Europa settentrionale, mentre le diminuzioni più consistenti probabilmente interesseranno le aree del Mediterraneo, il sud-ovest dei Balcani e il sud della Russia (Olesen e Bindi, 2002; Maracchi et al., 2005; Alcamo et al., 2006). In Europa meridionale, cali particolarmente elevati di produzione probabilmente riguarderanno le colture a semina primaverile-estiva (ad es. mais, girasole e soia) (Audsley et al., 2006), mentre per quanto riguarda le colture a semina autunno-vernina (ad es. grano) l'impatto sarà geograficamente variabile, con un forte decremento previsto nelle aree più meridionali ed un probabile aumento in quelle settentrionali o comunque più fresche (ad es. Nord di Portogallo e Spagna) (Olesen et al., 2006); alcune colture attualmente coltivate soprattutto in Europa meridionale (ad es. mais, girasole e soia) potrebbero diventare più appropriate al nord o ad altitudini più elevate.

Le aree marginali Settentrionali e Meridionali per la produzione di colture tradizionali risulteranno particolarmente sensibili e vulnerabili ai Cambiamenti Climatici. Al nord Europa si potrebbero ottenere benefici con l'introduzione di

nuove colture, con l'espansione delle aree utilizzabili per la coltivazione e con un conseguente incremento delle produzioni, a cui si opporranno, tuttavia, gli svantaggi derivanti dalla necessità di incrementare la protezione delle piante, dal rischio di lisciviamento e dall'accelerazione della decomposizione della sostanza organica. Viceversa, nelle aree del sud Europa l'unico beneficio potrebbe essere legato all'introduzione di nuove specie, mentre gli svantaggi sarebbero rappresentati dalla riduzione delle produzioni e dall'incremento della sua variabilità, nonché dalla riduzione delle aree utilizzabili per le colture tradizionali.

Le strategie economiche e agronomiche avranno un ruolo rilevante per ridurre le perdite o accentuare i guadagni dovuti ai Cambiamenti Climatici. Mentre le strategie economiche prevedono di ridurre i costi agricoli, in funzione delle variazioni che potrebbero verificarsi a carico delle produzioni, le strategie agronomiche prevedono di evitare totalmente o parzialmente la riduzione delle produzioni agricole. Gli aggiustamenti agronomici a corto termine rappresentano i primi interventi di difesa contro gli effetti dei Cambiamenti Climatici e prevedono di ottimizzare la produzione con variazioni minime, in termini di costi, del sistema agricolo, attraverso modifiche della gestione dei sistemi colturali e della conservazione dell'umidità del suolo. Per quanto riguarda la gestione dei sistemi colturali, si può intervenire attraverso l'impiego contemporaneo di varietà con caratteristiche diverse, in modo da ridurre la variabilità della produzione, cambiando le varietà utilizzate, attuando pratiche agronomiche differenti, oppure utilizzando un nuovo tipo o una diversa modalità di impiego di fertilizzanti e pesticidi. In merito alla conservazione dell'umidità del suolo andranno favorite tecniche come il no tillage o la pacciamatura e soprattutto bisognerà migliorare l'efficienza dell'irrigazione. Gli adattamenti a lungo termine rappresentano, invece, interventi che prevedono di ovviare alle avversità determinate dai Cambiamenti Climatici attraverso modifiche strutturali del sistema produttivo agricolo. Per ottimizzare o stabilizzare la produzione si può intervenire variando l'uso del suolo, ad esempio sostituendo colture con alta variabilità inter-annuale (frumento) con colture a più bassa variabilità (pascoli). Per adattarsi agli stress indotti dai Cambiamenti Climatici più velocemente è importante puntare allo

sviluppo di nuove cultivar, attraverso il miglioramento genetico tradizionale o le biotecnologie. Per conservare l'umidità del suolo si potrebbe agire sostituendo alcune colture, ad esempio mais con sorgo. Per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua potrebbe rivelarsi opportuno attuare modifiche del microclima, ad esempio con l'impiego di frangivento, colture intercalari, ecc. Non va dimenticato, d'altra parte, che agli agricoltori spetta anche il compito di gestire la terra in maniera efficiente, preservandola dall'abbandono, dalla desertificazione o dall'impoverimento in sostanze nutritive.

E' fondamentale, inoltre, che si intervenga anche a livello di politica agricola, in modo da favorire un adattamento dell'agricoltura europea ai Cambiamenti Climatici, incoraggiando sia un uso flessibile della terra e delle colture agricole che l'introduzione di sistemi aziendali adeguati. Nel fare questo, sarà necessario considerare il ruolo multifunzionale dell'agricoltura e quindi tener conto delle sue funzioni agronomiche, ambientali ed economiche nelle varie regioni europee. Inoltre, la politica agricola dovrà definire una serie di strategie che, attraverso una revisione delle emissioni di metano e ossidi di azoto da parte dei sistemi agricoli, un aumento del sequestro di carbonio nei suoli ed un uso crescente di energie alternative per sostituire i combustibili fossili, permettano di mitigare i Cambiamenti Climatici. Politiche che comunque dovranno essere collegate strettamente con gli schemi di sviluppo previsti dalla Politica Agricola Comune della UE. La ricerca nel settore agricolo dovrà invece occuparsi dell'effetto dei Cambiamenti Climatici sui fattori secondari della produzione agricola (ad es. le infestanti, i parassiti e le malattie), sulla qualità delle produzioni vegetali ed animali, sulla variazione di frequenza degli eventi estremi e sulle interazioni con gli ecosistemi circostanti, arrivando infine a suggerire delle strategie di adattamento e mitigazione sostenibili nell'ambito di una agricoltura che cerchi di rispettare l'ambiente e i valori sociali della società rurale (Bindi, 2003).

1.4.3 Aspetti socio-economici

Bisogna riconoscere che, nella lunga marcia dello sviluppo degli ultimi decenni, la tecnologia ha isolato in modo crescente persone ed attività economiche dagli andamenti climatici. Due secoli fa, lavoro e attività ricreative erano dettate dai cicli di luce e giorno e dalle stagioni, in particolare in campo agricolo. Oggi, grazie alla moderna tecnologia, le persone vivono e prosperano virtualmente con ogni clima. Per la maggior parte delle attività economiche, variabili come salari, abilità della forza lavoro e fattori politici nascondono le considerazioni climatiche. Inoltre, il processo di sviluppo economico e del cambiamento tecnologico tendono progressivamente a ridurre la sensibilità al clima delle attività produttive.

Studi importanti condotti sui Cambiamenti Climatici riguardano la potenziale influenza dell'ambiente biofisico sugli aspetti socio-economici e gli eventuali legami esistenti tra l'assetto biofisico e le attività economiche in una certa zona. Nelle analisi economiche degli impatti del Cambiamento Climatico, condotte sia a livello di nazione che di singolo settore, si assume spesso che le variazioni della risorsa idrica influenzino direttamente il prezzo dell'acqua e la domanda di acqua da parte del settore agricolo. Gli impatti sugli altri settori economici sono considerati indiretti, causati dall'uso di prodotti agricoli ed acqua a prezzo più alto. Generalmente, l'impatto di un previsto scenario di Cambiamento Climatico è riportato come variazione percentuale del PIL pro-capite relativa ad uno scenario di base (El-Fadel e Bou-Zeid, 2003). L'impatto economico è stimato come il 2-9% del PIL annuo nazionale per i Paesi in via di sviluppo e l'1-1,5% del PIL per i Paesi sviluppati (IPCC-WGII, 1997). La maggiore vulnerabilità delle regioni povere al Cambiamento Climatico è dovuta alla elevata presenza di attività legate all'andamento climatico, in particolare agricoltura, e alla bassa capacità di far fronte ad eventuali danni causati da eventi imprevisti o di eccessiva intensità (Tol, 1996).

Dopo il rapporto di Nicholas Stern (2007) che ha illustrato come i costi dei Cambiamenti Climatici possano andare dal 5 al 20% del prodotto mondiale lordo, ora l'Unione Europea scende in campo per dimostrare che anche nel caso di scenari medi di un aumento della temperatura media globale compreso fra 2,2 e

3°C, quindi nient'affatto catastrofici, i costi dei Cambiamenti Climatici potrebbero giungere a livelli insopportabili per l'economia europea. Potrebbero essere sopportabili e non bloccare lo sviluppo solo qualora l'aumento della temperatura media globale fosse inferiore a 2°C. Entro questo limite, le conseguenze negative dei Cambiamenti Climatici, anche se significative, sono ancora gestibili e controllabili e non ancora gravi ed irreversibili. I Paesi membri della UE potrebbero affrontarli e gestirli a costi accettabili con idonee strategie di adattamento. Oltre questo limite, a parte il rischio di conseguenze imprevedibili e di possibili catastrofi, le economie nazionali non sarebbero più in grado di correre ai ripari ed i danni sarebbero irreparabili. Pertanto, al di là delle cifre e delle analisi dei singoli impatti, il rapporto della Commissione Europea intende dare una sferzata a tutti i governi europei, ma anche a quelli extra europei perché si muovano in fretta a ridurre le emissioni e comunque prima del 2050 di ben il 60% per riportare il sistema climatico in equilibrio e cioè entro i limiti della sua variabilità naturale. Se si dovesse procedere a drastiche riduzioni dei gas serra anche superiori al 60% ma dopo il 2050, il riscaldamento climatico supererebbe comunque la soglia dei 2°C e non si riuscirebbe a fronteggiare i costi dei danni né sarebbe possibile procedere ad adeguate misure di adattamento.

Il rapporto della Commissione UE sui Cambiamenti Climatici in Europa e le conseguenze di tali cambiamenti evidenzia i principali aspetti non solo in termini ambientali, ma anche economici e sociali, delle conseguenze dei Cambiamenti Climatici in due scenari di riferimento “medi” e cioè quelli di emissioni globali di gas serra contrassegnati con le sigle A2 e B2 del terzo rapporto IPCC. Sono stati, in pratica, esclusi gli scenari estremi, sia quelli in cui le emissioni globali in futuro cresceranno molto lentamente (scenario minimo che implicherebbe forte riduzione delle emissioni di gas serra ed un uso massiccio di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili) sia quelli che, viceversa, cresceranno molto rapidamente (scenari massimi che implicherebbero scarsa o nulla riduzione dei gas serra ed un uso dei combustibili fossili analogo alla situazione attuale). Sia lo scenario minimo che quello massimo, in base ad una analisi dei comportamenti sociali e socio economici a livello mondiale, possono ritenersi a bassa probabilità: quello

minimo perché presupporrebbe un comportamento globale talmente virtuoso che non appare realistico, quello massimo perché viceversa presupporrebbe comportamenti talmente miopi e poco lungimiranti da essere poco credibili. Dunque gli scenari medi hanno la più alta probabilità che possano effettivamente verificarsi in futuro. In particolare con lo scenario B2 la temperatura media globale crescerà al 2070 di 2,2 °C (e tendenzialmente 3°C al 2100), mentre con lo scenario A2 l'aumento sarà di 3°C (e tendenzialmente attorno ai 3,5°C al 2100). Le domande che si pone la UE sono le seguenti: quanto costeranno all'Europa gli impatti dei Cambiamenti Climatici in questi scenari medi più realistici? Questi scenari medi sono ambientalmente accettabili ed economicamente sostenibili? Quali sforzi devono essere programmati per ottimizzare costi e benefici e minimizzare i danni?

Gli impatti considerati non sono tutti, ma quelli principali riguardanti l'agricoltura, la salute umana, il turismo, le alluvioni ed inondazioni e le aree marino-costiere. Le ipotesi prese in considerazione e che sono alla base di questi due scenari sono lo sviluppo demografico, lo sviluppo economico, l'uso delle risorse energetiche, l'uso delle risorse naturali, l'innovazione tecnologica e l'uso di nuove tecnologie. Lo studio di dettaglio è stato effettuato mettendo a punto un idoneo progetto denominato Peseta coordinato dalla Direzione dei centri comuni di ricerca della Unione Europea (DG-JRC).

I costi che si prospettano appaiono abbastanza elevati per l'Europa nel suo complesso e ancor di più per i Paesi del Mediterraneo, nonostante gli scenari presi in considerazione siano quelli medi, e non quelli massimi più pessimistici e catastrofici. A causa del riscaldamento climatico e della maggiore disponibilità di acqua la produttività agricola potrebbe crescere fino al 70% in più nel nord Europa, ma, viceversa, a causa dell'eccesso di caldo e della minore disponibilità d'acqua potrebbe diminuire del 22% in area mediterranea. Siccome l'agricoltura pesa mediamente attorno al 15% del prodotto nazionale lordo, i danni per i Paesi dell'area mediterranea sarebbero ingenti. Viceversa altrettanto ingenti sarebbero i benefici per i Paesi del nord Europa. Per le coste europee i danni per erosione e inondazione costiera a causa dell'innalzamento del livello del mare potrebbero

andare da 9 a oltre 42 miliardi di euro per anno che, però, si potrebbero ridurre a valori compresi fra 2 e 11 miliardi di euro per anno se si procedesse già da subito a ridurre la vulnerabilità. Per quanto riguarda le alluvioni, anche qui la situazione è diversa da Paese a Paese, ma i danni maggiori li subirebbero quelli attraversati da grandi fiumi o da fiumi meno dotati di difese adeguate contro le inondazioni. Per le piene dei fiumi i costi potrebbero essere molto salati anche in termini di perdita di vite umane, di beni e di abitazioni. I danni maggiori potrebbero venire dal Danubio e dalla Mosa ed interessare quindi più i Paesi del centro Europa.

Infine, per quanto riguarda il turismo le regioni mediterranee diventerebbero del tutto inospitali sia per mancanza d'acqua che per eccessivo calore, mentre diventerebbero molto più appetibili le aree del nord Europa. In pratica, gli impatti negativi e le perdite economiche dell'industria turistica dei Paesi del sud Europa e del Mediterraneo si tradurrebbero in impatti positivi e crescita del prodotto nazionale lordo dei Paesi del nord Europa. A tutto ciò vanno aggiunte le questioni sociali e di opportunità di sviluppo che cambierebbero radicalmente rispetto alla situazione attuale.

1.5 Il Cambiamento Climatico in Italia

1.5.1 Il cambiamento in atto

Dalle analisi dei dati degli ultimi duecento anni, pervenuti da oltre cento stazioni meteorologiche e dai più antichi osservatori d'Italia, il CNR (Brunetti M. et al., 2006) ha ricavato una fotografia aggiornata del cambiamento in atto in Italia:

1. Le temperature medie annuali in Italia sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7°C (pari a oltre 0,8°C per secolo), ma il contributo più rilevante a questo aumento è avvenuto in questi ultimi 50 anni, per i quali l'aumento è stato di circa 1,4°C. Il tasso di crescita delle temperature medie in Italia è molto superiore (circa doppio) a quello medio globale. Sono aumentate di più le temperature minime (soprattutto al nord) che le massime, e di più le temperature invernali (soprattutto al sud) che quelle estive.

2. Le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale di circa il 5% a secolo, con maggiori riduzioni (9%) in primavera; la riduzione è più accentuata nelle regioni centro-meridionali rispetto a quelle settentrionali. È diminuito anche il numero complessivo dei giorni di pioggia, soprattutto in questi ultimi 50 anni: la diminuzione è pari a circa 6 giorni per secolo nelle regioni settentrionali e a circa 14 giorni nel centro-sud. La tendenza generale, per tutte le regioni italiane, è all'aumento dell'intensità delle precipitazioni e alla diminuzione della loro durata. Sono in aumento anche i fenomeni siccitosi, la cui persistenza è maggiore in inverno nelle regioni settentrionali e maggiore in estate al sud.
3. I dati della campagna di studio della Conferenza Nazionale delle Acque mostrano che le risorse idriche complessive, valutate attualmente in circa 50 miliardi di metri cubi per anno, che già sono distribuite in modo disomogeneo fra nord (41%), centro (26%), sud (20%) e isole (6%), tendono a diminuire a causa della riduzione delle precipitazioni e all'aumento della evapotraspirazione e dei prelievi idrici. La diminuzione delle risorse idriche aumenta la disomogeneità tra nord e sud Italia: le riduzioni più marcate avvengono al Sud e nelle isole.
4. La qualità dei suoli tende a degradarsi soprattutto al sud, anche se non solo per problemi climatici. Le aree aride, semi-aride e sub-umide che si trasformano in aree degradate, interessano attualmente il 47% della Sicilia, il 31,2% della Sardegna, il 60% della Puglia e il 54% della Basilicata. Concorrono al degrado anche i cambiamenti di uso del suolo o usi non adatti, oltre alla crescita degli incendi boschivi. Il degrado è accentuato anche da fattori di origine antropica come l'erosione, la salinizzazione, la perdita di sostanza organica, l'impermeabilizzazione e, a volte, anche da fenomeni di forte ruscellamento da eventi alluvionali.
5. Il riscaldamento climatico e il cambiamento del regime idro-pluviometrico indurranno cambiamenti negli equilibri degli ecosistemi, che porteranno gli ecosistemi terrestri di pianura a migrare di circa 150 km verso nord per ogni grado di aumento della temperatura, e gli ecosistemi montani di circa 150

metri verso l'alto per ogni grado in più. Gli ostacoli naturali (orografici e geomorfologici) che impediranno tale migrazione indurranno di conseguenza una perdita dell'ecosistema o modifiche della sua biodiversità.

6. Nell'Italia meridionale e insulare aumenta il rischio di desertificazione, per la concomitanza di diversi fattori, come la diminuzione delle precipitazioni totali annue al di sotto della soglia di circa 600 mm/anno che con temperature medie crescenti implica un rischio permanente di aridificazione ed estensione dei periodi di siccità per molti mesi.

1.5.2 Conseguenze

Le tendenze climatiche in atto possono portare in Italia a una serie di conseguenze:

1. L'andamento della temperatura, delle precipitazioni e degli eventi meteorologici estremi tenderà a far aumentare la differenza nella disponibilità di risorse idriche, con una accentuazione dell'abbondanza di acqua al nord e scarsità di acqua al sud. Questo problema non è solo una questione di bilancio idrologico, ma ha profonde implicazioni su agricoltura, produzione industriale, urbanizzazione, turismo, salute, ecc.
2. Le tendenze climatiche in atto creano condizioni più favorevoli all'ambiente tipico mediterraneo a latitudini più alte rispetto a quelle attuali. Questo significa che verrà favorito lo spostamento verso nord di tutti i sistemi ecologici e ambientali naturali, con modifiche anche del paesaggio e profonde implicazioni nei settori dell'agricoltura, del turismo, del tempo libero e in quello residenziale.
3. L'innalzamento del livello del mare porterebbe problemi di inondazione in alcune decine di aree costiere depresse italiane, oltre che un incremento dell'erosione costiera, infiltrazioni di acqua salata nelle falde costiere di acqua dolce e altre conseguenze sugli ambienti marino costieri. Questo problema ha forti implicazioni su tutte le attività produttive condotte nelle zone costiere, ma anche sulle attività ricreative e turistiche.

4. Le ripercussioni secondarie sono connesse alle conseguenze dei Cambiamenti Climatici in atto, come la perdita della biodiversità e i rischi di desertificazione (soprattutto per il sud). Ripercussioni non trascurabili si avrebbero anche in campo economico, a causa delle modifiche delle opportunità di sviluppo per le varie regioni italiane; soprattutto per quanto riguarda le iniziative economiche, l'occupazione e la distribuzione della ricchezza. Tutto ciò potrebbe determinare anche problemi di equità fra le popolazioni delle diverse regioni italiane.

CAPITOLO 2

INCERTEZZA E MODELLI DI SCELTA IN CONDIZIONI DI SCARSITA' DEI FATTORI PRODUTTIVI

Questo capitolo è dedicato alla presentazione degli aspetti teorici alla base dei modelli di analisi delle decisioni in condizioni di rischio e di studio del comportamento e delle decisioni economiche in condizioni di incertezza, soffermandosi, in particolare, sulla Programmazione Stocastica Discreta. Questa specificazione è usata per analizzare gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo causati dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla quantità di risorsa idrica disponibile per gli agricoltori. Dopo una breve rassegna delle principali applicazioni presenti in letteratura, si passa alla specificazione del modello in ambito agricolo. A tal proposito, si mostra in che modo sono stati identificati gli stadi, gli stati della natura e la probabilità di verificarsi di ciascuno di essi. In merito a quest'ultimo aspetto, si presenta un approccio statistico basato sull'utilizzo di una funzione di densità della disponibilità di acqua.

2.1 Programmazione Matematica e Rischio

L'agricoltura è un sistema vincolato, nel senso che cosa può essere fatto è limitato dalla disponibilità di risorse, come terra, lavoro e capitale nelle sue varie forme (costruzioni, macchinari, scorte vive, ecc.) e da vincoli imposti dall'esterno, come quote di produzione, restrizioni ambientali o di mercato, ecc. Quindi, il problema di pianificazione di un agricoltore può essere visto come una ottimizzazione vincolata, nel senso che la funzione obiettivo che riflette gli obiettivi dell'agricoltore è soggetta ad una serie di limitazioni. Inoltre, l'agricoltura è probabilmente il settore economico che più degli altri risente di diverse fonti di rischio connesse con la produzione, il mercato, o con fattori di tipo istituzionale, finanziario, tecnologico, ecc. La caratteristica principale dell'attività agricola, ossia quella di svolgersi 'a cielo aperto', la rende, inoltre,

particolarmente legata agli andamenti climatici stagionali, come temperatura e piovosità che a loro volta influenzano la disponibilità di altri fattori, come quella di acqua per l'irrigazione. Il Cambiamento Climatico in corso, quindi, rappresenta un'importante fonte di rischio per l'agricoltore.

In passato veniva spesso fatta distinzione tra rischio e incertezza. Si parla di rischio quando il decisore ha una conoscenza della probabilità rispetto al verificarsi di alcuni eventi, mentre di incertezza se non ha nessuna conoscenza di tale probabilità. Oggi si utilizzano i due termini indistintamente per indicare che si ha conoscenza imperfetta rispetto al verificarsi di uno o più eventi. In questo lavoro i due termini verranno utilizzati come sinonimi.

A causa della natura altamente incerta dell'attività agricola sono stati presentati, negli ultimi decenni, molti modelli di analisi delle decisioni in condizioni di rischio e di studio del comportamento e delle decisioni economiche in condizioni di incertezza. Le tecniche di Programmazione Matematica (PM) sono molto usate in questo ambito, in quanto sono relativamente semplici da costruire e da risolvere, permettono di considerare sia la componente del consumo che quella della produzione e possono essere notevolmente flessibili nell'utilizzo (Hardaker et al., 1997). Quei modelli di programmazione matematica in cui il rischio incide sulle componenti della funzione obiettivo sono classificati come Tecniche di Programmazione del Rischio, mentre quelli in cui il rischio incide sui vincoli o sulla disponibilità delle risorse (Right Hand Side: RHS) sono detti Tecniche di Programmazione Stocastica.

Di seguito verranno discussi brevemente i principali metodi di Programmazione Matematica che permettono di considerare il rischio.

La Programmazione Lineare (PL) è molto usata in ambito agricolo, quando si assume che le scelte vengono prese in condizioni di certezza. Tuttavia, la PL può essere utilizzata anche nel caso in cui si voglia introdurre una componente di rischio (Hardaker et al., 1997). In questo caso si tratta di massimizzare il profitto atteso soggetto ad una serie di vincoli:

$$\max E = cx - f$$

$$s.t \quad Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

dove:

E: profitto atteso

c: margini lordi attesi (vettore $1 \times n$) = $p \cdot C$

x: livello di ciascuna attività (vettore $n \times 1$)

f: costi fissi o altri costi

A: matrice dei coefficienti tecnici ($m \times n$)

b: disponibilità di risorse (vettore $m \times 1$)

n: attività

m: risorse

p: probabilità di verificarsi di ciascuno stato della natura possibile (vettore $1 \times s$)

C: matrice dei margini lordi delle attività per stato e attività ($s \times n$)

s: stati della natura possibili.

Questo metodo, tuttavia, permette di considerare solamente quei casi in cui il comportamento dell'agricoltore sia indifferente al rischio. Un metodo che permette di considerare il grado di avversione al rischio è la Programmazione Quadratica (PQ) (Freund, 1956):

$$\max E = cx - f$$

$$s.t \quad Ax \leq b$$

$$x'Qx = V, \quad V \text{ variabile}$$

$$x \geq 0$$

dove:

E: profitto atteso

c: margini lordi attesi (vettore $1 \times n$) = $p \cdot C$

x: livello di ciascuna attività (vettore $n \times 1$)

f: costi fissi o altri costi

A: matrice dei coefficienti tecnici ($m \times n$)

b: disponibilità di risorse (vettore $m \times 1$)

Q: matrice di Varianza-Covarianza del margine lordo delle attività ($n \times n$) = $D'(PD)$, con $D = C - uc$

V: varianza del margine lordo delle attività

p: probabilità di verificarsi di ciascuno stato della natura possibile (vettore $1 \times s$)

C: matrice dei margini lordi delle attività per stato e attività ($s \times n$)

n: attività

m: risorse

s: stati della natura possibili

D: matrice della deviazione dei margini lordi delle attività dalla rispettiva media ($s \times n$)

u: vettore di uno ($s \times 1$)

P: matrice della probabilità di verificarsi degli stati ($s \times s$).

Le assunzioni alla base del modello di PQ sono che la distribuzione dei margini lordi totali sia normale e che la funzione di utilità dell'agricoltore sia quadratica (necessaria affinché ci sia avversione al rischio).

Una variante della PQ è rappresentata dalla Programmazione MOTAD, in cui il vincolo della varianza è sostituito con un altro di deviazione media assoluta del margine lordo (Hardaker et al., 1997). In questo modo il modello è di tipo lineare e non più quadratico, con vantaggi sia in fase di programmazione che di ricerca della soluzione ottimale (soprattutto in passato, quando i computer non riuscivano a risolvere problemi troppo complessi).

$$\max E = cx - f$$

$$s.t \quad Ax \leq b$$

$$- Dx - Iy \leq u$$

$$py \leq M, \quad M \text{ variabile}$$

$$x, y \geq 0$$

dove:

E: profitto atteso

c: margini lordi attesi (vettore $1 \times n$) = $p \cdot C$

x: livello di ciascuna attività (vettore $n \times 1$)

f: costi fissi o altri costi

A: matrice dei coefficienti tecnici ($m \times n$)

b: disponibilità di risorse (vettore $m \times 1$)

I: matrice identità ($s \times s$)

y: vettore del livello delle attività che misura la deviazione negativa di reddito per ogni stato

M: media assoluta della deviazione del margine lordo totale

p: probabilità di verificarsi di ciascuno stato della natura possibile (vettore $1 \times s$)

C: matrice dei margini lordi delle attività per stato e attività ($s \times n$)

n: attività

m: risorse

s: stati della natura possibili

D: matrice della deviazione dei margini lordi delle attività dalla rispettiva media
($s \times n$) = $C - uc$

u: vettore di uno ($s \times 1$).

2.2 Programmazione Stocastica Discreta

Gli aspetti teorici riguardanti la Programmazione Stocastica Discreta (PSD) sono stati definiti da Cocks (1968), ma la prima applicazione in ambito agricolo è dovuta a Rae (1971b), a cui va anche il merito di averne riconosciuto l'applicabilità a problemi di gestione del settore agricolo. Nonostante il considerevole interesse di questo approccio per modellizzare problemi del mondo reale, l'adozione della PSD nei primi venti anni dalla sua introduzione è stata relativamente lenta. Le limitazioni alla sua adozione più spesso citate riguardano le dimensioni del modello. Quando rappresentati come alberi delle decisioni, tali problemi hanno una tendenza a crescere molto rapidamente e ad avere troppi rami per poter essere disegnati facilmente e può essere difficile o addirittura

impossibile risolverli se vengono specificati in tutti i loro dettagli. Questo fenomeno è anche detto ‘Maledizione della dimensionalità’ (Rae, 1971a). Il modello tende a crescere velocemente in base al numero degli stadi, rappresentati da sequenze di decisioni-eventi, al numero delle opzioni di scelta possibili ad ogni decisione e al numero dei possibili risultati ad ogni evento, causando importanti limitazioni in merito alla disponibilità dei dati, alla loro gestione e alla realizzazione del modello. Per superare queste oggettive difficoltà è spesso necessario apportare delle approssimazioni e semplificare il problema restringendo il numero degli stadi a due o tre e limitando il numero degli eventi possibili ad ogni stadio.

2.2.1 Applicazioni della Programmazione Stocastica Discreta in letteratura

In seguito al lavoro di Rae (1971a), che ha introdotto la PSD in ambito agricolo, Yaron et al. (1972) hanno proposto un modello a due stadi e due stati della natura per ogni stadio che considera attività di lungo e di breve periodo in una piccola azienda agricola a conduzione familiare con colture irrigate nel sud di Israele. Le attività di lungo periodo comportano assetto fisso ed accumulazione di capitale, mentre quelle di breve periodo riguardanti la produzione corrente sono vincolate dalle scelte di lungo periodo.

McCarl et al. (1988) utilizzano un modello di PSD a due stadi e quaranta stati della natura per ogni stadio per analizzare i legami tra sviluppo dell’irrigazione e generazione di energia tramite centrali idroelettriche nelle regioni del nord-ovest degli Stati Uniti. Nel primo stadio le attività includono irrigazione e investimenti necessari a realizzare le centrali idroelettriche senza conoscere il flusso di acqua nel secondo stadio, in cui invece sono prese le decisioni circa le costruzioni esistenti o da realizzare.

Turvey et al. (1990), attraverso un modello di PSD a due stadi con, rispettivamente, 225 e 5625 stati, analizzano gli effetti delle politiche agricole di prezzo obiettivo e il tasso di interesse di una strategia di investimento ottimale di tipo hedging (con il termine *hedging* si fa riferimento, in ambito finanziario, ad una strategia d’investimento attuata per ridurre il profilo di rischio di un

investimento mediante l'utilizzo di strumenti derivati quali opzioni put e call, vendite allo scoperto o contratti future e forward). Il modello considera anche l'impatto della struttura del capitale agricolo e il coefficiente di avversione al rischio nei confronti dell'hedging.

Taylor et al. (1995) hanno impiegato modelli di programmazione deterministica e stocastica discreta sequenziale (DSSP) di tipo regionale per valutare la capacità del mercato di allocare la risorsa idrica verso l'uso migliore stimando i benefici diretti. Tale studio è stato condotto nel Colorado sud-orientale, in cui l'acqua per l'irrigazione di alcune contee viene venduta a municipi più distanti ed in alcuni casi l'acqua viene utilizzata su terreni relativamente poveri, mentre l'utilizzo su terreni di migliore qualità potrebbe incrementare i benefici, considerando anche l'incertezza legata alla disponibilità di acqua. Oltre ad ottenere il miglior piano colturale per l'area considerata, il modello è stato utilizzato per derivare la curva di domanda dell'acqua.

