



Commissario Governativo per l'Emergenza Idrica in Sardegna
(Ordinanza Ministro dell'Interno - Delegato per il coordinamento della protezione civile - n.3196 del 12/04/2002)

Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dei Lavori Pubblici
Ente Autonomo del Flumendosa



**PIANO STRALCIO DI BACINO REGIONALE
PER L'UTILIZZO DELLE RISORSE IDRICHE**

SARDEGNA

Legge n.183/89

EL. 6.3.2

**ANNESSO MODELLO DI SIMULAZIONE
BILANCIO IDRICO**

Redazione:

SOGESID S.p.A.
Società Gestione Impianti Idrici

Approvazione:

MODELLO DI SIMULAZIONE BILANCIO IDRICO

1	PREMESSE	2
2	L'INTERFACCIA GRAFICA DI WARGI	3
3	IL MODULO DI SIMULAZIONE	5
4	APPLICAZIONE DI WARGI-SIM AGLI SCHEMI DI PIANO	12
5	INPUT DELLO SCHEMA	14

1 PREMESSE

A partire dai primi anni '60 i modelli e le tecniche risolutive matematiche di simulazione sono state applicate nella pianificazione e gestione anche di sistemi complessi multi-utenza e multi-risorsa. La simulazione permette di riprodurre ad un adeguato livello di dettaglio le complesse interazioni tra gli elementi del sistema attraverso modelli che contengono relazioni di tipo algebrico e logico. La versatilità e flessibilità della simulazione hanno contribuito a farne lo strumento di analisi di più frequentemente utilizzato per i sistemi complessi multi-serbatoio in ambito ingegneristico. L'uso di sole tecniche di ottimizzazione si limita, in genere, ad una prima fase di pianificazione su ampia scala poichè la modellazione richiede importanti semplificazioni dei problemi. Lo sviluppo di tecniche miste che prevedono l'interazione tra simulazione ed ottimizzazione è, allo stato attuale, il campo di maggiore sviluppo della modellistica di settore. La letteratura scientifica sull'argomento è estremamente ampia e gli sviluppi più recenti sono indirizzati alla predisposizione di software che integrano in modo più stretto i legami tra ottimizzazione e simulazione, ereditando i vantaggi delle singole tecniche in modo trasparente per l'utente.

Il software WARGI (Water Resources System Optimization Aided by Graphical Interface) (Sechi *et al.*, 2000, 2002, 2004) utilizzato nel presente lavoro è il frutto di una ricerca condotta dal CRIFOR-UNICA con l'obiettivo di combinare gli approcci di simulazione e ottimizzazione a partire dalla definizione del problema e nella predisposizione delle interfacce di input, nella modellazione e sviluppo di tecniche risolutive in modo da realizzare un unico strumento di analisi utilizzabile per sistemi complessi di grandi dimensioni. WARGI è il più recente sviluppo del software SIMFLU, già utilizzato nella predisposizione del Piano d'Ambito Regionale e del Piano Stralcio Direttore.

WARGI assume, in definitiva, la configurazione di un Decision Support System (DSS) specifico per i sistemi di risorse idriche. Nel perseguire l'approccio modellistico integrato, in WARGI le variabili decisionali e le variabili di stato sono esplicitamente valutate tramite il modello di simulazione che provvede ad un aggiornamento, eventualmente interagendo col modulo di ottimizzazione. La familiarità dei manager con i modelli di simulazione consente un agevole uso del software e permette di estendere significativamente l'applicazione delle tecniche di ottimizzazione ai sistemi reali.

2 L'INTERFACCIA GRAFICA DI WARGI

Nella predisposizione del software WARGI si è cercato di combinare le possibilità di valutazione di configurazioni aderenti alla realtà, proprie dei modelli di simulazione, con le potenzialità esplorative dei modelli di ottimizzazione. WARGI è un Decision Support System (DSS) per l'analisi user-friendly di sistemi idrici complessi multi-utenza e multi-risorsa. Il suo utilizzo si rivolge in particolare ai sistemi multi-serbatoio che debbano essere esaminati per orizzonti temporali estesi anche in condizioni di incertezza con tecniche di analisi di scenario.

La struttura complessiva del modello è composta da alcuni macro-moduli legati tramite trasferimento di variabili codificate. Il software è implementato in ambiente operativo Linux e codificato in linguaggio C++ ed in Tcl/Tk per quanto riguarda le routine di interfaccia grafica.

Il modulo di interfaccia grafica è responsabile della gestione del flusso di informazioni provenienti dall'utente verso il modulo di inizializzazione delle strutture dati che gestisce il trasferimento delle informazioni al modulo di ottimizzazione (WARGI-OPT) ed al modulo di simulazione (WARGI-SIM). WARGI permette in modo semplice ed intuitivo l'immissione dello schema funzionale del sistema in modalità grafica interattiva. Tramite l'interfaccia grafica, l'utente ha la possibilità di inserire i componenti della configurazione di base del sistema.

L'interfaccia è costituita da vari oggetti grafici: la canvas, la palette, la barra dei menù ed i relativi sotto-menù, le barre di scorrimento e le barre di stato. Il grafo è creato inserendo nella finestra principale gli oggetti grafici che indicano le componenti funzionali del sistema. L'utente può scegliere l'elemento da inserire da una lista dei bitmaps contenuti nella palette (v. Figura 2). Una estesa descrizione dell'interfaccia grafica di WARGI è data in (*Sechi e Zuddas, 2000*).

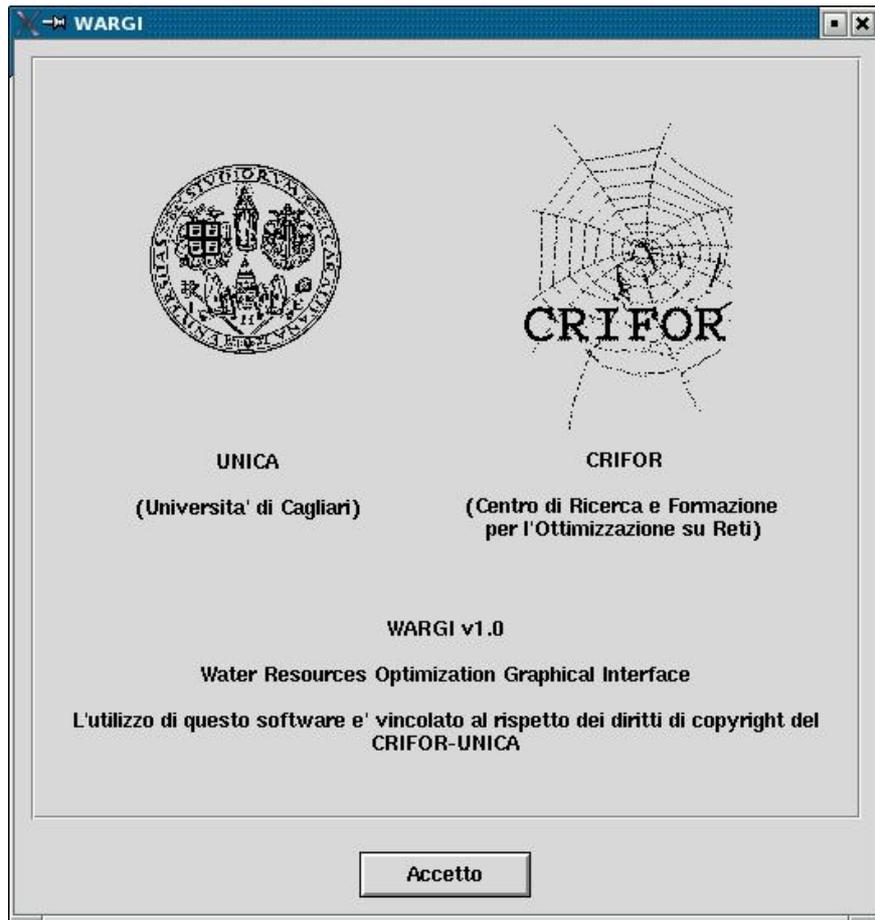
Rifacendoci alla rappresentazione tramite grafo, in termini generali possono essere individuate due tipologie di oggetti:

- 1) oggetti nodo: serbatoio, confluenza, acquifero, utenza, ecc.;
- 2) oggetti arco: trasferimenti in alveo, condotte, canali, ecc.

Agli elementi nodo è possibile associare un input o un output di risorsa ed agli archi è possibile assegnare una specifica attività funzionale ed attribuire ambiti di ammissibilità per le variabili, vincoli gestionali e costi unitari. I valori sono inseriti dall'utente direttamente tramite l'interfaccia grafica o con file dati esterno che può essere associato all'elemento. In un file, codificato con estensione {.idr}, vengono salvate tutte le informazioni sul sistema inserite dall'utente. I dati archiviati riguardano sia l'aspetto grafico di rappresentazione schematica, sia i parametri e le variabili utilizzate per la definizione del sistema. La costruzione del software tramite moduli indipendenti assicura la possibilità di utilizzare il toolkit anche per la sola ottimizzazione o simulazione del sistema. L'istanza associata alla soluzione del modello di ottimizzazione determina la creazione di un file in formato standard (mathematical programming standard) che è utilizzato come interfaccia con il codice risolutore, scelto dall'utente attraverso una maschera di dialogo.

