



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. 1

RISORSE

Redazione:

SOGESID S.p.A.
Società Gestione Impianti Idrici

Approvazione:

RISORSE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	4
2.1	GEOLOGIA.....	4
2.2	OROGRAFIA.....	6
2.3	IDROGRAFIA.....	9
3	LE RISORSE SUPERFICIALI.....	14
3.1	LA MODELLAZIONE IDROLOGICA ADOTTATA NEL PSDRI	15
3.1.1	<i>Indagini Pluviometriche.....</i>	15
3.1.2	<i>La trasformazione Afflussi-Deflussi.....</i>	24
3.1.3	<i>La ricostruzione dei deflussi alle sezioni di interesse</i>	28
3.2	LA MODELLAZIONE IDROLOGICA DI PIANO.....	30
3.2.1	<i>Premesse</i>	30
3.2.2	<i>Ricostruzione dei deflussi tramite bilancio idrico dei laghi artificiali.....</i>	32
3.2.3	<i>Analisi statistiche sui deflussi ricostruiti.....</i>	34
3.2.4	<i>Procedura di generazione adottata in seconda fase di Piano.....</i>	37
3.2.5	<i>Verifiche sulle serie idrologiche generate.....</i>	47
3.2.6	<i>Verifiche sulle possibilità di erogazione</i>	55
3.3	UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SUPERFICIALI: POSSIBILITA' DI DERIVAZIONE DALLE TRAVERSE E POTENZIALITA' DI EROGAZIONE DAI NUOVI INVASI.....	60
3.3.1	<i>Premesse</i>	60
3.3.2	<i>Determinazione delle possibilità di erogazione</i>	63
3.3.3	<i>Valutazione del volume derivabile dalle traverse</i>	65
3.3.4	<i>Prime analisi dei risultati sulle possibilità di erogazione.....</i>	70
3.3.5	<i>Ulteriori elaborazioni per la stima dei volumi derivabili dalle traverse</i>	71
4	LE RISORSE SOTTERRANEE	82
4.1	PREMESSA.....	82
4.2	GLI STUDI PRECEDENTI	83
4.3	CENNI IDROGEOLOGICI DELLA SARDEGNA.....	85
4.4	SORGENTI E POZZI DELLA SARDEGNA	86
4.5	PUNTI DI CAPTAZIONE PER USO IDROPOTABILE	87
4.6	PUNTI DI CAPTAZIONE PER USO IRRIGUO ED INDUSTRIALE.....	91
4.7	L'ORGANIZZAZIONE DEI DATI DISPONIBILI.....	94
4.8	LA VERIFICA DEI DATI PER IL SETTORE CIVILE.....	95
5	LE RISORSE NON CONVENZIONALI.....	97
5.1	PREMESSA.....	97
5.2	ACQUE DI EDUZIONE DALLE MINIERE.....	98
5.3	ACQUE REFLUE DI ORIGINE CIVILE O INDUSTRIALE	99
5.4	ACQUE PRODOTTE MEDIANTE PROCESSI DI DISSALAZIONE.....	104

1 PREMESSA

Le caratteristiche di disponibilità delle risorse, sia in termini quantitativi complessivi, sia sotto l'aspetto della loro ripartizione temporale e della loro localizzazione spaziale sono state oggetto di particolare attenzione tenuto conto dell'importanza che rivestono ai fini delle utilizzazioni.

Oltre alle risorse naturali sia superficiali che sotterranee, sono state prese in considerazione le risorse non convenzionali, costituite dalle acque reflue di origine civile e industriale, dalle acque di eduazione da miniera e da quelle che possono eventualmente essere rese disponibili per mezzo della dissalazione di acque marine o salmastre.

Allo stato attuale l'approvvigionamento idrico alle varie utenze in Sardegna è ottenuto principalmente tramite le acque superficiali, mentre sono minori i volumi utilizzati derivanti da acque sotterranee e sono ancora modeste le utilizzazioni di acque non convenzionali.

Sulla base delle più recenti valutazioni, che tengono conto delle serie idrologiche particolarmente critiche di questi ultimi anni, il volume complessivo attualmente utilizzabile dalle risorse idriche superficiali si è praticamente dimezzato rispetto alla stima del Piano delle Acque della Sardegna, predisposto a metà degli anni '80 sulla base delle serie idrologiche che si estendevano fino al 1975.

Le più recenti analisi contenute nel Piano Stralcio Direttore e rielaborate nel presente documento hanno evidenziato la carenza strutturale del sistema di approvvigionamento e la gravità della crisi idrica riscontrata in questi ultimi anni.

La grave situazione idrica incombente sulla Sardegna, con precipitazioni scarse ed elevati valori di evaporazione è stata causa di numerose restrizioni nell'ambito delle erogazioni, particolarmente quella irrigua, e conferma la necessità di ricorrere all'uso di risorse locali, e ove necessario e possibile, a quelle non convenzionali.