Maatman et al. (2002) presentano un modello di programmazione stocastica per descrivere le decisioni sequenziali degli agricoltori in una situazione di elevata variabilità delle precipitazioni in un'area del Burkina Faso, nell'Africa occidentale, caratterizzata da un'agricoltura praticata in precarie condizioni e da un'estrema variabilità delle precipitazioni. Il modello descrive le strategie di produzione degli agricoltori, il consumo, le vendite, gli acquisti e le riserve dall'inizio del ciclo colturale all'anno successivo alla raccolta.

Calatrava et al. (2005) utilizzano un modello di programmazione stocastica discreta a due stadi per simulare due diversi tipi di mercato dell'acqua, uno completamente decentralizzato ed uno in cui viene istituita una 'banca dell'acqua', in un distretto irriguo della Spagna meridionale. Le decisioni degli operatori del mercato sono prese sotto l'incertezza in merito alla disponibilità di acqua per l'irrigazione in due differenti scenari di mercato dell'acqua, che differiscono per la capacità da parte della risorsa idrica di generare reddito per gli agricoltori.

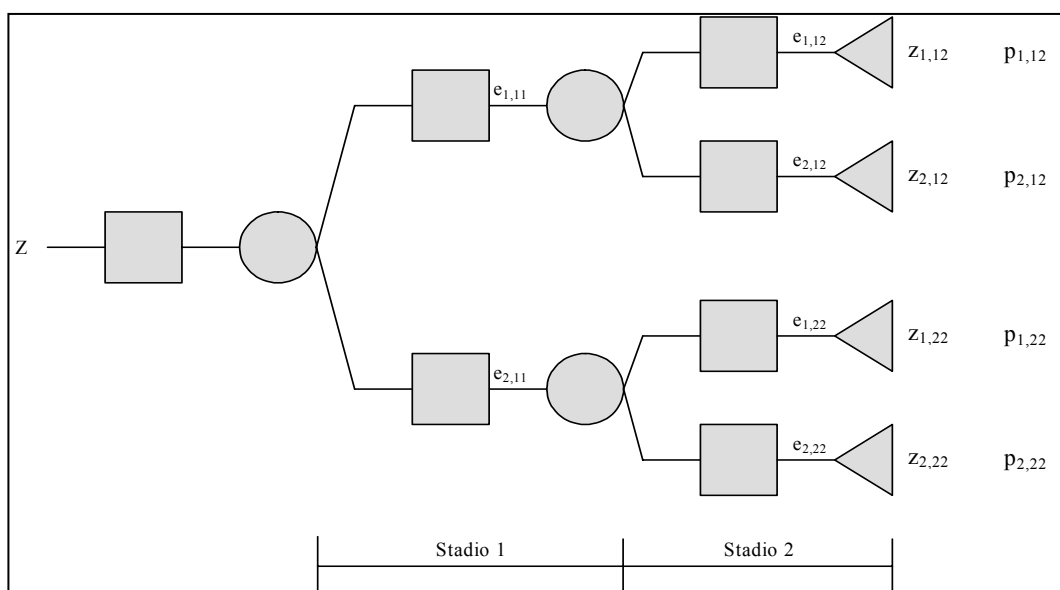
Iglesias et al. (2007) impiegano un modello di programmazione stocastica dinamica per ricavare le condizioni di ottimo di un problema caratterizzato dalla

gestione delle disponibilità della risorsa idrica in Andalusia, nel sud della Spagna, caratterizzato da un clima semi-arido e da un'elevata variabilità delle precipitazioni. Il modello impiegato permette di derivare un Indice Economico di Gestione della Siccità (EDMI) per valutare la capacità dei consorzi di bonifica di far fronte a tale situazione di instabilità climatica.

2.2.2 Specificazione del modello di Programmazione Stocastica Discreta

Un problema di PSD è caratterizzato dalla possibilità di considerare il processo decisionale come la successione temporale di vari stadi e vari stati della natura possibili per ciascuno stato. Lo stadio rappresenta il momento in cui si manifesta l'evento rischioso e in cui il decisore deve attuare delle scelte in maniera aleatoria. Gli stati della natura rappresentano i possibili eventi che possono manifestarsi ad ogni stadio ed al quale il decisore attribuisce un possibile risultato ed una certa probabilità di realizzarsi, in base a delle aspettative realizzate a priori sulla base di aspetti soggettivi (ad es. esperienza) od oggettivi (ad es. analisi di serie storiche di dati). Un problema di questo tipo può essere rappresentato attraverso il seguente albero delle decisioni per un modello di PSD a due stadi e due stati della natura possibili per ciascuno stadio (Fig. 2.1):

Fig. 2.1: Albero delle decisioni di un modello di PSD a due stadi e due stati della natura possibili per ciascuno stadio



in cui:

Z : beneficio totale

$Z_{k,t}$: beneficio relativo allo stato della natura k nello stadio t

$P_{k,t}$: probabilità relativa allo stato della natura k nello stadio t

$e_{k,t}$: stato della natura k nello stadio t

k : stati della natura

t : stadi.

La costruzione della matrice del modello di PSD dipende dalla struttura di informazioni del problema, ossia 'dal modello di informazioni ricevute in relazione alle decisioni da prendere' (Rae, 1971a). Si assume che le attività presenti in ciascuno stadio t siano selezionate all'inizio dello stadio, in cui il decisore conosce anche le conseguenze degli eventi casuali degli stadi precedenti.

Un approccio per assegnare ad ogni stato della natura possibile nei vari stadi successivi un valore di probabilità è quello di studiare le serie storiche delle variabili in grado di influenzare il processo decisionale per un periodo di tempo relativamente lungo, sufficiente per essere sottoposto ad analisi statistiche. Con questo metodo si ottengono dei valori che potrebbero verificarsi dato quello che è avvenuto in passato.

In base alle proprie conoscenze in merito al passato e al presente in termini di risultati degli eventi casuali e di probabilità degli stati della natura, il decisore può trovarsi in uno dei seguenti casi:

1. può avere una conoscenza incompleta del passato
2. può avere una conoscenza completa del passato
3. può avere una conoscenza completa sia del passato che del presente.

Modello di PSD con conoscenza incompleta del passato:

Questo caso, ovviamente, non è risolvibile se il decisore non riesce ad incrementare le informazioni a sua disposizione in merito al problema. Infatti, senza una conoscenza completa del passato, è impossibile assegnare ad ogni possibile stato della natura un valore di probabilità che quell'evento, con il conseguente esito, possa verificarsi.

Modello di PSD con conoscenza completa del passato:

In questo caso, quando le decisioni dello stadio uno sono prese, sono conosciute solo le probabilità degli stati della natura dello stadio uno e dello stadio due. Quando il vettore di decisioni dello stadio due è selezionato, i valori delle variabili dello stadio uno sono noti, ma sono conosciute solo le probabilità degli stati dello stadio due, condizionate agli eventi dello stadio uno. Infatti, gli stati della natura possibili nello stadio due sono scelti nello stadio uno. Da quando si conosce il risultato degli eventi casuali dello stadio uno e le decisioni in tale stadio sono prese, gli stati della natura dello stadio due devono essere permanentemente possibili, quale che sia lo stato della natura che si verifica.

Il modello di PSD per due stadi e due stati possibili a ciascuno stadio è il seguente:

$$\begin{array}{llllll} \text{Max} & Z = Z_{112}P_{112} + Z_{212}P_{212} + Z_{122}P_{122} + Z_{222}P_{222} & & & & \\ \text{s.t.} & A_{111}X_{11} & & & & \leq b_{111} \\ & A_{211}X_{11} & & & & \leq b_{211} \\ & & A_{112}X_{12} & & & \leq b_{112} \\ & & A_{212}X_{12} & & & \leq b_{212} \\ & & & A_{122}X_{22} & & \leq b_{122} \\ & & & A_{222}X_{22} & & \leq b_{222} \\ & -D_{111}X_{11} & + E_{12}X_{12} & & & \leq 0 \\ & -D_{211}X_{11} & & + E_{22}X_{22} & & \leq 0 \\ Z_1 & -C_{111}X_{11} & -C_{112}X_{12} & & & = 0 \\ Z_2 & -C_{111}X_{11} & -C_{212}X_{12} & & & = 0 \\ Z_3 & -C_{211}X_{11} & & -C_{122}X_{22} & & = 0 \\ Z_4 & -C_{211}X_{11} & & -C_{222}X_{22} & & = 0 \\ Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, X_{11}, X_{12}, X_{22} & & & & & \geq 0 \end{array}$$

dove:

Z: funzione obiettivo da massimizzare (ad es. reddito netto aziendale)

$Z_{112}, Z_{212}, Z_{122}, Z_{222}$: reddito netto atteso da ogni stato della natura = $C \cdot X - f$

$P_{112}, P_{212}, P_{122}, P_{222}$: probabilità di ogni stato della natura

X_{11} : variabile decisionale per lo stadio 1

X_{12}, X_{22} : variabili decisionali per lo stadio 2

$A_{111}, A_{211}, A_{112}, A_{212}, A_{122}, A_{222}$: matrici dei coefficienti tecnici

$f_{112}, f_{212}, f_{122}, f_{222}$: costi fissi o altri costi

$b_{111}, b_{211}, b_{112}, b_{212}, b_{122}, b_{222}$: disponibilità di risorse

$C_{111}, C_{211}, C_{112}, C_{212}, C_{122}, C_{222}$: matrici dei margini lordi attesi

$D_{111}, D_{211}, E_{12}, E_{22}$: matrici che legano il primo e il secondo stadio (ad es. trasferimenti di risorse tra stadi o altri collegamenti inter-temporali).

Modello di PSD con conoscenza completa del passato e del presente:

In questo caso, il decisore conosce i risultati degli eventi casuali dello stadio t quando sono prese le relative decisioni. Quindi, il modello di PSD avrà un vettore di decisioni per ciascuno stato della natura. Dato che la sequenza delle decisioni inizia con lo stadio uno, in cui lo stato della natura è conosciuto, la strategia ottimale completa è ricavabile dalla risoluzione di due modelli di Programmazione Lineare distinti, uno per ogni stato della natura che potrà verificarsi nel primo stadio. Il modello generale è costruito come segue:

Stato 1 – Stadio 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= Z_{112}P_{112} + Z_{212}P_{212} \\
 \text{s.t. } A_{111}X_{11} &\leq b_{111} \\
 A_{112}X_{12} &\leq b_{112} \\
 A_{222}X_{22} &\leq b_{222} \\
 -D_{111}X_{11} + E_{12}X_{12} &\leq 0 \\
 -D_{211}X_{11} + E_{22}X_{22} &\leq 0 \\
 Z_1 - C_{111}X_{11} - C_{112}X_{12} &= 0 \\
 Z_2 - C_{111}X_{11} - C_{222}X_{22} &= 0 \\
 Z_1, Z_2, X_{11}, X_{12}, X_{22} &\geq 0
 \end{aligned}$$

Stato 2 – Stadio 1:

$$\begin{array}{llll}
\text{Max} & Z = Z_{132}P_{132} + Z_{242}P_{242} & & \\
\text{s.t.} & A_{211}X_{11} & & \leq b_{211} \\
& & A_{132}X_{32} & \leq b_{132} \\
& & & A_{242}X_{42} \leq b_{242} \\
& -D_{321}X_{21} & +E_{32}X_{32} & \leq 0 \\
& -D_{421}X_{21} & & +E_{42}X_{42} \leq 0 \\
Z_3 & -C_{221}X_{21} & & -C_{132}X_{32} = 0 \\
Z_4 & -C_{221}X_{21} & & -C_{242}X_{42} = 0 \\
Z_3, Z_4, X_{21}, X_{32}, X_{42} & & & \geq 0
\end{array}$$

Tuttavia, in molte applicazioni empiriche di PSD con conoscenza completa del passato e del presente lo stato della natura che si verifica nello stadio uno è assunto e quindi è richiesto un singolo modello di PL (Lambert, 1989).

2.3 Applicazione del modello di PSD in ambito agricolo

L'importanza attribuita alla PSD risiede, oltre che nella sua flessibilità nel gestire gli eventi rischiosi, soprattutto nel permettere di considerare un processo decisionale a più stadi e più stati. Per questi motivi, la PSD si presta bene ad essere utilizzata in ambito agricolo. Infatti, generalmente la gestione dell'attività agricola richiede che alcune decisioni vengano prese quando le conseguenze o i risultati di queste decisioni non possono essere conosciuti con certezza. Quindi, molti problemi di gestione in ambito agricolo possono essere convenientemente affrontati in termini di teoria delle decisioni, considerando come gli agricoltori specificano le possibili azioni, gli stati della natura, la probabilità di ciascuno di questi stati, le conseguenze delle varie azioni e la funzione di utilità da ottimizzare. Gli agricoltori, tuttavia, hanno accesso ad informazioni aggiuntive, come il tempo atmosferico e le previsioni dei prezzi. Molti problemi di gestione dell'attività agricola, tuttavia, differiscono dalla convenzionale specificazione dei

problemi di teoria delle decisioni, in quanto la definizione a priori di ogni possibile azione può risultare impossibile, ad esempio perché il numero delle azioni può essere infinitamente grande.

Nel caso in cui il fattore incerto sia rappresentato dalla disponibilità di risorsa idrica per l'attività agricola, ossia dall'ammontare di acqua che un consorzio fornirà all'agricoltore all'inizio della campagna irrigua, è possibile applicare un modello di PSD a due stadi, in cui l'aleatorietà influenza la disponibilità del fattore e quindi il lato destro dell'equazione (PSD recursiva fissa) e non la matrice dei coefficienti e quindi il lato sinistro dell'equazione (PSD recursiva generale).

Il Cambiamento Climatico, nel corso degli ultimi decenni, ha avuto un effetto notevole sulle varie componenti climatiche che influenzano, da una parte, i fabbisogni idrici delle colture e, dall'altra, la quantità di acqua disponibile per il settore agricolo. Quest'ultima, infatti, è legata alla capacità degli eventi atmosferici di rifornire le fonti di approvvigionamento idrico, siano esse fiumi, dighe o pozzi aziendali. In particolare, le variazioni di precipitazione e temperature medie hanno portato a disponibilità di acqua sempre minori, sia per l'utilizzo in ambito agricolo che per altri usi, quale quello potabile.

Mentre in passato prevalevano gli anni di abbondanza idrica, attualmente l'intervento pubblico, volto a regolare l'uso della risorsa, è sempre più frequente e l'acqua decurtata al settore agricolo assume valori notevoli rispetto alla disponibilità complessiva. Oggi, quindi, si alternano anni in cui non interviene il settore pubblico, con altri in cui tale intervento si rende necessario, in maniera più o meno marcata. La tendenza, tuttavia, è verso uno scenario di scarsa disponibilità di acqua per l'agricoltura, in cui il settore pubblico riveste un ruolo centrale nel ripartire la risorsa idrica disponibile tra i vari utilizzi.

Un modello di Programmazione Stocastica Discreta, rispetto ad un modello di Programmazione Lineare, permette di considerare vari scenari di disponibilità di acqua per il settore agricolo e di esplicitare i risultati per ciascuno di essi. Dato che oggi ogni scenario può verificarsi con una certa probabilità, la situazione attuale può essere identificata come la loro media, pesata per la relativa

probabilità di verificarsi. L'effetto dei Cambiamenti Climatici viene analizzato confrontando lo scenario attuale così identificato, con quello di scarsa disponibilità di acqua, in quanto è verso quest'ultimo che spinge la tendenza delle componenti climatiche.

2.3.1 Determinazione degli stadi

Il primo stadio ha inizio con l'avvio della campagna agricola e con la semina delle colture autunnali (mese di ottobre); in tale fase, l'agricoltore, oltre a decidere le superfici da destinare a ciascuna coltura autunno-vernina, deve decidere anche quanta superficie lasciare incolta per le colture a semina primaverile. Nel primo stadio gli agricoltori non conoscono con certezza quanta acqua avranno a disposizione all'inizio della campagna irrigua (mese di aprile), ma scelgono in base alle loro aspettative, attribuendo dei valori di probabilità ai possibili scenari di disponibilità idrica (stati della natura) che suppongono possano verificarsi. Il secondo stadio, invece, ha inizio con la semina delle colture primaverili-estive (mese di aprile), che coincide con l'inizio della campagna irrigua, in cui il consorzio fornisce acqua agli agricoltori (periodo aprile-ottobre). In questa fase gli agricoltori scelgono conoscendo con certezza l'acqua disponibile e in modo da rispettare il vincolo di disponibilità idrica dello stato della natura realizzatosi. E' evidente che la superficie complessiva di cui dispone l'agricoltore è rappresentata da quella lasciata incolta nel primo stadio a cui si somma, eventualmente, quella lasciata libera da colture già terminate (ad es. alcuni tipi di erbaio).

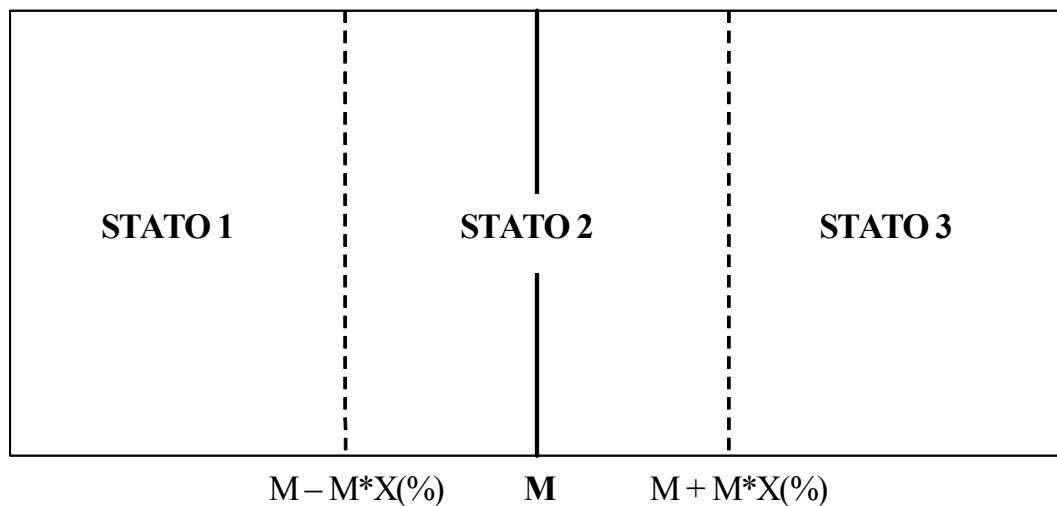
2.3.2 Determinazione degli stati della natura

Gli stati della natura che possono verificarsi nel secondo stadio possono essere numerosi, in quanto la disponibilità di acqua rappresenta un fattore estremamente variabile, legato non solo ad aspetti di tipo climatico, come le precipitazioni e le temperature, ma anche all'eventuale intervento pubblico, che può limitarne l'uso da parte del settore agricolo a favore di altri utilizzi, come ad esempio quelli idro-potabili. Tuttavia, possiamo considerare che nel secondo

stadio possano verificarsi tre stati della natura (Gioia, 2003), identificati rispettivamente da bassa, media e alta disponibilità di acqua. Un metodo per determinare i valori che delimitano i vari stati si basa sull'osservazione della serie storica dei valori di disponibilità di acqua e in particolare:

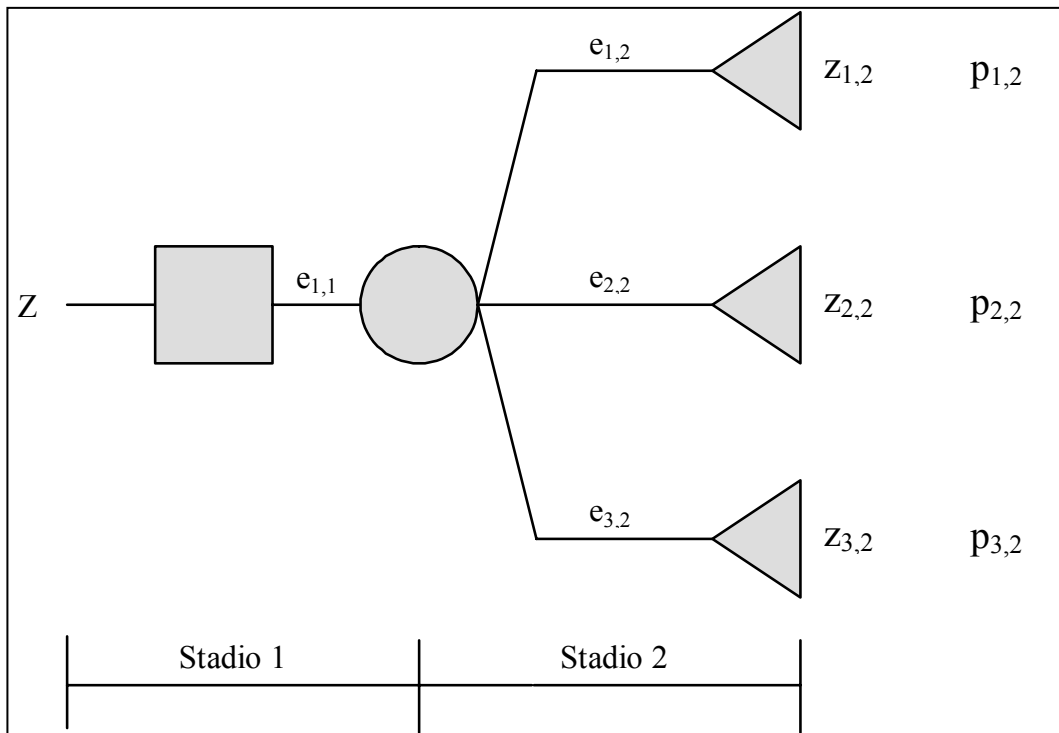
1. lo stato di bassa disponibilità di acqua è delimitato dal valore medio (M) meno un valore X (%) della media
2. lo stato di normale disponibilità è delimitato dal valore medio (M) meno e più un valore X (%) della media
3. lo stato di alta disponibilità di acqua è delimitato dal valore medio (M) più un valore X (%) della media.

Ossia, dal punto di vista grafico:



In questo studio applicheremo un modello di PSD recursiva fissa a due stadi e tre stati della natura nel secondo stadio, che, rifacendosi alla terminologia utilizzata nella Fig. 2.1, si può rappresentare come segue:

Fig. 2.2: Albero delle decisioni di un modello di PSD a due stadi e tre stati della natura nel secondo stadio



2.3.3 Determinazione della probabilità di ciascuno stato della natura

Per determinare la probabilità di verificarsi di ciascuno stato della natura, uno dei metodi possibili è quello di operare per via statistica, stimando la curva di densità (PDF) relativa alla variabile casuale continua di disponibilità di acqua, in cui la probabilità che la variabile assuma valori in un intervallo finito è misurata dall'area sottesa dalla funzione di densità sull'intervallo medesimo (Piccolo, 2000). Tramite la funzione di densità $f(x)$ è possibile calcolare la probabilità di qualsiasi evento riguardante la variabile casuale continua, ma solo per quanto riguarda intervalli e non un singolo valore x_0 .

Per determinare le probabilità di verificarsi degli stati della natura identificati precedentemente, è necessario utilizzare, quindi, degli intervalli della serie di disponibilità di acqua, che possiamo identificare come segue:

1. il limite inferiore è rappresentato dal valore minimo assunto dalla serie, mentre quello superiore dal valore limite individuato in precedenza per lo stato 1: $M - M \cdot X(\%)$
2. l'intervallo è delimitato dai valori limite individuati per lo stato 2: $M - M \cdot X(\%)$ e $M + M \cdot X(\%)$
3. il limite inferiore è rappresentato dal valore limite dello stato 3: $M + M \cdot X(\%)$, mentre quello superiore dal valore massimo assunto dalla serie.

I rispettivi valori di probabilità saranno:

1. $\Pr(X_{\min} \leq X \leq M - MX) = \int_{M-MX}^{X_{\min}} f(x)dx$
2. $\Pr(M - MX < X < M + MX) = \int_{M+MX}^{M-MX} f(x)dx$
3. $\Pr(M + MX \leq X \leq X_{\max}) = \int_{X_{\max}}^{M+MX} f(x)dx$

Attraverso il software @Risk[®] è possibile stimare la funzione di densità della disponibilità di acqua sulla base dei dati disponibili. Il software stima quale funzione di densità, tra le molte disponibili, si adatta meglio ai dati, sulla base di un test sulla bontà di adattamento (Goodness Of Fit Test: GOF) basato sulla statistica-test del tipo Chi-quadrato, la quale verifica l'ipotesi nulla che la funzione stimata sia quella che si adatta meglio ai dati contro qualsiasi altra funzione (ipotesi alternativa). Per poter applicare il test i dati devono essere organizzati in k categorie, a cui sono associate il numero di casi osservati nei dati per ciascuna categoria (N_i) e il numero di casi attesi nel caso in cui l'ipotesi nulla fosse vera (E_i). Le categorie sono specificate in modo da avere uguali intervalli di probabilità nella distribuzione stimata e quindi, generalmente, hanno ampiezze differenti.

La statistica-test di tipo Chi-quadrato è definita come segue:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i}$$

con $(k-1)$ gradi di libertà.

Nel caso in cui la serie dei dati di disponibilità di acqua per il settore agricolo non fosse sufficiente per ottenere una funzione di densità, è possibile, operando per via statistica, ampliare la serie a disposizione. In particolare, è possibile utilizzare un modello di regressione lineare multipla in cui la variabile dipendente (disponibilità di acqua) viene spiegata da più variabili esplicative che possono essere rappresentate, ad esempio, da variabili climatiche come temperatura o piovosità. Se di queste ultime serie si dispone di valori che non appartengono alle osservazioni impiegate per stimare il modello, è possibile calcolare valori che, presumibilmente, si ritiene possa assumere la variabile dipendente, in modo da incrementare i dati a disposizione per ottenere più correttamente la funzione di densità della disponibilità di acqua.

Nel modello di regressione lineare multipla (Cappuccio et al, 2005) la variabile dipendente y è spiegata da k variabili esplicative x . Su tutte queste variabili sono disponibili n osservazioni, che per la prima sono rappresentate da un vettore con n componenti, mentre per le seconde si ha una matrice con n righe e k colonne ($n \geq k$). I parametri che legano le due variabili sono rappresentati dai coefficienti della regressione β . In forma matriciale il modello può essere scritto come segue:

$$\mathbf{Y} = \beta\mathbf{X} + \mathbf{e}$$

in cui e rappresenta il vettore della variabile casuale errore.

Le ipotesi classiche del modello di regressione lineare multipla sono le seguenti:

1. Linearità: la relazione tra X ed Y è di natura lineare
2. Omoschedasticità: la varianza è costante al variare di X
3. Incorrelazione subordinata: Le y_i sono tra loro incorrelate
4. Rango pieno: le colonne della matrice X sono linearmente indipendenti e il rango è pari a k . (Per rango della matrice X si intende il numero massimo di righe e colonne linearmente indipendenti)
5. Il valore medio della variabile casuale errore è nullo
6. Gli errori hanno varianza pari a σ^2
7. Gli errori sono incorrelati tra loro

Se le ipotesi che stanno alla base del modello di regressione non sono soddisfatte, è possibile utilizzare modelli più generali, che permettono di rimuovere, di volta in volta, tali assunzioni. Tuttavia è anche possibile operare attraverso trasformazioni delle variabili che rendono possibile soddisfare le ipotesi.

1. In primo luogo è indispensabile garantire la stazionarietà delle serie, sia in media che in varianza. Per ottenere questo risultato è necessario standardizzare la serie, togliendo le componenti stagionali, se i dati hanno una periodicità intra-annuale:

$$X_{DES_{i,j}} = \frac{X_{OSS_{i,j}} - \mu_i}{\sigma_i}$$

in cui:

X_{DES} : serie dei valori destagionalizzati

X_{OSS} : serie dei valori osservati

μ : media mensile dei valori della serie osservata (stagionalità in media)

σ : deviazione standard mensile della serie osservata (stagionalità in varianza)

i : mesi

j : anni.

Le componenti stagionali dovranno essere aggiunti successivamente ai valori stimati dal modello.

2. In secondo luogo è necessario eseguire una trasformazione normalizzante sulle variabili del modello in grado di accentuare le caratteristiche di simmetria e unimodalità, in modo da poter considerare la serie osservata come realizzazione di un processo Gaussiano, omoschedastico e lineare, per il quale sono valide proprietà inferenziali ottimali. Infatti, questo rende gli stimatori dei parametri efficienti e sufficienti, in quanto stimatori di Massima Verosimiglianza. Tale obiettivo può essere perseguito impiegando la procedura di Box e Cox (1964), che si basa su alcune famiglie di trasformazioni di potenze, di cui la più diffusa è:

$$Y_{tras} = \begin{cases} \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda} & \text{per } \lambda \neq 0 \\ \log(Y) & \text{per } \lambda = 0 \end{cases}$$

con λ che varia da -3 a +3.

Il valore di λ che meglio normalizza la distribuzione è quello che rende massima la funzione di log-verosimiglianza:

$$\log L(\lambda; y) = \frac{n-1}{2} \log(\sigma_{TRAS}^2) + (\lambda - 1) \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

dove σ_{TRAS}^2 rappresenta la varianza dei dati trasformati.

Tale trasformazione va applicata a tutte le serie di dati nella loro interezza; di queste una parte verrà impiegata nel modello di regressione, mentre una parte sarà utilizzata per fare previsione. Ai dati ottenuti va poi applicata la procedura inversa di trasformazione.