Al termine dell'analisi del sistema, i valori assunti da ciascuna variabile decisionale sono salvati in un file di output e richiamabili dalle funzioni del modulo di WARGI per la creazione di grafici di sintesi dei risultati e gestiti dall'interfaccia col modulo per la simulazione. Il software è caratterizzato dalla possibilità di aggiornare facilmente la configurazione del sistema ed esaminare differenti scenari di domanda e risorsa, permettendo di effettuare agevolmente un'analisi di sensitività.

La figura seguente riporta la maschera di presentazione all'avvio di WARGI.



3 IL MODULO DI SIMULAZIONE

L'applicazione di WARGI agli schemi multisettoriali del Piano Stralcio regionale è stato finalizzato per il solo utilizzo del modulo di simulazione applicato alle diverse alternative di configurazione degli schemi. Anche se, in linea di massima, risulta pressoché impossibile definire una formalizzazione di validità generale per il modello di simulazione dei problemi di gestione di sistemi complessi di risorse idriche, la formalizzazione adottata in WARGI-SIM consente di prendere in considerazione numerosi elementi che in genere lo compongono dando la possibilità all'utente di poter considerare un ampio spettro di possibili configurazioni. La formulazione del modello è agevolata dall'uso del "grafo multiperiodo" come supporto all'analisi dinamica su un orizzonte temporale esteso discretizzato in passi temporali (periodi) di durata costante. La costruzione del modello dinamico si basa sul "grafo multiperiodo" ottenuto replicando il "grafo base", che schematizza il sistema, tante volte quanti sono i periodi considerati e collegando tramite archi inter-periodo le repliche dei nodi che possono svolgere funzione di invaso di risorsa.

Un tipico modello di simulazione ha l'obiettivo di riprodurre la gestione del sistema con assegnata configurazione, quadro della domanda e delle risorse, e predefinite regole operative. Queste regole operative (e in rari casi la configurazione ed i quadri di riferimento della domanda e delle risorse) sono verificate e migliorate attraverso l'uso iterativo della simulazione. Nell'ampia bibliografia scientifica disponibile sono estesamente descritte le finalità e modalità di implementazione dei modelli di simulazione. In specifico, per i sistemi di serbatoi a scopo multiplo, la simulazione è finalizzata ad ottimizzare il programma di erogazione e le curve di esercizio degli invasi. Quando le condizioni del sistema raggiungono un certo livello di criticità, le regole operative definiscono le azioni che devono essere intraprese per evitare che si superino pre-assegnati livelli di deficit di erogazione, o, in termini più generali, per minimizzare la vulnerabilità del sistema.

In sistemi complessi multi-serbatoio la definizione esplicita delle regole operative non è agevole ed è ulteriormente complicata dall'incertezza sullo scenario idrologico assunto come riferimento per le risorse disponibili. Nel modulo WARGI-SIM si è scelto di non legare la determinazione delle variabili decisionali a sole regole operative predefinite, eventualmente da ottimizzare in modo iterativo sulla base dei valori ottenuti dalla funzione obiettivo. Il modulo di simulazione definisce la configurazione dei flussi nel sistema utilizzando criteri di preferenza sulle erogazioni, semplicemente formulabili dall'utente tramite l'interfaccia grafica, ed, eventualmente, aggiornando la definizione del quadro della domanda sulla base dei risultati ottenuti nella fase di ottimizzazione (modulo WARGIOPT) che opera in modo predittivo con scenari idrologici di riferimento su un orizzonte temporale di durata tale da rappresentare adeguatamente la possibilità di regolazione operata dagli invasi.

Nella predisposizione del modulo di simulazione WARGI-SIM, l'obiettivo che ci si è posti è stato quello di realizzare un software di simulazione che fosse, per quanto possibile, generale e non legato a specifiche configurazioni. La gestione del sistema è realizzata attraverso l'implementazione di una serie di istruzioni sequenziali i cui obiettivi sono formulati utilizzando la combinazione di procedure in parte gestite direttamente dall'utente, in parte definite automaticamente con l'interazione tra simulatore ed ottimizzatore. In particolare,

l'utente può attribuire un livello di priorità alle fasce di domanda, le preferenze sulle risorse di riferimento per ciascun centro di utenza e riservare quote di risorsa per le domande primarie. Il modulo di simulazione recepisce una previsione sulla configurazione dei flussi fornita dall'ottimizzatore e sulla base dei criteri di priorità formulati dall'utente opera sulla distribuzione dei flussi salvaguardando i vincoli di modello ed i valori target sulle variabili di stato del sistema.

Rimandando a (Sechi *et al.* 2004) per una dettagliata descrizione, in sintesi le principali procedure implementate nel modulo di simulazione sono le seguenti:

1. Definizione delle fasce di priorità e dei costi di deficit associati ai centri di domanda;
2. Individuazione delle risorse di riferimento per i centri di domanda;
3. Definizione del volume obiettivo per i serbatoi;
4. Attribuzione di vincoli nelle erogazioni (ad es.: volumi riservati nei serbatoi per alcune utenze);
5. Attribuzione delle riduzioni programmate di erogazione;
6. Valutazione delle possibilità e dei costi di trasferimento delle risorse;
7. Bilanciamento di eventuali deficit per fasce di priorità;
8. Bilanciamento degli scostamenti da volumi obiettivo nei serbatoi;
9. Valutazione della configurazione finale dei flussi;
10. Attribuzione degli indici di prestazione alla configurazione finale del sistema.

All'utente è, quindi, data la possibilità di poter inserire e caratterizzare gli elementi del sistema facendo riferimento alla schematizzazione nodi-archi del grafo multi-periodo definito precedentemente. Alcuni elementi possono essere introdotti o ignorati a seconda dei vincoli e degli obiettivi che devono essere considerati nella modellazione.

Identificazione dei componenti del sistema

Nodi:

- res** set di nodi serbatoio: rappresentano le risorse idriche superficiali con capacità di invaso. A questi nodi è possibile associare perdite per infiltrazione ed evaporazione.
- dem** set di nodi domanda: si possono riferire a diverse tipologie di richieste, quali quella di tipo civile, industriale irrigua, ecc. Possono essere considerate anche domande che consentono il riutilizzo dell'acqua.
- hyd** set di nodi idroelettrici: sono nodi senza consumo, associati agli impianti idroelettrici.
- pum** set di nodi di sollevamento: questi rappresentano le stazioni con pompe.
- con** set di nodi confluenza: come confluenze tra corsi d'acqua, connessioni di condotte, derivazioni, etc.
- aqf** set di nodi acquifero: questi nodi rappresentano le risorse sotterranee con capacità di invaso.
- dsl** set di nodi impianti di dissalazione: tali nodi rappresentano gli impianti di trattamento per le acque salate o salmastre.
- wtp** set di nodi impianti di depurazione delle acque reflue: ubicate a valle delle utenze, consentono il trattamento delle acque reflue per il loro riuso.
- tpn** set di impianti di trattamento delle acque: rappresentano gli impianti di potabilizzazione.

Archi:

- NAT** set dei corsi d'acqua naturali: questi rappresentano il naturale deflusso della risorsa.
- CON** set di archi di trasporto: rappresentano trasferimenti in opere come canali, condotte, etc.
- PUM** set di archi per il sollevamento: si tratta di archi che consentono il trasferimento dalle stazioni di sollevamento.
- EMT** set di archi di emergenza: consentono il trasferimento dell'acqua nel caso in cui si debba far fronte a situazioni di deficit nelle domande.
- SPL** set di archi di prelievo: consentono i prelievi dai nodi serbatoio ed acquifero.
- REC** set di archi di ricarica: consentono l'immissione di risorsa superficiale in un nodo acquifero
- LOS** set di archi di perdita come per evaporazione dai laghi, per infiltrazione profonda, etc.

L'attribuzione dei costi operativi e di gestione da considerare nel problema e delle regole gestionali possono essere facilmente introdotti nel modello tramite l'interfaccia grafica di WARGI che fa riferimento al grafo multi-periodo.

In particolare nel modello possono essere considerati i seguenti aspetti:

- Attribuzione di costi ai volumi trasferiti lungo gli archi.
- Individuazione di volumi target per le risorse immagazzinate nei serbatoi ed acquiferi.

- Attribuzione di priorità nel soddisfacimento delle richieste nelle diverse tipologie dei nodi domanda.
- Penalità sui deficit e costi sui trasferimenti di emergenza
- Attribuzione di indici sintetici di possibilità di utilizzazione dell'acqua sulla base delle caratterizzazioni dei corpi idrici, delle esigenze delle domande, e di eventuali requisiti nei trasferimenti.