Per ciò che riguarda le risorse sotterranee c'è da precisare che la stima delle reali potenzialità degli acquiferi non sia stata fino ad oggi acquisita in modo soddisfacente. Nel presente documento per la stima delle potenzialità d'uso della risorsa sotterranea si è fatto riferimento ai dati contenuti nel recente Piano di Ambito della Sardegna, che nel corso dei lavori sono stati oggetto di verifica presso i soggetti gestori.

Pur consapevoli che attualmente non esiste un patrimonio informativo sufficientemente esteso, in accordo con quanto previsto nel Piano d'Ambito, si è ritenuto che dovesse essere evidenziata, nelle situazioni che lo consentono, la necessità di recupero delle risorse sotterranee locali, contrastando quindi la tendenza che frequentemente porta alla sostituzione delle fonti locali con fonti superficiali invase, perché ritenute più affidabili.

Questa linea è stata particolarmente perseguita nell'ambito degli schemi multisettoriali per i quali si sono frequentemente evidenziate drammatiche carenze nell'approvvigionamento delle domande competitive con il potabile, in particolare per il settore irriguo.

Gli interventi per superare l'emergenza idrica indicati nei più recenti documenti di programmazione, e assunti quale quadro di base per la presente pianificazione, prevedono l'integrazione nel sistema esistente, basato essenzialmente sulle acque superficiali, con il riutilizzo di acque reflue e la costruzione di dissalatori che consentano l'utilizzo delle acque di mare.

Nel presente volume vengono illustrati i criteri che hanno portato alla definizione delle potenzialità delle risorse idriche superficiali e sotterranee, e le considerazioni alla base delle scelte effettuate sull'uso delle risorse non convenzionali.

Nei paragrafi che seguono si riporta un inquadramento di carattere territoriale, geologico e idrografico del territorio regionale.

2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

2.1 GEOLOGIA

L'ossatura della Sardegna è costituita per la maggior parte da rocce paleozoiche che in superficie si estendono per circa 13.000 Km² e sono rappresentate prevalentemente da scisti metamorfici (6.000 Km²), in potenti masse piegate e fra loro sovrascorse, attraversate da graniti (circa 7.000 Km²) in forma di vaste intrusioni magmatiche.

La formazione scistosa a più alto grado di metamorfismo, caratterizzata da gneiss, micascisti e migmatiti, probabilmente tra le rocce più antiche dell'Isola (i cosiddetti scisti cristallini), affiora quasi esclusivamente in talune aree della Gallura e delle Baronie di Posada e Siniscola. Gli scisti a basso grado di metamorfismo, talora addirittura fossiliferi, sono più diffusi rispetto ai precedenti e affiorano in vari settori per lo più montuosi dalla Nurra al Goceano, dalle Barbagie all'Ogliastra, dal Sarcidano al Gerrei, al Sarrabus e soprattutto nel Sulcis-Iglesiente: la loro età si estende dal Cambriano fino al Carbonifero inferiore. Nel Sulcis e nell'Iglesiente, in particolare, fra gli scisti si intercalano le maggiori masse carbonatiche paleozoiche, rappresentate da dolomie e calcari del Cambriano inferiore, di grande interesse idrogeologico per la loro notevole permeabilità ed il forte spessore (1.000-1.500 m) e perciò sede di importanti risorse idriche sotterranee.

I graniti, differenziati spesso in granodioriti ed altri litotipi eruttivi affini, occupano pressoché tutta la Gallura (il più vasto e complesso ellissoide intrusivo dell'Isola), gli altopiani di Buddusò-Alà dei Sardi, buona parte del Nuorese, delle Baronie di Galtelli-Orosei, del Mandrolisai, dell'Ogliastra e del Sarrabus, nonché varie zone dell'Iglesiente e del Sulcis.

Fra i più alti ed estesi massicci montuosi sardi, il Gennargentu ed il Marghine (M.te Rasu) sono costituiti in forte prevalenza da scisti a basso grado di metamorfismo, il Limbara è esclusivamente granitico ed il M.te Linas ha composizione mista granitico-scistosa.

L'ossatura paleozoica, ben visibile nei principali rilievi montuosi, e anche il basamento delle formazioni geologiche mesozoiche e terziarie, che, insieme con quelle quaternarie, occupano i restanti 11.000 Km² della superficie dell'Isola.

Fra i terreni mesozoici particolarmente estesi sono quelli del Giurese, che sotto forma di banchi in prevalenza calcarei e dolomitici costituiscono i tacchi, l'altopiano del Sarcidano, il Supramonte di Orgosolo, Oliena, Dorgali e Urzulei, la potente bastionata costiera del Golfo di Orosei e di Baunei, il M.te Albo e la Nurra. Di minore importanza sono i calcari del Cretaceo e del Trias, presenti soprattutto nella Nurra e qua e là altrove in piccoli lembi.