CAPITOLO 3

DESCRIZIONE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

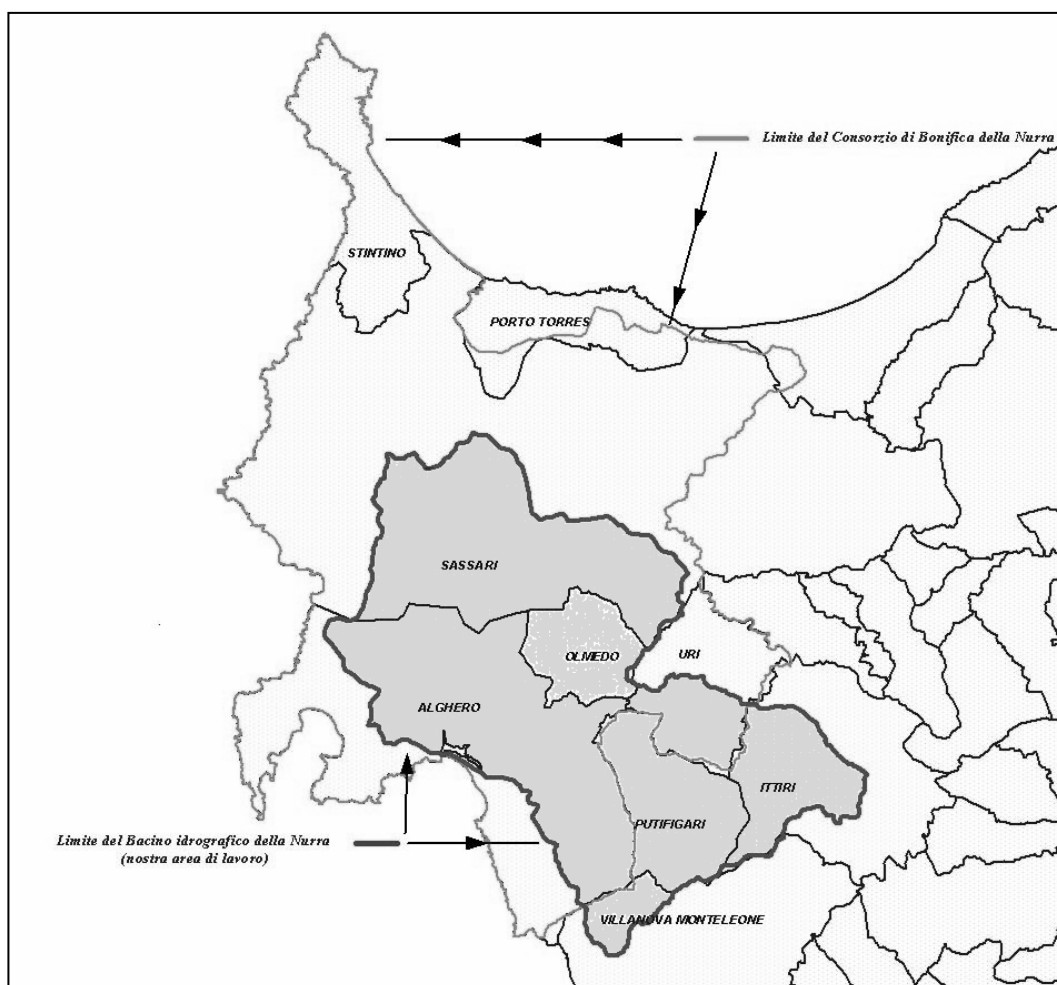
Il presente capitolo prende in esame le principali caratteristiche strutturali, socio-economiche ed ambientali dell'area oggetto di studio, sulla quale è stato costruito ed applicato un modello di Programmazione Stocastica Discreta in cui la variabile aleatoria è rappresentata dalla disponibilità di risorsa idrica da parte degli agricoltori. Molte delle informazioni necessarie per questa analisi derivano da un precedente lavoro svolto da Dono et al. (2008), in cui viene applicato un modello di Programmazione Lineare per fornire prima alcune indicazioni sulla redditività e su vari altri aspetti dell'attività agricola dell'area nella situazione di base, data dall'anno 2004, ed in seguito per svolgere due simulazioni: la prima permette di stimare gli impatti della recente Riforma Fischler della Politica Agricola Comunitaria e la seconda consente di valutare gli effetti associati ad una variazione dei pagamenti richiesti per la fornitura dell'acqua consortile (come previsto dalla Direttiva CE 2000/60). Per svolgere tale lavoro è stato necessario svolgere un'approfondita raccolta dati, in modo da descrivere in maniera corretta e sufficientemente dettagliata l'intera area. Tali dati sono stati reperiti sia ricorrendo a fonti ufficiali, ossia il Censimento ISTAT dell'agricoltura del 2000 e il database della Rete di Informazione Contabile Agricola (RICA), sia utilizzando i dati del software cartografico CASI 4, sia con indagini di campo basate su interviste ad agricoltori e colloqui con agronomi, tecnici e funzionari di organizzazioni che operano nel territorio. Un'altra fonte importante è stato il Consorzio di Bonifica.

3.1 Delimitazione dell'area oggetto di studio

L'area oggetto del presente studio è localizzata nella Nurra sarda, un territorio che si trova nel nord-ovest della Sardegna, in corrispondenza del bacino idrografico del Cuga. Questo bacino si sovrappone parzialmente con il territorio di

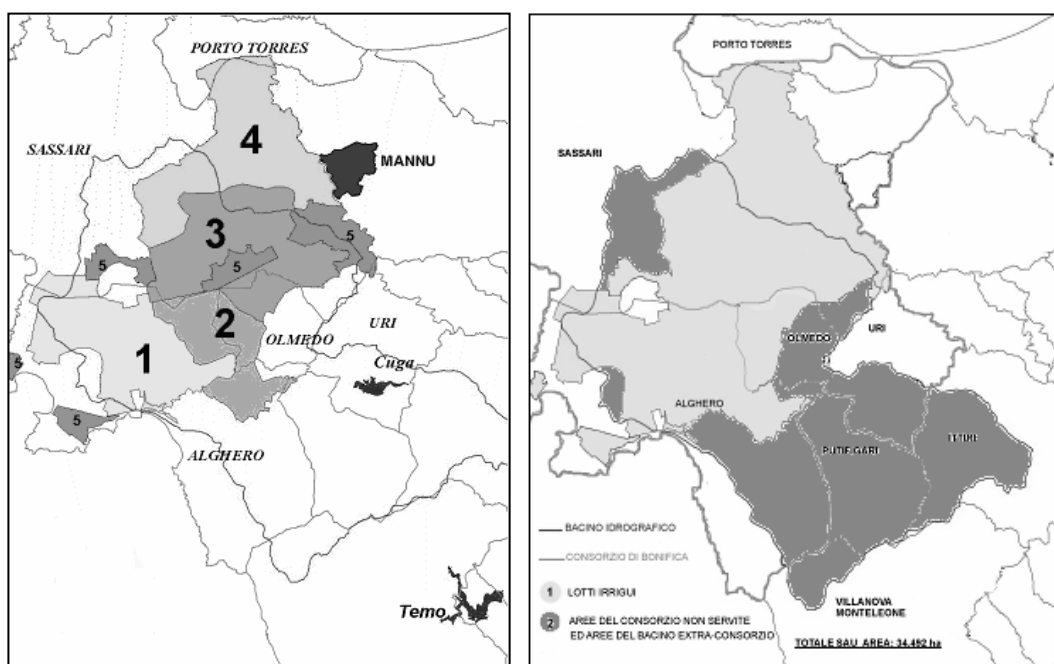
competenza del Consorzio di Bonifica della Nurra. Più precisamente, il bacino idrografico comprende anche dei territori che non entrano a far parte della perimetrazione del Consorzio di Bonifica e, come tali, non hanno la possibilità di utilizzare l'acqua consortile. Questi territori ricadono nei Comuni di Villanova Monteleone, Putifigari e Ittiri. Ne deriva che all'interno del bacino idrografico vi è una distinzione fra aree che dispongono di risorse idriche a scopo irriguo che sono distribuite dalla rete consortile ed aree extra-consortili che non dispongono di tali risorse idriche. Questa distinzione determina delle differenze nella struttura dell'agricoltura della quale si è dovuto tener conto nella fase di costruzione del modello. La figura 3.1 mostra la perimetrazione del bacino idrografico e del Consorzio di bonifica.

Fig. 3.1: Delimitazione del Consorzio di Bonifica della Nurra e del Bacino idrografico



Un problema che si è presentato in sede di definizione dell'area di studio è stato quindi la presenza di lotti irrigui al di fuori del bacino idrografico. Il 33% circa della SAU irrigata da acque consortili, infatti, si colloca esternamente al bacino. La figura 3.2 mostra la delimitazione dei lotti irrigui del Consorzio di Bonifica: come si nota, le condotte consortili arrivano fino a Porto Torres mentre questo non avviene per la delimitazione del bacino idrografico.

Fig. 3.2: Delimitazione dei lotti irrigui del Consorzio di Bonifica e del bacino idrografico



I lotti del Consorzio sono sei, tra questi il lotto Mannu non usa però l'acqua del sistema Temo-Cuga e così è stato escluso dall'area di studio. La tabella 3.1 indica per ogni lotto la superficie totale, la SAU e la relativa superficie d'appartenenza ad ogni Comune dell'area. La SAU dei lotti I e II è compresa quasi interamente nel Comune di Alghero mentre i lotti III, IV e V interessano soprattutto il Comune di Sassari. Nel raggruppamento "altri" rientrano Uri e Usini (dove si localizzano delle porzioni del V lotto), e Putifigari (dove si localizzano superfici del II lotto). Vista però l'esiguità di tali aree e la mancanza di condotte, si è deciso di non considerarle, allo stesso modo si è escluso il lotto Mannu che preleva acque direttamente dal fiume Mannu e non tramite le condotte consortili.

Tab. 3.1: SAU per ogni Comune nei diversi lotti del Consorzio irriguo della Nurra (ha)

Lotto			Distribuzione della SAU nei diversi Comuni				
	Superficie	SAU	Sassari	Alghero	Olmedo	P. Torres	Altri
Lotto I	6.523	5.622	402	5.220			18
Lotto II	3.570	3.301	65	2.376	841		18
Lotto III	6.531	5.930	5.055	64	811		
Lotto IV	7.270	6.703	6.433			270	
Lotto V	3.330	2.922	2.381	510			31
Lotto Mannu	900	806	806				
Totale	28.124	25.283	15.141	8.170	1.653	270	49

Fonte: Dono et al. (2008)

Fatte queste premesse, si è deciso di considerare nell'analisi socio-economica l'area risultante dalla sovrapposizione tra il bacino idrografico e i lotti irrigui. All'interno di tale macro-area si è operata una suddivisione tra superficie consortile e non consortile (Figura 3.2, mappa a destra) e l'unico fattore per la differenziazione è stata la presenza delle condotte del Consorzio. Non è stato possibile considerare separatamente i lotti del Consorzio. La loro suddivisione, infatti, non dipende dalle caratteristiche tecniche degli impianti o dalla zona, ma è stata fatta su base storica, con progetti esecutivi realizzati in tempi diversi sulla base dei finanziamenti disponibili nei vari periodi. Complessivamente l'area di studio ha una SAU di 34.492 Ha, di cui 26.195 costituiscono la superficie del bacino idrografico.

L'attribuzione di superfici ed aziende utilizzando le percentuali di appartenenza di ogni singolo Comune all'area di competenza dello studio mette in evidenza le seguenti percentuali di SAU interna ed esterna al bacino idrografico; il Comune di Porto Torres è stato escluso perché la sua percentuale di appartenenza era irrisoria:

Tab. 3.2: Collocazione delle superfici dei Comuni nel Bacino idrografico

COMUNE	ETTARI TOTALI	SAU TOTALE	ETTARI BACINO	SAU BACINO	% SAU interna
Alghero	22.320	13.401	13.733	9.726	62
Ittiri*	11.144	5.139	4.301	1.072	39
Olmedo	3.347	2.244	3.316	2.244	99
Putifigari*	5.309	1.373	5.285	1.362	100
Sassari	54.666	40.705	12.855	10.366	24
Uri	5.681	3.197	2.509	1.229	44
Villanova Monteleone*	20.256	6.872	1.317	196	7

Fonte: Dono et al. (2008): *Comuni non facenti parte del Consorzio ma nel bacino idrografico

Le diverse tipologie aziendali presenti nell'area sono le seguenti:

Tab. 3.3: Tipologie aziendali individuate

Codice	Descrizione della tipologia
BOVGCP	Bovini- aziende grandi dimensioni con pozzi
BOVMPCP	Bovini- aziende medio-piccole dimensioni con pozzi
MISG	Miste- aziende grandi dimensioni
MISM	Miste- aziende medie dimensioni
MISP	Miste- aziende piccole dimensioni
OLIGMCP	Olivicoltura- aziende medio-grandi dimensioni- con pozzi
OLIPCP	Olivicoltura- aziende piccole dimensioni- con pozzi
ORTGMCP	Orticoltura- aziende medio-grandi dimensioni- con pozzi
ORTPCP	Orticoltura- aziende piccole dimensioni- con pozzi
OVIGMCP	Ovini- aziende medio-grandi dimensioni-con pozzi
OVIPCP	Ovini- aziende piccole dimensioni- con pozzi
VITGCP	Viticoltura- aziende grandi dimensioni- con pozzi
VITMPCP	Viticoltura- aziende medio-piccole dimensioni- con pozzi

La tabella seguente riporta per ciascuna tipologia e per ciascuna area analizzata le ore di lavoro familiare part time, full time e il lavoro esterno fisso utilizzate in ciascun anno:

Tab. 3.4: Ore di lavoro per tipologia rappresentativa

	Aziende dentro al Consorzio (AREA 1)			Aziende fuori Consorzio (AREA 2)		
	Familiare Part-time	Familiare Full time	Lavoro est. fisso	Familiare Part-time	Familiare Full time	Lavoro est. fisso
BOVGCP	0	6.138	0	0	79	0
BOVMPCP	0	1.841	0	0	591	0
MISG	149	1.023	126	0	5.610	0
MISM	17.844	18.131	16.888	0	18.245	0
MISP	18.064	18.209	17.114	0	14.232	0
OLIGMCP	1.717	1.226	1.452	921	1.841	779
OLIPCP	1.717	1.226	1.452	921	2.311	779
ORTGMCP	0	6.131	0	0	3.678	0
ORTPCP	0	3.706	0	0	3.173	0
OVIGMCP	307	1.432	259	0	1.741	0
OVIPCP	307	2.220	259	0	1.373	0
VITGCP	0	3.819	0	0	473	0
VITMPCP	0	1.369	0	0	2.379	0

Fonte: Dono et al. (2008)

3.2 I dati sulle caratteristiche dell'agricoltura e sugli allevamenti della Nurra

3.2.1 Settore agricolo

In linea generale, nei Comuni rientranti nell'area oggetto di studio, il 53% della SAU è costituita da cereali, seguiti dai prati e pascoli (36%) e dalle colture legnose agrarie (11%). Le superfici a seminativi e le coltivazioni legnose agrarie sono concentrate per buona parte nel Comune di Sassari (62% e 48% rispettivamente) mentre per quanto riguarda i prati e pascoli Villanova Monteleone possiede le maggiori estensioni (42%) sebbene aree pascolive importanti si localizzino anche a Sassari (23%) e a Ittiri (17%). Da non trascurare anche la percentuale di colture legnose agrarie presente nel Comune di Alghero (32%). Le superfici boscate si concentrano per la maggior parte nei Comuni di Putifigari, Uri e Villanova Monteleone (globalmente raggruppano l'80% dei boschi totali). Oltre all'utilizzazione del suolo, è stato definito anche il numero di aziende per ciascuna classe dimensionale e da questa indagine è emerso che si tratta di una realtà agricola piuttosto frammentata. E' risultato che ben il 73%

delle aziende ha dimensioni inferiori ai 2 ha. Pertanto, ai fini dell'indagine, è risultato più comodo accorpare le classi dimensionali in categorie di maggiori dimensioni:

- aziende piccole: estensioni inferiori a 5 ha
- aziende medie: estensioni tra 5 e 20 ha
- aziende grandi: estensioni superiori a 20 ha.

Nell'80% di aziende facenti parte del raggruppamento delle aziende piccole si concentra meno del 10% della SAU totale; nel 10% delle aziende medie si concentra il 15% della SAU; nel 9% delle aziende grandi si concentra il 76% della SAU. Aziende di una certa importanza in termini dimensionali si trovano nei Comuni di Ittiri, Sassari e Villanova Monteleone, che tra l'altro sono anche i Comuni in cui si trovano le percentuali maggiori di prati e pascoli (17%, 23% e 42% rispettivamente).

Ciascuna delle tipologie aziendali individuate si caratterizza per la presenza di un ben determinato ordinamento colturale che per essere svolto necessita di tecniche ben precise, di una certa quantità di lavoro, di un certo calendario colturale e di precisi fattori produttivi. In pratica per ogni tipologia esistono più schede tecniche che rappresenterebbero i processi aziendali utili a portare avanti il ciclo produttivo. Considerando le tipologie definite per la Nurra e gli orientamenti produttivi di massima di ciascuna di esse, sono stati definiti i seguenti ordinamenti colturali:

Tab. 3.5: Elenco delle tecniche culturali per la Nurra

Coltura	Prodotto	Tecnica di coltivazione	Tecnica
Frumento duro (1)	granella	Pieno campo – Convenzionale	No Irr.
Frumento duro (2)	granella	Pieno campo – Convenzionale	No Irr.
Frumento duro (1)	granella	Pieno campo – Biologico	No Irr.
Frumento duro (2)	granella	Pieno campo – Biologico	No Irr.
Orzo (1)	granella per uso zootecnico	Pieno campo – Convenzionale	No Irr.
Orzo (2)	granella per uso zootecnico	Pieno campo – Convenzionale	No Irr.
Avena (1)	foraggi affienati	Pieno campo – Convenzionale	No Irr.
Avena (2)	foraggi affienati	Pieno campo - Convenzionale	No Irr.
Loietto	foraggi freschi, affienati	Pieno campo - Convenzionale	No Irr.
Loietto	foraggi freschi, affienati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Medica (1)	foraggi affienati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Medica (2)	foraggi affienati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Pascolo	pascolo	Semispontaneo misto vecchia-avena	No Irr.
Trifoglio Ladino	foraggi affienati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Trifoglio Ladino	foraggi affienati	Pieno campo - Convenzionale	No Irr.
Erbaio autunno-vernino (misto) (1)	foraggi freschi, affienati	Pieno campo - Convenzionale	No Irr.
Erbaio autunno-vernino (misto) (2)	foraggi freschi, affienati	Pieno campo - Convenzionale	No Irr.
Mais da granella 700	granella	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Mais da foraggio 600	insilati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Mais da foraggio 400	insilati	Pieno campo - Convenzionale	Irr
Pomodoro (1)	da mensa	Pieno campo	Irr
Pomodoro (2)	da mensa	Pieno campo	Irr
Pomodoro	da mensa	Serra	Irr
Carciofo (1)	capolini	Pieno campo	Irr
Carciofo (2)	capolini	Pieno campo	Irr
Anguria	frutto fresco	Pieno campo	Irr
Melone	frutto fresco	Pieno campo	Irr
Olivo	Olio	Convenzionale - Specializzato - raccolta manuale	No Irr.
Olivo	Olio	Convenzionale - Specializzato - raccolta meccanica	No Irr.
Olivo	Olio	Convenzionale - Specializzato - raccolta manuale	Irr
Olivo	Olio	Convenzionale - Specializzato - raccolta meccanica	Irr
Olivo	Olio	Biologico - Specializzato - raccolta manuale	No Irr.
Olivo	Olio	Biologico - Specializzato - raccolta meccanica	No Irr.
Olivo	Olio	Biologico - Specializzato - raccolta manuale	Irr
Olivo	Olio	Biologico - Specializzato - raccolta meccanica	Irr
Vite	Vino	Filare non meccanizzato - Cannonau e Cagnulari	No Irr.
Vite	Vino	Filare non meccanizzato - Vermentino	No Irr.
Vite	Vino	Filare non meccanizzato - Cannonau e Cagnulari	Irr
Vite	Vino	Filare non meccanizzato - Vermentino	Irr
Vite	Vino	Filare meccanizzato - Cannonau e Cagnulari	Irr
Vite	Vino	Filare meccanizzato - Vermentino	Irr
Vite	Vino	Pergola sarda meccanizzato - Cannonau e Cagnulari	Irr
Vite	Vino	Pergola sarda meccanizzato - Vermentino	Irr
Pesco e altri fruttiferi	pesche e frutta	Convenzionale - pesca a polpa bianca - Maria Bianca	Irr

3.2.2 Settore zootecnico

Per quanto riguarda gli allevamenti, invece, le dimensioni delle aziende non si sono basate sull'estensione della SAU, quanto sul numero dei capi allevati.

BOVINI

- 0-15 capi: piccole
- 15-30 capi: medie
- oltre 30 capi: grandi

OVINI

- 0-300 capi: piccole
- 300-600 capi: medie
- oltre 600 capi: grandi

In merito alla consistenza degli allevamenti, sia in termini di numero di aziende che di numero di capi, non risultano esser presenti aziende con capi bufalini nei comuni oggetto di studio mentre in alcuni comuni è particolarmente importante l'allevamento ovino e bovino. Il 45% delle aziende con allevamenti ovini e il 44% del numero dei capi si trovano nel Comune di Sassari.

Nel territorio insistono importanti realtà ovine e bovine, sia dentro che fuori il Consorzio irriguo. Per quanto riguarda le prime, al di là della differenziazione in termini numerici della dimensione del gregge, sono state individuate due tipologie di aziende. Nelle aree silvicolture e in quelle marginali, prevalgono le aziende "tradizionali", basate su modelli semiestensivi ed estensivi, con un gregge costituito da pochi capi che per l'alimentazione sfruttano quasi esclusivamente i pascoli. Tali aziende sono fortemente dipendenti dagli andamenti climatici per quanto riguarda gli aspetti nutrizionali. C'è comunque da sottolineare che le aziende piccole (quelle con un numero di capi inferiore alle 100 unità) sono diminuite notevolmente nel corso del tempo. Attualmente il grosso degli allevamenti ha una dimensione media che si aggira intorno ai 200-300 capi. Nelle aree agricole più pianeggianti esistono invece realtà molto interessanti, con aree irrigue consortili che consentono la coltivazione di foraggiere per l'alimentazione animale. Le greggi sono più numerose e buona parte delle operazioni meccanizzate.

Da un punto di vista tecnico, la differenza fra gli allevamenti situati in zone irrigue e quelli delle aree più asciutte è che nei primi è possibile effettuare colture pluriennali (es. il trifoglio o l'erba medica), che possono dare elevate rese sul prodotto tal quale o affienato. Questo significa anche avere rese per capo nelle aree irrigue maggiori rispetto a quelle non irrigue. Le aziende che utilizzano prati irrigui, a differenza di quelle che coltivano erbai, sono molto poche. Esistono invece tante aziende che fanno erbai associati a una piccola superficie aziendale di pascolo naturale. Come dimensionamento terriero delle aziende ovine si va da 10 ha di quelle più piccole (estensione questa arrivata oggi a circa 20 ha) fino a 130-160 ha delle aziende più grandi. Le aziende che prendono terreno in affitto sono poche.

Per quanto riguarda gli allevamenti bovini, nel territorio coesistono sia allevamenti da carne che da latte (i primi sono più diffusi dei secondi, concentrati in linea di massima solo all'interno dell'area consortile). Anche in questo caso esistono due realtà diverse. Nel nord del sassarese e fino a Porto Torres esistono poche grandi realtà con un elevato numero di capi, mentre nella restante parte dell'area consortile, le ex-aziende del Consorzio (che negli anni hanno subito uno spinto frazionamento) non presentano più di 12-20 ha di estensione con un numero di capi limitato. La tabella seguente indica le diverse tipologie zootecniche presenti nella zona.

Tab. 3.6: Elenco delle tipologie zootecniche per la Nurra

Tipologia	Prodotto	Dimensioni	Tecnica d'allevamento	Tecnica irrigua
Bovino da latte	latte	medie	stabulazione libera - unifeed	Irrigato
Bovino da latte	latte	grandi	stabulazione libera - unifeed	Irrigato
Bovino da carne	carne	medie	stato brado	Non irrigato
Ovino da latte	latte	medie	stabulazione libera	Non irrigato
Ovino da latte	latte	medie	stabulazione libera	Irrigato
Ovino da latte	latte	piccole	stabulazione libera	Non irrigato
Ovino da latte	latte	piccole	stabulazione libera	Irrigato

3.3 Il Sistema Temo-Cuga e il calcolo delle sue disponibilità idriche

Le condotte consortili fanno parte del *Sistema Temo-Cuga* e si estendono per circa 162 km su una superficie attrezzata di 21.043 ha. Il Cuga ha una capacità di 30 milioni di mc mentre il Temo di 54 milioni di mc. La superficie potenzialmente irrigabile in condizioni normali è di 4.000 ha e sono servite dalla rete circa 2.900 aziende.

Dal Cuga, la maggior parte dell'acqua viene distribuita alle aziende per gravità mentre una parte importante viene sollevata grazie alla presenza di vasche di sollevamento. Circa i 2/3 del comprensorio sono serviti da vasche di sollevamento, il che incide sia sui costi del Consorzio che su quelli delle utenze. Non viene fatta, però, nessuna distinzione sulle tariffe e i costi del sollevamento vengono spalmati tra tutti gli utenti. La tabella seguente riporta il dato riguardante le superfici irrigate a gravità e quelle servite da impianti di sollevamento insieme con il volume di acqua distribuito nei due casi nel 2004.

Tab. 3.7: Acqua distribuita per gravità e per sollevamento nei lotti del Consorzio (2004)

Impianto	ha concessi	m ³ concessi (.000)	m ³ /ha	% ha	% m ³
Gravità	2.682	13.951,7	5.202	59%	52%
Sollevamento	1.834	13.028,1	7.104	41%	48%
<i>Badde Funtana</i>	67	449,3	6.706	1%	2%
<i>Bancali</i>	245	1.641,1	6.698	5%	6%
<i>Brunestica</i>	133	934,1	7.023	3%	3%
<i>Campanedda</i>	486	3.494,9	7.191	11%	13%
<i>Donna Ricca</i>	423	3.143,2	7.431	9%	12%
<i>Monte Uccari</i>	480	3.365,4	7.011	11%	12%
Totale	4.516	26.979,8	5.974	100%	100%

Fonte: Dono et al. (2008)

L'uso dei suoli in ogni lotto è prevalentemente agricolo, se si considera che la percentuale della SAU sulla superficie totale di ciascuno è mediamente del 90%.

L'acqua del *Sistema Temo-Cuga*, oltre che per scopi irrigui, è utilizzata anche per scopi potabili. La coesistenza di un duplice utilizzo dell'acqua e di fonti

di approvvigionamento alternative utilizzate nei periodi maggiormente siccitosi ha complicato la fase di ricostruzione delle disponibilità di acqua per l'agricoltura nei diversi anni. I dati della tabella 3.8, forniti direttamente dal Consorzio, mostrano i prelievi per l'idropotabile relativi alle uscite dal Cuga e dal Temo effettuate dall'ESAF (Ente Sardo Acquedotti e Fognature) per rifornire rispettivamente la zona di Alghero e la zona del Marghine e della Planargia. Dal 2003 il Consorzio non fornisce più acqua per usi potabili per il comune di Alghero che prende l'acqua direttamente dal Coghinias. Dal Temo ci sono inoltre altre due uscite: una verso Bosa (per uso potabile) e l'altra verso l'invaso del Bidighinzu in corrispondenza di una vasca di sollevamento.

Tab. 3.8: Volume di acqua distribuito in relazione alla destinazione d'uso (milioni di mc)

Utilizzo	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Irriguo	33,42	31,63	2,32	23,18	39,10	11,09	14,67	3,10	27,48	10,78	25,26
Idropotabile	11,17	11,33	10,89	12,79	12,74	13,20	14,00	14,34	20,35	19,69	8,08

Fonte: Consorzio di Bonifica della Nurra

Come si vede dalla tabella, in alcuni anni (1995, 2000 e 2002) i prelievi per il potabile, prioritari rispetto a quelli per l'agricoltura, hanno condizionato le disponibilità per le colture nella Nurra. In tali periodi, infatti, il Commissario per l'Emergenza Idrica non autorizzava le richieste degli agricoltori creando notevoli problemi.

Per quanto riguarda le tariffe applicate dal Consorzio, la tabella 3.9 mostra la tariffa ad ettaro/coltura per l'esercizio irriguo 1999-2001.

Tab. 3.9: Tariffe per categoria culturale del Consorzio di Bonifica della Nurra

Gruppo coltura	1999	2000	2001
A	€ 206,6	€ 309,9	€ 206,6
B	€ 149,8	€ 224,7	€ 149,8
C			€ 56,8
Carciofo	€ 258,2	€ 387,3	€ 258,2
Carciofo a goccia	€ 180,8	€ 271,1	€ 180,8

Fonte: Dono et al. (2008)

A partire dal 2002 il Consorzio applica la tariffa sulla base degli effettivi consumi e il suo ammontare è pari a 0,03 €/mc.

L'analisi dei dati consortili riguardanti la risorsa idrica si è chiusa con la ricostruzione delle disponibilità medie di acqua per l'agricoltura provenienti dal Sistema Temo-Cuga per ciascun mese della campagna irrigua, ricostruite basandosi sulle variazioni volumetriche dei due bacini, sulla stima delle evaporazioni e sulle quantità di acqua fuoriuscite mensilmente per l'idropotabile.

La serie storica di dati messi a disposizione dal Consorzio comprendeva il periodo 1992-2003. L'acqua a disposizione per l'agricoltura per ciascun anno è stata calcolata con la seguente operazione:

acqua a disposizione per l'agricoltura = variazioni di livello Cuga + variazioni di livello Temo - prelievi da fonti alternative (Mannu, Surigheddu, Coghinas) – cessioni per consumi idropotabili – evaporazioni

Dividendo l'acqua a disposizione per l'agricoltura per gli ettari dichiarati nelle domande presentate dagli agricoltori si ottiene la quantità di mc di acqua ad ettaro potenzialmente distribuibile ogni anno in base alle risorse disponibili. E' in base a tale risultato che il Consorzio calcolava l'acqua da distribuire alle colture con diverso fabbisogno, per lo meno fino a quando i pagamenti sono stati effettuati per ettaro/coltura. Più precisamente le colture erano raggruppate in 3 classi:

- Colture ad elevato fabbisogno idrico (classe A, 8.000 mc/ha/anno): carciofo, colture foraggere avvicendate, colture floreali in pieno campo, barbabietola primaverile, mais, medica, pomodoro, prati polifiti e monofiti, sorgo, riso, colture ortive, oleaginose
- Colture a medio fabbisogno idrico (classe B, 3.500 mc/ha/anno): frutteti, colture forestali, barbabietola autunnale, erbai autunno-vernini, olivo, vigneti e ortive a goccia, colture protette
- Colture a basso fabbisogno idrico (classe C, 2.500 mc/ha/anno): colture irrigate a goccia ad eccezione delle ortive a goccia.

Nel 2004, 1.022 ha di colture irrigate sono state considerate di classe A, 2.651 ha di classe B e 842 ha di classe C. Il 79% della risorsa idrica è stata distribuita tra le colture della classe B.

Le aziende dell'area oggetto di studio, oltre a prelevare acqua dal Consorzio, hanno utilizzato risorse idriche provenienti dai pozzi. Complessivamente, si sono individuati 82 pozzi, tutti localizzati nell'area del bacino idrografico e tutti utilizzati per uso irriguo e zootecnico. Sono stati esclusi dallo studio i pozzi in disuso e quelli utilizzati per usi civili. Per rappresentare anche l'area consortile esterna al bacino idrografico è stato aumentato il numero dei pozzi in proporzione alle superfici esterne al bacino, cosicché il loro numero totale è salito a 107. Le caratteristiche tecniche di questi altri pozzi sono state definite basandosi sui risultati di alcune interviste svolte ad un campione di aziende che operano in quell'area. In tal modo il modello ha potuto rappresentare due raggruppamenti di pozzi, uno interno e l'altro esterno all'area consortile che presentano specifiche peculiarità e sono distribuiti tra le diverse tipologie aziendali, sia colturali che zootecniche.