Per gli aspetti progettuali concernenti il dimensionamento di nuove opere si dovranno inoltre fornire i costi di realizzazione e le regole di progettazione che vincolano le possibili configurazioni future del sistema. Possono essere considerati vincoli sulle dimensioni delle opere: capacità d'invaso, diametri delle condotte, estensione delle aree irrigue, etc. Ulteriori vincoli di progettazione possono essere legati alle tipologia delle richieste, come ad esempio le tecnologie irrigue.

Le informazioni richieste nell'interfaccia di input di WARGI possono essere introdotte come valori scalari (costanti in tutti i periodi), cicliche (assumendo gli stessi valori in periodi omologhi) o vettoriali (variabili in ogni periodo).

Nella Tabella 1 è riportato l'elenco dei dati richiesti da WARGI per la definizione del modello. I dati evidenziati in tabella con (+) sono quelli richiesti per l'ottimizzazione degli aspetti gestionali (si considerano solo opere esistenti con fissate dimensioni) mentre quelli evidenziati con (*) sono richiesti se il modello considera anche variabili di progetto in una fase pro-attiva di pianificazione della configurazione del sistema (si considerano anche opere non ancora realizzate). Infine quelli non evidenziati sono richiesti sia per la fase di ottimizzazione della gestione, sia per quella di pianificazione.

Tabella 1: Dati richiesti da WARGI per la definizione del modello:

<u>Invaso superficiale</u> $j \in res:$	
Y_j	(+) massimo volume invasabile per i trasferimenti inter-periodo (capacità utile di regolazione del serbatoio);
ρ_{jmax}^t	rapporto tra il massimo volume utilizzabile nel periodo t e la capacità del serbatoio;
ρ_{jmin}^t	rapporto tra il minimo volume invasabile nel periodo t e la capacità del serbatoio;
δ_j	rapporto tra superficie libera e volume invasato;
l_j^t	perdite per evaporazione nel periodo t per unità di superficie del serbatoio;
inp_j^t	input idrologico al serbatoio nel periodo t ;
Cs_j^t	costi di gestione nel periodo t ;
Cp_j^t	benefici di trasferimento inter-periodo ($t \rightarrow t+1$) per il volume immagazzinato;
Qy_j^t	Indice di qualità della risorsa invasata al tempo t ;
Qh_j^t	Indice di qualità dell'input idrologico al tempo t ;
Y_{jmax}	(*) massima capacità consentita in fase di progetto;
Y_{jmin}	(*) minima capacità consentita in fase di progetto;
γ_j	(*) costi di costruzione.
<u>Centro di domanda</u> $j \in dem:$	
P_j	(+) dimensioni del centro di domanda;
d_j^t	domanda unitaria;

β_j^t programma di richiesta;
 c_j^t costi di deficit;
 Qp_j^t minimo indice di qualità richiesto;
 P_{jmax} (*) dimensione massima consentita del centro di domanda in fase di progetto;
 P_{jmin} (*) dimensione minima consentita del centro di domanda in fase di progetto;
 b_j (*) benefici netti di costruzione.

Centro di produzione idroelettrica $j \in hyd$:

H_j (+) capacità di produzione;
 β_j^t programma di produzione;
 b_j beneficio di produzione;
 H_{jmax} (*) capacità di produzione massima in fase di progetto;
 H_{jmin} (*) capacità di produzione minima in fase di progetto;
 γ_j (*) costi di costruzione.

Acquifero $j \in aqf$:

A_j capacità dell'acquifero;
 ρ_{jmax}^t rapporto tra il massimo volume utilizzabile nel periodo t e la capacità dell'acquifero;
 ρ_{jmin}^t rapporto tra il minimo volume invasabile nel periodo t e la capacità dell'acquifero;
 L_j^t perdite per infiltrazione profonda;
 R_j^t ricarica sotterranea;
 Cl_j^t costi di perdita nel periodo t ;
 Cp_j^t benefici di trasferimento inter-periodo ($t \rightarrow t+1$) per l'acqua invasata nell'acquifero;
 Qa_j^t indice di qualità dell'acqua invasata nell'acquifero al tempo t ;
 Qr_j^t indice di qualità dell'acqua di ricarica al tempo t .

Stazione di sollevamento $j \in pum$:

C_j (+) capacità di sollevamento;
 β_j^t programma di sollevamento;
 ε_j efficienza di sollevamento;
 c_j^t costi di funzionamento;
 C_{jmax} (*) massima capacità di produzione in fase di progetto;
 C_{jmin} (*) minima capacità di produzione in fase di progetto;
 γ_j (*) costi di costruzione.

Impianto di dissalazione $j \in dsl$:

D_j (+) capacità di produzione dell'impianto di dissalazione;
 β_j^t programma di produzione;
 c_j^t costi di dissalazione;
 Qd_j^t indice di qualità dell'acqua trattata;
 D_{jmax} (*) massima capacità di produzione in fase di progetto;
 D_{jmin} (*) minima capacità di produzione in fase di progetto;
 γ_j (*) costi di costruzione.

Impianto di trattamento delle acque reflue $j \in wtp$:

W_j (+) capacità di trattamento dell'impianto;
 β_j^t programma di trattamento;

σ_j^r quota di trattamento;
 c_j^t costi di trattamento;
 Qw_j^t indice di qualità dell'acqua trattata;
 W_{jmax} (*) massima capacità di trattamento in fase di progetto;
 W_{jmin} (*) minima capacità di trattamento in fase di progetto;
 γ_j (*) costi di costruzione.

Impianto di potabilizzazione $j \in tpn$:

Q_j (+) capacità di trattamento;
 β_j^r programma di trattamento;
 c_j^t costi di trattamento;
 Qq_j^t indice di qualità dell'acqua trattata;
 Q_{jmax} (*) massima capacità di trattamento in fase di progetto;
 Q_{jmin} (*) minima capacità di trattamento in fase di progetto;
 c_j (*) costi di costruzione.

Confluenza $j \in con$:

inp_j^t input idrologico (se gli archi incidenti rappresentano corsi d'acqua naturali);
 Qc_j^t indice di qualità dell'input idrologico.

Arco di trasferimento $a \in TRF \equiv \cup (NAT, CON, PUM, EMT, SPL, REC, LOS)$:

F_a (+) capacità di trasferimento;
 ρ_{amax}^t rapporto tra il massimo volume trasferito e la capacità di trasferimento nel periodo t ;
 ρ_{amin}^t rapporto tra il minimo volume trasferito e la capacità di trasferimento nel periodo t ;
 c_a^t costi di trasferimento nel periodo t ;
 Qf_j^t indice di qualità assicurato per la risorsa trasferita;
 F_{amax} (*) capacità di trasferimento in fase di progetto;
 F_{amin} (*) minima capacità di trasferimento in fase di progetto;
 γ_a (*) costi di costruzione.

L'utente ha la possibilità di definire in modo interattivo, tramite l'interfaccia grafica, le informazioni richieste dal modulo di simulazione. Per quanto riguarda la prima procedura, l'erogazione avviene secondo l'ordine dei livelli di priorità: sono soddisfatte dapprima le fasce di domanda (anche riferite a diversi centri e tipologia di utenza) che hanno il livello di priorità maggiore all'interno dello schema esaminato.

Ugualmente tramite l'interfaccia sono individuate per i centri di domanda le risorse di riferimento che l'utente stabilisce secondo l'ordine di preferenza nel quale le risorse (superficiali da invaso e ad acqua fluente, sotterranee, non-convenzionali, ecc.) saranno interrogate per determinare le possibilità di erogazione. La definizione dei volumi obiettivo permette di stabilire una configurazione target del sistema nei diversi periodi mentre l'attribuzione di volumi riservati consente di preservare le fasce di utenza a priorità maggiore da futuri deficit. Questa operazione è strettamente legata alla attribuzione di riduzioni programmate di erogazione che sono definite non con riferimento al singolo periodo ma ad orizzonti temporali estesi anche diversi anni (l'estensione è essenzialmente legata alle possibilità di regolazione degli invasi).

Come è illustrato in (Sechi *et al.* 2004), la definizione di queste ultime due procedure: attribuzione di volumi riservati nei serbatoi e riduzioni programmate nelle erogazioni verso i centri di utenza, rappresentano il principale aspetto gestionale che può essere definito tramite l'interazione tra simulatore ed ottimizzatore.