I terreni del Terziario occupano pressoché totalmente quella che viene definita dai geologi la "grande fossa sarda", che dal Golfo dell'Asinara si estende fino al Golfo di Cagliari comprendendo tutta una serie di settori collinari o pianeggianti, comprendente da nord a sud Turritano, Anglona, Logudoro, Campeda, Planargia, Montiferru, Valle del Tirso, Sinis, Campidano, Marmilla, Trexenta e Cagliariitano. Si tratta di una larga e lunga fascia di suolo sardo in cui il basamento paleozoico si è abbassato di alcune migliaia di metri ed è stato ricoperto da rocce vulcaniche (andesiti, trachiti, rioliti e basalti) e da sedimenti marnosi

arenacei e calcarei dell'Oligocene, Miocene, Pliocene, il cui spessore complessivo raggiunge i 2.000 m circa.

I basalti in particolare costituiscono i pianori e gli altopiani di Pozzomaggiore, Bonorva, Macomer (Campeda), Sindia-Bosa (Planargia), Abbasanta, M.te Arci e la Giara di Gesturi. Queste lave però, sono presenti anche nella valle del Cedrino, nell'entroterra del Golfo di Orosei e nell'Ogliastra costiera. Trachiti, rioliti e andesiti si trovano anche nel Basso Sulcis, all'esterno della fossa sarda. Il Quaternario, solo eccezionalmente in Logudoro rappresentato da lave e scorie basaltiche, costituisce con le sue formazioni alluvionali le pianure dei Campidani di Cagliari e di Oristano, nonché le piane litoranee immediatamente a monte delle foci del Flumendosa, del Rio Picocca, del Rio Quirra e di altri corsi d'acqua minori. Al Quaternario appartengono anche modesti depositi marini conchigliari e resti di dune consolidate che orlano taluni tratti costieri soprattutto in territorio di Alghero, all'interno del Golfo dell'Asinara, in Planargia, nel Sinis, entro il Golfo di Oristano, nel Sulcis-Iglesiente e presso Cagliari.

Dal punto di vista idrogeologico, in base alla distribuzione delle sorgenti e ai coefficienti di deflusso dei corsi d'acqua, la Sardegna viene ritenuta di solito prevalentemente impermeabile e perciò abbastanza predisposta alla realizzazione di invasi artificiali. Tuttavia, soltanto le argille e le marne mioceniche, per circa il 5% dell'intero territorio isolano, risultano del tutto impermeabili. Prevalgono, infatti, secondo una stima grossolana basata su superfici e spessori, le rocce a medio-bassa permeabilità, rappresentate dai graniti e dagli scisti metamorfici paleozoici, dalle vulcaniti e dai sedimenti clastici del Terziario e del Quaternario, che nel loro complesso costituiscono almeno l'85% dell'Isola. Le rocce effettivamente permeabili, rappresentate esclusivamente da calcari e dolomie, nonché da scarsi basalti scoriacei, da sabbie dunari e depositi sciolti d'apporto alluvionale e di frana, assommano ad un modesto 10%.

Le condizioni di permeabilità prevalenti, più che al tipo litologico per se stesso con le sue caratteristiche di porosità, granulometria e giacitura, sono legate soprattutto al grado di fessurazione e degradazione chimico-fisica delle rocce, spesso maggiore nelle formazioni geologiche più antiche, paleozoiche e mesozoiche, che hanno subito ripetutamente e più a lungo nel tempo gli effetti destabilizzanti di movimenti tellurici e agenti atmosferici. Fessurazione e degradazione, in genere, risultano determinanti nell'infiltrazione delle acque superficiali e nella formazione delle falde idriche nel sottosuolo fino a profondità massime di 200-300 m circa. Per profondità maggiori, ovviamente, entrano in giuoco le grandi faglie e discontinuità tettoniche regionali cui si devono i lineamenti orografici principali e le manifestazioni idrotermali dell'Isola.

2.2 OROGRAFIA

Il carattere orografico più appariscente dell'Isola è la sua configurazione estremamente varia, che si compone di rilievi tipicamente montuosi, di altopiani, pianori, colline e pianure alluvionali, cui si intercalano ampie vallate di origine tettonica e valli d'erosione strette, profondamente incassate, d'aspetto assai giovanile, come quelle del Flumendosa, del Flumineddu e in alcuni tratti anche del Temo e del Tirso.

Fra i rilievi montuosi principali, la maggior parte deve la sua origine ad un sollevamento generale in epoca terziaria del basamento granitico metamorfico paleozoico ed al successivo modellamento per processi erosivi, come il Gennargentu, la massima altitudine dell'Isola (m 1.834), il Limbara, il M.te Linas, i monti del Sulcis e di tutta la Sardegna sud-orientale; altri, invece, conservano anche se parzialmente l'originaria conformazione vulcanica, come ad esempio il Montiferru, il M.te Arci e tanti rilievi minori del Logudoro, oppure rappresentano lembi residui delle coperture sedimentarie mesozoiche e terziarie sollevate insieme col basamento (Supramonte, M.te Albo, Sarcidano e Tacchi).