CAPITOLO 4

ANALISI DELLE PRINCIPALI COMPONENTI CLIMATICHE

Il presente capitolo analizza alcune delle principali componenti climatiche dell'area oggetto di studio. In particolare, si considerano le serie di precipitazione e temperatura media per osservare, da una parte, l'andamento generale delle serie e, dall'altra, la variabilità dei fenomeni. Alla luce di quanto emerso, si è cercato inoltre, di fornire alcune indicazioni in merito all'andamento della disponibilità di acqua a livello di bacino e di quella fornita dal Consorzio nei vari anni.

4.1 Analisi delle serie storiche

Le principali componenti climatiche (piovosità e temperatura media) sono state analizzate utilizzando i dati forniti dall'UCEA di Roma, per un periodo di 43 anni, dal 1961 al 2003. Si tratta di dati mensili, per un totale di 516 osservazioni. Per quanto riguarda l'ammontare di risorsa idrica presente a livello di bacino e quella distribuita dal Consorzio agli agricoltori, i dati sono stati forniti direttamente dal Consorzio di Bonifica della Nurra. In questo caso si tratta di serie storiche di dati mensili di 12 anni, dal 1992 al 2003, per un totale di 144 osservazioni.

Su tali dati è possibile eseguire due ordini di considerazioni: la prima sull'evoluzione di lungo periodo dei fenomeni, per osservare se è presente un andamento generale delle serie, ossia un trend, la seconda sulla variabilità dei fenomeni, in quanto si potrebbe avere un trend costante ma in presenza di fenomeni più variabili. Tale aspetto viene colto dall'analisi dei residui della serie ottenuti dalla sua decomposizione.

L'analisi delle serie storiche di precipitazione e temperatura media è stata condotta effettuando una decomposizione considerando un effetto moltiplicativo tra le varie componenti (Spiegel, 1973):

$$X = T * S * C * \varepsilon$$

in cui:

X: serie osservata

T: Trend, calcolato con il metodo dei minimi quadrati e considerato lineare.

S: Stagionalità, valutata calcolando la mediana per mese sui valori percentuali ottenuti dal rapporto tra ciascun valore della serie e la media per anno.

C: Ciclo, è stato trascurato in quanto si è assunto che non sia presente in fenomeni di tipo climatico.

ε: Residui, valutati detrendizzando e destagionalizzando la serie osservata. In questi valori ricadono eventi casuali ed aleatori non attribuibili ai fenomeni precedenti. Questa componente è in grado di fornire utili informazioni in merito alla variabilità dei fenomeni. Per valutare tale variabilità è stata calcolata la Deviazione Standard per ciascun anno, di cui si è fatta una media mobile a 3 anni, in grado di eliminare le asperità della serie ottenuta.

Per quanto riguarda la serie di risorsa idrica disponibile a livello di bacino, l'analisi è stata condotta sui valori medi annui, mentre per quella relativa all'acqua fornita dal Consorzio per uso agricolo sono stati considerati i valori totali annuali. In tale modo è possibile valutare se le variazioni degli andamenti delle serie di precipitazione e temperatura e gli incrementi di variabilità influiscono sull'ammontare della quantità di acqua presente mediamente a livello di bacino e su quella che il Consorzio distribuisce annualmente agli agricoltori.

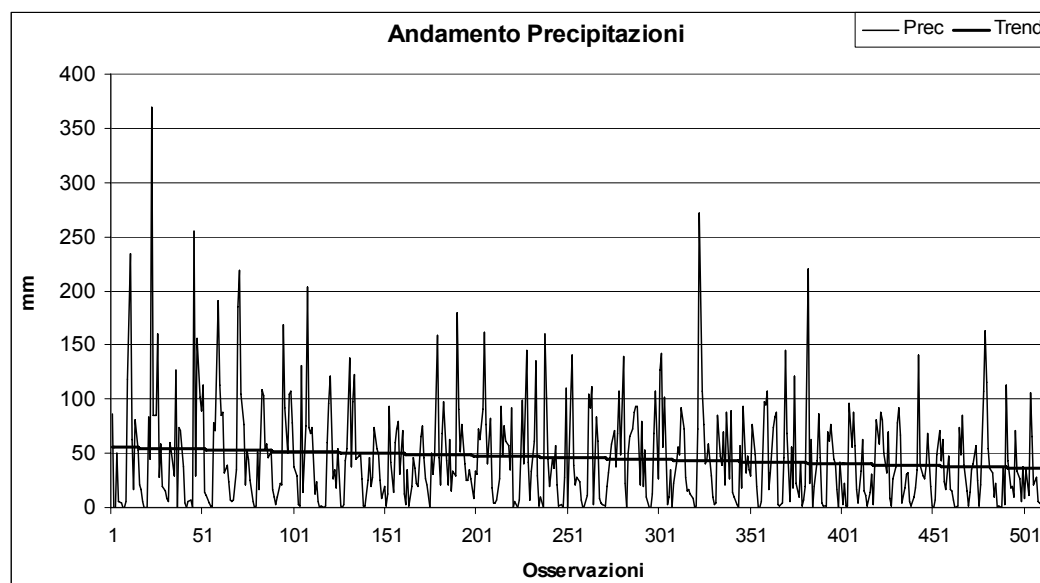
4.1.2 Precipitazioni

L'andamento delle precipitazioni mensili evidenzia che, nel periodo di osservazione, si è avuta una lenta ma costante diminuzione, come mostra il trend della serie (Fig. 4.1):

$$Y = - 0,0381X + 55,65$$

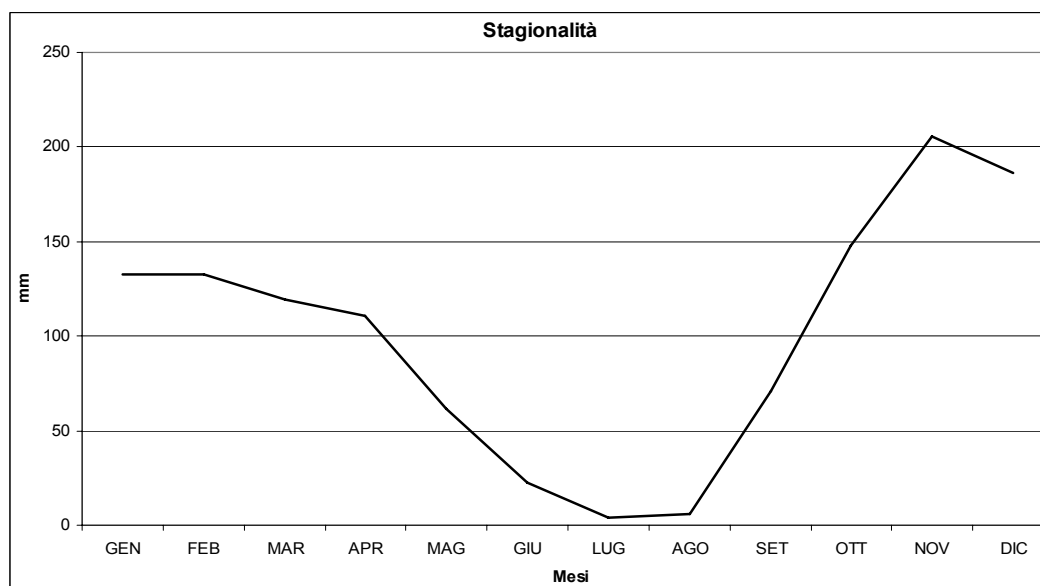
La diminuzione delle precipitazioni, ovviamente, ha creato e potrebbe creare in misura maggiore in futuro, notevoli problemi per quanto riguarda la disponibilità di acqua per l'irrigazione, in quanto potrebbe influire negativamente sulla disponibilità a livello di Consorzio.

Fig. 4.1: Andamento delle Precipitazioni nel periodo 1961-2003



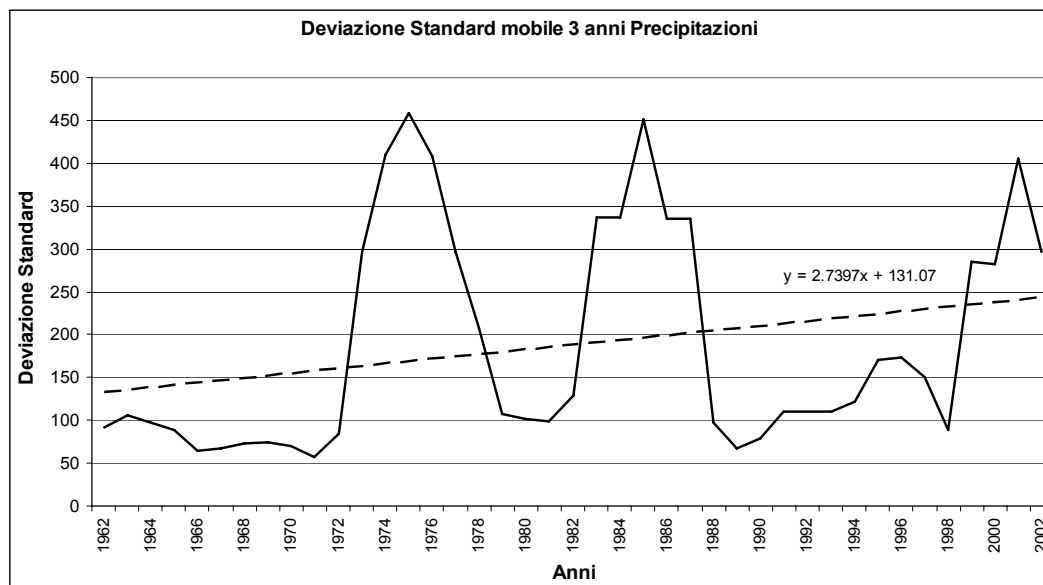
Per quanto riguarda la distribuzione mensile media nel periodo considerato (Fig. 4.2), questa evidenzia che le precipitazioni sono concentrate nei mesi autunnali ed invernali, per diminuire nei mesi primaverili ed estivi.

Fig. 4.2: Stagionalità delle Precipitazioni



Inoltre, l'analisi dei residui permette di evidenziare l'eventuale tendenza alla variazione stagionale dei valori della serie. Analizzando la deviazione standard dei residui delle precipitazioni (Fig. 4.3), appare evidente l'andamento crescente della variabilità delle precipitazioni a livello mensile.

Fig. 4.3: Deviazione Standard mobile a 3 anni delle Precipitazioni



Tale risultato emerge anche osservando i grafici 4.4 e 4.5, relativi all'andamento delle precipitazioni mensili in due intervalli del periodo considerato: il primo è rappresentato dal periodo 1961-1965, mentre il secondo dal periodo 1999-2003. Sono stati considerati i valori medi di 5 anni e non un singolo anno per evitare di confrontare un anno particolarmente piovoso o con piovosità nella media con uno siccitoso. Il primo grafico è relativo alle differenze in valore, mentre il secondo riguarda le differenze come percentuale sul totale.

In termini assoluti è visibile che le precipitazioni sono inferiori nei mesi autunnali ed invernali, in particolare nel periodo settembre-aprile, mentre sono superiori negli altri mesi. Tale andamento è evidente anche se consideriamo i valori come percentuale sul totale.

Fig. 4.4: Andamento mensile della piovosità nei periodi 1961-1965 e 1999-2003

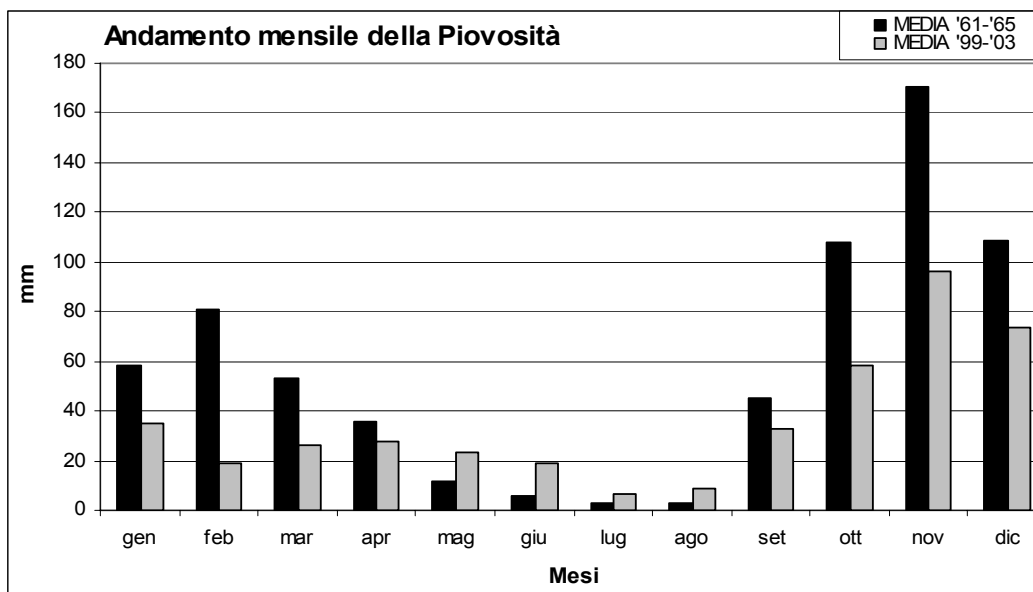
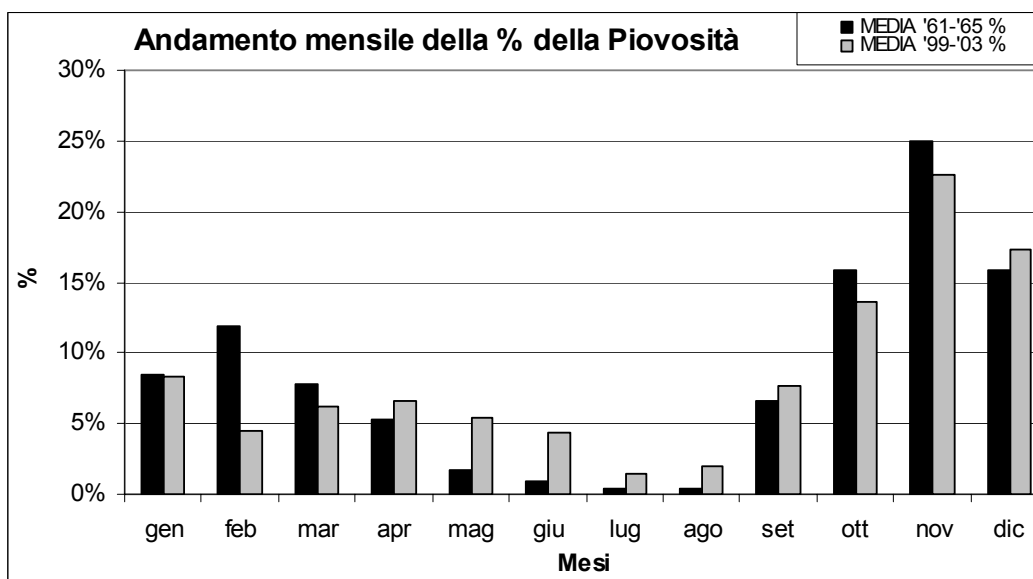


Fig. 4.5: Andamento mensile della % della piovosità nei periodi 1961-1965 e 1999-2003



Per quanto riguarda le precipitazioni, quindi, sono emersi due importanti aspetti:

1. presenza di un trend negativo
2. incremento della variabilità mensile.

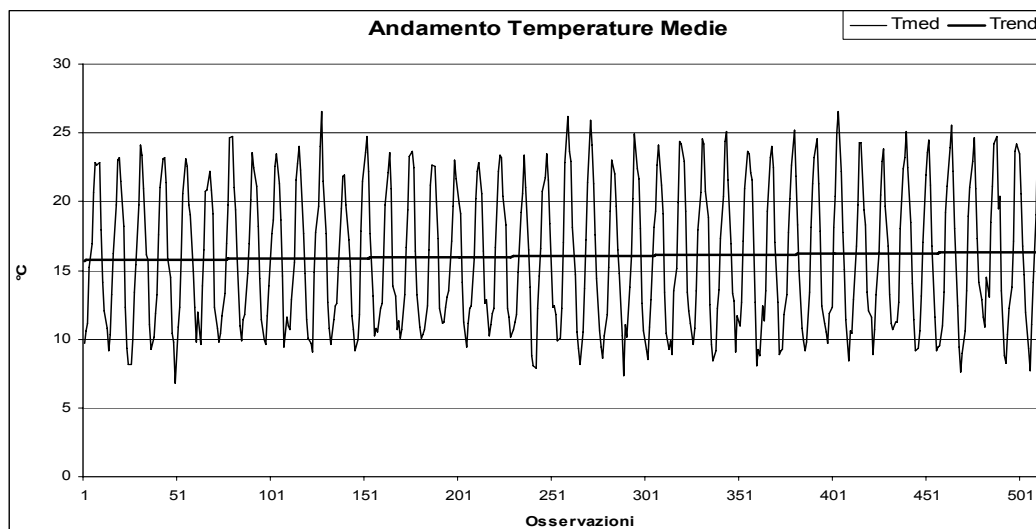
4.1.3 Temperature medie

Nel periodo considerato, la temperatura media presenta un trend positivo, a dimostrazione che si è avuto un leggero incremento dei valori (Fig. 4.6):

$$Y = 0,0012X + 15,72$$

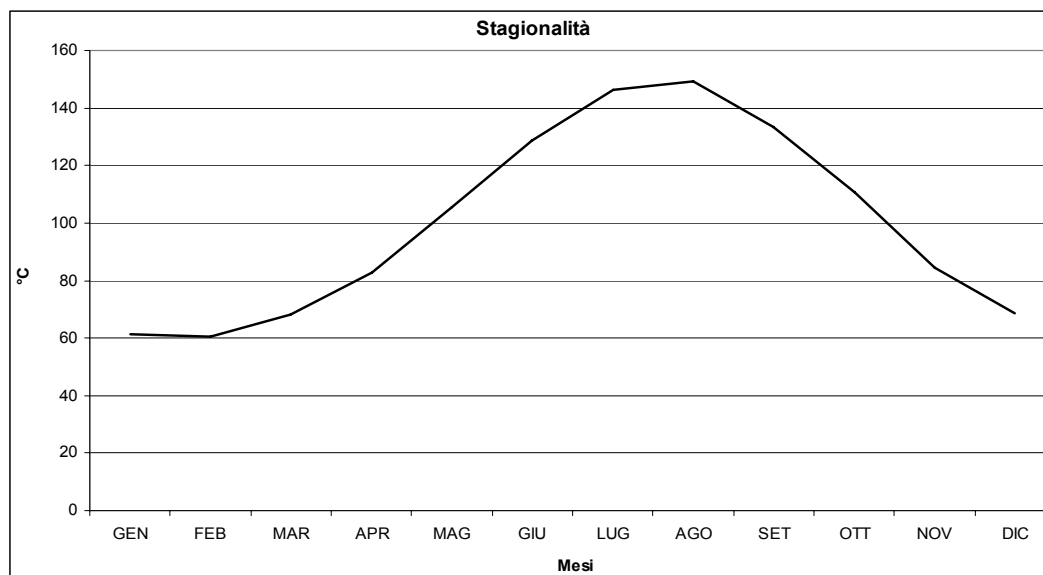
Anche l'incremento delle temperature ha creato, e potrebbe creare in futuro, problemi per quanto riguarda la disponibilità di acqua per l'irrigazione, in quanto potrebbe influire negativamente sulla disponibilità a livello di Consorzio, incrementando l'evaporazione di acqua dai bacini. L'effetto delle temperature, comunque, sembrerebbe inferiore rispetto a quello delle precipitazioni.

Fig. 4.6: Andamento delle Temperature Medie nel periodo 1961-2003



Così come abbiamo visto per la serie storica delle precipitazioni, anche in questo caso è importante osservare come le distribuzioni sono distribuite nel corso dell'anno e valutare se ci sono state variazioni significative tra l'andamento mensile nel corso degli anni (Fig. 4.7). Infatti, è importante analizzare se l'aumento delle temperature medie emerso in precedenza è presente lungo tutto l'arco dell'anno o si concentra in alcuni mesi, in quanto la variazione delle temperature in determinati periodi può avere un notevole effetto sulle produzioni agricole e nel lungo periodo può comportare la scelta di certe colture rispetto ad altre da parte dell'agricoltore.

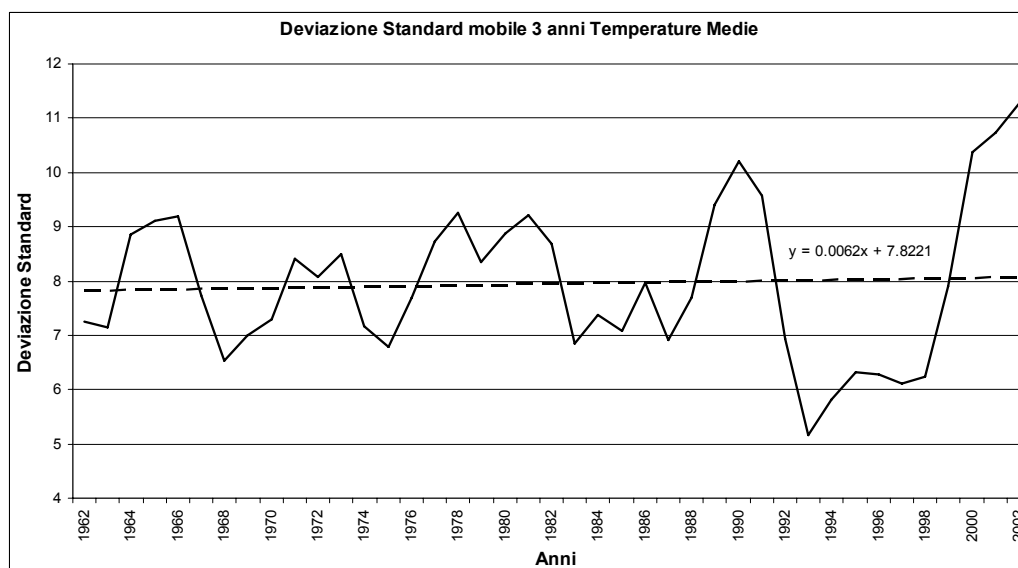
Fig. 4.7: Stagionalità delle Temperature Medie



Per quanto riguarda l'andamento mensile medio nel periodo considerato, questo evidenzia che le temperature medie sono minori nei mesi autunnali ed invernali, mentre aumentano in quelli primaverili ed estivi.

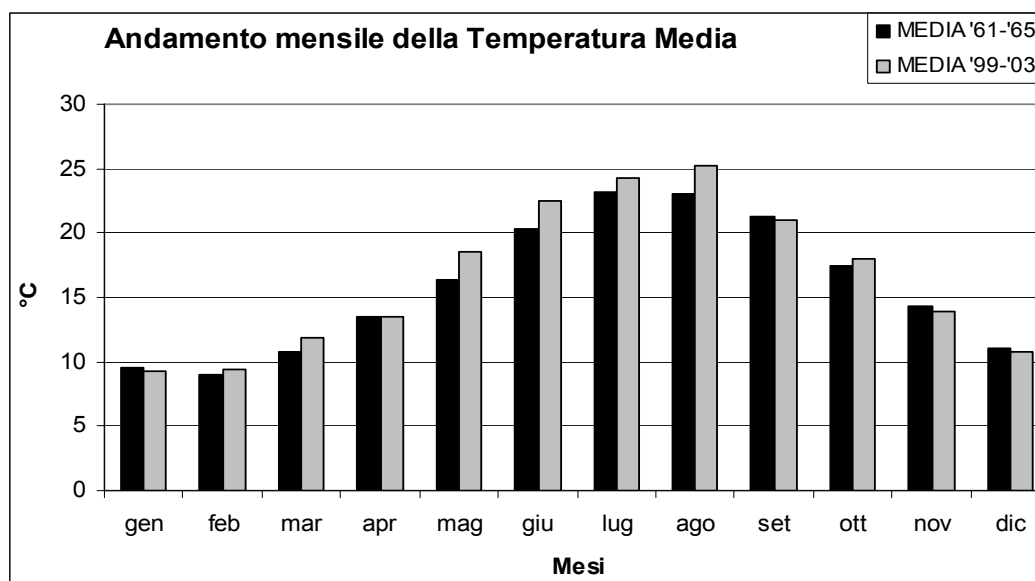
Anche in questo caso si può notare, dall'analisi della deviazione standard dei residui (Fig. 4.8), la presenza di un andamento crescente della variabilità delle temperature medie a livello mensile.

Fig. 4.8: Deviazione Standard mobile a 3 anni delle Temperature Medie



Tale risultato emerge anche osservando il grafico seguente (Fig. 4.9), relativo all'andamento delle temperature medie mensili in due intervalli del periodo considerato: il primo è rappresentato dal periodo 1961-1965, mentre il secondo dal periodo 1999-2003. Sono stati considerati i valori medi di 5 anni e non un singolo anno per evitare di confrontare un anno particolarmente freddo o con temperature nella media con uno caldo.

Fig. 4.9: Andamento mensile della temperatura media nei periodi 1961-1965 e 1999-2003



E' visibile che le temperature medie sono superiori in tutti i mesi del periodo febbraio-ottobre, ad eccezione di settembre, mentre negli altri mesi le temperature sono più basse. Gli incrementi più marcati si registrano nei mesi primaverili-estivi, ossia nel periodo maggio-agosto.

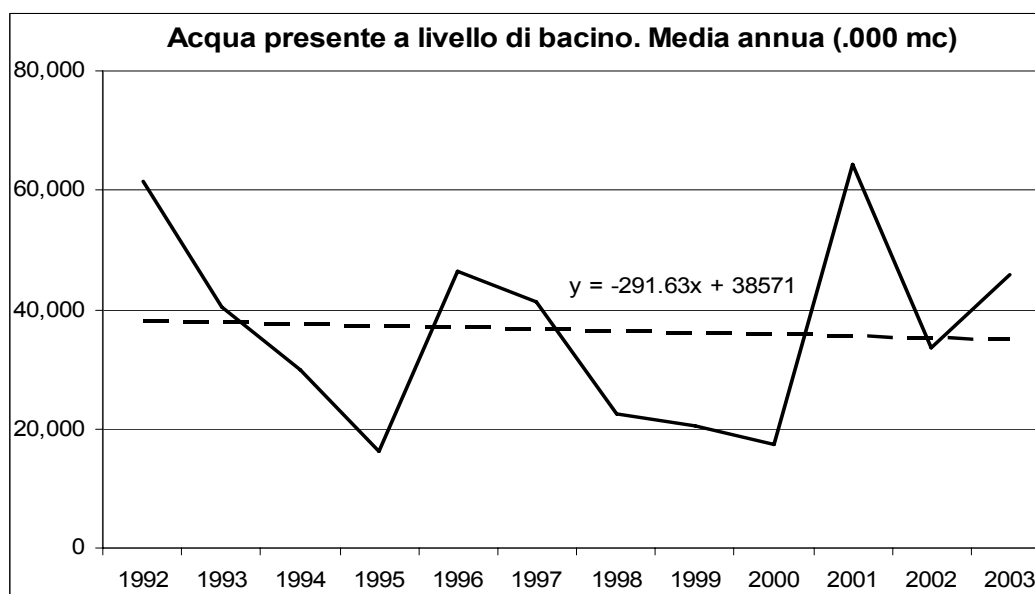
Per quanto riguarda le temperature medie, quindi, sono emersi due importanti aspetti:

1. presenza di un trend positivo
2. incremento della variabilità mensile.

4.2 Risorsa idrica disponibile a livello di bacino e fornita dal Consorzio per uso agricolo

Gli aspetti emersi in merito alla tendenza alla diminuzione delle precipitazioni e all'aumento delle temperature, nonché ad un incremento della loro variabilità mensile, permettono di analizzare con maggiore dettaglio l'andamento della disponibilità idrica a livello del bacino formato dal Cuga e dal Temo. La Figura 4.10 evidenzia una marcata variabilità della media annua e una tendenza, seppur lieve, alla diminuzione.

Fig. 4.10: Acqua presente a livello di bacino. Media annua (.000 mc)



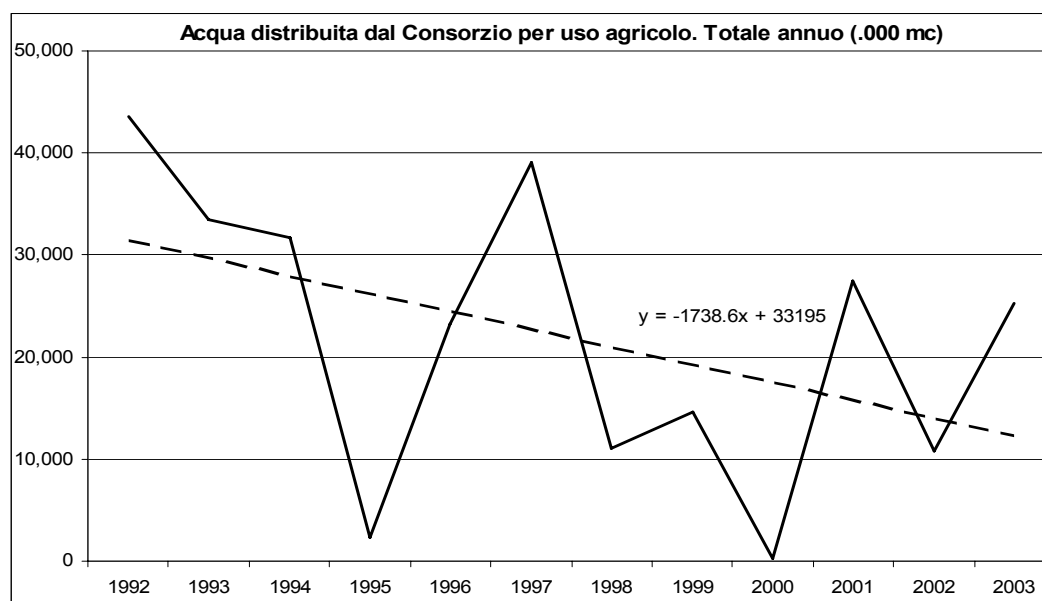
Tale andamento può considerarsi dovuto ai fenomeni climatici descritti in precedenza ed in particolare alla piovosità, che ha il compito di dover rifornire di acqua il bacino che rientra, per buona parte della sua estensione, nel territorio considerato. L'effetto della temperatura, invece, concerne i fenomeni di evapotraspirazione che, per quanto rilevanti, risultano essere di molto inferiori a quelli di apporto idrico.

L'elevata variabilità della risorsa idrica presente nel bacino tra i vari anni è di estrema importanza, in quanto è da tale fattore che dipende l'acqua disponibile per l'agricoltura nel Consorzio di bonifica. Non va dimenticato, infatti, che i due

livelli sono direttamente legati, in quanto la differenza sussiste nei prelievi da fonti alternative (Mannu, Surigheddu e Coghinas), nella cessione per usi idropotabili e nelle evaporazioni. E' evidente, quindi, che la tendenza alla diminuzione della risorsa idrica presente a livello di bacino può determinare una minore disponibilità di acqua per il Consorzio, considerando anche il fatto che l'acqua fornita per usi idropotabili è prioritaria rispetto a quella per usi agricoli. Ne consegue che se la tendenza alla diminuzione dovesse continuare, potrebbero aumentare gli anni in cui si renderà necessario l'intervento pubblico per garantire il fabbisogno di acqua potabile per la popolazione interessata.