Con i costi associati agli archi di trasferimento l'utente ha la possibilità di rendere preferibili al modello i percorsi di flusso nello schema. I costi possono essere rappresentativi delle modalità di funzionamento delle opere (ad es.: a gravità, con sollevamento, ecc.) o indicare preferenze legate ad altri aspetti gestionali (ad es. qualità delle acque che determina costi legati al trattamento). Una corretta attribuzione di questi parametri di costo permette al simulatore di raggiungere una configurazione di flussi di minimo costo. Per ogni abbinamento "domanda-risorsa" viene, infatti, individuato il cammino di costo minimo non saturo. Questa procedura è realizzata con l'implementazione dell'algoritmo di Dijkstra con una strategia greedy nella risoluzione del problema di ricerca del cammino di minimo costo con sorgente singola su un grafo orientato e pesato. Una procedura analoga è utilizzata al termine dell'attribuzione delle risorse per fasce di priorità per realizzare, compatibilmente con i vincoli fisici del sistema, il bilanciamento di eventuali deficit fra le domande che ricadono in uguale fascia di priorità. Questo consente di ottenere un'omogenea distribuzione delle eventuali carenze di risorsa.

Un'altra procedura di bilanciamento, realizzata ugualmente con la ricerca di percorsi di minimo costo, consente il riequilibrio dei volumi invasati (essenzialmente nei serbatoi) rispetto ai volumi target assegnati dall'utente. L'eventuale eccesso di risorsa rispetto alla capacità di regolazione dei serbatoi è, infine, trasferito verso i nodi a quota inferiore, ovvero è versato in mare quando non sono presenti a valle ulteriori capacità disponibili.

L'implementazione di semplici relazioni di tipo non-lineare permette di descrivere le perdite di risorse dal sistema per evaporazione, infiltrazione e perdite nei trasferimenti.

Lo sviluppo del processo di simulazione avviene per passi temporali discreti in ambito deterministico, pur considerando nella definizione di alcune regole operative gli eventuali risultati ottenuti in ottimizzazione di scenario che può essere legata al modulo di simulazione

4 APPLICAZIONE DI WARGI-SIM AGLI SCHEMI DI PIANO

Nello sviluppo della modellazione di Piano si è assunta la schematizzazione del multi-settoriale secondo gli schemi descritti nello specifico volume. Nelle diverse alternative esaminate per ciascuno schema si è assunta come predefinita la configurazione delle infrastrutture, la base dati idrologica per la valutazione delle risorse, il quadro della domanda alle varie utenze, i vincoli capacitativi sugli invasi, i limiti sui trasferimenti e tutti gli ulteriori elementi che sono necessari per caratterizzare le diverse alternative di ciascuno schema esaminato

La simulazione del funzionamento degli schemi, realizzata con il software WARGI-SIM predisposto dal CRIFOR (Centro di Ricerca e Formazione sulle Reti) dell'Università di Cagliari, consente la definizione dei flussi ottimi ottenibili nel rispetto delle regole gestionali imposte dall'utente. Come già detto, WARGI-SIM è stato sviluppato per la ricerca della gestione ottima di un sistema di approvvigionamento idrico complesso e risulta, per quanto possibile, di uso generale e fornito di una interfaccia utente interattiva in modo da agevolare la sua utilizzazione anche per un utente non specialistico. La struttura generale del software è rappresentata nella Figura 1. Come sarà descritto nel seguito, all'utente sono, ad esempio, fornite, oltre ad alcune maschere che agevolano la descrizione topologica del sistema, la possibilità di individuare livelli di priorità nel soddisfacimento delle diverse utenze, fasce di invaso target nei serbatoi, individuazione delle priorità di risorsa da utilizzare per ciascuna domanda, ecc. In tal modo si ritiene di poter rappresentare ad un adeguato livello di aderenza le problematiche che si presentano nella reale gestione dei sistemi di risorsa idrica.

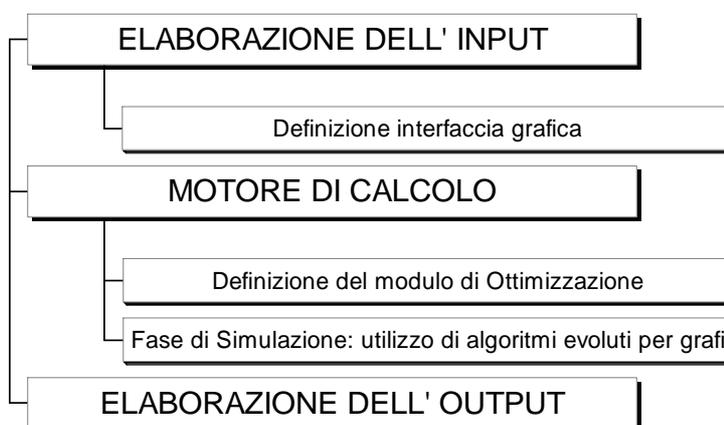


Figura 1: Struttura generale del software

Nella predisposizione del software si è utilizzato il criterio di non legare la individuazione dei flussi nel sistema a sole regole di gestione predefinite (modalità seguita in altri software di simulazione di sistemi idrici), ma di effettuare la gestione utilizzando sia "criteri di preferenza" semplicemente formulabili dall'utilizzatore nella fase di input, sia aggiornando le regole di gestione sulla base dei risultati di una fase di pre-ottimizzazione (modulo WARGI-

OPT) che utilizza quelli che si possono configurare come scenari più probabili nei periodi futuri su step temporali estesi. Nell'uso di WARGI-SIM risulta pertanto necessario predisporre la definizione di scenari idrologici e di domanda da utilizzare nella fase di pre-ottimizzazione. In via semplificata, nella applicazione sugli schemi multisettoriali dell'Isola, il modulo di ottimizzazione è stato utilizzato unicamente per individuare una configurazione di riferimento dei flussi. Facendo salvi i volumi di riserva pluriennale, in questo modo è possibile individuare, all'inizio degli step temporali estesi, le riduzioni programmate di domanda che saranno imposte durante la simulazione su step temporali ridotti. Eventuali deficit di erogazione possono essere suddivisi sulle fasce di utenza a seconda della priorità attribuita. L'interazione col modulo di ottimizzazione può inoltre portare alla suddivisione dei deficit in due classi: deficit programmati e deficit non programmati; i primi derivano da una programmazione sulla domanda effettuata all'inizio di periodi sufficientemente estesi di erogazione (ad es. la stagione irrigua) i secondi si evidenziano sui singoli step temporali e nella simulazione non risultano previsti dal gestore.

La definizione della funzione obiettivo, nella quale sono attribuite le penalità ad entrambe le tipologie di deficit consente di individuare un corretto punto di equilibrio tra una gestione "ottimista" o "pessimista" del sistema di risorse su base temporale estesa.

Integrati in WARGI-SIM sono inoltre numerosi altri sotto-moduli quali ad esempio quelli per la ricerca dei percorsi di minimo costo nei trasferimenti della risorsa verso l'utenza, di bilanciamento degli eventuali deficit, di bilanciamento dei livelli negli invasi, ecc. Gli aspetti principali del software possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- Definizione di riduzioni programmate con abbinamento del modulo di pre-ottimizzazione alla simulazione.
- Non necessaria la definizione di vere "regole di gestione" da parte dell'utente.
- Individuazione per ogni centro di domanda di un elenco di risorse disponibili, ordinato secondo un indice di preferenza decrescente.
- Definizione di aliquote di attribuzione a diverse fasce di priorità delle domande.
- Possibilità di definizione sia di costi reali che fittizi (penalità) inerenti la funzione obiettivo.
- Definizione di un volume obiettivo d'invaso nei serbatoi.
- Attribuzione di "volumi riservati" di risorsa alle domande con maggiore priorità.

Si rimanda alle pubblicazioni già citate per gli aspetti metodologici ed agli altri allegati di Piano per la descrizione di dettaglio dei risultati. Nel seguito si fornisce unicamente la descrizione delle principali fasi di input e di analisi dei risultati.

5 INPUT DELLO SCHEMA

La procedura di input è articolata in diverse fasi che richiamano maschere che agevolano l'utente nella predisposizione della base dati che deve essere fornita per la costruzione del modello. Come è visibile nella Figura 2, la prima maschera richiede la definizione delle caratteristiche generali dello schema e la sua descrizione topologica. La creazione sul canvas dello schema avviene in modo interattivo per l'utente che seleziona gli oggetti da inserire dalla palette e li trascina in modo automatico dentro la finestra nel quale sta costruendo lo schema. Nella barra superiore della finestra compare, inoltre, la sezione attivabile a tendina per fornire i dati generali, la sezione sul time range (Figura 3), sulle opzioni di visualizzazione, sulla scelta del modulo di simulazione ed ottimizzazione, analisi di scenario, solver, etc. In ogni sezione l'utente ha la possibilità, durante l'input, di aggiungere o modificare i dati e di archivarli a fine lavoro potendoli ricaricare all'inizio della sessione successiva. Ai nodi è possibile associare una denominazione che consente la loro agevole identificazione.