I lineamenti orografici maggiori, in particolare, sono geometricamente connessi a dislocazioni per faglia che hanno provocato cedimenti o innalzamenti su scala regionale, talora anche traslazioni orizzontali. Ancora oggi queste faglie si riconoscono agevolmente nei contorni del Limbara e dei grandi altopiani granitici della Gallura e del Nuorese, nella scarpata alta e ripida della cosiddetta catena del Marghine, nella struttura ad arco del Golfo di Orosei e del suo entroterra e soprattutto nelle sponde ben precise che delimitano il Campidano e la Piana del Cixerri, nonché tante pianure minori della Sardegna settentrionale (Perfugas, Chilivani, Oschiri-Berchidda e Benetutti).

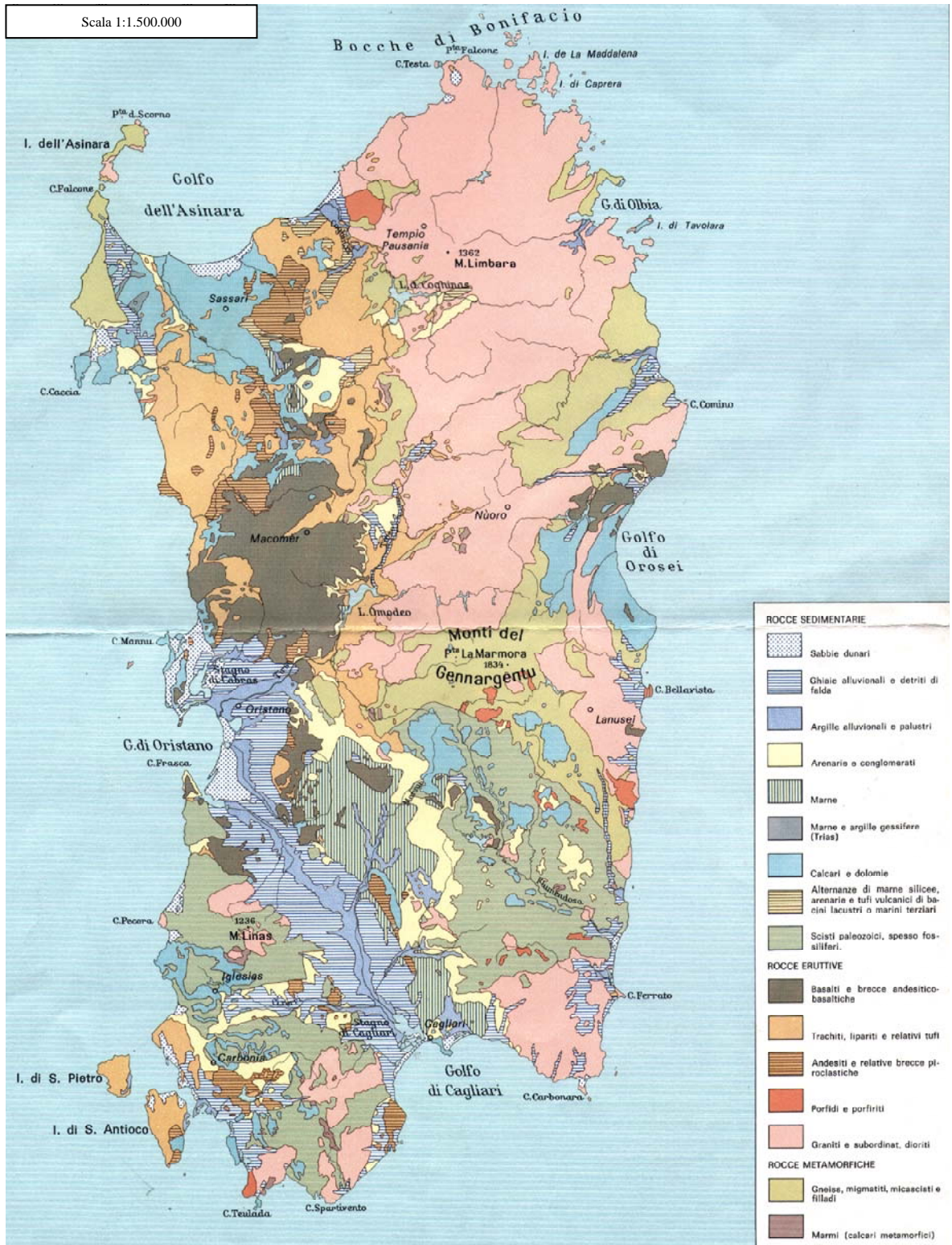
All'impostazione tettonica dell'orografia ha fatto seguito anche quella della rete idrografica, le cui linee principali coincidono anch'esse con fratture e faglie spesso rettilinee: Alto Temo, Coghinas, corso medio del Tirso, Basso Cedrino, Pramaera-Baccu Turbina, Rio Pardu e Rio Quirra, per citare solo alcuni dei maggiori corsi d'acqua sardi. Ovviamente, in tempi successivi l'evoluzione del reticolo idrografico è stata influenzata dalla resistenza all'erosione dei vari tipi litologici e in vari settori anche dalla nascita in epoca assai recente di numerosi vulcani nel Logudoro, nel Medio-Basso Tirso, nell'area di Orosei-Dorgali, in Marmilla e nel medio Flumendosa. Di conseguenza le valli dei grandi Fiumi possono mostrare notevole varietà di morfologie e paesaggi anche in tratti relativamente brevi.