L'andamento della quantità di acqua fornita dal Consorzio per uso agricolo è riportato nella figura seguente:

Fig. 4.11: Acqua distribuita dal Consorzio per uso agricolo. Totale annuo (.000 mc)



In merito all'andamento della risorsa idrica distribuita dal Consorzio, è visibile l'estrema variabilità tra i vari anni, che tende a ricalcare quella della disponibilità di acqua a livello di bacino, sebbene si possa notare una maggiore tendenza alla diminuzione, dovuta principalmente all'intervento pubblico, che limita l'uso agricolo a favore dell'uso idropotabile. Infatti, i prelievi da parte di fonti alternative non hanno subito variazioni considerevoli negli anni.

Mediamente, l'acqua distribuita dal Consorzio risulta essere circa il 60% di quella disponibile a livello di bacino.

Inoltre, bisogna considerare che il Consorzio, nel decidere quanta acqua fornire agli agricoltori (la campagna irrigua ha inizio ad aprile), si basa sulla quantità di risorsa idrica presente nel bacino il mese immediatamente precedente, ossia a marzo, salvo poi prendere azioni correttive nel corso dei mesi successivi. E' in tale mese che il Consorzio decide se soddisfare appieno le richieste di acqua degli agricoltori, oppure se è necessario effettuare una decurtazione. Tuttavia, se i mesi successivi sono siccitosi, il Consorzio può ridurre la quantità di acqua da fornire precedentemente prevista, mentre può incrementare le forniture se i mesi successivi sono piovosi. Mediamente, l'acqua distribuita dal Consorzio risulta essere circa il 45% di quella disponibile a livello di bacino nel mese di marzo.

CAPITOLO 5

PROGRAMMAZIONE STOCASTICA DISCRETA E DISPONIBILITA' DELLA RISORSA IDRICA

In questo capitolo si presentano gli aspetti tecnici dell'analisi sui legami tra le condizioni climatiche e le disponibilità idriche per l'irrigazione nella diga del Cuga. Inoltre, si mostrano i risultati ottenuti stimando la funzione di densità della disponibilità di acqua a livello di bacino. Sulla base di questa funzione si sono ricavati i valori di probabilità di ciascuno stato della natura. Dall'analisi della serie dei dati di disponibilità di risorsa idrica a livello di bacino, quindi, è stata valutata la disponibilità di acqua a livello di Consorzio per ciascuno scenario. A questo punto si è implementato il modello di Programmazione Stocastica Discreta, di cui verranno descritti nel dettaglio le variabili, la funzione obiettivo ed i vincoli, raggruppati per categorie omogenee.

5.1 Determinazione degli stadi, degli stati della natura e della relativa probabilità di verificarsi

I dati utilizzati per la realizzazione del modello di programmazione Stocastica Discreta derivano principalmente dal lavoro di Dono et al. (2008). Tuttavia, è stato necessario raccogliere dati aggiuntivi, presentati e analizzati nei capitoli precedenti, per determinare gli stadi, gli stati della natura e la loro probabilità di verificarsi.

Il modello che verrà implementato in questo studio è una Programmazione Stocastica Discreta a due stadi e tre stati. Il primo stadio ha inizio con l'avvio della campagna agricola e con la semina delle colture autunnali (mese di ottobre), mentre il secondo stadio ha inizio con la semina delle colture primaverili-estive (mese di aprile), che coincide con l'inizio della campagna irrigua.

Per quanto riguarda la valutazione degli stati della natura e della relativa probabilità di verificarsi di ciascuno di esso (determinata stimando la curva di

densità relativa alla variabile casuale continua di disponibilità di acqua a livello di bacino), una serie di soli 12 anni (relativa ai valori di marzo di ciascun anno) potrebbe non essere sufficiente. Per poter ampliare la disponibilità di tali dati, è possibile applicare i modelli statistici descritti nel capitolo 2 (regressione lineare multipla previa standardizzazione e normalizzazione delle variabili) ai dati analizzati nel capitolo 3 (disponibilità di acqua a livello di bacino e di Consorzio, precipitazioni e temperature medie).

Dato che si dispone di una serie storica di valori mensili della disponibilità di acqua a livello di bacino (W_a) e a livello di Consorzio di 12 anni (1992-2003, pari a 144 osservazioni), mentre per le precipitazioni ($Prec$) e le temperature medie (T_{med}) i dati sono disponibili per 43 anni (dal 1961 al 2003, pari a 516 osservazioni), è possibile applicare un modello di regressione lineare multipla al periodo 1992-2003 ed utilizzare i dati disponibili dal 1961 al 1991 per fare previsione. Il modello impiegato è il seguente:

$$W_a = f(Prec, T_{med}) = \beta_1 + \beta_2 Prec + \beta_3 T_{med} + e$$

In questa fase, si considera la quantità di acqua a livello di bacino in quanto quella a livello di Consorzio dipende non solo da aspetti climatici, ma anche da interventi dell'uomo, necessari per garantire l'irrigazione di altre aree o per fornire acqua ad uso idropotabile. La disponibilità a livello di Consorzio, che è quella che interessa realmente per la determinazione degli stati della natura, sarà valutata in seguito.

Da analisi condotte sulle serie si evidenziano alcuni aspetti rilevanti, evidenziati nei grafici della pagina seguente.

I risultati principali di tale analisi preliminare sono:

1. assenza di normalità delle serie
2. elevata autocorrelazione della serie W_a
3. buona correlazione incrociata tra le serie W_a e $Prec$ e tra le serie W_a e T_{med} .

Fig. 5.1: QQ-Plot serie Wa

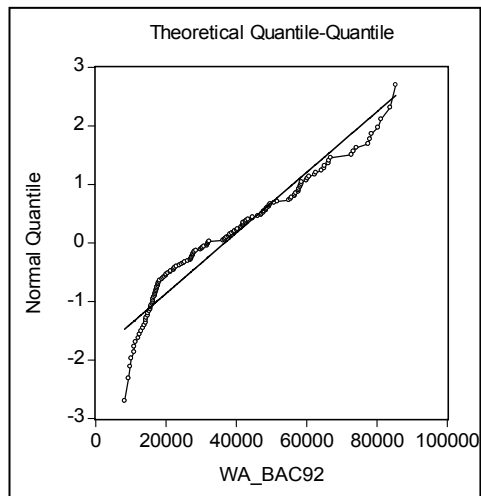


Fig. 5.4: Autocorrelazione serie Wa

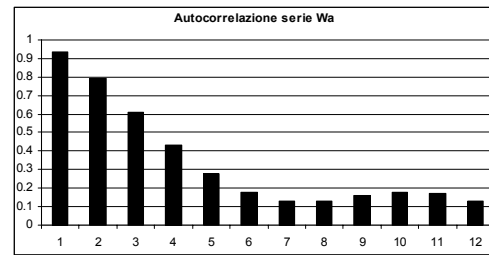


Fig. 5.2: QQ-Plot serie Prec

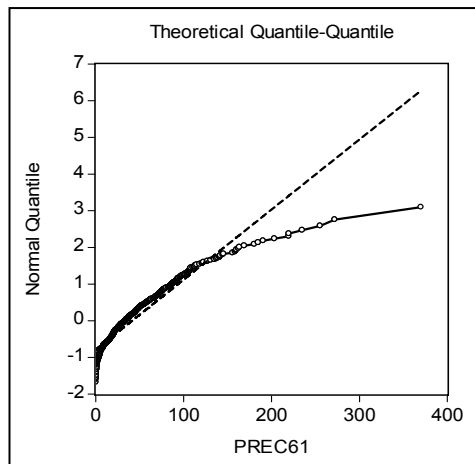


Fig. 5.5: Cross-Correlation serie Wa-Prec

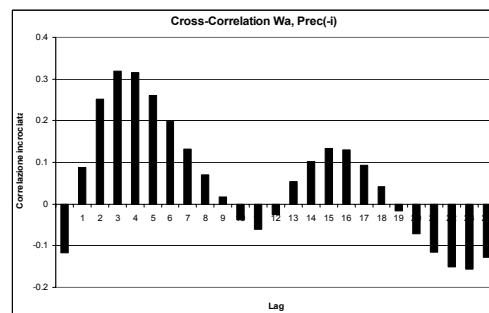


Fig. 5.3: QQ-Plot serie Tmed

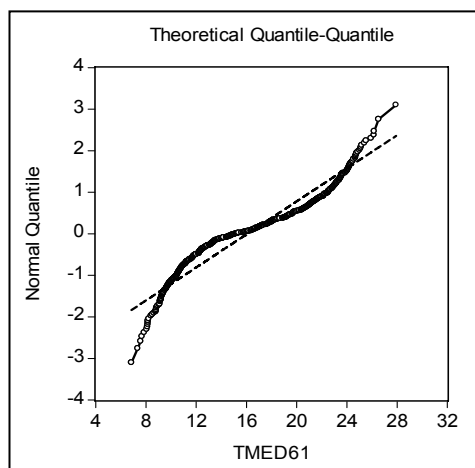
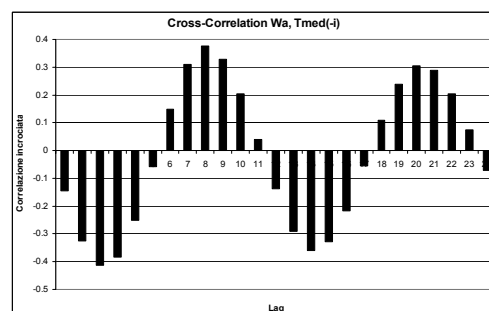


Fig. 5.6: Cross-Correlation serie Wa-Tmed



La presenza di un'elevata autocorrelazione della serie *Wa*, induce ad introdurre nel modello un termine autoregressivo di ordine uno, mentre la correlazione incrociata tra le serie *Wa* e *Prec* e tra le serie *Wa* e *Tmed* consiglia di introdurre nelle variabili *Prec* e *Tmed* un ritardo di ordine tre. Il modello, quindi, diventa:

$$Wa = \beta_1 + \beta_2 Prec(-3) + \beta_3 Tmed(-3) + \beta_4 Wa(-1) + e$$

Prima di poter applicare tale modello bisogna operare in modo da garantire la stazionarietà e la normalità di tutte le serie. Per quanto riguarda il primo aspetto si è ricorso alla standardizzazione dei dati, mentre per il secondo si è ricorso alla trasformazione di Box-Cox, in cui λ è stato determinato attraverso la massimizzazione della funzione di log-Verosimiglianza, ottenendo i seguenti valori:

- serie *Wa*: $\lambda = -0,4$
- serie *Prec*: $\lambda = -1,5$
- serie *Tmed*: $\lambda = 0,6$.

La regressione lineare multipla è stata quindi applicata a dati standardizzati e normalizzati, ed i risultati inducono a non considerare la variabile *Tmed* in quanto non significativa. Questo evidenzia che l'effetto di evaporazione di acqua dal bacino non ha un effetto statisticamente significativo sulla quantità di acqua disponibile; tale disponibilità dipende, quindi, esclusivamente dalla quantità di acqua apportata tramite le precipitazioni, nonché da quella presente nel bacino il periodo (mese) precedente. Effettuando la standardizzazione e la trasformazione di Box-Cox, si ottiene anche una variazione della correlazione incrociata tra le serie *Wa* e *Prec*, che risulta essere massima ad un ritardo pari ad uno.

Il modello utilizzato, in definitiva, è il seguente:

$$Wa = \beta_1 + \beta_2 Prec(-1) + \beta_3 Wa(-1) + e$$

ed i risultati sono riportati nella Tabella 5.1. Tali risultati permettono di affermare che la variabile W_a è ben spiegata dalle altre, in quanto i coefficienti sono tutti significativi (T-statistiche superiori a 2 in valore assoluto) e l' R^2 indica che è catturata più del 95% della variabilità dei dati. Inoltre, i segni dei coefficienti sono coerenti con quelli attesi.

Tab. 5.1: Risultati del modello di regressione

Dependent Variable: W_a				
Method: Least Squares				
Sample (adjusted): 1992M02 2003M12				
Included observations: 143 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.3149	0.0693	-4.5442	0
TPREC(-1)	0.5828	0.1095	5.3247	0
TWA(-1)	0.9694	0.0177	54.6706	0
R-squared	0.9555	F-statistic		1501.443
Adjusted R-squared	0.9548	Prob(F-statistic)		0

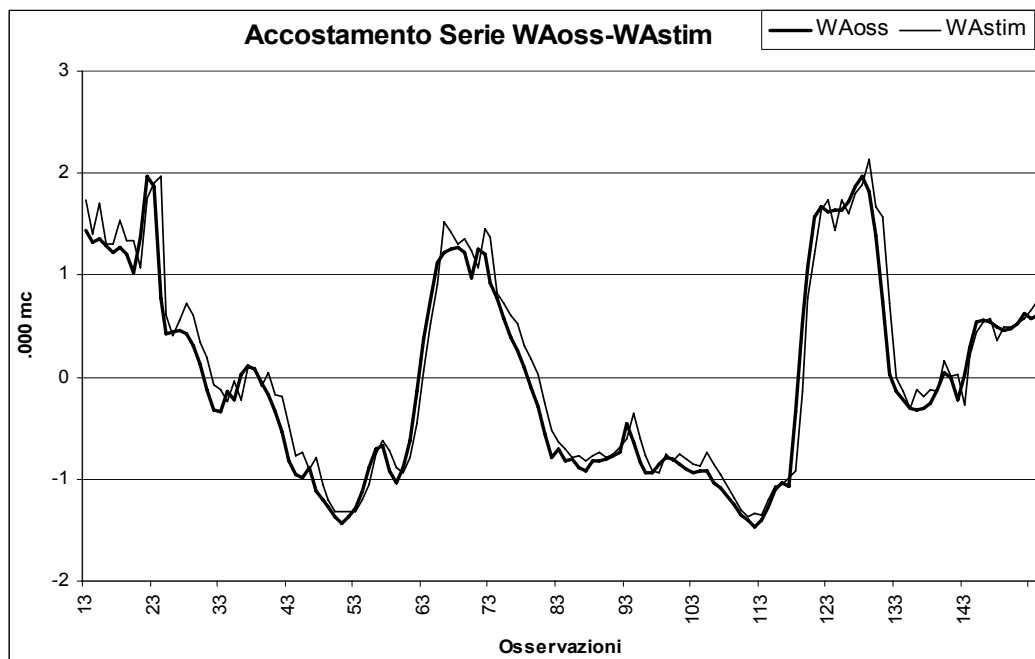
La capacità del modello di stimare dati corretti è evidenziata anche dall'accostamento della serie di W_a osservata con quella stimata nel modo seguente:

$$W_{a_{stim}} = -0.3149 + 0.5828 * Prec(-1) + 0.9694 * W_a(-1)$$

Tale accostamento è riportato nella figura 5.7.

Tramite questo modello è possibile stimare, quindi, i valori di disponibilità di acqua per il periodo 1961-1991, in quanto si conosce la serie di dati delle precipitazioni per tale periodo. L'unico valore che non si conosce è rappresentato dalla disponibilità di acqua a gennaio 1961, necessario in quanto è presente il termine autoregressivo; tale dato è stato ottenuto dalla media dei valori del periodo 1992-2003, data la presenza di stazionarietà in media della serie. Alla serie ottenuta è stata rimossa la normalità, effettuando la trasformazione inversa di Box-Cox, ed i valori sono stati poi nuovamente stagionalizzati. Di tutti i valori stimati, sono stati considerati solamente i valori di marzo di ogni anno, ottenendo una serie di 43 osservazioni.

Fig. 5.7: Accostamento serie $W_{a_{oss}}$ - $W_{a_{stim}}$ (dati trasformati)



Per determinare i valori che delimitano i vari stati ci si è basati sull'osservazione della serie storica dei valori di disponibilità di acqua ottenuta. In particolare:

4. lo stato di bassa disponibilità di acqua è delimitato dal valore massimo di risorsa idrica presente nel bacino negli anni in cui è intervenuto il settore pubblico per destinare una quota di acqua ad usi idropotabili. Tale valore è di 42.618.000 mc, pari al valore medio ($M = 56.788.000$ mc) meno un valore X (%) della media del 25%
5. lo stato di normale disponibilità è delimitato dal valore medio ($M = 56.788.000$ mc) meno e più un valore X (%) della media del 25%; tali valori sono, rispettivamente, di 42.618.000 mc e 70.957.000 mc. In tale stato si tiene sotto controllo la quantità di acqua presente nel bacino ma non si rende necessario l'intervento pubblico
6. lo stato di alta disponibilità di acqua è delimitato dal valore medio ($M = 56.788.000$ mc) più un valore X (%) della media del 25%; tale valore è pari a 70.957.000 mc. In tale stato non solo non c'è necessità di un intervento pubblico, ma si registra abbondanza di acqua per l'irrigazione.

Per determinare le probabilità di verificarsi di tali stati della natura tramite la funzione di densità è necessario creare degli intervalli della serie di disponibilità di acqua, che possiamo identificare come segue:

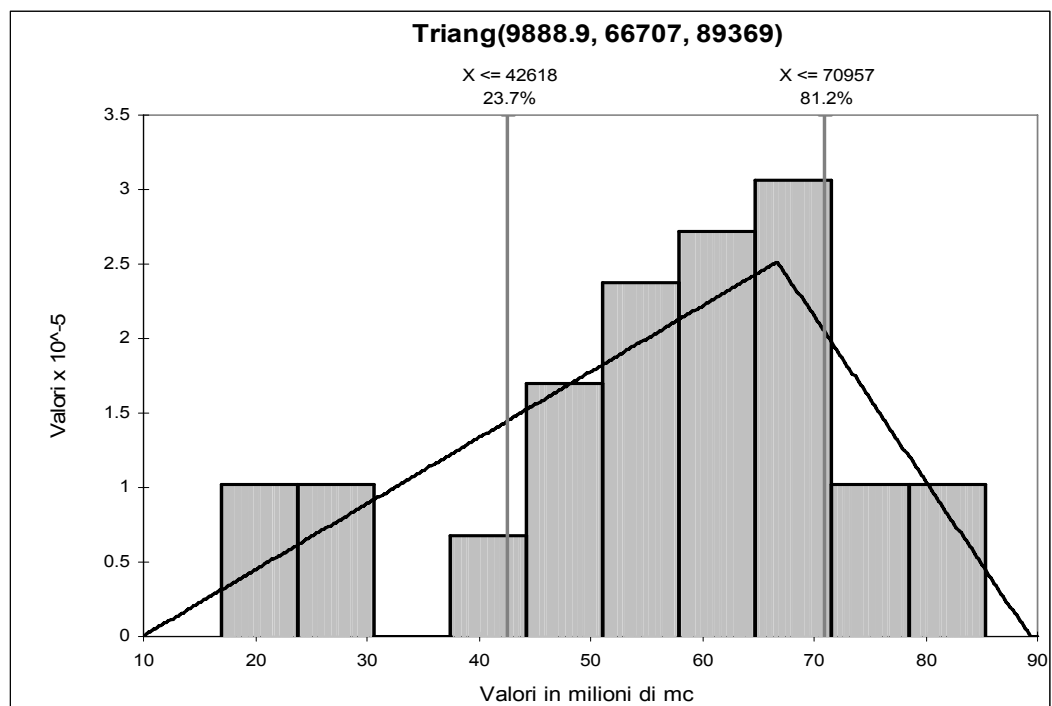
4. il limite inferiore è rappresentato dal valore minimo assunto dalla serie (16.905.000 mc), mentre quello superiore dal valore limite individuato in precedenza per lo stato 1 (42.618.000 mc)
5. l'intervallo è delimitato dai valori limite individuati per lo stato 2, pari a 42.618.000 mc e 70.957.000 mc
6. il limite inferiore è rappresentato dal valore limite dello stato 3 (70.957.000 mc), mentre quello superiore dal valore massimo assunto dalla serie (85.307.000 mc).

I rispettivi valori di probabilità sono:

1. 23.7%
2. 57.5%
3. 18.8%.

come evidenziato dalla seguente curva di densità:

Fig. 5.8: Curva di densità stimata e valori di probabilità per ciascuno stato della natura



La funzione di densità stimata attraverso il software @Risk è rappresentata da una triangolare con una statistica-test di tipo Chi-quadrato pari a 6,674 e un P-Value di 0,4635 che, con k=8 e quindi 7 gradi di libertà, permette di accettare l'ipotesi nulla che la funzione stimata sia quella che si adatta meglio ai dati contro qualsiasi altra funzione. Le differenze di probabilità determinate dalla variazione tra i valori minimi e massimi osservati e quelli stimati sono inferiori all'1% e, quindi, gli errori causati possono considerarsi trascurabili.

La funzione Triangolare stimata è definita dai seguenti parametri:

- min = 9.889.000 mc
- moda (stimata) = 66.707.000 mc
- max = 89.369.000 mc
- dominio: $\min \leq x \leq \max$
- funzione di densità:
$$\begin{cases} f(x) = \frac{2(x - \min)}{(\text{mod } a - \min)(\max - \min)} & \min \leq x \leq \text{mod } a \\ f(x) = \frac{2(\max - x)}{(\max - \text{mod } a)(\max - \min)} & \text{mod } a \leq x \leq \max \end{cases}$$
- media = 55.322.000 mc: $\frac{\min + \text{mod } a + \max}{3}$
- varianza = 279.414.876 mc²:

$$\frac{\min^2 + \text{mod } a^2 + \max^2 - (\min)(\text{mod } a) - (\max)(\text{mod } a) - (\min)(\max)}{18}$$
- asimmetria = -0,3771 : $\frac{2\sqrt{2}}{5} \frac{f(f^2 - 9)}{(f^2 + 3)^{3/2}} \quad \text{con } f = \frac{2(\text{mod } a - \min)}{(\max - \min)} - 1$
- curtosi: 2,4.

Le disponibilità di acqua a livello di bacino in ciascuno stato della natura sono ottenute effettuando una media dei valori dei mese di marzo corrispondenti agli anni che rientrano in ciascuno stato, sulla base della delimitazione effettuata in precedenza. In particolare:

- primo stato: 8 osservazioni e media pari a 27.676.000 mc
- secondo stato: 28 osservazioni e media pari a 60.240.000 mc
- terzo stato: 7 osservazioni e media pari a 77.503.000 mc.

Per valutare la disponibilità di acqua a livello di Consorzio, è necessario considerare che quest'ultimo, nel decidere quanta acqua fornire agli agricoltori all'inizio della campagna irrigua (aprile), si basa prevalentemente sulla quantità di risorsa idrica presente nel bacino il mese immediatamente precedente, ossia a marzo. Sulla base di tale assunzione, i pochi dati a disposizione non permettono di stimare una funzione di densità della variabile di disponibilità di acqua a livello di Consorzio, né di calcolare dei rapporti sufficientemente consistenti tra tale serie e quella della quantità di risorsa idrica presente nel bacino con cui poter determinare la quantità di acqua a livello di Consorzio partendo dai valori di quella a livello di bacino.

Tuttavia, dall'analisi della serie dei dati di disponibilità di risorsa idrica a livello di bacino nel mese di marzo e dei valori medi per ciascuno stato della natura è emerso che tali valori medi corrispondono al valore registrato a marzo a livello di bacino in anni in cui si conoscono le quantità di acqua distribuite dal Consorzio. Tali anni sono il 1998, il 2003 e il 1992 rispettivamente per il primo, il secondo e il terzo stato della natura. In tali anni, l'acqua distribuita dal Consorzio nei diversi mesi è stata la seguente:

Tab. 5.2: Acqua utilizzata per l'agricoltura (.000mc)

	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	TOTALE
K1: 1998	120	1.009	2.778	3.843	3.093	180	62	11.085
K2: 2003	462	3.535	5.539	6.708	5.635	2.224	1.158	25.260
K3: 1992	1.463	5.650	4.643	7.264	14.314	7.405	2.773	43.512

In definitiva, per ogni stato verranno considerate tali quantità di acqua con le probabilità determinate precedentemente.

5.2 La struttura generale del modello

Il modello ha una struttura di tipo regionale, poiché è articolato in blocchi riferiti alle diverse tipologie aziendali presenti nell'area di studio. Ciascun blocco si riferisce ad una macro azienda (in seguito chiamate semplicemente aziende) che rappresenta l'insieme di un gruppo di aziende presenti nell'area di studio. Queste si differenziano, da una parte per le loro caratteristiche strutturali (qualità e dotazione di risorse fisse nel breve periodo) e per il loro indirizzo produttivo e, dall'altra, per la loro localizzazione all'interno dell'area di studio. Sono state considerate 24 aziende che sono identificate dagli indici D ed S. L'indice D si riferisce ai 2 macrodistretti in cui è ripartita l'area di studio: l'area servita e l'area non servita dal Consorzio (indici CO ed EXCO)². L'indice S identifica altre caratteristiche aziendali tra cui, in particolare: l'ordinamento produttivo, la dimensione aziendale, la presenza o meno di fonti d'approvvigionamento idrico aziendali (pozzi) (Tabella 5.3).

Tab. 5.3: Tipologie aziendali considerate nelle diverse aree del territorio

Codice tipologia	Descrizione della tipologia
BOVGCP	Bovini - aziende grandi con pozzi
BOVMPCP	Bovini - aziende medio-piccole con pozzi
MISG	Miste - aziende grandi
MISM	Miste - aziende medie
MISP	Miste - aziende piccole
OLIGMCP	Olivicoltura - aziende medio -grandi - con pozzi
OLIPCP	Olivicoltura - aziende piccole - con pozzi
ORTGMCP	Orticoltura - aziende medio -grandi - con pozzi
ORTPCP	Orticoltura - aziende piccole - con pozzi
OVIGMCP	Ovini - aziende medio -grandi -con pozzi
OVIPCP	Ovini - aziende piccole - con pozzi
VITGCP	Viticoltura - aziende grandi - con pozzi
VITMPCP	Viticoltura - aziende medio -piccole - con pozzi

² Si ricorda che, per rappresentare l'intero funzionamento del Consorzio, il modello include anche le aree servite dal Consorzio ma non ricadenti nel Bacino Idrografico.

Il problema di ottimizzazione consiste nel massimizzare la somma delle funzioni obiettivo stocastiche delle singole aziende, soggette all'insieme dei vincoli aziendali (specifici) e territoriali. Molti vincoli agiscono a livello di singola azienda, che competono per l'uso di alcune risorse ed in particolare per acquisire l'acqua distribuita dal Consorzio. Tutte le aziende competono inoltre per acquisire il lavoro salariato avventizio disponibile nell'area di studio. Di seguito sono presentate le variabili (o attività) del modello, mentre più avanti si descrivono la funzione obiettivo e i vincoli del modello.

5.2.1 Le variabili del modello

Le variabili del modello possono essere suddivise in tre gruppi:

- a. attività colturali, zootecniche e relative all'alimentazione degli animali
- b. acquisizione di lavoro esterno
- c. attività relative alla risorsa idrica³.

a. Attività colturali, zootecniche e relative all'alimentazione degli animali

Nel primo gruppo rientrano le attività colturali, quelle zootecniche e quelle relative all'alimentazione degli animali allevati (indice A). Tali attività possono essere suddivise in due gruppi: quelle che rientrano nel primo stadio⁴, quando la disponibilità idrica è incerta, $X1_{A,D,S,CT}$, e quelle che rientrano nel secondo stadio, quando l'evento certo si è realizzato, $X2_{A,D,S,CT,K}$.

Le circa 60 attività colturali si riferiscono ad attività per la produzione di beni destinati alla vendita o all'alimentazione degli animali allevati (Tabella 3.5). Il modello è in grado di identificare varianti delle tecniche colturali da realizzare su diverse classi di terra anche se al momento attuale è stata considerata solo una classe omogenea di terra (indice CT).

³ Per agevolare la lettura, le variabili di scelta, ad esclusione delle x, sono rappresentate utilizzando le lettere minuscole. I parametri del modello, invece, sono rappresentati con lettere maiuscole.

⁴ Oltre alle attività colturali a semina autunno-vernina, in questo gruppo rientrano anche gli allevamenti, le colture fisse e gli investimenti per espandere le colture irrigue, in quanto il livello di queste attività non dipende dallo stato della natura che può verificarsi nel secondo stadio.

Le 7 attività zootecniche considerate si riferiscono all'allevamento di bovini da latte, bovini da carne e ovini (indice TZ – Tipologie Zootecniche). All'interno di ciascuna di queste tipologie sono previste diverse categorie di animali (indice CA) che hanno specifiche caratteristiche dal punto di vista del fabbisogno nutrizionale e delle potenzialità produttive (es. vacche, vitelli, tori, etc.). Per ogni tipologia di allevamento sono identificate diverse modalità tecniche di allevamento secondo quanto rilevato in campo dagli agronomi (Tabella 3.6).

Le attività relative all'alimentazione degli animali allevati si riferiscono all'acquisto di alimenti per uso zootecnico sul mercato (Tabella 5.4).

Tab. 5.4: Alimenti zootecnici potenzialmente acquistabili sul mercato

Cod. alimenti	Descrizione
SILMA	Silomais
FIAVA	Fieno di Avena
FIEMA	Fieno di Erba Medica
FAORA	Farina d'Orzo
CRFRA	Crusca di Frumento
MANG	Mangime Concentrato (Nucleo-Proteico)
INTEM	Integratore Minerale
COAD	Coadiuvanti (grassi saponificati)
ERPS	Erba di prato stabile
ERLO	Erba di loietto
FIEPSA	Fieno di Prato Stabile
FIELOA	Fieno di Loietto
FIETLA	Fieno di Trifoglio Ladino
GRAORA	Granella di Orzo
PAOR	Paglia di Orzo
SALE	Sale pastorizio
PASCO	Pascolo

Tali alimenti possono anche venire prodotti in azienda.

Infine si è considerata anche una attività di investimento (indice CPIR) che si attiva per rendere possibile l'espansione degli investimenti, essenzialmente macchine, necessari all'estensione della coltivazione di colture irrigue. Questa

attività determina un aumento dei costi che è direttamente proporzionale alle superfici coltivate con colture irrigate che superano il livello rilevato nelle condizioni di base.

b. Acquisizione di lavoro esterno

Il modello decide il livello di lavoro salariato avventizio acquisito dalle varie aziende nel primo periodo ($lestau_{T,D,S}$) e nel secondo periodo per ciascuno stato della natura ($lestpr_{T,D,S,K}$). E' stato considerato, inoltre, il lavoro utilizzato per le operazioni di raccolta effettuate nei casi di "vendita in campo" ($lestrc_{T,D,S,K}$) il cui costo grava sugli acquirenti. L'indice T si riferisce ai 20 periodi in cui è ripartito l'anno (Tabella 5.5).