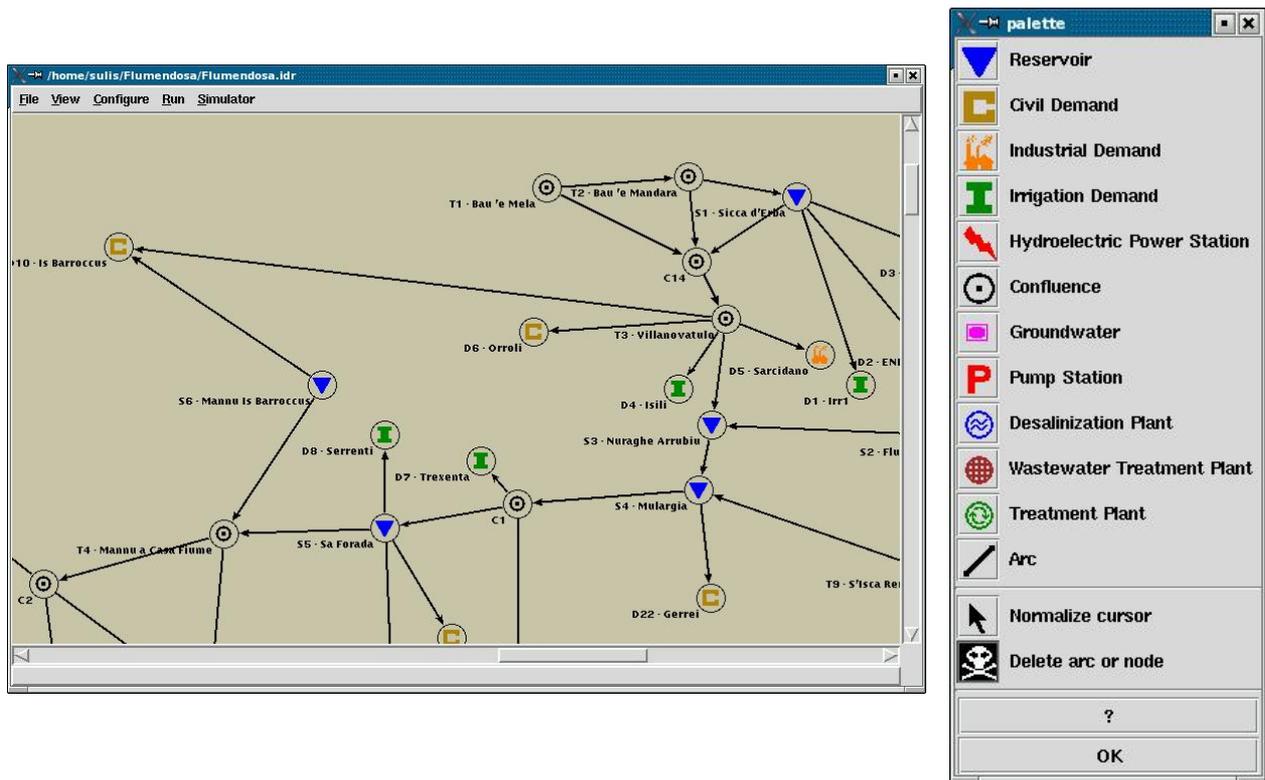


Figura 2: Finestra di costruzione dello schema

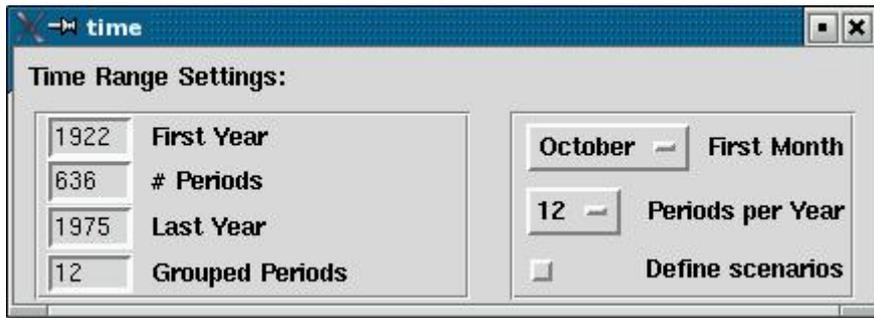


Figura 3: Finestra per il set del time range

Il sistema idrico è pertanto ricondotto ad uno schema archi-nodi nel quale i nodi possono essere nodi risorsa (serbatoi, acquiferi, nodi traversa, ecc.), nodi domanda (richieste civili, industriali, irrigue, ambientali), impianti (trattamento, sollevamenti, ecc.) mentre gli archi rappresentano essenzialmente i trasferimenti: alveo naturale, canale a p.l., condotta in pressione a gravità o con sollevamento, ecc. Gli archi sono orientati ed il flusso è vincolato al verso assegnato all'arco.

La maschera in Figura 3 consente all'utente di individuare il numero di periodi da considerare nella simulazione e di definire l'ampiezza dei periodi aggregati sui quali effettuare i passi di pre-ottimizzazione. Nella stessa maschera è possibile attivare l'opzione per definire gli scenari da considerare nella fase di ottimizzazione.

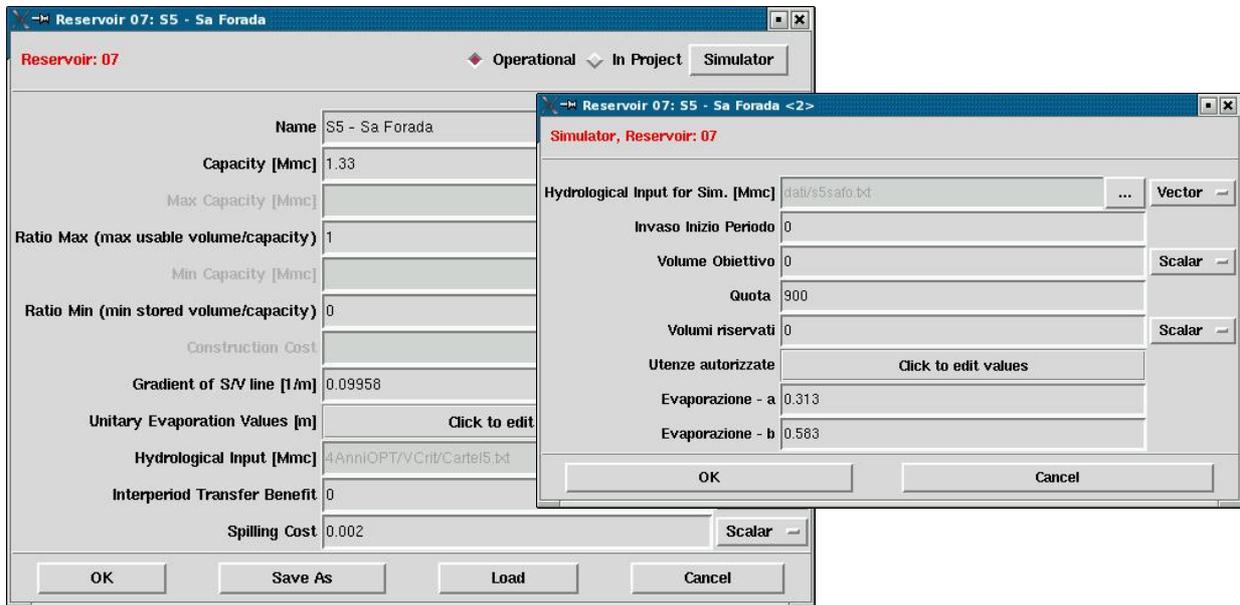
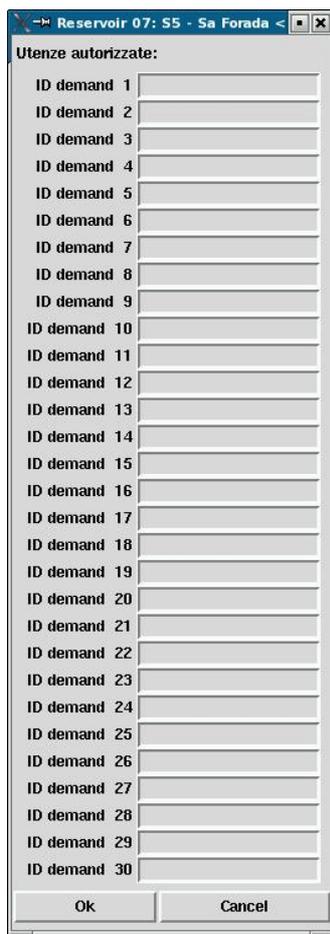


Figura 4: Finestre per la definizione dei serbatoi

Le finestre che compaiono nella Figura 4 consentono di definire le caratteristiche dei serbatoi. Nel caso che il serbatoio sia esistente, o che comunque si consideri una dimensione predefinita di esso, deve essere attivata la modalità "operational", mentre nel caso in cui il serbatoio sia da dimensionare deve essere attivata la modalità "in project". Nella finestra compaiono le sezioni che consentono di attribuire fasce differenziate di possibilità di invaso



nei diversi periodi, la caratterizzazione della curva di invaso e delle perdite per evaporazione, l'attribuzione del file testo nel quale sono archiviati i dati di input idrologico, eventuali attribuzioni di beneficio nel mantenimento di risorsa invasata (interperiod transfer benefit), ovvero costi per il rilascio; tramite queste attribuzioni è possibile caratterizzare il tipo di regolazione (annuale o pluriennale) che si vuole associare al serbatoio.