La morfologia dei rilievi trova riscontro spesso anche nella composizione litologica: così, le montagne granitiche, come il Limbara ed i Sette Fratelli, si distinguono per il loro aspetto rupestre, ricco di grandi fessure, canaloni e torri rocciose, mentre quelle in scisti metamorfici, nella Nurra, nel Gennargentu, nel Gerrei e nell'Iglesiente presentano di solito forme morbide, acclività non eccessive e vegetazione a macchia prevalente su quella arborea; le formazioni vulcaniche, in generale, danno luogo con le loro colate sovrapposte ad altopiani, pianori e potenti gradinate leggermente inclinate (Logudoro, Anglona, Bosano, Campeda, Marghine, Sulcis), e con i loro centri eruttivi a rilievi in forma di cono con base più o meno larga; alle rocce sedimentarie del Terziario, prevalentemente marnose o arenacee, corrispondono in genere morfologie dai versanti teneri e piuttosto declivi.

A differenza delle litologie fin qui citate, i calcari e le dolomie del Cambriano, del Devonico, del Mesozoico e del Terziario presentano manifestazioni e peculiarità carsiche di grande

rilievo: le sorgenti del Gologone a Oliena, le Grotte di Nettuno ad Alghero, corsi d'acqua sotterranei nel Supramonte, nel M.te Cardiga, nel Logudoro, nei Tacchi e nell'Iglesiente, nonché cavità d'interesse preistorico un po' dovunque e soprattutto minerario nel Sulcis e presso Iglesias.

CARTA LITOLOGICA DELLA SARDEGNA



2.3 IDROGRAFIA

Con Delibera n. 45/57 del 30.10.1990 la Giunta regionale ha considerato l'intero territorio della Sardegna quale unico bacino idrografico suddiviso in sette sub – bacini coincidenti con le aree idrografiche definite nello Studio per la pianificazione delle risorse idriche in Sardegna (Piano Acque).

Il Piano Acque, al fine di appoggiare lo studio su adeguati riferimenti geografici, ha ripartito l'intero territorio regionale nelle sette zone idrografiche seguenti:

- I Sulcis
- II Tirso
- III Coghinas – Mannu –Temo
- IV Liscia
- V Posada – Cedrino
- VI Ogliastra
- VII Flumendosa – Campidano - Cixerri

La suddivisione, i cui confini sono riportati nell'elaborato cartografico R.1, si basa su elementi di natura idrografica e si limita ad individuare i grandi aggregati territoriali, tenuto conto del grado di interconnessione dei sistemi di utilizzazione esistenti, sia dal lato delle risorse e sia da quello delle utilizzazioni.

Tale suddivisione riflette inoltre le condizioni imposte dalla ripartizione geografica delle risorse superficiali di interesse primario che limitano le possibilità di trasferimento fra le diverse zone e richiedono, per motivi di economicità, di fare principalmente assegnamento sulle risorse di ciascuna zona per la copertura dei relativi fabbisogni.

In effetti la soluzione ipotizzata dal Piano Acque, con riferimento all'obiettivo di soddisfacimento integrale dei fabbisogni potenziali dell'intera regione, ha portato di fatto ad un livello di interconnessione dei sistemi di utilizzazione molto più accentuato di quanto farebbe presumere la suddivisione in zone idrografiche suindicata.

Ad essa comunque il Piano Acque attribuisce il significato di conveniente cornice di riferimento per tutte le valutazioni e considerazioni riportate nello studio.

Sulla base delle stesse considerazioni nel presente documento si è operata la scelta di conservare la suddivisione delle zone idrografiche del Piano Acque quale inquadramento complessivo, con particolare riferimento allo stato di fatto delle risorse, delle idroesigenze e delle infrastrutture esistenti.

Si riporta di seguito una descrizione delle sette principali aree idrografiche individuata dal Piano Acque.

AREA I – *Sulcis*

L'Area I può considerarsi divisa in due parti, una che comprende i corsi d'acqua sfocianti al litorale orientale e meridionale del Sulcis; la seconda, che scola alla costa occidentale del Sulcis stesso e dell'Iglesiente.

La prima parte comprende terreni prevalentemente scistosi e granitici con associate formazioni vulcaniche terziarie; i corsi d'acqua che ivi scorrono hanno le caratteristiche dei torrenti montani a bacino impermeabile; di essi il più considerevole è il Rio di Palmas con 476 kmq di bacino imbrifero.