Tab. 5.5: Periodi in cui è ripartito l'anno (indice T)

GEN	Gennaio
FEB	Febbraio
MAR	Marzo
APR	Aprile
MAG	Maggio
GI1	Prima decade di Giugno
GI2	Seconda decade di Giugno
GI3	Terza decade di Giugno
LU1	Prima decade di Luglio
LU2	Seconda decade di Luglio
LU3	Terza decade di Luglio
AG1	Prima decade di Agosto
AG2	Seconda decade di Agosto
AG3	Terza decade di Agosto
SE1	Prima decade di Settembre
SE2	Seconda decade di Settembre
SE3	Terza decade di Settembre
OTT	Ottobre
NOV	Novembre
DIC	Dicembre

c. Attività relative alla risorsa idrica

Le variabili relative all'uso dell'acqua si riferiscono: all'acqua distribuita dal Consorzio in ciascun periodo all'interno dell'area servita ($immis_{T,K}$), all'acqua consortile acquisita da ciascuna azienda ($acqds_{T,D,S,K}$), all'acqua pompata da ciascuna azienda in ciascun periodo della stagione irrigua ($apom_{T,D,S,K}$).

4.2.2 La funzione obiettivo

Il modello massimizza una funzione obiettivo costituita dalla somma dei margini lordi attesi derivanti dalle varie attività realizzate nelle diverse aziende che sono identificate dagli indici D ed S. I margini lordi attesi, in particolare, sono dati dalla somma di due componenti: i margini derivanti dalle attività decise nel primo stadio e il valore atteso dei margini lordi delle attività decise nel secondo stadio. Quest'ultimo, a sua volta, è dato dalla somma dei prodotti tra i margini lordi realizzati nei diversi stati della natura per la probabilità che questi si realizzino, $P(K)$. In particolare, la funzione obiettivo ha la seguente struttura:

$$Z = \sum_{D,S} [$$

1. $\sum_{ACOAU,CT,PRO} (PZCO_{ACOAU,PRO} \cdot Y_{D,ACOAU,PRO} \cdot X1_{ACOAU,D,S,CT})$
2. $\sum_{ACOPR,K,CT,PRO} P_K \cdot (PZCO_{ACOPR,PRO} \cdot Y_{D,ACOPR,PRO} \cdot X2_{ACOPR,K,D,S,CT})$
3. $\sum_{TZ,CT,CA} (RESA_{TZ,CA} \cdot PESOV_{TZ,CA} \cdot COMAC_{TZ,CA} +$
 $+ CATAN_{TZ,CA} \cdot PZCA_{TZ,CA} \cdot X1_{TZ,D,S,CT})$
4. $+ \sum_{TZ,CT,CA} (YLATTE_{TZ,CA} \cdot CATAN_{TZ,CA} \cdot PZLA_{TZ} \cdot X1_{TZ,D,S,CT})$
5. $+ \sum_{ACOAU,CT,PRO} (PS_{ACOAU,PRO} \cdot Y_{D,ACOAU,PRO} \cdot X1_{ACOAU,D,S,CT})$
6. $+ \sum_{ACOPR,K,CT,PRO} P_K \cdot (PS_{ACOPR,PRO} \cdot Y_{D,ACOPR,PRO} \cdot X2_{ACOPR,K,D,S,CT})$
7. $+ \sum_{ACOAU,CT} (PC_{ACOAU} \cdot X1_{ACOAU,D,S,CT})$
8. $+ \sum_{ACOPR,K,CT} P_K \cdot (PC_{ACOPR} \cdot X2_{ACOPR,K,D,S,CT})$
9. $+ \sum_{TZ,CT,CA} (CATAN_{TZ,CA} \cdot PCZ_{TZ,CA} \cdot X1_{TZ,D,S,CT})$

$$\begin{aligned}
10. & -\sum_{ACOAU,CT,V} (X1_{ACOAU,D,S,CT} \cdot FIV_{ACOAU,V}) \\
11. & -\sum_{ACOPR,K,CT,V} P_K \cdot (X2_{ACOPR,K,D,S,CT} \cdot FIV_{ACOPR,V}) \\
12. & -\sum_{ALIM,CT} (PALIM_{ALIM} \cdot X1_{ALIM,D,S,CT}) \\
13. & -\sum_{AAU,T} (PLAVE \cdot lestau_{AAU,T,D,S}) \\
14. & -\sum_{APR,T,K} P_K \cdot (PLAVE \cdot lestpr_{APR,T,K,D,S}) \\
15. & -RMC_D \cdot \sum_{T,K} P_K \cdot (acqds_{T,K,D,S} \cdot COPERD_{D,T}) \\
16. & -CPM_{D,S} \cdot \sum_{T,K} P_K \cdot (apom_{T,K,D,S}) \\
17. & -\sum_{ACIRAU,T,CT} (X1_{ACIRAU,D,S,CT} \cdot AA_{ACIRAU,T} \cdot COSTRIL_D) \\
18. & -\sum_{ACIRPR,K,T,CT} P_K \cdot (X2_{ACIRPR,K,D,S,CT} \cdot AA_{ACIRPR,T} \cdot COSTRIL_D) \\
19. & -\sum_{CPIR,CT} (X1_{CPIR,D,S,CT} \cdot INVI_{D,S})]
\end{aligned}$$

Le prime quattro righe della funzione obiettivo si riferiscono, rispettivamente, ai ricavi derivanti dalla vendita dei prodotti delle colture sia del primo (l'indice AU indica le colture a semina autunnale e le colture arboree) che del secondo periodo (l'indice PR indica le colture a semina primaverile-estiva), della carne e del latte. Infatti, i vari parametri rappresentano:

$PZCO_{ACOAU,PRO}$	prezzi dei prodotti (PRO) relativi a ciascuna attività colturale (ACOAU) del primo periodo
$PZCO_{ACOPR,PRO}$	prezzi dei prodotti (PRO) relativi a ciascuna attività colturale (ACOPR) del secondo periodo
$Y_{D,ACOAU,PRO}$	rese delle attività colturali nei vari distretti (D) per il primo periodo
$Y_{D,ACOPR,PRO}$	rese delle attività colturali nei vari distretti (D) per il secondo periodo
$RESAC_{TZ,CA}$	rese in carne di ciascuna tipologia zootecnica (TZ) e categoria di animali (CA)
$PESOV_{TZ,CA}$	peso vivo dei diversi tipi di animali allevati

$COMAC_{TZ,CA}$	coefficiente di resa di macellazione per i diversi tipi di animali allevati
$CATAN_{TZ,CA}$	pesi relativi dei diversi tipi di animali allevati
$PZCA_{TZ,CA}$	prezzo dei diversi tipi di carne prodotta
$YLATTE_{TZ,CA}$	rese in latte per capo allevato
$PZLA_{TZ}$	prezzo del latte per ciascuna tipologia zootecnica
P_K	probabilità di realizzazione dei diversi scenari
$X1_{ACOAU,D,S,CT}$	attività colturali del primo stadio
$X2_{ACOPR,K,D,S,CT}$	attività colturali del secondo stadio
$X1_{TZ,D,S,CT}$	attività zootecniche.

Le righe dalla 5 alla 9 identificano gli aiuti comunitari relativi alle colture e agli allevamenti. Infatti i vari parametri rappresentano:

$PS_{ACOAU,PRO}$	aiuti accoppiati alle produzioni delle colture del primo periodo
$PS_{ACOPR,PRO}$	aiuti accoppiati alle produzioni delle colture del secondo periodo
PC_{ACOAU}	aiuti per unità di superficie coltivata per le varie attività colturali (ACOAU) del primo periodo
PC_{ACOPR}	aiuti per unità di superficie coltivata per le varie attività colturali (ACOPR) del secondo periodo
$PCZ_{TZ,CA}$	aiuti per capo allevato differenziati per tipologia zootecnica e categoria di animali.

Le successive righe si riferiscono ai costi esplicitamente sostenuti dai produttori per le attività produttive svolte. Le righe 10 e 11 si riferiscono alle spese per i mezzi tecnici impiegati nelle attività colturali e zootecniche sia per il primo che per il secondo periodo. Infatti, il parametro $FIV_{ACOAU,V}$ si riferisce ai costi unitari relativi a dieci categorie di spesa per le colture del primo periodo, mentre il parametro $FIV_{ACOPR,V}$ si riferisce ai costi unitari relativi a dieci categorie di spesa per le colture del secondo periodo, (indice V) (Tabella 5.6).

Tab. 5.6: Categorie di spesa per mezzi tecnici

Codice mezzi tecnici	Descrizione mezzi tecnici
COM	concimi minerali
COO	concimi organici
ANT	antiparassitari
DISE	diserbanti
GEOS	geodisinfezzanti
SEM	sementi e piante
NOL	noleggi
ALT	altre spese
ZOOT	spese veterinarie in zootecnia
COGOC	costi investimenti impianto a goccia

La riga 12 si riferisce ai costi sostenuti per l'acquisto di alimenti zootecnici (ALIM è un sottoinsieme del set A); $PALIM_{ALIM}$ rappresenta il vettore dei prezzi di tali alimenti.

Le righe 13 e 14 si riferiscono ai costi sostenuti per l'acquisizione di lavoro avventizio esterno; infatti, $PLAVE$ è il prezzo orario del lavoro esterno; $lestau_{AAU,T,D,S}$ e $lestpr_{APR,T,K,D,S}$ rappresentano rispettivamente la quantità di lavoro esterno acquisita da ciascuna azienda nel periodo 1 e nel periodo 2.

La riga 15 si riferisce ai costi sostenuti per i ruoli irrigui pagati al Consorzio in base ai consumi effettivi (RMC_D). La variabile $acqds_{T,K,D,S}$ identifica le acquisizioni di acqua consortile da parte delle singole aziende per ciascun periodo, mentre il parametro $COPERD_{D,T}$ quantifica, in termini relativi, l'entità delle perdite di rete per distretto e periodo.

La riga 16 identifica invece i costi sostenuti dalle aziende per effettuare il pompaggio dell'acqua derivante da fonti aziendali (pozzi). Le stime dei costi unitari di pompaggio, differenziate per tipologia aziendale, sono indicate dal parametro $CPM_{D,S}$ mentre la variabile $apom_{T,K,D,S}$ indica i volumi di acqua pompati dai pozzi in ciascun periodo e ciascuna azienda.

La righe 17 e 18 si riferiscono ai costi di rilancio aziendale dell'acqua sostenuti dai produttori nel primo e nel secondo periodo: le stime dei costi unitari di pompaggio sono indicate dal parametro $COSTRIL_D$. Il parametro $AA_{ACIRAU,T}$ identifica i consumi idrici unitari per ciascuna coltura irrigata del primo stadio (indice ACIRAU) e periodo (m^3/ha), mentre il parametro $AA_{ACIRPR,T}$ identifica i consumi idrici unitari per ciascuna coltura irrigata del secondo stadio (indice ACIRPR) e periodo (m^3/ha).

La riga 19 quantifica l'entità degli investimenti necessari per espandere le attività irrigue oltre il livello di base. Questi sono calcolati moltiplicando un coefficiente derivato da una stima dell'investimento annuo medio per ettaro aggiuntivo coltivato con colture irrigue ($INVI_{D,S}$) (€/ha) per l'entità delle superfici irrigate che supera il livello di base (indice CPIR).

5.2.3 I vincoli del modello

In questa sezione si descrivono i vincoli del modello raggruppati per categorie omogenee. Per ciascun gruppo di vincoli si indica tra parentesi la sigla che li identifica nel modello.

a) Vincoli relativi al fattore lavoro

Un primo gruppo di vincoli assicura che, per ciascuna azienda, periodo e stato della natura, l'utilizzazione di lavoro sia sempre inferiore o al massimo pari alla disponibilità di lavoro. Quest'ultima è data dalla disponibilità di lavoro familiare e di lavoro salariato fisso, nonché dal lavoro esterno avventizio acquisito sul mercato sia dall'azienda sia dagli operatori che acquistano le colture "in campo".

Pertanto questi vincoli ($LAVORO_{T,D,S,K}$) assumono la seguente forma:

$$\sum_{AAU,CT} (X1_{AAU,D,S,CT} \cdot LFAB_{AAU,CT,T}) + \sum_{APR,CT} (X2_{APR,K,D,S,CT} \cdot LFAB_{APR,CT,T}) \leq \\ LAVFAM_{D,S,T} + LAVFIX_{D,S,T} + \sum_{AAU} (lestau_{AAU,T,D,S} + lestrcau_{AAU,T,D,S}) + \\ + \sum_{APR} (lestpr_{APR,T,K,D,S} + lestrcpr_{APR,T,K,D,S})$$

dove:

$X1_{AAU,D,S,CT}$	variabili relative alle attività del primo periodo che assorbono lavoro
$X2_{APR,K,D,S,CT}$	variabili relative alle attività del secondo periodo che assorbono lavoro
$LFAB_{AAU,CT,T}$	fabbisogni unitari di lavoro delle attività del primo stadio definiti per ciascun periodo (T)
$LFAB_{APR,CT,T}$	fabbisogni unitari di lavoro delle attività del secondo stadio definiti per ciascun periodo (T)
$LAVFAM_{D,S,T}$	disponibilità di lavoro familiare
$LAVFIX_{D,S,T}$	disponibilità di lavoro salariato fisso
$lestau_{AAU,T,D,S}$	variabili relative alle acquisizioni di lavoro salariato esterno avventizio per periodo nel primo stadio il cui costo è sostenuto dall'impresa
$lestpr_{APR,T,K,D,S}$	variabili relative alle acquisizioni di lavoro salariato esterno avventizio per periodo e per stato della natura nel secondo stadio il cui costo è sostenuto dall'impresa
$lestrcau_{AAU,T,D,S}$	variabili relative all'acquisizione di lavoro salariato esterno avventizio per periodo nel primo stadio realizzata dalle imprese che acquistano dai produttori le colture in campo
$lestrcpr_{APR,T,K,D,S}$	variabili relative all'acquisizione di lavoro salariato esterno avventizio per periodo e per stato della natura nel secondo stadio realizzata dalle imprese che acquistano dai produttori le colture in campo.

L'acquisizione di lavoro esterno da parte delle imprese è soggetta ad un gruppo di vincoli che agiscono a livello di area ($LAVEST_{T,K}$). Questi vincoli, uno per ciascun periodo e per stato, hanno la seguente struttura:

$$\sum_{AAU,D,S} (lestau_{AAU,T,D,S} \cdot lestrcau_{AAU,T,D,S}) + \sum_{APR,D,S} (lestpr_{APR,T,K,D,S} \cdot lestrcpr_{APR,T,K,D,S}) \leq LESTDIS_T$$

dove $LESTDIS_T$ è la disponibilità di lavoro salariato avventizio dell'area nei periodi.

Il lavoro esterno non retribuito direttamente dai produttori, perché acquisito da chi acquista ortaggi direttamente in campo, non può superare l'ammontare del lavoro utilizzato per la raccolta nelle colture vendute "in campo". Ciò è imposto con il seguente gruppo di vincoli ($LAVESTRC_{T,D,S,K}$):

$$\sum_{AAU} lestrcau_{AAU,T,D,S} + \sum_{APR} lestrcpr_{APR,T,K,D,S} \leq \sum_{AAU,CT} (X1_{AAU,D,S,CT} \cdot LFABRC_{AAU,CT,T}) + \sum_{APR,CT} (X2_{APR,K,D,S,CT} \cdot LFABRC_{APR,CT,T})$$

dove $LFABRC_{AAU,CT,T}$ indica il fabbisogno unitario di lavoro per la raccolta delle colture del primo stadio vendute "in campo" e $LFABRC_{APR,CT,T}$ indica il fabbisogno unitario di lavoro per la raccolta delle colture del secondo stadio vendute "in campo".

b) Vincoli relativi al fattore terra

Un gruppo di vincoli assicura che non venga utilizzata più terra di quella disponibile in ciascuna azienda per ciascuna (eventuale) categoria di suolo e per ogni stato della natura ($TERRACT_{D,S,T,CT,K}$):

$$\sum_{AAU} (X1_{AAU,D,S,CT} \cdot CLATERCT_{AAU,T,CT}) + \sum_{APR} (X2_{APR,K,D,S,CT} \cdot CLATERCT_{APR,T,CT}) \leq TDIS_{D,S,T} \cdot TCLASSI_{D,S,CT}$$

dove:

$CLATERCT_{AAU,T,C}$	matrice che identifica, per ciascuna attività del primo stadio, i periodi di utilizzazione della terra
$CLATERCT_{APR,T,C}$	matrice che identifica, per ciascuna attività del secondo stadio, i periodi di utilizzazione della terra
$TDIS_{D,S,T}$	disponibilità di terra in ciascuna azienda
$TCLASSI_{D,S,CT}$	ripartizione percentuale della terra totale nelle varie classi.

Una parte della terra è stabilmente investita a colture arboree la cui dimensione, quindi, non può essere modificata nel breve periodo. Pertanto la superficie dedicata a queste colture è stata bloccata in ciascuna azienda al livello

riscontrato nell'anno di base con un gruppo di vincoli che ha la seguente struttura ($COLFIX_{COFIX,D,S,CT}$):

$$\sum_{ACFX\$ACCOFIX(ACFX,COFIX)} X1_{ACFX,D,S,CT} = SUPFIXAZ_{COFIX,D,S,CT}$$

La notazione $ACFX\$ACCOFIX(ACFX,COFIX)$ identifica una somma condizionata in cui il parametro $ACCOFIX(ACFX,COFIX)$ associa gli elementi del set $ACFX$ (relativo alle singole tecniche colturali praticate nelle colture fisse) con quelli del set $COFIX$ (relativo alle categorie di colture fisse). $SUPFIXAZ_{COFIX,D,S,CT}$ indica la superficie che, in ogni azienda, è dedicata a ciascuna categoria di colture fisse.

c) Vincoli relativi al fattore acqua

Un primo gruppo di vincoli assicura che, per ogni azienda, in ogni periodo di irrigazione e per ogni stato della natura, i fabbisogni di acqua (parte a sinistra del segno di disuguaglianza) non superino le disponibilità di acqua (parte a destra del segno di disuguaglianza). Questo gruppo di vincoli assume la seguente struttura ($ACQUA_{D,S,T,K}$):

$$\sum_{AAU,CT} (X1_{AAU,D,S,CT} \cdot AA_{AAU,T}) + \sum_{APR,CT} (X2_{APR,K,D,S,CT} \cdot AA_{APR,T}) \leq acqds_{T,K,D,S} \cdot COPERD_{D,T} + apom_{T,K,D,S}$$

dove:

$AA_{AAU,T}$ fabbisogni irrigui unitari di ciascuna attività del primo stadio (m^3/ha)

$AA_{APR,T}$ fabbisogni irrigui unitari di ciascuna attività del secondo stadio (m^3/ha)

$acqds_{T,K,D,S}$ acqua consortile che, una volta nettata dalle perdite di rete ($COPERD_{D,T}$), giunge all'azienda

$apom_{T,K,D,S}$ acqua pompata autonomamente dall'azienda.

L'entità dell'acqua Consortile utilizzata dalle aziende è soggetta a due tipi di vincoli. Il primo assicura che la somma dell'acqua immessa nei diversi macro-

distretti non superi la disponibilità di acqua indicata per ciascun periodo in ogni schema irriguo (indice SI) per ogni stato della natura. Questo tipo di vincoli assume la seguente forma ($IMMSI_{SI,T,K}$):

$$\sum_S \sum_{D\$SID(SI,D)} acqds_{T,K,D,S} \leq DISACQ_{K,SI,T}$$

La notazione $D\$SID(SI,D)$ indica una somma condizionale dei dati relativi ai singoli macro-distretti in cui $SID(SI,D)$ è una matrice che associa i singoli macro-distretti con i rispettivi schemi irrigui. $DISACQ_{K,SI,T}$ indica la disponibilità di acqua per periodo in ciascuno schema irriguo.

Il modello limita l'uso dell'acqua anche rispetto alle disponibilità totali annue di acqua consortile per ogni stato della natura con il seguente vincolo ($TOTACQ_K$):

$$\sum_{T,S} (acqds_{T,K,"CO",S}) \leq ADISTOT_K$$

dove $ADISTOT_K$ indica la disponibilità annua totale di acqua consortile attesa per ogni stato della natura.

Un limitato numero di aziende, per loro motivi organizzativi, ricorre solo in modo residuale all'acqua fornita dal Consorzio. In questo caso il modello esplicita tale scelta imponendo un tetto all'acquisizione di acqua consortile.

Un gruppo di vincoli riguarda le potenzialità tecniche di rete degli impianti di distribuzione e assume la seguente struttura ($RETE_{D,T,K}$):

$$\sum_S (acqds_{T,K,D,S}) \leq MAXRETE_{D,T}$$

dove $MAXRETE_{D,T}$ indica il flusso massimo di acqua transitabile nella rete di approvvigionamento dei macrodistretti in ciascun periodo.

Inoltre, anche le capacità di attingimento di acqua da pozzi aziendali sono vincolate tenendo conto della disponibilità e del tipo di pompe presenti in ciascuna azienda nel seguente modo ($ACQPOM_{T,D,S,K}$):

$$apom_{T,K,D,S} \leq DISPOM_{T,D,S}$$

dove $DISPOM_{T,D,S}$ indica la capacità massima di pompaggio in ciascuna azienda per periodo. Essa è stata calcolata sulla base di informazioni relative alla frequenza media di pozzi aziendali in ciascun distretto e alle caratteristiche tecniche delle pompe.

Come già indicato, per tenere conto della necessità di un adeguamento strutturale delle aziende che intendono espandere le superfici irrigue, è stata inserita una variabile che rappresenta la scelta di investimento in capitali di esercizio (essenzialmente macchine) necessari a realizzare le colture irrigue. Tale attività, che determina un costo nella funzione obiettivo, deve essere attivata in misura proporzionale agli ettari di terreno coltivati con colture irrigue che superano il livello di base. Questo è assicurato da una serie di vincoli che hanno la seguente struttura ($CAPIRR_{D,S,K}$):

$$\sum_{ACIRAU,CT} (X1_{ACIRAU,D,S,CT}) + \sum_{ACIRPR,CT} (X2_{ACIRPR,K,D,S,CT}) - \sum_{CT} (COLTIRR_{D,S,CT}) \leq \sum_{CAPIR,CT} X1_{CAPIR,D,S,CT}$$

dove:

ACIRAU	indice (sub-set di A) che si riferisce alle colture irrigue del primo stadio
ACIRPR	indice (sub-set di A) che si riferisce alle colture irrigue del secondo stadio
$COLTIRR_{D,S,CT}$	livello assunto in ciascuna azienda dalle colture irrigue nella situazione di base
$X1_{CAPIR,D,S,CT}$	livello della variabile investimenti aggiuntivi in capitali connessi all'attività irrigua in ciascuna azienda.

d) Vincoli rotazionali - agronomici

Le attività colturali svolte in ciascuna azienda sono legate da una serie di vincoli di natura rotazionale ed agronomica. Essi assicurano, ad esempio, che i diversi anni delle colture poliennali siano mantenuti entro determinati rapporti o che alcune colture o gruppi di colture non eccedano certi livelli per assicurare che esse non ritornino sugli stessi terreni se non dopo un adeguato numero di anni.

Questi vincoli, che agiscono in modo differenziato sulle eventuali classi di terra disponibili e in ciascuna azienda per ogni stato della natura, assumono la seguente struttura ($AGRONCT_{D,S,E,CT,K}$):

$$\sum_{ACOAU} (X1_{ACOAU,D,S,CT} \cdot AGROCT_{ACOAU,CT,E,D,S}) + \sum_{ACOPR} (X2_{ACOPR,K,D,S,CT} \cdot AGROCT_{ACOPR,CT,E,D,S}) \leq 0$$

dove $AGROCT_{ACOAU,CT,E,D,S}$ rappresenta una matrice composta di tante colonne quanti sono i vincoli rotazionali – agronomici (indice E) per le colture del primo stadio e $AGROCT_{ACOPR,CT,E,D,S}$ rappresenta una matrice composta di tante colonne quanti sono i vincoli rotazionali – agronomici (indice E) per le colture del secondo stadio (Tabella 5.7).

Tab. 5.7: Descrizione sintetica dei vincoli rotazionali utilizzati

Codice	Vincoli rotazionali relativi alla coltivazione di:
E1	cereali autunno-vernini
E2	ortive
E3	erba medica quinquennale impianto
E4	erba medica quinquennale anni seguenti
E5	carciofo biennale 1: Impianto - Secondo anno
E6	trifoglio irrigato biennali
E7	pascolo semi-spontaneo
E8	grano duro biologico
E9	carciofo biennale 2: Impianto - Secondo anno
E10	carciofo biennale 2: Impianto - Primo anno
E11	carciofo biennale 1: Impianto - Primo anno

e) Vincoli di natura politica

Le scelte aziendali sono condizionate anche da alcune politiche agricole. Nell'area della Nurra un vincolo rilevante è quello del set-aside obbligatorio. Infatti, alcune aziende, dato il livello delle superfici coltivate con colture COP (Cereali, Oleaginose e Proteiche) che ricevono aiuti ad ettaro, sono tenute a

mettere a riposo una quota variabile delle loro superfici. Tale vincolo ha la seguente struttura ($SETASIDE_{D,S,K}$):

$$\sum_{ACOPAU,CT} (X1_{ACOPAU,D,S,CT} \cdot TSA_{D,S}) + \sum_{ACOPPR,CT} (X2_{ACOPPR,K,D,S,CT} \cdot TSA_{D,S}) \leq \sum_{SETAS,CT} (X1_{SETAS,D,S,CT} + X2_{SETAS,K,D,S,CT})$$

dove:

ACOPAU	indice (sub-set di A) che si riferisce alle colture COP del primo stadio
ACOPPR	indice (sub-set di A) che si riferisce alle colture COP del secondo stadio
$TSA_{D,S}$	coefficienti di set aside obbligatori per ciascuna azienda
$X1_{SETAS,D,S,CT}$	superfici poste a set aside in ciascuna azienda in ciascuna classe di terra nel primo stadio
$X2_{SETAS,K,D,S,CT}$	superfici poste a set aside in ciascuna azienda in ciascuna classe di terra nel secondo stadio.

f) Vincoli relativi alle attività zootecniche

Il modello considera in modo esplicito le attività zootecniche realizzate nell'area. Tali attività si riferiscono all'allevamento di bovini da latte, da carne e di ovini, come già indicato (indice TZ). Ad ogni azienda è assegnato il numero di capi presente di ciascuna tipologia zootecnica rilevato e il modello costringe le aziende a realizzare queste attività attraverso il seguente gruppo di vincoli ($CAPIS_{D,TZ}$):

$$\sum_{CT} X1_{TZ,D,S,CT} = NCAPIS_{S,D,TZ} \cdot NUMAZ_{D,S}$$

dove

TZ	tipologie zootecniche rilevate nell'area
$X1_{TZ,D,S,CT}$	capi allevati per tipologia zootecnica (TZ) in ciascuna azienda

NCAPIS_{D,TZ} numero di capi totali presenti in ogni singola azienda per ciascuna tipologia zootecnica

NUMAZ_{D,S} numero di singole aziende che confluiscono in ciascuna macro-azienda rappresentativa.

Il modello considera in modo esplicito ed articolato i fabbisogni alimentari dei capi allevati in ciascuna azienda tenendo conto di:

- numero totale di capi per tipologia di allevamento
- ripartizione dei capi totali in diverse categorie di animali allevati (indice CA): questi fanno riferimento essenzialmente all'età e al sesso degli animali (ad esempio vacche, tori, vitelli, ecc.)
- fabbisogni unitari di elementi nutritivi di ciascuna categoria di animali allevati.

In particolare si è fatto riferimento a quattro elementi nutritivi identificati dall'indice EN (unità foraggiere, sostanza secca, proteina grezza e fibra grezza). Il modello consente il soddisfacimento di tali fabbisogni mediante l'acquisto di alimenti zootecnici sul mercato o la loro produzione in azienda.

In definitiva, le relazioni tra fabbisogni e disponibilità di elementi nutritivi zootecnici sono definite attraverso il seguente gruppo di vincoli (CAPALIM_{S,D,EN,K}). Questo identifica, nella prima riga, i fabbisogni alimentari derivanti dal numero di capi allevati, nella seconda riga gli apporti di elementi nutritivi derivanti dall'acquisto di alimenti, nella terza riga l'apporto di elementi nutritivi derivanti dalla produzione diretta di alimenti in azienda nel primo stadio, nella quarta riga l'apporto di elementi nutritivi derivanti dalla produzione diretta di alimenti in azienda nel secondo stadio.

$$\begin{aligned} &\sum_{CA,CT,TZ} (X1_{TZ,D,S,CT} \cdot CATAN_{TZ,CA} \cdot FABAL_{TZ,CA,EN}) \leq \\ &\sum_{ALIM,CT} (X1_{ALIM,D,S,CT} \cdot ACQAL_{ALIM} \cdot APPNUT_{ALIM,EN}) + \\ &\sum_{ALIM,ACOAU,CT} (X1_{ACOAU,D,S,CT} \cdot RALIM_{D,ACOAU,ALIM} \cdot APPNUT_{ALIM,EN}) + \\ &\sum_{ALIM,ACOPR,CT} (X2_{ACOPR,K,D,S,CT} \cdot RALIM_{D,ACOPR,ALIM} \cdot APPNUT_{ALIM,EN}) \end{aligned}$$

dove:

$CATAN_{TZ,CA}$	ripartizione degli animali allevati per categoria (CA)
$FABAL_{TZ,CA,EN}$	fabbisogno unitario di ciascuna tipologia e categoria di animali per i 4 elementi nutrizionali considerati (EN)
$X1_{ALIM,D,S,CT}$	livello degli alimenti zootecnici (ALIM) acquistati nel mercato
$ACQAL_{ALIM}$	matrice che identifica il sottoinsieme degli alimenti che possono essere effettivamente acquistati nel mercato nelle specifiche condizioni economiche e strutturali dell'area di studio
$APPNUT_{ALIM,EN}$	apporti nutritivi unitari di ciascun alimento zootecnico
$X1_{ACOAU,D,S,CT}$	livello delle colture (ACOAU) che danno luogo a produzione di alimenti zootecnici presenti in azienda nel primo stadio
$X2_{ACOPR,K,D,S,CT}$	livello delle colture (ACOPR) che danno luogo a produzione di alimenti zootecnici presenti in azienda nel secondo stadio
$RALIM_{D,ACOAU,ALIM}$	rese delle colture del primo stadio in termini di quantità di alimenti per unità di superficie coltivata
$RALIM_{D,ACOPR,ALIM}$	rese delle colture del secondo stadio in termini di quantità di alimenti per unità di superficie coltivata.