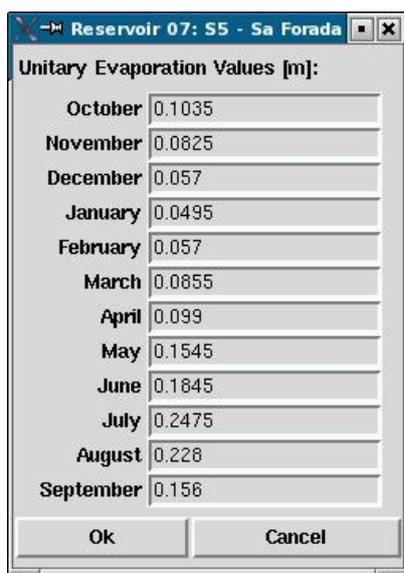
Nella Figura 6 è riportata la maschera di attribuzione delle altezze di evaporazione dall'invaso nei diversi periodi.

La maschera del modulo di simulazione richiede l'attribuzione del volume iniziale invasato, il volume obiettivo che sarà assunto nella simulazione, la quota di riferimento dello sbarramento, i parametri della espressione interpolante la superficie di invaso. La curva di invaso è approssimata con una esponenziale del tipo $S = a V^b$, che lega la superficie dello specchio liquido S col volume di invaso V .

WARGI considera l'eventuale presenza di volumi riservati nel serbatoio ai quali possono accedere solo centri di domanda autorizzati. La presenza della lista delle utenze autorizzate ad accedere al rilascio dal serbatoio, quando questo raggiunge predefiniti livelli di invaso, è uno strumento molto potente offerto al simulatore del gestore per evidenziare la possibilità di introdurre limitazioni di erogazioni preservando le utenze prioritarie. Il codice che identifica il centro di domanda viene analizzato dal simulatore prima di attivare il trasferimento serbatoio-domanda.

Elemento importante, nell'effettuare la taratura del modello, è la corretta attribuzione del valore di volume riservato nel serbatoio.

Figura 5: Finestre delle utenze autorizzate



Un valore troppo elevato rischia di penalizzare inutilmente le domande non prioritarie lasciando, anche nei periodi più critici, il serbatoio con elevato volume invasato.

Un volume riservato troppo basso rischia di non essere sufficientemente cautelativo nell'assicurare la mancanza di deficit per le utenze prioritarie (ad esempio per uso potabile).

Allo stato attuale di sviluppo del software WARGI-SIM, la taratura del parametro "volume riservato", così come quella del "volume obiettivo", deve essere effettuato dall'utente sulla base dell'analisi di sensitività sui risultati ottenuti.

E', comunque, in fase di realizzazione la predisposizione di un modulo di ottimizzazione dei parametri di taratura, tra i quali compaiono appunto il volume riservato ed il volume obiettivo, che WARGI-SIM realizza ricorrendo ad algoritmi di tipo genetico.

Figura 6: Attribuzione delle altezze di evaporazione

La quota attribuita al serbatoio consente di attivare automaticamente la procedura di trasferimento dell'eventuale sfioro verso i nodi vallivi a quota minore, quando sono stati completati i trasferimenti verso i centri di domanda.

Le finestre nella Figura 7 consentono di caratterizzare le traverse di derivazione non dotate di propria capacità d'invaso.

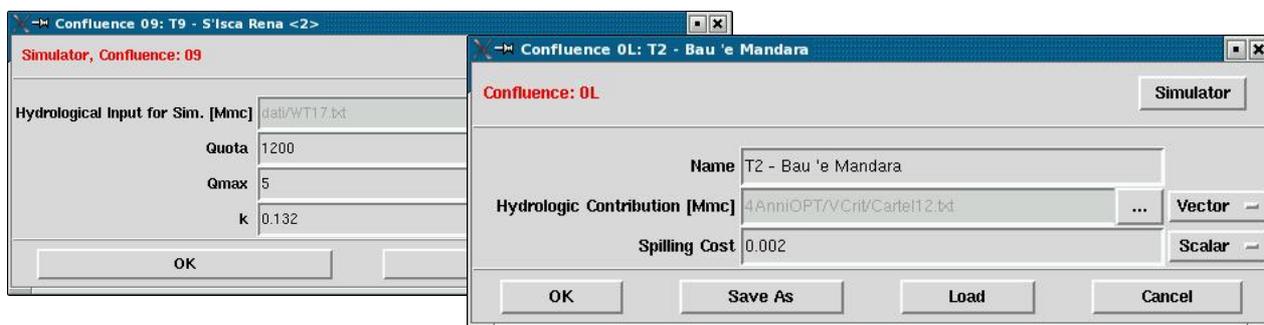


Figura 7: Finestre per la definizione delle traverse

Alle traverse è associato il file dell'input idrologico ed un eventuale costo di derivazione. La possibilità di derivazione è limitata dal valore di portata Q_{max} . Il parametro k , che compare nella maschera, è utilizzato per definire la riduzione nell'idrologia, qui fornita con passo mensile, per tener conto della distribuzione temporale dei deflussi nell'arco del mese. Sulla formulazione della riduzione dell'input idrologico per definire la possibilità di trasferimento dalla traversa e sull'attribuzione di questo parametro k , si rimanda alla Relazione sulle Risorse Superficiali (vol. 1). In tale relazione il problema della valutazione della potenzialità delle risorse trasferibili dalle traverse è trattato ampiamente con particolare riferimento alla distribuzione temporale delle risorse superficiali nell'Isola. Anche alle traverse è attribuita la quota che è utilizzata nella procedura che definisce la distribuzione degli sfiori verso i nodi di valle e verso il mare. Il criterio generale che guida questa procedura nel definire questo eventuale "sfioro a mare" è che esso sia attivato quando non sussiste la possibilità per la traversa di avviare la risorsa derivabile verso le utenze o verso gli invasi vallivi collegati.

Le finestre riportate nelle Figura 8 contengono gli elementi necessari per definire una domanda di tipo civile.



Figura 8: Finestre per input domanda civile.

Anche per definire le dimensioni dei centri di domanda WARGI prevede che questi possano essere inseriti in una fase “operational” o “in project”. Come per i serbatoi, nell’applicazione di WARGI agli schemi di Piano si è utilizzato il criterio di definire, fissandolo preliminarmente in ciascuna alternativa, la dimensione e le caratteristiche del centro di domanda.

Request Program:	
October	0.65
November	0.65
December	0.65
January	0.65
February	0.65
March	0.65
April	0.65
May	0.652
June	0.654
July	0.654
August	0.654
September	0.652

La Figura 9 riporta l’attribuzione mensile della domanda alla quale può quindi essere associata la stagionalità che la caratterizza.

Il simulatore di WARGI prevede che la domanda sia suddivisa in fasce di priorità. La relativa maschera è data in Figura 10.

L’appartenenza di una quota di domanda ad una fascia di priorità rende univoca in tutto il sistema l’attribuzione dell’”importanza” attribuita al suo soddisfacimento. Si può quindi decidere di mantenere una certa fascia di domanda civile su un livello elevato, che non entra mai in competizione con altri tipi di utenza, mentre quote di domanda che siano attribuite a fasce con priorità più bassa sono messe in concorrenza con altre tipologie di domanda, che evidentemente hanno quota di domanda nella stessa fascia di priorità.

Figura 9: Attribuzione del programma di richiesta mensile.

Fasce prioritari:	
Fascia 1	1
Fascia 2	0
Fascia 3	0
Fascia 4	
Fascia 5	

Il DSS di WARGI-SIM utilizza il criterio di “spalmare” l’eventuale deficit per fascia di priorità evitando che sulla stessa fascia di priorità il deficit possa essere concentrato unicamente su pochi centri di domanda o tipologia di utenza. Questa fase di “omogeneizzazione” delle aliquote di eventuali deficit avviene successivamente alla fase di attribuzione delle risorse alle utenze. La procedura implementata in WARGI per i trasferimenti risorsa-domanda, anziché affidarsi a soli criteri di ricerca del costo minimo di trasferimento utilizza una tecnica mista che lascia al decisore maggiore margine di manovra.

Figura 10: Attribuzione delle fasce di priorità.