Nella seconda parte, per la prossimità dello spartiacque alla costa, i corsi d'acqua hanno importanza limitata: i più notevoli sono il Flumentepido e il Fluminimaggiore, che ricevono alimento da alcune sorgenti di media entità. Trattasi della principale regione mineraria dell'Isola: in essa si presentano notevoli masse di terreni paleozoici soprattutto calcarei, mineralizzati a solfuri metallici, barite e fluorite.

AREA II – *Tirso*

L'Area II può considerarsi divisa in due parti: la prima costituita dall'estremità N. W. del Campidano Nord di Cagliari, scolante al golfo di Oristano; la seconda costituita dal bacino idrografico del Tirso.

La prima consta essenzialmente dei bacini del Fluminimannu di Pabillonis e del Rio di Mogoro. Al primo di questi scolano nel tronco superiore terreni analoghi a quelli dei bacini costieri dell'Iglesiente, fra i quali appare però in quantità considerevole il granito, mentre quasi tutto il suo corso si svolge nella pianura alluvionale del Campidano. Il Rio di Mogoro invece, che proviene da terreni quasi totalmente terziari (formazioni mioceniche e basalti), ha una notevole parte del bacino in regione montuosa.

Il Tirso è fra i corsi d'acqua sardi quello che ha il bacino più esteso (*kmq* 3376). La sua asta principale ha origine dall'altipiano granitico di Buddusò, e fino alla confluenza del Liscoi si svolge attraverso un'imponente massa granitica fiancheggiata in destra dagli scisti della Catena del Marghine; indi attraversa fino allo sbocco in pianura terreni prevalentemente trachitici, avendo rispettivamente in destra e in sinistra i basalti del Montiferru e i terreni paleozoici della Barbagia. Degli affluenti, i più importanti sono il Taloro e il Flumineddu i cui bacini imbriferi hanno superficie rispettivamente di 505 e 840 *kmq*.

Il primo è totalmente costituito da scisti e graniti; nel secondo, nella parte meridionale, compaiono anche i calcari giuresi del Sarcidano e i terreni miocenici e trachitici della Marmilla.

Ambedue gli affluenti traggono origine dal massiccio del Gennargentu, del quale raccolgono rispettivamente le acque dei versanti settentrionale e occidentale.

Alcuni degli affluenti di destra ricevono sorgenti di media entità provenienti dalle formazioni vulcaniche recenti del Montiferru.

L'alto corso dell'asta principale è dotato di deflussi unitari non altissimi, in contrasto con la prevalente costituzione geologica presunta impermeabile ma probabilmente d'accordo con le fitte reti di fratture presenti nel bacino.

AREA III – *Coghinas, Mannu, Temo*

La zona compresa tra il *Tirso* e il *Coghinas* è caratterizzata dal fatto che l'ossatura paleozoica di scisti e graniti è quasi interamente coperta da formazioni posteriori, prevalentemente terziarie: trachiti, basalti e terreni miocenici. Scisti siluriani compaiono all'estremità N-W dell'Isola; piccoli lembi di formazioni mesozoiche (triassiche, del giuras e cretacee) si notano qua e là; il quaternario copre una notevole parte della Nurra.

Tutta la zona presenta una certa abbondanza di sorgenti, sia nelle formazioni vulcaniche del Montiferru, sia in quelle mesozoiche della Nurra: anche i calcari miocenici del Logudoro, del Sassarese e dell'Anglona presentano manifestazioni sorgentizie, a differenza di quelli della Trexenta e della Marmilla, che si comportano come impermeabili.

Anche qui però le portate perenni che scaturiscono dalle sorgenti non hanno importanza, tale da permettere grandi utilizzazioni.

Il corso d'acqua maggiore della zona è il Temo, il cui bacino (*kmq* 837) è quasi tutto costituito di basalti e trachiti, e solo in minor parte di calcari del miocene

Nella zona risulta interessante il gruppo di sorgenti del Montiferru che alimentano il Mannu di S. Lussurgiu.

Il Coghinas, il secondo dei corsi d'acqua sardi per superficie di bacino imbrifero (*kmq* 2477) è formato dalla confluenza del R. Mannu di Ozieri (*kmq* 1026) e del R. Mannu di Berchidda (*kmq* 802). Il primo dei due ha origine nei terreni vulcanici e miocenici di Campo Giavesu e di S. Lucia di Bonorva, e attraversa nel suo corso la vasta formazione quaternaria, del campo di Ozieri: in minor parte figurano nel suo bacino scisti e graniti. Il Mannu di Berchidda ha bacino completamente granitico, ed a esso scolano anche i versanti meridionale e occidentale del Limbara, il secondo gruppo montuoso della Sardegna.

Dopo la confluenza, dei due, il Coghinas si svolge attraverso i graniti avendo in sinistra masse scistose metamorfiche di una certa entità; indi succedono, sempre in sinistra, terreni trachitici e in minor parte miocenici, fino al campo Coghinas, formazione quaternaria litoranea di mediocre importanza.