Si noti che, poiché nell'insieme delle colture che producono gli alimenti zootecnici rientrano colture irrigue e non irrigue, il modello consente la scelta di coprire i fabbisogni alimentari utilizzando diversi livelli d'uso della risorsa idrica.

g) Gestione del modello e dati di output

La risoluzione del modello è realizzata mediante il programma GAMS, General Algebraic Modeling System, (Brooke, Kendrick e Meeraus, 1985), che genera un ampio ventaglio di dati di output. Questi si concentrano sui seguenti aspetti:

1. Risultati del risolutore e status del modello (con eventuali messaggi di errore)

2. Risultati economici principali: redditi, entrate e costi (totali, suddivisi nelle diverse categorie, per azienda, per unità lavorativa, per ettaro di SAU, ecc.)
3. Acqua irrigua (totale, consortile e pompata, utilizzata dagli agricoltori ed immessa, dati totali e per periodo, prezzi ombra)
4. Uso dei suoli (superfici coltivate ed irrigate distinte per tipologia di irrigazione e per coltura)
5. Entità delle attività zootecniche (capi allevati per categoria, alimenti acquistati, ecc.)
6. Uso del lavoro (totale e salariato, dati totali e per periodo)
7. Uso di input chimici (unità di azoto, fosforo, potassio, diserbanti, antiparassitari).

I dati sono mostrati con diversi livelli di aggregazione, in base al livello di dettaglio necessario per descrivere i vari risultati: totale di area, totale bacino idrografico, per schema irriguo e distretto, per tipologia aziendale, ecc.

CAPITOLO 6

RISULTATI DEL MODELLO

Il modello di Programmazione Stocastica Discreta prima sviluppato per l'area della Nurra fornisce varie indicazioni sull'attività agricola, relative ad aspetti di tipo fisico ed economico. Tra i primi abbiamo l'uso delle varie risorse produttive. In particolare, il modello identifica l'uso del suolo, quello del lavoro familiare e salariato, l'impiego dell'acqua fornita dagli impianti consortili e dai prelievi individuali, l'uso dei fattori produttivi chimici. Le indicazioni su queste risorse si riferiscono all'annata agraria; alcune di esse, in particolare per l'uso dell'acqua e del lavoro, riguardano anche i vari periodi, mesi e decadi, in cui è diviso l'anno. Le indicazioni economiche riguardano i ricavi, la loro ripartizione in introiti da vendite ed aiuti pubblici ed i costi, con le voci che li compongono. Questi dati forniscono una prima indicazione sullo stato della redditività agricola nell'area. Un altro gruppo d'indicazioni economiche riguarda i *prezzi ombra* delle risorse usate in agricoltura. Questi valori indicano il prezzo che il sistema sarebbe disposto a pagare per avere unità aggiuntive delle risorse. Il loro livello è alto quando la scarsità delle risorse limita consistentemente la capacità produttiva del sistema (Dono et al., 2008). Il modello fornisce tutte queste indicazioni per le singole tipologie che rappresentano le aziende agricole della zona, per l'intero territorio e per le sue ripartizioni. In particolare, si farà riferimento all'Area totale di studio, che include il Bacino del Cuga e l'area del Consorzio che non ricade nel Bacino, e il Consorzio di bonifica della Nurra.

Il modello di Programmazione Stocastica Discreta permette di considerare vari scenari di disponibilità di acqua per il settore agricolo e di esplicitare i risultati per ciascuno di essi. Lo stato di buona disponibilità idrica rappresenta gli anni in cui non solo non si è reso necessario l'intervento pubblico, ma si è registrata abbondanza di acqua per l'irrigazione. Nel secondo stato, ossia quello di media disponibilità di risorsa, si tiene sotto controllo la quantità di acqua presente

nel bacino per valutare la necessità di un intervento pubblico che limiti gli attingimenti per uso agricolo; tuttavia, tali interventi non si rendono necessari. Nel terzo stato, la scarsità idrica diventa una vera e propria emergenza, tanto da richiedere interventi pubblici che decurtano in maniera notevole la disponibilità di acqua per il settore agricolo per garantire altri utilizzi, quale quello idropotabile. L'effetto dei Cambiamenti Climatici ha variato la probabilità con cui ciascuno stato della natura può verificarsi. Nel tempo, infatti, la comparsa dello scenario scarso e l'aumento della sua probabilità di verificarsi, ha fatto sì che le probabilità degli altri eventi diminuissero. La tendenza, quindi, è verso uno scenario di scarsa disponibilità di acqua per l'agricoltura, in cui il settore pubblico riveste un ruolo centrale nel ripartire la risorsa idrica disponibile tra i vari utilizzi. Dato che oggi ogni scenario può verificarsi con una certa probabilità, la situazione attuale può essere identificata come la loro media, pesata per la relativa probabilità di verificarsi. Il Cambiamento Climatico, quindi, rappresenta un'importante fonte di rischio per l'agricoltore ed il loro effetto viene analizzato, in questo lavoro, confrontando lo scenario attuale con quello di scarsa disponibilità di acqua, in quanto è verso quest'ultimo che spinge la tendenza delle componenti climatiche.

In questa ottica, quindi, il modello di PSD non viene utilizzato per fare simulazioni di Politica Comunitaria o di prezzo dell'acqua, come spesso accade in letteratura, ma vuole rappresentare uno strumento in grado di mostrare la risposta dell'area ai Cambiamenti Climatici in atto, in termini di variazioni di redditività del settore agricolo, di colture praticate, di utilizzo di fattori produttivi quali il lavoro o la risorsa idrica. Va considerato, tuttavia, che il modello implementato è di breve periodo e quindi alcune attività, quali le colture arboree o quelle zootecniche, sono ipotizzate fisse, così come lo sono le tecniche colturali praticate. E' chiaro che volendo trattare il problema dei Cambiamenti Climatici in maniera più esaustiva sarebbe necessario considerare che gli agricoltori possano effettuare cambiamenti più profondi sia in termini di attività che di tecniche praticate. Tali analisi richiederebbero la realizzazione di un modello di lungo periodo, complicato da implementare in termini di Programmazione Matematica e che dovrebbe basarsi su studi di tipo socio-climatico ben più dettagliati di quelli

presentati in questo lavoro. A rendere più oscure le previsioni di lungo periodo, inoltre, giocano un ruolo importante le Politiche Agricole, in grado, in pochi anni, di stravolgere l'intero settore agricolo di un'area, specialmente in una situazione quale quella attuale, in cui la Riforma Fischler ha riformato profondamente l'intero settore e in cui c'è incertezza su quello che accadrà a partire dal 2013.

Fatta questa fondamentale premessa, possiamo ad analizzare nel dettaglio i risultati forniti dal modello.

6.1 Validazione del modello

Il modello è stato sottoposto ad un processo di calibrazione e validazione, che si è basato sul confronto degli ordinamenti colturali tratti dalle osservazioni di campo nel 2004 con quelli identificati dal modello per lo stesso anno. Il confronto è stato utile per perfezionare ed arricchire gradualmente il modello introducendo tecniche produttive e attività, aggiungendo vincoli e specificando in modo più adeguato la disponibilità di alcune risorse. Il confronto tra gli ordinamenti colturali rilevati in campo e quelli definiti dal modello è stato svolto dividendo la superficie coltivata in varie categorie di colture e calcolandone il peso percentuale sul totale. Il vettore dei dati ottenuti dal modello è stato confrontato con il vettore dei dati osservati utilizzando l'indice di Finger e Kreinin, basato sulla somma dei valori minimi delle due serie di dati. Il valore che quest'indice può assumere varia da zero a cento ed indica il grado di somiglianza tra le due strutture. Il modello, in realtà, fornisce tre ordinamenti colturali ottimali, uno per ciascuno stato della natura. Per effettuare il confronto con i dati osservati è stato utilizzato un ordinamento colturale medio ipotetico (che chiameremo *Scenario Attuale*), in cui ciascun piano ottimale è stato pesato sulla base della rispettiva probabilità di verificarsi. La tabella 6.1 riporta i valori confrontati per l'intera area. L'ultima riga riporta il valore dell'indice di Finger-Kreinin, il quale indica che il modello replica adeguatamente gli ordinamenti produttivi osservati. Si ritiene che se il modello descrive in modo sufficientemente accurato i meccanismi di scelta degli agricoltori, può fornire delle indicazioni utili sul possibile aggiustamento delle aziende al variare delle condizioni economiche, strutturali e ambientali.

Tab. 6.1: Indice di somiglianza

ATTIVITA'	Osservati	Modello
Grano duro	16.4	13.7
Orzo-Avena	1.9	4.0
Erbai	39.6	39.4
Pascoli	18.6	20.5
Mais	5.9	3.4
Pomodoro	0.1	0.1
Carciofo	1.0	2.3
Cocomero-Melone	1.8	2.5
Olivo	5.8	5.5
Vite	5.0	4.8
Altre arboree	3.1	2.9
Set-aside	0.8	1.0
Indice di somiglianza (F-K)		94

Di seguito si esamineranno i risultati economici che riguardano i ricavi, i costi, i margini lordi e la loro composizione di dettaglio. Successivamente si analizzeranno i risultati di tipo fisico del modello, in merito all'uso del suolo e del lavoro, all'irrigazione e all'utilizzo dei mezzi tecnici chimici. Tali indicazioni sono fornite sia per l'intera area che per quella consortile. Infatti, per poter analizzare con maggior dettaglio gli effetti causati dal Cambiamento Climatico sulla diminuzione della risorsa idrica disponibile per l'irrigazione da parte del Consorzio, è utile considerare una parte dell'area, ossia quella consortile, che dispone di risorse idriche a scopo irriguo distribuite dalla rete, a differenza dell'area extra-consortile che non dispone di tali risorse. E' su tale area, infatti, che gli effetti della minore possibilità d'impiego di acqua per l'irrigazione dovrebbero essere più marcati, poiché l'area extra-consortile può reperire acqua solamente dai pozzi aziendali, la cui disponibilità non è, in questa analisi, soggetta ad aleatorietà.

6.2 Risultati economici

6.2.1 Intera area

La tabella 6.2 mostra i principali risultati economici del modello. Essa permette di notare l'incidenza delle varie categorie sui ricavi totali sia per l'area nel complesso, sia per l'area interessata da colture irrigue. Complessivamente, i ricavi da vendite costituiscono circa l'83% dei ricavi totali e le vendite delle colture hanno un peso preminente rispetto a quelle di carne e latte. I ricavi da colture sono dovuti principalmente all'uva da vino, seguiti da ortaggi, frutta e cereali. I ricavi da carne e da latte costituiscono più del 10% dei ricavi totali, soprattutto per la vendita di produzioni ovine. Gli aiuti pubblici, infine, costituiscono una voce non trascurabile dei ricavi totali, rappresentandone circa il 17%. Per quanto riguarda i costi, la voce più significativa è rappresentata dai mezzi tecnici (20% dei ricavi totali), seguita dal lavoro esterno (3%) e dagli investimenti irrigui (2.5%). I costi sostenuti complessivamente per l'irrigazione, invece, hanno un peso molto contenuto sui ricavi totali, rappresentandone solamente lo 0.5%.

Tab. 6.2: Risultati economici. Intera area (.000 €)

	Complessivi		Irrigui	
Ricavi totali:	97,495	100	49,734	100
ricavi da vendite	80,768	82.8	44,474	89.4
<i>attività colturali</i>	70,362	72.2	44,474	89.4
<i>vendita carne</i>	1,122	1.2	---	---
<i>vendita latte</i>	9,284	9.5	---	---
sussidi e aiuti	16,727	17.2	5,260	10.6
Costi totali:	25,185	25.8	14,580	29.3
mezzi tecnici	19,421	19.9	9,505	19.1
lavoro esterno	2,890	3.0	2,201	4.4
ruoli irrigui	323	0.3	323	0.6
pompaggio	150	0.2	150	0.3
investimenti irrigui	2,401	2.5	2,401	4.8
RICAVO LORDO	72,310	74.2	35,154	70.7

Considerando l'area interessata dalle colture irrigue, è evidente che i ricavi da vendite delle colture rappresentano la voce principale dei ricavi totali (89.4%) a cui si aggiungono solamente gli aiuti pubblici che, pur costituendo una voce significativa (10.6%), hanno un impatto minore sui ricavi totali rispetto a quello registrato nell'area complessiva, in quanto vengono meno gli aiuti relativi agli allevamenti. La struttura dei costi è molto simile a quella analizzata in precedenza per l'intera area e i costi per l'irrigazione hanno un peso piuttosto basso rispetto agli altri, pari allo 0.9% dei ricavi.

La tabella 6.3 mostra la variazione dei risultati economici tra lo scenario attuale e quello scarso.

Tab. 6.3: Variazione risultati economici. Intera area (.000 €)

	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Ricavi totali:	97,495	94,047	-3.5	49,734	46,300	-6.9
ricavi da vendite	80,768	77,335	-4.3	44,474	41,040	-7.7
<i>attività colturali</i>	70,362	66,929	-4.9	44,474	41,040	-7.7
<i>vendita carne</i>	1,122	1,122	0	---	---	---
<i>vendita latte</i>	9,284	9,284	0	---	---	---
sussidi e aiuti	16,727	16,712	-0.1	5,260	5,260	0
Costi totali:	25,185	22,881	-9.1	14,580	12,275	-15.8
mezzi tecnici	19,421	17,291	-11.0	9,505	7,382	-22.3
lavoro esterno	2,890	2,820	-2.4	2,201	2,122	-3.6
ruoli irrigui	323	203	-37.0	323	203	-37.0
pompaggio	150	166	10.8	150	166	10.8
investimenti irrigui	2,401	2,401	0	2,401	2,401	0
RICAVO LORDO	72,310	71,166	-1.6	35,154	34,026	-3.2

Complessivamente, i ricavi lordi diminuiscono dell'1.6%, a fronte di una diminuzione dei ricavi totali del 3.5% e dei costi totali del 9.1%. Nello specifico, i ricavi da vendite delle colture subiscono una flessione di circa il 5%, mentre i ricavi derivanti dalla vendita della carne e del latte e gli aiuti rimangono invariati. I costi che subiscono la diminuzione più marcata sono rappresentati dai ruoli irrigui (-37%), seguiti dai mezzi tecnici (-11%) e dal lavoro esterno (-2.4%);

aumentano, invece, del 10.8% i costi di pompaggio, ad indicare che è possibile parzialmente sopperire alla diminuzione di acqua consortile incrementando l'uso di acqua pompata.

Nell'area interessata da colture irrigue gli effetti sono più marcati, in quanto i ricavi lordi diminuiscono del 3.2%. I ricavi totali subiscono un decremento di quasi il 7%, a causa della diminuzione dei ricavi da vendite, mentre i costi sono del 15.8% più bassi. Tutte le voci di costo diminuiscono, ad eccezione di quelli per il pompaggio che aumentano del 10.8%.

6.2.2 Area consortile

La tabella 6.4 mostra i principali risultati economici del modello per l'area consortile.

Tab. 6.4: Risultati economici. Area consortile (.000 €)

Risultati economici area consortile (.000 €)				
	Complessivi		Irrigui	
Ricavi totali:	73,092	100	41,008	100
ricavi da vendite	63,901	87.4	36,306	88.5
<i>attività colturali</i>	55,793	76.3	36,306	88.5
<i>vendita carne</i>	716	1.0	---	---
<i>vendita latte</i>	7,391	10.1	---	---
sussidi e aiuti	9,191	12.6	4,702	11.5
Costi totali:	19,244	26.3	11,347	27.7
mezzi tecnici	15,347	21.0	8,054	19.6
lavoro esterno	2,108	2.9	1,504	3.7
ruoli irrigui	323	0.4	323	0.8
pompaggio	72	0.1	72	0.2
investimenti irrigui	1,393	1.9	1,393	3.4
MARGINE LORDO	53,848	73.7	29,662	72.3

Complessivamente, i ricavi da vendite costituiscono circa l'87% dei ricavi totali e le vendite delle colture hanno un peso preminente rispetto a quelle di carne e latte. I ricavi da carne e da latte costituiscono circa l'11% dei ricavi totali. Gli aiuti pubblici rappresentano poco meno del 13% dei ricavi totali. Per quanto

riguarda i costi, la voce più significativa è rappresentata dai mezzi tecnici (21% dei ricavi totali), seguita dal lavoro esterno (3%) e dagli investimenti irrigui (2%). I costi sostenuti complessivamente per l'irrigazione, invece, hanno un peso molto contenuto sui ricavi totali, rappresentandone solamente lo 0.5%.

Considerando l'area interessata dalle colture irrigue, è chiaro che i ricavi da vendite delle colture rappresentano la voce principale dei ricavi totali (88.5%) a cui si aggiungono solamente gli aiuti pubblici che, pur costituendo una voce significativa (11.5%), hanno un impatto minore sui ricavi totali rispetto a quello registrato nell'area complessiva, in quanto vengono meno gli aiuti relativi agli allevamenti. La struttura dei costi è molto simile a quella analizzata in precedenza per l'intera area e i costi per l'irrigazione hanno un peso piuttosto basso rispetto agli altri costi, pari all'1% dei ricavi.

La tabella 6.5 mostra la variazione dei risultati economici tra lo scenario attuale e quello scarso.

Tab. 6.5: Variazione risultati economici. Area consortile (.000 €)

	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Ricavi totali:	73,092	69,644	-4.7	41,008	37,575	-8.4
ricavi da vendite	63,901	60,468	-5.4	36,306	32,873	-9.5
<i>attività colturali</i>	55,793	52,360	-6.2	36,306	32,873	-9.5
<i>vendita carne</i>	716	716	0	---	---	---
<i>vendita latte</i>	7,391	7,391	0	---	---	---
sussidi e aiuti	9,191	9,176	-0.2	4,702	4,702	0.0
Costi totali:	19,244	16,940	-12.0	11,347	9,054	-20.2
mezzi tecnici	15,347	13,217	-13.9	8,054	5,931	-26.4
lavoro esterno	2,108	2,038	-3.3	1,504	1,438	-4.4
ruoli irrigui	323	203	-37.0	323	203	-37.0
pompageo	72	89	22.3	72	89	22.3
investimenti irrigui	1,393	1,393	0	1,393	1,393	0
MARGINE LORDO	53,848	52,704	-2.1	29,662	28,521	-3.8

L'effetto dei Cambiamenti Climatici sull'area consortile è più marcato rispetto a quello registrato sull'intera area. Questo risultato è in linea con quanto ci aspettavamo, in quanto l'aleatorietà riguarda la quantità di acqua che il Consorzio è in grado di fornire agli agricoltori. Le superfici attrezzate a tale scopo rientrano nell'area consortile, mentre in quella extra-consortile l'acqua può essere estratta solamente da pozzi aziendali.

I ricavi lordi diminuiscono del 2.1%, a fronte di una diminuzione dei ricavi totali del 4.7% e dei costi totali del 12%. Nello specifico, i ricavi da vendite delle colture subiscono una flessione di poco più del 6%, mentre i ricavi derivanti dalla vendita della carne e del latte, così come gli aiuti, rimangono invariati. I costi che subiscono la diminuzione più marcata sono rappresentati dai ruoli irrigui (-37%), seguiti dai mezzi tecnici (-14%) e dal lavoro esterno (-3.3%); aumentano, invece, del 22.3% i costi di pompaggio.

Nell'area interessata da colture irrigue gli effetti sono ancora più accentuati, in quanto i ricavi lordi diminuiscono del 3.8%. I ricavi totali subiscono un decremento di più dell'8%, a causa della diminuzione dei ricavi da vendite, mentre i costi sono del 20.2% più bassi. Tutte le voci di costo diminuiscono, ad eccezione di quelli per il pompaggio che aumentano del 22.3%.

6.3 Uso agricolo del suolo

6.3.1 Intera area

I risultati sull'uso del suolo e la consistenza del bestiame, espressi per grandi aggregati di colture e di specie animali, sono riportati nella tabella 6.6. La tabella riporta il confronto tra lo scenario attuale e quello scarso. Le soluzioni ottime dipendono dallo scenario che si realizza. In realtà, ciò che può cambiare tra uno scenario e l'altro è rappresentato unicamente dalle scelte concernenti le colture a semina primaverile-estiva, poiché le scelte colturali operate nel primo stadio sono irreversibili.

Tab. 6.6: Risultati generali del modello. Intera area (ha e numero capi)

Attività	Attuale	Scarso	Var. %
Grano duro	4,386	4,386	0
Orzo-avena	1,265	1,265	0
Erbai	12,600	13,605	8.0
Pascoli	6,561	6,561	0
Mais	1,037	1,037	0
Pomodoro	28	28	0
Carciofo	746	297	-60.2
Cocomero-Melone	788	227	-71.2
Olivo	1,756	1,756	0
Vite	1,519	1,519	0
Altre arboree	937	937	0
Set-aside	319	174	-45.5
TOTALE COLTURE	31,942	31,792	-0.5
Superfici irrigate	7,588	7,582	-0.1
Rapporto % (Irr./Tot.)	24%	24%	0
Bovini	2,864	2,864	0
Ovini	42,939	42,939	0

Innanzitutto, si può notare la netta prevalenza delle superfici destinate alle colture foraggere e ai pascoli e che un certo rilievo è assunto anche dalle colture cerealicole. Inoltre, si nota che, tra le ortive, la coltivazione di cocomero e melone riveste una notevole importanza. Per quanto riguarda gli allevamenti, la zona è caratterizzata dalla presenza di numerose aziende ovine, che si concentrano prevalentemente nella zona consortile. La produzione di latte bovino si realizza sostanzialmente all'interno dell'area consortile e si concentra in aziende di grandi dimensioni. Al contrario, la produzione di carne bovina si realizza nei territori esterni al consorzio in aziende che non sono dotate di risorse idriche e che presentano soprattutto piccole e medie dimensioni.

Passando al confronto dei piani culturali, emerge che il Cambiamento Climatico non ha effetti sulle superfici di alcune colture, che rimangono fisse, così come sul numero di capi allevati. In questa categoria, oltre ovviamente alle colture fisse, ricadono i cereali, i pascoli e il pomodoro (sotto serra). Per quanto riguarda

le altre colture, le diminuzioni sono molto marcate. In particolare, il decremento più consistente, in termini percentuali, si registra per la superficie a cocomero e melone (-71%), seguito dal carciofo (-60%) e dal set-aside (-45%). Aumentano dell'8%, invece, gli erbai. La superficie complessiva coltivata diminuisce leggermente (-0.5%). Le superfici investite da colture irrigue rappresentano il 24% della superficie coltivata complessiva e tale rapporto rimane invariato passando dallo scenario attuale a quello scarso.

Nonostante non venga utilizzata tutta la terra a disposizione in nessuno stato della natura, l'analisi dei risultati permette di verificare che la disponibilità di superficie rappresenta un vincolo per l'attività agricola della zona. Infatti, in alcuni periodi e per alcune tipologie aziendali, emergono *prezzi ombra* a segnalare la scarsità di questa risorsa.

6.3.2 Area consortile

I risultati per l'area consortile sono riportati nella tabella 6.7.

Tab. 6.7: Risultati generali del modello. Area consortile (ha e numero capi)

Attività	Attuale	Scarso	Var. %
Grano duro	3,679	3,679	0
Orzo-avena	918	918	0
Erbai	8,701	9,706	11.6
Pascoli	3,373	3,373	0
Mais	885	885	0
Pomodoro	21	21	0
Carciofo	538	88	-83.6
Cocomero-Melone	788	227	-71.2
Olivo	754	754	0
Vite	1,336	1,336	0
Altre arboree	587	587	0
Set-aside	305	160	-47.5
TOTALE COLTURE	21,885	21,734	-0.7
Superfici irrigate	4,696	4,688	-0.2
Rapporto % (Irr./Tot.)	21%	22%	1
Bovini	1,838	1,838	0
Ovini	27,563	27,563	0

Anche nell'area consortile prevalgono le superfici destinate alle colture foraggiere e ai pascoli e una certa importanza è assunta dalle colture cerealicole. Tra le ortive, la coltivazione di cocomero e melone riveste un'elevata importanza. Nell'area consortile, gli effetti dei Cambiamenti Climatici sono più marcati rispetto all'intera area e le variazioni delle superfici colturali assumono valori più elevati. In particolare, si ha un decremento della superficie a carciofo dell'83.6%, di quella a cocomero e melone del 71.2% e del set-aside del 47.5%, mentre gli erbai aumentano dell'11.6%. Le superfici complessive coltivate diminuiscono leggermente. Le superfici investite da colture irrigue rappresentano il 22% della superficie coltivata complessiva e tale rapporto rimane invariato passando dallo scenario attuale a quello scarso. Anche nell'area consortile la disponibilità di superficie rappresenta un vincolo per l'attività agricola della zona. Infatti, in alcuni periodi e per alcune tipologie aziendali, emergono *prezzi ombra* a segnalare la scarsità di questa risorsa.

6.4 Uso dell'acqua per l'irrigazione

6.4.1 Intera area

Nella tabella 6.8 sono riportati i consumi idrici per periodo e le loro variazioni dovute agli effetti dei Cambiamenti Climatici.

La tabella mostra che la risorsa destinata agli usi irrigui aziendali è mediamente 18.2 milioni di metri cubi l'anno, un valore ottenuto considerando gli ordinamenti produttivi e le tecniche colturali identificati dal modello, e una stima delle perdite di rete pari al 19% delle immissioni. Il modello stima che il 72% dell'acqua destinata all'agricoltura, ossia 13.2 milioni di metri cubi è fornita dal Consorzio. Ciò significa che assumono un certo rilievo anche i prelievi idrici individuali da acque sotterranee, che il modello stima in circa 5 milioni di metri cubi. In alcuni periodi, sebbene non venga utilizzata complessivamente l'acqua consortile, gli agricoltori prelevano acqua direttamente da fonti aziendali in quanto, per alcune tipologie di pozzi, il costo di estrazione al metro cubo risulta inferiore del prezzo praticato dal Consorzio.

Passando dallo scenario attuale a quello scarso, complessivamente l'acqua utilizzata diminuisce del 24%, in particolare nei mesi di settembre ed ottobre. Sebbene l'uso di acqua consortile diminuisca del 37%, questo calo viene compensato, in parte, ricorrendo a fonti aziendali; infatti, l'acqua estratta da pozzi aumenta del 10%.

Tab. 6.8: Utilizzo di acqua consortile, pompata e totale. Intera area (.000 mc)

MESE	Consortile (al lordo delle perdite)			Pompata			Totale		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	0	0	---	10	10	0	10	10	0
Febbraio	0	0	---	10	10	0	10	10	0
Marzo	0	0	---	10	10	0	10	10	0
Aprile	524	120	-77	1,116	1,092	-2	1,640	1,212	-26
Maggio	2,735	1,009	-63	663	1,477	123	3,398	2,486	-27
Giugno	3,428	2,454	-28	1,304	1,215	-7	4,732	3,669	-22
Luglio	3,289	2,957	-10	1,123	706	-37	4,412	3,663	-17
Agosto	1,977	1,520	-23	320	320	0	2,297	1,840	-20
Settembre	862	180	-79	245	413	69	1,107	593	-46
Ottobre	362	62	-83	205	249	21	567	311	-45
Novembre	0	0	---	9	9	0	9	9	0
Dicembre	0	0	---	9	9	0	9	9	0
TOTALE	13,177	8,303	-37	5,024	5,521	10	18,201	13,824	-24

Sebbene gli agricoltori dell'area non utilizzino tutta l'acqua consortile disponibile, vi sono però alcuni periodi in cui essi dispongono le loro scelte d'uso del suolo in modo da usare tutta l'acqua immessa in rete. Se, in quei periodi, le disponibilità sono minori (come accade a causa degli effetti del Cambiamento Climatico) le scelte vengono prese in modo da decrescere i redditi. Nei periodi in cui la risorsa è limitante, emerge un *prezzo ombra*, dalla cui analisi emerge che la risorsa idrica, per lo stato scarso, risulta limitante nei periodi di aprile, maggio e prima decade di settembre. Tali valori sono abbastanza elevati, variando da 10 volte (maggio) a 150 volte (settembre) del prezzo pagato al Consorzio.

Nelle aree in cui la risorsa idrica consortile non è disponibile, l'agricoltura è organizzata per produrre soprattutto in asciutto e pratica l'irrigazione in misura accessoria e limitata prelevandola dai pozzi aziendali.

6.4.2 Area consortile

Dato che la risorsa idrica fornita dal Consorzio ricade esclusivamente nell'area consortile, le uniche differenze che possono emergere tra quest'ultima e l'intera area riguardano l'uso di acqua prelevata fonti aziendali. Nella tabella 6.9 sono riportati i consumi idrici relativi all'acqua prelevata direttamente da fonti aziendali, che risultano pari a 2.6 milioni di metri cubi l'anno.

Tab. 6.9: Utilizzo di acqua pompata. Area consortile (.000 mc)

MESE	Pompata		
	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	8	8	0
Febbraio	8	8	0
Marzo	8	8	0
Aprile	966	942	-3
Maggio	253	1,068	322
Giugno	700	611	-13
Luglio	529	112	-79
Agosto	0	0	---
Settembre	52	221	322
Ottobre	60	104	74
Novembre	7	7	0
Dicembre	7	7	0
TOTALE	2,595	3,092	19

Per effetto dei Cambiamenti Climatici, l'acqua pompata utilizzata aumenta del 19%, soprattutto nei mesi di maggio e settembre. L'aumento totale è superiore a quello registrato a livello di intera area. Sebbene l'utilizzo di acqua prelevata da fonti aziendali aumenti passando dallo stato attuale a quello scarso, l'acqua attingibile dai pozzi delle aziende non viene esaurita nel complesso. Tuttavia in

alcuni mesi e per certe tipologie aziendali tale risorsa può risultare limitante nello scenario di scarsa disponibilità, soprattutto nei periodi di aprile e maggio.

6.5 Uso del lavoro

6.5.1 Intera area

La tabella 6.10 mostra l'impiego di lavoro totale sia per l'intera area, sia per le superfici interessate a colture irrigue.

Tab. 6.10: Utilizzo di lavoro totale. Intera area (.000 ore)

MESE	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	86	77	-10	26	18	-31
Febbraio	591	582	-1	272	264	-3
Marzo	165	151	-8	64	50	-21
Aprile	147	102	-30	106	62	-42
Maggio	145	137	-5	105	97	-8
Giugno	299	294	-2	87	82	-6
Luglio	422	377	-11	359	315	-12
Agosto	135	80	-41	91	36	-60
Settembre	182	178	-2	36	32	-12
Ottobre	144	141	-2	26	23	-11
Novembre	140	133	-5	42	34	-18
Dicembre	75	67	-10	32	25	-23
TOTALE	2,529	2,319	-8	1,248	1,039	-17
Ore di lavoro totali per ettaro coltivato	0.079	0.073	-8	0.164	0.137	-17

Passando dallo stato attuale a quello scarso, si ha un decremento dell'utilizzo di lavoro totale dell'8%, non tanto perché variano le superfici, che come abbiamo visto, rimangono pressoché invariate, quanto perché si riducono le ore di lavoro per ettaro coltivato, ossia si passa a colture con fabbisogno di lavoro minore. Nell'area destinata a colture irrigue la riduzione è più marcata (-17%) ed anche in questo caso la riduzione è dovuta alla scelta di colture con minore fabbisogno di lavoro. Le colture irrigue utilizzano circa la metà del lavoro totale,

nonostante le superfici rappresentino un quarto di quelle complessive. Infatti, il lavoro totale per ettaro coltivato a colture irrigue è circa il doppio di quello necessario per le attività agricole nel loro complesso.