Nella Figura 11 è infatti riportata la maschera che consente al decisore di attribuire, per la generica domanda civile, quale siano le risorse di riferimento per il suo soddisfacimento. L’elenco di queste risorse viene fornito dall’utente e tale elenco determina anche l’ordine di priorità col quale il simulatore interroga il nodo-risorsa per verificare se esiste risorsa disponibile per il trasferimento verso l’utenza. Nel caso di un serbatoio questo avviene, evidentemente, se esiste ancora volume invasato. Se tale invasato è all’interno di una fascia riservata, WARGI-SIM verifica se l’utenza è tra quelle autorizzate ad accedere a tale volume. L’attribuzione risorsa-utenza avviene per fasce di priorità, pertanto prima che la stessa utenza possa richiedere che siano trasferiti volumi a soddisfacimento di una fascia più bassa di priorità il DSS verifica che tutte le utenze che hanno richieste nella stessa fascia abbiano soddisfatte le loro domande. Quando il trasferimento risorsa-domanda è autorizzato dal DSS

interviene la seconda fase della procedura che, basandosi su criteri puramente economici, individua quale è il percorso di minimo costo che consente il trasferimento risorsa-domanda.

In tal modo possono essere, evidentemente, privilegiati trasferimenti che avvengono a gravità rispetto a quelli con sollevamento o, sempre tramite attribuzione di costi differenziati, possono essere forniti al DSS criteri di preferenza dell'utente che tengano anche conto di altri elementi (ad es. qualità delle acque, caratteristiche dei trasferimenti, ecc.). Il DSS individua quando un percorso, ritenuto economicamente come il più vantaggioso, diventa saturo, ovvero raggiunge la sua massima capacità di trasferimento. In tal caso, è avviata dal DSS la ricerca del percorso non saturo di costo immediatamente inferiore.

L'attribuzione di costi e vincoli sui trasferimenti è realizzata sulla base degli elementi di input che l'utente deve fornire con riferimento alla maschera riportata nella Figura 12.

L'input è richiesto per ciascun arco di trasferimento. Deve essere fornito il massimo volume che può essere trasferito dall'arco (capacità di trasferimento dell'arco), eventualmente differenziando questo limite mese per mese. Inoltre è possibile vincolare l'arco a trasferire un volume minimo mensile (ad es. nel caso di archi naturali).

Risorsa di riferimento:	
Risorsa 1	22
Risorsa 2	0N
Risorsa 3	2B
Risorsa 4	
Risorsa 5	
Risorsa 6	
Risorsa 7	
Risorsa 8	
Risorsa 9	
Risorsa 10	
Risorsa 11	
Risorsa 12	
Risorsa 13	
Risorsa 14	
Risorsa 15	
Risorsa 16	
Risorsa 17	
Risorsa 18	
Risorsa 19	
Risorsa 20	
Risorsa 21	
Risorsa 22	
Risorsa 23	
Risorsa 24	
Risorsa 25	
Risorsa 26	
Risorsa 27	
Risorsa 28	
Risorsa 29	
Risorsa 30	

Arc: 0N24	
Name	43
Capacity [Mmc]	1.2
Max Capacity [Mmc]	
Ratio (max transferable volume)/Capacity	1
Min Capacity [Mmc]	
Ratio (min transfered volume)/Capacity	0
Operating Cost	2.3
Construction Cost	

Figura 12: Finestra di input dell'arco di trasferimento

Figura 11: Risorsa di riferimento della domanda civile.

Il DSS WARGI-SIM, quando ha ultimato l'attribuzione per fasce delle risorse alle utenze, avvia la procedura di ricerca di ottimizzazione dei volumi invasati nei serbatoi minimizzando lo scarto rispetto al volume obiettivo associato a ciascun serbatoio. Viene quindi avviata la procedura di trasferimento degli sfiori, essenzialmente guidata dalle quote attribuite ai nodi e dai percorsi attivabili nel grafo. Gli sfiori che possono essere raccolti dagli invasi costituiscono risorsa utilizzabile nei periodi successivi, l'eventuale risorsa residua determina lo "sfioro a mare" del sistema.

Al termine della procedura di simulazione WARGI-SIM fornisce un file di output in formato testo che può essere esportato, anche in ambiente Excel di Windows, per eventuali elaborazioni, rappresentazioni e per la stampa. Un esempio parziale di file di output, nel quale sono riportati i soli elementi essenziali della simulazione, è dato nella Figura 13.

Restando in ambiente WARGI-SIM, il DSS consente di visualizzare immediatamente i risultati ottenuti, come flussi lungo gli archi, volumi invasati, erogazioni e deficit. Nella Figura 14 sono riportate alcune delle possibilità di visualizzazione dei risultati ottenuti.

In questo modo è estremamente agevole per l'utente effettuare una analisi di sensitività sui parametri utilizzati e sul dimensionamento della configurazione del sistema esaminata. In modo interattivo l'utente, senza uscire dall'ambiente di lavoro del DSS, può apportare le modifiche al sistema che ritiene necessarie e rilanciare la simulazione esaminandone, quindi, i nuovi risultati.

ALTERNATIVA 3 nov24

RISORSE

DENOMINAZIONE	Capacita' [Mmc]	Defl.Medio [Mmc/anno]	Inv.Medio [Mmc]	Inv.MAX [Mmc]	Inv.min [Mmc]	Sf.Mare [Mmc/anno]	Evap [Mmc/anno]
00 S5-Bidighinzu	10.90	4.56	6.48	10.83	0.17	0.00	1.45
09 S1-Coghinas a Muzzone	242.09	188.53	148.06	241.11	3.34	0.00	20.35
0E S7-Sos Canales	3.58	3.39	1.97	3.57	0.04	0.55	0.21
0A S2-Coghinas a Casteldoria	7.03	52.88	2.45	6.94	0.00	61.82	0.65
0B S8-Bunnari	1.62	1.06	1.03	1.61	0.02	1.51	0.19
04 S3-Cuga a Nuraghe Attentu	34.24	6.01	21.42	34.07	0.60	0.74	3.59
06 S4-Temo a Roccadoria	81.40	24.82	49.02	81.17	1.42	4.35	4.81
0D S6-Monte Lerno	72.10	28.83	38.91	71.87	0.98	0.00	3.96

CONFLUENZE CON INPUT IDROLOGICO

DENOMINAZIONE	Defl.Medio [Mmc/anno]	Sf.Mare [Mmc/anno]
0C T3-Ponte Valenti	14.22	0.00
4A T1-Mannu a la Crucca	25.88	27.21
1C REP1-San Marco	2.76	0.00
08 T4-Scala Manna	4.83	1.51
02 T5-Badde de Jana	2.15	0.47
05 T2-Mascari	5.18	1.63
1D REP5-Caniga	5.88	0.00
03 T6-cumone Crabolu	48.73	27.04

ARCHI

DENOMINAZIONE	Trasf.Medio [Mmc/anno]	Trasf.MAX [Mmc/mese]
0E1M 278	0.05	0.00
0615 32	1.59	0.18
0907 446	50.02	5.67
0306 51	21.69	7.07
0D1L 277	0.32	0.03
0D19 42	14.68	7.00
0411 274	0.38	0.03
0A00 273	5.64	0.47
0412 29	33.79	12.99
0R17 17	5.04	0.57
0Q0P 13	0.00	0.00
0A0Q 11	35.32	5.44
0Q0R 14	35.32	5.44
0A0K 8	6.48	1.69
0A0N 12	20.69	2.59
0F0A 43	82.73	146.26
0F0H 5	5.73	1.50
0G0F 3	0.05	0.53
1408 34	27.48	11.95
1213 26	57.71	14.35
1C12 357	2.76	0.23
4A12 27	4.58	0.78
1210 16	1.05	0.09

UTENZE

DENOMINAZIONE	Rich.Ini. [Mmc/anno]	Rich.Progr. [Mmc/anno]	Deficit.Medio [Mmc/anno]	Def.MAX [Mmc/anno]	Erog.Netta [Mmc/anno]
07 DS5	68.00	68.00	17.98	68.00	50.02
13 D8-18-Nurra	57.88	57.88	0.17	9.09	57.71
19 D10-Chilivani	54.67	54.67	2.74	16.38	51.93
0S D6-Truncu Reale	22.16	22.16	0.00	0.00	22.16
0U D4-Porto Torres	16.84	16.84	0.00	0.00	16.84
01 DMV-S1	6.55	6.55	0.00	0.00	6.55
18 D7-Bidighinzu	6.31	6.31	0.00	0.00	6.31
00 DMV-S2	5.64	5.64	0.00	0.00	5.64
1A D11-Monte Lerno	5.64	5.64	0.00	0.00	5.64
17 D12-Monte Agnese	5.04	5.04	0.00	0.00	5.04
1B D13-Sos Canales	3.58	3.58	0.00	0.00	3.58
0L D1-Bassa valle Casteldoria	6.82	6.82	0.34	2.03	6.48
0J D17-Perfugas	6.03	6.03	0.30	1.81	5.73
0M D15-Badesi	5.00	5.00	0.00	0.00	5.00
15 D9-Schema n°12	1.59	1.59	0.00	0.00	1.59
0P D3-Lu Bagnu	2.58	2.58	0.00	0.00	2.58
10 D14-Alghero	1.05	1.05	0.00	0.00	1.05
0V D5-Pedra Niedda	0.53	0.53	0.00	0.00	0.53