Il R. Mannu. di Berchidda, è quello dei due affluenti che presenta i coefficienti di deflusso più elevati rispetto al Mannu di Ozieri.

AREA IV – *Liscia*

L'area interessa il litorale Nord e parte di quello orientale ed è formata quasi esclusivamente di graniti.

I corsi d'acqua più importanti sono il Vignola (*kmq* 142), il Liscia (*kmq* 564), il Rio di S. Giovanni d'Arzachena (*kmq* 181), il Padrogiano (*kmq* 443).

AREA V – *Posada, Cedrino*

L'area si estende per buona parte del versante Nord Est dell'Isola. Procedendo verso Sud, accanto ai graniti appaiono gli scisti metamorfici, e fra essi vengono a giorno, talvolta in masse imponenti, le formazioni mesozoiche calcareo-dolomitiche della Baronia e del Supramonte, nonché i basalti di Dorgali e di Orosei. Formazioni alluvionali quaternarie si presentano alle foci e lungo i tronchi vallivi.

A Sud della zona puramente granitica, scorre il Posada, il cui bacino (*kmq 675*) si estende in massima parte sul basamento granitico-metamorfico e solo a sud-est comprende il vasto affioramento calcareo mesozoico del Monte Albo. Il suo affluente principale, il rio Mannu di Bitti, scorre spesso tortuoso su scisti filladici impermeabili.

Ancora più a Sud è il Cedrino (*kmq 1089*), la cui asta principale raccoglie le acque del versante Nord orientale del Gennargentu, attraversa i graniti della Barbagia di Ollolai e del Nuorese, indi, dopo aver ricevuto gli apporti idrici della grande sorgente del Gologone ai piedi del Supramonte di Oliena, sbocca nelle piane di Galtellì e Orosei (alluvione quaternaria). Dei suoi affluenti i principali sono il Flumineddu di Dorgali (*kmq 181*), il cui bacino è in buona parte nel calcare giurese, e l'Isalle (*kmq 288*) che scola da terreni quasi esclusivamente granitici.

AREA VI – *Ogliastra*

Dei corsi d'acqua che scorrono attraverso l'Ogliastra propriamente detta, e che hanno bacino granitico, i più importanti sono il Pramaera e il Foddeddu o Corongiu a Tortolì.

Fra l'Ogliastra e la foce del Flumendosa i due torrenti più notevoli sono il Pardu (*kmq 134*) e il Rio di Quirra (*kmq 317*): il bacino del primo è costituito prevalentemente di scisti e graniti, il secondo, pure scorrendo quasi totalmente fra gli scisti metamorfici, percorre lungo tutto il suo corso una larga vallata rettilinea con ampio fondo detritico con alcuni affluenti in sinistra (R. di S. Giorgio e Uluedu).

AREA VI – *Flumendosa, Campidano, Cixerri*

Il Flumendosa (*kmq. 1826*) ha origine dal massiccio del Gennargentu. Il suo bacino imbrifero è costituito prevalentemente di scisti metamorfici: nella parte più alta del suo corso è presente anche il granito, nel medio tronco compaiono porfidi e lembi di calcare giurese (questi ultimi più notevoli sul suo affluente principale, il Flumineddu, nei tacchi di Ogliastra); nel tronco inferiore si notano alcune formazioni sedimentarie eoceniche, di cui la principale è quella di Monte Cardiga. La caratteristica topografica più notevole del Flumendosa è che il suo corso di pianura ha lunghezza pressoché nulla mentre a monte di S.Vito, e cioè a 4 km dal mare, esso si svolge incassato in gole strette costantemente rocciose (scisti e basalti).

Il Flumendosa fra i corsi d'acqua della Sardegna è quello che presenta i maggiori deflussi unitari, fatto questo che è dovuto, non solo alla quasi assoluta impermeabilità del suo bacino, ma anche alla sua configurazione topografica caratterizzata spesso da forti dislivelli.

La seconda parte dell'Area è la zona compresa tra il *Flumendosa* e il *Fluminimannu*: il suo nucleo è costituito dal massiccio granitico dei Sette Fratelli che si inoltra a sud fino al mare di Capo Carbonara. Essa comprende anche il versante Sud delle masse scistose che formano spartiacque col Flumendosa, nonché il lembo meridionale delle formazioni mioceniche che dalla Trexenta scendono al Campidano orientale di Cagliari; tra queste, i graniti e il mare appare una zona di alluvione quaternaria di una certa entità.

Uno solo è il corso d'acqua di qualche importanza: il Rio Sa Picocca (*kmq* 365), che raccoglie i contributi di terreni esclusivamente scistosi e granitici.

La terza parte consta del bacino idrografico del *Fluminimannu* che si differenzia notevolmente dagli altri corsi d'acqua dell'Isola per i caratteri topografici del suo bacino imbrifero. Esso riceve in prossimità immediata della foce (nello Stagno di S. Gilla) i due affluenti maggiori (Cixerri e Mannu di S. Sperate) che possono perciò considerarsi come corsi d'acqua indipendenti.