La tabella 6.11 mostra che, mediamente, l'83% del lavoro utilizzato nell'intera area è di origine aziendale. Il lavoro extra-aziendale si rende necessario prevalentemente nei mesi delle potature invernali e in quelli della raccolta delle ortive e della vite. Passando dallo stato attuale a quello scarso, l'utilizzo di lavoro diminuisce ma, mentre quello salariato del 2%, quello aziendale subisce un decremento del 9%. Tale andamento è più marcato per le aree interessate da colture irrigue, in cui la riduzione del lavoro salariato è del 4%, mentre di quello aziendale è del 21%.

Tab. 6.11: Utilizzo di lavoro aziendale e salariato. Intera area (.000 ore)

MESE	Aziendale			Salariato		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	85	77	-10	1	1	0
Febbraio	452	444	-2	139	139	0
Marzo	144	131	-9	21	20	-1
Aprile	141	98	-30	6	5	-27
Maggio	143	135	-6	2	2	-1
Giugno	200	195	-2	99	98	0
Luglio	377	336	-11	45	41	-8
Agosto	128	77	-40	6	3	-55
Settembre	100	97	-3	82	81	-1
Ottobre	128	125	-2	15	15	0
Novembre	131	123	-6	10	10	0
Dicembre	72	64	-10	3	3	0
TOTALE	2,100	1,901	-9	428	418	-2
Per colture irrigue	922	724	-21	326	314	-4
Rapp % (Irr./Tot.)	44	38	---	76	75	---
Ore di lavoro per ettaro coltivato	0.066	0.060	-9	0.013	0.013	0
Ore di lavoro per ettaro coltivato irriguo	0.122	0.096	-21	0.041	0.041	0

Per quanto riguarda le colture irrigue, queste utilizzano circa il 44% del lavoro aziendale e il 76% di quello salariato, rapporto che diminuisce passando dallo stato attuale a quello scarso, in particolare per quanto riguarda il lavoro aziendale. Le ore di lavoro per ettaro sono circa il doppio per il lavoro aziendale e circa il triplo per il lavoro salariato rispetto a quelle necessarie a svolgere le attività agricole nell'intera area.

L'analisi dei risultati permette anche di verificare che la disponibilità di lavoro extra-aziendale non è un vincolo per l'attività agricola della zona. Infatti, in nessun periodo emergono *prezzi ombra* a segnalare la scarsità di questa risorsa.

6.5.2 Area consortile

La tabella 6.12 mostra l'impiego di lavoro totale sia per l'area consortile nel complesso, sia per le superfici interessate a colture irrigue.

Tab. 6.12: Utilizzo di lavoro totale. Area consortile (.000 ore)

MESE	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	62	54	-13	19	10	-44
Febbraio	347	338	-2	193	184	-4
Marzo	114	101	-12	48	35	-28
Aprile	119	75	-37	93	49	-47
Maggio	98	90	-8	72	64	-11
Giugno	232	226	-2	67	62	-7
Luglio	289	244	-15	250	205	-18
Agosto	113	58	-49	89	34	-62
Settembre	141	137	-3	29	25	-14
Ottobre	106	103	-3	20	17	-15
Novembre	82	74	-9	35	27	-22
Dicembre	45	37	-17	24	17	-31
TOTALE	1,747	1,537	-12	939	730	-22
Ore di lavoro totali per ettaro coltivato	0.080	0.071	-11	0.200	0.156	-22

L'effetto dei Cambiamenti Climatici è più marcato rispetto a quello registrato a livello di intera area. Infatti, passando dallo stato attuale a quello scarso, si ha un decremento dell'utilizzo di lavoro totale del 12%. Nell'area destinata a colture irrigue la riduzione è maggiore (-22%). Tali riduzioni sono dovute non tanto a variazioni delle superfici, che come abbiamo visto, rimangono pressoché invariate, quanto a riduzioni delle ore di lavoro per ettaro coltivato. Le colture irrigue utilizzano circa la metà del lavoro totale, nonostante le superfici rappresentino un quinto di quelle complessive. Il lavoro totale per ettaro coltivato a colture irrigue è più del doppio di quello necessario per svolgere le attività agricole nel loro complesso.

La tabella 6.13 mostra che, mediamente, l'82% del lavoro utilizzato nell'intera area è di origine aziendale.

Tab. 6.13: Utilizzo di lavoro aziendale e salariato. Area consortile (.000 ore)

MESE	Aziendale			Salariato		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Gennaio	61	53	-13	1	1	0
Febbraio	270	261	-3	77	77	0
Marzo	98	85	-13	16	16	-2
Aprile	113	70	-38	6	5	-27
Maggio	96	88	-8	2	2	-1
Giugno	144	139	-3	87	87	0
Luglio	261	221	-16	27	23	-14
Agosto	107	55	-48	6	2	-62
Settembre	70	67	-5	71	70	-1
Ottobre	93	91	-3	12	12	0
Novembre	79	71	-10	3	3	0
Dicembre	42	35	-18	3	3	0
TOTALE	1,435	1,236	-14	312	302	-3
Per colture irrigue	716	517	-28	223	213	-4
Rapp % (Irr./Tot.)	44	38	---	71%	71%	---
Ore di lavoro salariato per ettaro coltivato	0.045	0.039	-14	0.014	0.014	0
Ore di lavoro salariato per ettaro coltivato irriguo	0.094	0.068	-28	0.045	0.045	0

Passando dallo stato attuale a quello scarso, l'utilizzo di lavoro diminuisce ma, mentre quello salariato del 3%, quello aziendale subisce un decremento del 14%. Tale andamento è più marcato per le aree interessate da colture irrigue, in cui la riduzione del lavoro salariato è del 4%, mentre di quello aziendale è del 28%. Anche per il lavoro, quindi, gli effetti del Cambiamento Climatico sono più marcati a livello di area consortile che di intera area.

Per quanto riguarda le colture irrigue, queste utilizzano circa il 44% del lavoro aziendale e il 71% di quello salariato, rapporto che diminuisce passando dallo stato attuale a quello scarso per quanto riguarda il lavoro aziendale. Le ore di lavoro per ettaro sono circa il doppio per il lavoro aziendale e circa il triplo per il lavoro salariato rispetto a quelle necessarie a svolgere le attività agricole nell'intera area.

6.6 Uso dei mezzi tecnici chimici

6.6.1 Intera area

La tabella 6.14 mostra, sia per l'intera area sia per quella interessata da colture irrigue, l'uso dei principi attivi presenti nei mezzi tecnici chimici e le loro variazioni.

Tab. 6.14: Principi attivi mezzi tecnici chimici. Intera area (tonnellate)

MEZZI TECNICI	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Azoto	758	752	-1	440	434	-1
Fosforo	2,030	2,003	-1	493	466	-5
Potassio	2,078	2,024	-3	593	539	-9
Diserbanti	3.1	2.9	-8	2.7	2.5	-9
Antiparassitari	57	54	-5	34	31	-9
Geodisinfestanti	1.6	1.6	0	1.6	1.6	0

Passando dallo stato attuale a quello scarso, diminuisce l'utilizzo di tutti i mezzi tecnici chimici ed in particolare di diserbanti, antiparassitari e diserbanti, mentre l'uso di geodisinfestanti rimane costante. Nell'area interessata da colture irrigue tali diminuzioni sono più marcate.

6.6.2 Area consortile

La tabella 6.15 evidenzia una diminuzione dell'utilizzo di tutti i mezzi tecnici chimici, più marcata rispetto all'intera area, passando dallo scenario attuale a quello scarso. Tale riduzione è ancora più accentuata nell'area interessata da colture irrigue, in particolare per quanto riguarda fosforo e potassio.

Tab. 6.15: Principi attivi mezzi tecnici chimici. Area consortile (tonnellate)

MEZZI TECNICI	Complessivi			Irrigui		
	Attuale	Scarso	Var. %	Attuale	Scarso	Var. %
Azoto	495	489	-1	293	287	-2
Fosforo	1,547	1,520	-2	325	298	-8
Potassio	1,574	1,520	-3	406	353	-13
Diserbanti	2.6	2.4	-9	2.3	2.1	-10
Antiparassitari	47	44	-6	30	27	-10
Geodisinfestanti	1.2	1.2	0	1.2	1.2	0

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro di tesi si è posto come obiettivo quello di valutare l'impatto dei Cambiamenti Climatici sulle principali componenti climatiche (precipitazioni e temperature) e di analizzare gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo in termini di variazioni di redditività, di colture praticate e di utilizzo dei fattori produttivi. Tale incertezza, scaturisce dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla disponibilità di acqua per gli agricoltori.

L'area oggetto del presente studio è localizzata nella Nurra sarda, un territorio situato nel nord-ovest della Sardegna, in corrispondenza del bacino idrografico del Cuga.

In merito alle principali componenti climatiche (piovosità e temperatura media) sono stati considerati due aspetti: l'evoluzione di lungo periodo dei fenomeni, per osservare se è presente un andamento generale delle serie, ossia un trend, e la variabilità dei fenomeni, in quanto si potrebbe avere un trend costante ma in presenza di fenomeni più variabili. Per le due componenti considerate, emerge una tendenza alla diminuzione delle precipitazioni e all'aumento delle temperature medie, nonché ad un incremento della loro variabilità mensile.

Tuttavia, è emerso che le temperature medie non hanno un effetto statisticamente significativo sulla quantità di acqua presente a livello di bacino, in quanto l'evaporazione assume valori trascurabili rispetto alla quantità di acqua complessiva. E' evidente che le precipitazioni hanno un effetto anche sui fabbisogni idrici delle colture (ossia sui coefficienti tecnici), che per l'impostazione del modello implementato in questa analisi rimangono costanti, indipendentemente dallo stato della natura che si verifica.

Per quanto riguarda l'ammontare di risorsa idrica presente a livello di bacino e quella distribuita dal Consorzio agli agricoltori l'analisi evidenzia una marcata variabilità della media annua e una tendenza alla diminuzione, che risulta maggiore per quanto riguarda la quantità di acqua fornita dal Consorzio, a causa principalmente dell'intervento pubblico, che limita l'uso agricolo a favore dell'uso idropotabile. Mediamente, l'acqua distribuita dal Consorzio è circa il

60% di quella disponibile a livello di bacino. Tuttavia, se consideriamo che il Consorzio, nel decidere quanta acqua fornire agli agricoltori (la campagna irrigua ha inizio ad aprile), si basa principalmente sulla quantità di risorsa idrica presente nel bacino il mese immediatamente precedente, ossia a marzo, salvo poi prendere azioni correttive nel corso dei mesi successivi, allora l'acqua distribuita dal Consorzio è circa il 45% di quella disponibile a livello di bacino nel mese di marzo.

Gli effetti dell'incertezza sul settore agricolo causati dall'impatto dei Cambiamenti Climatici sulla quantità di risorsa idrica fornita dal Consorzio agli agricoltori nel corso della campagna irrigua, sono stati analizzati attraverso un modello di Programmazione Stocastica Discreta (PSD) a due stadi e tre stati della natura. Il modello fornisce varie indicazioni sull'attività agricola dell'area relative ad aspetti di tipo fisico ed economico.

Un modello di PSD permette di considerare vari scenari di disponibilità di acqua per il settore agricolo e di esplicitare i risultati per ciascuno di essi. Dato che oggi ogni scenario può verificarsi con una certa probabilità, la situazione attuale può essere identificata come la loro media, pesata per la relativa probabilità di verificarsi. L'effetto dei Cambiamenti Climatici viene analizzato confrontando lo scenario attuale così identificato, con quello di scarsa disponibilità di acqua, in quanto è verso quest'ultimo che spinge la tendenza delle componenti climatiche.

Il modello è stato sottoposto ad un processo di calibrazione e validazione basato sul confronto degli ordinamenti colturali tratti dalle osservazioni di campo nel 2004 con quelli identificati dal modello per lo stesso anno. Il confronto è stato svolto usando l'indice di Finger e Kreinin che indica il grado di somiglianza tra le due strutture. Il confronto è stato effettuato tra i dati osservati e lo scenario attuale. I valori ottenuti indicano che il modello replica in modo adeguato gli ordinamenti produttivi osservati.

Per quanto riguarda gli effetti del Cambiamento Climatico sul bilancio economico delle attività agricole svolte nell'area, i risultati del modello indicano che i redditi lordi diminuiscono, a fronte di una diminuzione sia dei ricavi che dei

costi totali. Tale diminuzione è maggiore a livello di area consortile, in quanto è su tale area che gli effetti della minore possibilità d'impiego di acqua per l'irrigazione sono più marcati, poiché l'area extra-consortile può reperire acqua solamente dai pozzi aziendali, la cui disponibilità non è, in questa analisi, soggetta ad aleatorietà. Inoltre, gli effetti sono più alti se si considerano solamente le colture irrigue, la cui superficie dipende dalla quantità di acqua disponibile.

In merito all'uso del suolo e alla consistenza del bestiame, le soluzioni ottime dipendono dallo scenario che si realizza. In realtà, ciò che può cambiare tra uno scenario e l'altro è rappresentato unicamente dalle scelte concernenti le colture a semina primaverile-estiva, poiché le scelte colturali operate nel primo stadio sono irreversibili. Il Cambiamento Climatico non ha effetti sulle superfici di alcune colture, che rimangono fisse, così come sul numero di capi allevati. In questa categoria, oltre ovviamente alle colture fisse, ricadono i cereali, i pascoli e il pomodoro (sotto serra). Per quanto riguarda le altre colture, il decremento più consistente si registra per le ortive, seguito dal carciofo dal set-aside, mentre aumentano gli erbai. Nell'area consortile, gli effetti dei Cambiamenti Climatici sono più marcati rispetto all'intera area e le variazioni delle superfici colturali assumono valori più elevati.

In merito alla risorsa idrica, passando dallo scenario attuale a quello scarso, complessivamente l'acqua utilizzata diminuisce, in particolare nei mesi di settembre ed ottobre. Sebbene l'uso di acqua consortile diminuisca, questo calo viene compensato, in parte, ricorrendo a fonti aziendali. Nell'area consortile, l'acqua pompata utilizzata aumenta in misura maggiore, soprattutto nei mesi di maggio e settembre.

Per quanto riguarda il lavoro totale assorbito nell'area, passando dallo stato attuale a quello scarso si registra un decremento, non tanto perché variano le superfici, ma quanto perché si riducono le ore di lavoro per ettaro coltivato, ossia si passa a colture con fabbisogno di lavoro minore. Il lavoro salariato subisce un decremento superiore rispetto a quello aziendale. Nell'area destinata a colture irrigue la riduzione è più elevata. Nell'area consortile, tali effetti sono più marcati.

In merito ai mezzi tecnici chimici, passando dallo stato attuale a quello scarso, l'utilizzo diminuisce, in particolare per quanto riguarda diserbanti, antiparassitari e diserbanti, mentre l'uso di geodisinfezzanti rimane costante. Nell'area interessata da colture irrigue tali diminuzioni sono più marcate ed ancora maggiori sono nell'area consortile.

Nel corso delle analisi, sono anche emersi alcuni limiti della metodologia applicata. Innanzitutto, i pochi dati a disposizione non permettono di stimare una funzione di densità della variabile di disponibilità di acqua a livello di Consorzio, né di calcolare dei rapporti sufficientemente consistenti tra tale serie e quella della quantità di risorsa idrica presente nel bacino. Tale limite potrebbe essere risolto, in futuro, grazie ad una maggiore disponibilità di informazioni.

In secondo luogo, la funzione di regressione utilizzata per la stima della curva di densità di disponibilità di acqua a livello di bacino può essere maggiormente dettagliata, sia introducendo ulteriori variabili esplicative (ad esempio ventosità, umidità, ecc.), che ricorrendo a strumenti statistici più precisi (ad esempio mediante la funzione di regressione Copula).

Infine, va sottolineato che nel presente lavoro di tesi si è affrontato solamente uno dei molteplici impatti che può avere il Cambiamento Climatico sul settore agricolo, ossia quello relativo alla variabilità della risorsa idrica che il Consorzio può distribuire nel corso della campagna irrigua. Va sottolineato, però, che il Cambiamento Climatico può avere effetti anche su altre componenti dell'agricoltura, tali da amplificare le conseguenze finora analizzate. Infatti, la piovosità e la temperatura media, a causa del trend e dell'incremento della variabilità stagionale, influenzano non solo la disponibilità di risorsa idrica disponibile per il Consorzio, ma anche i fabbisogni delle colture (ossia i coefficienti tecnici) e l'ammontare di acqua estraibile dai pozzi.

In merito al primo aspetto, le colture irrigue necessiteranno, in futuro, di una maggiore quantità di acqua, per sopperire alla diminuzione delle precipitazioni e all'aumento dell'evapotraspirazione (legato all'incremento delle temperature), così colture che oggi vengono praticate in asciutto potrebbero necessitare di interventi irrigui, specialmente in alcuni mesi, visto che le piogge tendono a

concentrarsi nei mesi estivi. In merito alla quantità di acqua estraibile dai pozzi, le minori piogge potrebbero abbassare i livelli delle falde, con una conseguente diminuzione della possibilità di attingimento.

Lo scenario futuro potrebbe essere rappresentato, quindi, da minori disponibilità idriche per gli agricoltori, sia per quanto riguarda l'acqua fornita dal Consorzio sia in merito alla capacità di un suo reperimento direttamente dai pozzi, ma con colture sempre più esigenti in termini di fabbisogni idrici. Questo potrebbe portare a profondi cambiamenti degli ordinamenti colturali, con colture che, se non strettamente necessarie per gli allevamenti, potrebbero uscire dai piani colturali a favore di altre più adatte ad essere coltivate in condizioni di scarsità idrica e con colture asciutte che potrebbero diventare irrigue e viceversa. Inoltre, gli agricoltori potrebbero mettere in atto alcuni accorgimenti per limitare l'incremento della necessità di acqua da parte delle colture, introducendo nuove tecniche colturali, come il no tillage o la pacciamatura, che mantengono l'umidità del suolo.

Affrontare tutti questi aspetti, ovviamente, richiede un approccio multidisciplinare e il reperimento di una notevole quantità di informazioni di tipo agronomico, podologico, climatico e sociologico dell'area ed esula dagli obietti di questo lavoro. Tuttavia, si ritiene che eventuali sviluppi futuri possano essere di notevole interesse.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Apland J., Hauer G. (1993): *Discrete Stochastic Programming: Concepts, Example and a Review of Empirical Application*, Staff Paper P93-21
- Audsley E., Pearn K.R., Simota C., Cojocaru G., Koutsidou E., Rounsevell M.D.A., Trnka M. Alexandrov V. (2006): *What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not?*, Environmental Science and Policy (in stampa)
- Beniston M., Diaz H.F. (2004): *The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland*, Global and Planetary Change n. 44, pp. 73-81
- Bindi M. (2003): *Conoscenze attuali del possibile impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione agricola*, II Workshop Progetto “Cambiamenti Climatici e Agricoltura – CLIMAGRI”, Roma 3-4 aprile 2003
- Box G.E.P., Cox D.R. (1964): *An analysis of transformation (with discussion)*, Journal of the Royal Statistical Society, B26, pp. 211-246
- Brooke A., Kendrick D.A., Meeraus A. (1996): *GAMS, a user guide*, GAMS Development Corporation, Washington, D.C.
- Calatrava J., Garrido A. (2005): *Modelling water markets under uncertain water supply*, European Review of Agricultural Economics, Vol.32(2), pp. 119-142
- Cappuccio N., Orsi R. (2005): *Econometria*, ed. Il Mulino
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas) (2000): *Continental Waters in the Mediterranean Countries of the European Union*, Spanish Ministry of the Environment, <http://hispagua.cedex.es/Grupo1/documentos/documenten/htm>
- Chaibi M. T., Chenini F.: *Climate Changes in the Mediterranean Region: Water Use and Competition between the Agricultural and Tourism Sectors*,

Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, B P 10, 2080 Ariana, Tunisia

- Christensen J.H., Christensen O.B. (2002): *Severe summertime flooding in Europe*, Nature n. 421, pp. 805-806
- Ciais Ph., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogée J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A.D., Friedlingstein P., Grünwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J.M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J.F., Sanz M.J., Schulze E.D., Vesala T., Valentini R. (2005): *Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003*, Nature n. 437, pp. 529-533.
- Cocks K.D. (1968): *Discrete Stochastic Programming*, Management Science, Vol. 15, n.1, Theory Series, pp. 72-79
- Dono G, Marongiu S., Severini S., Sistu G., Strazzera E. (2008): *Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: analisi dei modelli di consumo per usi irrigui e civili*, ENEA, Collana Desertificazione - Progetto RIADE
- El-Fadel M., Bou-Zeid E. (2003): *Climate change and water resources in the Middle East: vulnerability, socio-economic impacts and adaptation*, pp. 53-74, in 'Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation', a cura di Giupponi C. e Shechter M., Edward Elgar Publishing, 2003
- Estrela T., Menéndez M., Dimas M., Marcuello C., Rees G., Cole G., Weber K., Grath J., Leonard J., Ovesen N.B., Fehér J. (2001): *Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts*, Environmental Issue Report n. 21, European Environment Agency, Copenhagen
- Ferrara V. (2007): *I cambiamenti in atto in Europa*, www.decrescitafelice.it/pagina.php?id_sezione=15&idSottoSezione=37

- Ferrara V. (2007): *Rapporto UE sull'impatto dei cambiamenti climatici in Europa*,
www.decrescitafelice.it/pagina.php?id_sezione=15&idSottoSezione=36
- Feyen L., Dankers R., Barredo J.I., de Roo A., Lavalle C.: *Climate change and floods in Europe*, paper presentato al Workshop Internazionale di Bruxelles, 25-26 Settembre 2006
- Feyen L., Dankers R., Barredo J.I., Kalas M., Bódis K., de Roo A., Lavalle C. (2006): *Flood risk in Europe in a changing climate*, Progetto PESETA, Projections of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom-up analysis, Institute of Environment and Sustainability, UE
- Feynman I., Ruzmaikin A. (2007): *Climate stability and the development of agricultural societies*, Climatic Change, n.84, pp. 295–311
- Flörke M., Alcamo J. (2005): *European outlook on water use*, preparato per l'European Environment Agency
- Freund R.J. (1956): *The introduction of risk into a programming model*, Econometrica n.24, pp. 253-261
- Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D.G., Boyer E.W., Howarth R.W., Seitzinger S.P., Anser G.P., Cleveland C.C., Green P.A., Holland E.A., Karl D.M., Michaels A.F., Porter J.H., Townsend A.R., Vörösmarty C.J. (2004): *Nitrogen cycles: past, present, and future*, Biogeochemistry n. 70, pp. 153-226
- Gioia M. (2003): *Un modello di Programmazione Stocastica per l'uso dell'acqua di irrigazione nell'area del Consorzio di Bonifica del Campidano di Oristano*, Tesi di Dottorato
- Giupponi C., Shechter M. (2003): *Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*, Edward Elgar Publishing, 2003
- Hardaker J.B., Huirne R.B.M., Anderson J.R., Lien G. (1997), *Coping with risk in agriculture*, 2nd Edition, CAB International
- Iglesias A., Ward M.N., Menendez M., Rosenzweig C. (2003): *Water availability for agriculture under climate change: understanding adaptation*

- strategies in the Mediterranean*, pp 75-93, in 'Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation', a cura di Giupponi C. e Shechter M., Edward Elgar Publishing, 2003
- Iglesias E., Garrido A., Gomez-Ramos A. (2007): *Economic drought management index to evaluate water institutions' performance under uncertainty*, The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, n.51, pp. 17-38
 - Iglesias Martinez E., Gòmez Ramos A., Garrido Colmenero A. (2003): *Economic impacts of hydrological droughts under climate change scenarios*, pp. 108-129, in 'Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation', a cura di Giupponi C. e Shechter M., Edward Elgar Publishing, 2003
 - IPCC (2001): Intergovernmental Panel on Climate Change
 - IPCC (2007): *Historical Overview of Climate Change Science*
 - John A. Dutton (1982): *Fundamental Theorems of Climate Theory - Some Proved, Some Conjectured*, SIAM Review, Vol. 24, n. 1., pp. 1-33
 - Khawlie M.R. (2003): *The impacts of climate change on water resources of Lebanon – Eastern Mediterranean*, pp.94-107, in 'Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation', a cura di Giupponi C. e Shechter M., Edward Elgar Publishing, 2003
 - Kiehl J., Trenberth K. (1997): *Earth's annual global mean energy budget*, Bull. Am. Meteorol. Soc. n.78, pp. 197–206
 - Lallana C., Kriner W., Estrela R., Nixon S., Leonard J., Berland J.J. (2001): *Sustainable Water Use in Europe, Part 2: Demand Management*, Environmental Issues Report n. 19, European Environmental Agency, Copenhagen
 - Lambert D.K. (1989): *Calf Retention and Production Decisions Over Time*, Western Journal of Agricultural Economics, n.14, pp. 9-19

- Maatman A., Schweigman C., Ruijs A., Van der Vlerk M.H. (2002): *Modeling farmers' response to uncertain rainfall in Burkina Faso: a stochastic programming approach*, Operations Research, Vol.50, n.3, pp. 399-414
- Maracchi G., Sirotenko O., Bindi M. (2005): *Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe*, Climatic Change n. 70, pp.117-135
- Margat J. (1988): *L'eau dans le mediterraneen*, Economica, Paris
- McCarl B.A., Parandvash G.H. (1988): *Irrigation development versus hydroelectric generation: can interruptable irrigation play a role?*, Western Journal of agricultural Economics, n.13, pp.267-276
- Mendelsohn R., Nordhaus W. (1999): *The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply*, The American Economic Review, Vol. 89, n. 4., pp. 1046-1048
- Moren-Abat M., Quevauviller P., Feyen L., Heiskanen A.-S., Noges P., Lyche Solheim A., Lipiatou E. (Bruxelles, 25-26 Settembre 2006): *Impacts on the Water Cycle, Resources and Quality*, Workshop Internazionale, Climate Change and Natural Hazards series 8, Commissione Europea
- Nixon S., Trent Z., Marcuello C., Lallana C. (2003): *Europe's water: An indicator-based assessment*, Topic report 1/2003. European Environment Agency, Copenhagen
- Nordhaus W. (1993): *Reflections on the Economics of Climate Change*, The Journal of Economic Perspectives, Vol. 7, n. 4., pp. 11-25
- Olesen J.E., Bindi M. (2002): *Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy*, European Journal of Agronomy n. 16, pp. 239-262
- Olesen J.E., Bindi M. (2004). *Agricultural impacts and adaptations to climate change in Europe*, Farm Policy Journal n. 1(3), pp. 36-46
- Olesen J.E., Carter T.R., Diaz-Ambrona C.H., Fronzek S., Heidmann T., Hickler T., Holt T., Minguuez M.I., Morales P., Palutikov J., Quemada M., Ruiz-Ramos M., Rubæk G., Sau F., Smith B., Sykes M. (2006): *Uncertainties*

in projected impacts of climate change on European agriculture and ecosystems based on scenarios from regional climate models, Climatic Change (in stampa)

- Olesen J.E., *Water resources and climate change: Impacts on agriculture in Europe*, paper presentato al Workshop Internazionale di Bruxelles, 25-26 Settembre 2006
- Pal J.S., Giorgi F., Bi X.Q. (2004): *Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections*, Geophysical Research Letters n. 31, L13202
- Parey S., Malek F., Laurent C., Dacunha-Castelle D. (2007): *Trends and climate evolution: Statistical approach for very high temperatures in France*, Climatic Change, n.81, pp. 331–352
- Piccolo D. (2000): *Statistica*, ed. Il Mulino
- Rae A.N. (1971a): *Stochastic Programming, Utility, and Sequential Decision Problems in Farm Management*, American Journal of Agricultural Economics, n.53, pp. 448-460
- Rae A.N. (1971b): *An Empirical Application and Evaluation of Discrete Stochastic Programming in Farm Management*, American Journal of Agricultural Economics, n.53, pp. 625-638
- Reilly, J., Schimmelpfennig D. (1999): *Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation*, Climatic Change n. 43, pp 745-788
- Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. (2004): *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*, Nature n. 427, pp.332-336
- Scholze M., Knorr W., Arnell N.W., Prentice I.C.: *A risk analysis for world freshwater availability under future climate change*, paper presentato al Workshop Internazionale di Bruxelles, 25-26 Settembre 2006
- Smith J., Smith P., Wattenbach M., Zaehle S., Hiederer R., Jones R.J.A., Montanarella L., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Ewert F. (2005): *Projected*

- changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080*, Global Change Biology n. 11, pp. 1-12
- Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M. M. B., LeRoy Miller H. Jr., Chen Z., (2007): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*, Cambridge University Press
 - Spiegel M.R. (1973): *Statistica*, Collana Schaum Teoria e Problemi, ETAS Libri
 - Stern N. (2007): *Stern Review Report on the Economics of Climate Change*, www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm
 - Stothers R. B. (2007): *Three centuries of observation of stratospheric transparency*, Climatic Change, n.83, pp. 515–521
 - Taylor R.G., Young R.A. (1995): *Rural-to-urban water transfers: measuring direct foregone benefits of irrigation water under uncertain water supplies*, Journal of Agricultural and Resource Economics, n.20(2), pp.247-262
 - Thornes J. (1995): *Global Environmental Change and Regional Response: The European Mediterranean*, Transactions of the Institute of British Geographers, New Series, Vol. 20, n. 3, pp. 357-367
 - Tol R.S.J. (1996): *The damage costs of climate change toward a dynamic representation*, Ecological Economics n.19, pp.67-90
 - Turvey C.G., Baker T.G. (1990): *A farm level financial analysis of farmers' use of futures and options under alternative farm programs*, American Journal of Agricultural Economics, n.72, pp. 946-957
 - Vita Finzi C. (1969): *The Mediterranean valleys*, Cambridge University Press
 - Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss R.H., Dokken D.J. (1997): *The Regional Impacts of Climate Change, Summary for Policymakers*, IPCC-WGII, Ginevra, Svizzera
 - Yaron D., Horowitz U. (1972): *A sequential programming model of growth and capital accumulation of a farm under uncertainty*, American Journal of Agricultural Economics, n.54, pp. 441-451

SITOGRAFIA

- <http://cordis.europa.eu/sustdev/environment/ev20060628.htm>: dettagli sul Workshop Internazionale (Bruxelles, 25-26 Settembre 2006): *Impacts on the Water Cycle, Resources and Quality*
- <http://hispagua.cedex.es/Grupo1/documentos/documen/htm>: CEDEX (Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas)
- www.climagri.it: Cambiamenti Climatici e Agricoltura, Progetto finalizzato di ricerca sulle conseguenze delle variazioni climatiche sull'agricoltura in Italia
- www.decrescitafelice.it: Movimento per la Decrescita Felice
- www.europarl.europa.eu/news/public/documents_par_theme/911/default_it.htm: Parlameno Europeo, Sezione Sanità e Ambiente
- www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm: Stern Review
- www.ipcc.ch: Intergovernmental Panel on Climate Change
- www.jrc.cec.eu.int: Progetto PESETA