Figura 13: Sintesi dei dati nel file di output di WARGI-SIM

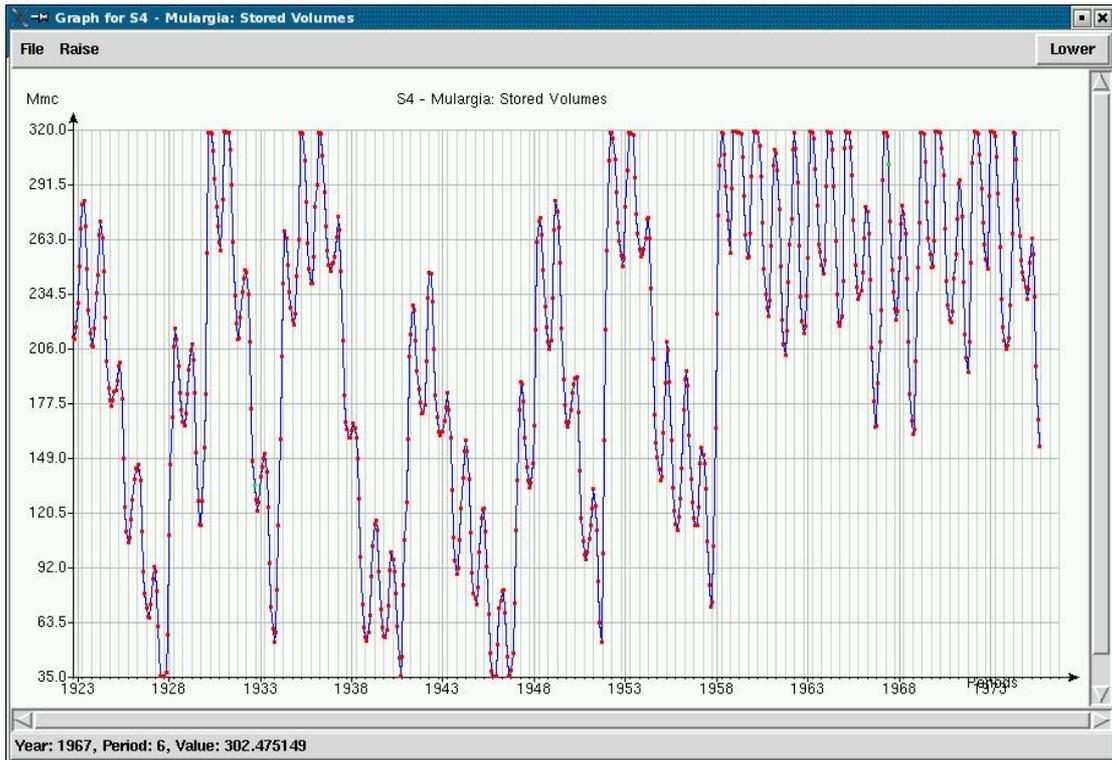


Figura 14a: Visualizzazione dei risultati – volumi invasati

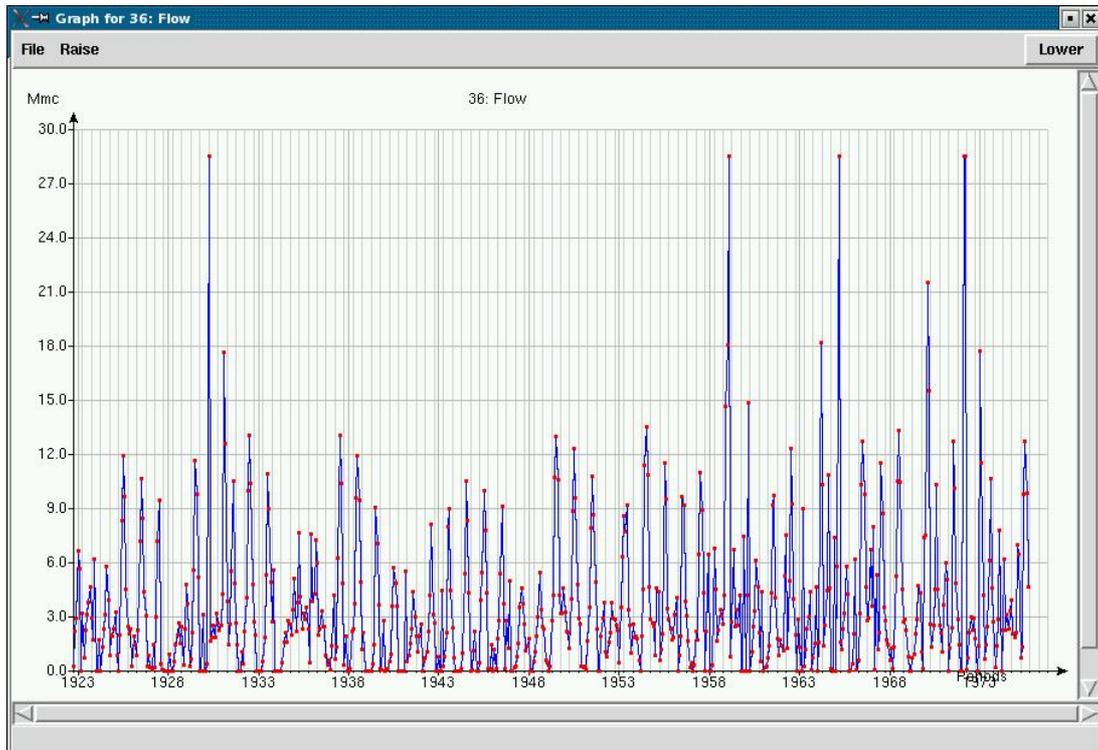


Figura 14b: Visualizzazione dei risultati – flussi in un arco

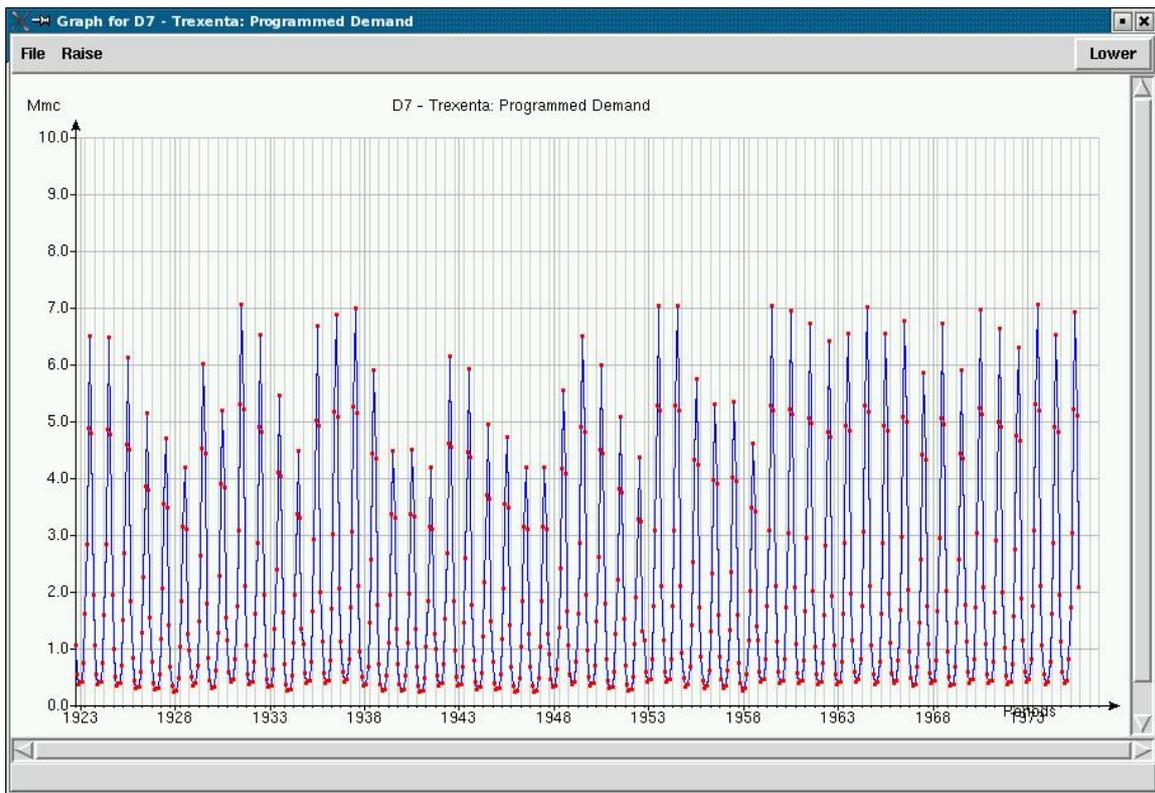


Figura 14c: Visualizzazione dei risultati – erogazioni programmate verso un'utenza.