L'asta principale per quasi metà del suo sviluppo si svolge in pianura, mentre è caratteristica dei corsi d'acqua sardi la brevità del corso pianeggiante rispetto a quello montano. Il suo bacino imbrifero comprende nella parte più elevata i calcari mesozoici del Sarcidano, sovrapposti alla formazione antica scistosa, dai quali trae origine uno dei più notevoli gruppi di sorgenti dell'Isola. Procedendo verso valle il corso d'acqua attraversa principalmente scisti silurici e terreni miocenici con qualche colata, basaltica; indi sbocca nell'alluvione quaternaria che costituisce il Campidano Nord di Cagliari, attraverso il quale si svolge in gran parte il suo percorso. Dei suoi affluenti sono notevoli: il Lanessi, col quale confluisce presso lo sbocco in pianura e che si svolge negli scisti e nel miocene della Trexenta; il Leni, che dagli scisti e dai graniti di M. Linas giunge al piano in territorio di Villacidro; il Mannu di S. Sperate, con oltre 500 *kmq* di bacino, costituito prevalentemente di schisti silurici e formazioni mioceniche, anch'esso con un considerevole corso pianeggiante attraverso le alluvioni quaternarie; il Cixerri (*kmq* 543), che proviene dai terreni paleozoici dell'Iglesiente, scorrendo poi nelle formazioni arenaceo-siltiche eoceniche.

Se per, l'ampiezza del suo bacino imbrifero (2284 *kmq*) il *Fluminimannu* è il terzo fra i corsi d'acqua sardi, esso è notevolmente meno importante nei riguardi idrografici. Di tutto il suo bacino, solo una parte non superiore al 35 % dà vero contributo ai deflussi; la restante superficie, alluvionale e pianeggiante, ben poco vi contribuisce, sia perchè riceve più scarse precipitazioni, sia perchè la maggior parte di esse va ad impinguare le falde freatiche. Anche le portate di magra non presentano nulla di notevole, perchè anche dai vari gruppi di sorgenti presenti nei tronchi montani del Fluminimannu vero e proprio e del Cixerri (Sarcidano e Iglesiente), ben poco giunge al Campidano.

3 LE RISORSE SUPERFICIALI

Nei paragrafi che seguono saranno illustrati i criteri che hanno portato alla definizione delle potenzialità delle risorse idriche superficiali per i sistemi multi-settoriali esaminati successivamente.

L'articolazione della relazione prevede una prima parte nella quale sono richiamati i principali elementi che hanno portato alla definizione del quadro della risorsa utilizzato nel Piano d'Ambito e nel Piano Stralcio Direttore.

In una seconda parte di questa relazione saranno richiamati gli aspetti modellistici che hanno portato alla ridefinizione del quadro della risorsa superficiale disponibile e le verifiche statistiche operate.

In una terza parte saranno esaminati i problemi legati alla definizione delle risorse idriche superficiali derivabili dalle traverse ed il conseguente aumento delle potenzialità di erogazione degli invasi collegati. In particolare saranno definite le possibilità di erogazione dai nuovi invasi considerati dal modello di simulazione degli schemi multi-settoriali sulla base delle serie idrologiche aggiornate.

3.1 LA MODELLAZIONE IDROLOGICA ADOTTATA NEL PSDRI

3.1.1 Indagini Pluviometriche

Le analisi sulla stazionarietà delle serie di precipitazione e di deflusso riportate nella relazione del Piano d'Ambito e nel PSDRI hanno considerato le caratterizzazioni statistiche delle serie di deflusso per gli anni idrologici del periodo dal 1922-1923 al 1974-1975 (53 anni di Piano delle Acque) e del periodo successivo al 1986-1987 (periodo recente di maggiore criticità). Tali analisi evidenziano una significativa differenza delle principali caratteristiche statistiche ed a seguito di ciò è apparso evidente che le serie complete di deflusso non potevano essere considerate stazionarie ai fini della modellazione degli schemi multi-settoriali per l'utilizzazione delle risorse idriche.

Preliminarmente l'EAF ha predisposto una base dati delle altezze di pioggia registrate in 52 stazioni pluviografiche (stazioni di base), distribuite in modo sufficientemente uniforme sull'intera regione, per il periodo da Gennaio 1993 a Luglio 2002. Tali dati, sommati a quelli osservati nelle stesse stazioni nel periodo 1922-1992 e riportati nel più recente Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (SISS, 1996), consentono di analizzare gli ultimi 80 anni di piogge in Sardegna. L'operazione è stata resa possibile grazie alla collaborazione della Sezione Autonoma per il Servizio Idrografico della Sardegna, che ha resi disponibili i dati osservati delle altezze di pioggia in 52 stazioni pluviografiche, uniformemente distribuite sull'intera regione, per il periodo 1993-2001, e grazie all'analogia disponibilità del Servizio Agrometeorologico Regionale che ha fornito i dati più recenti per 51 stazioni localizzate in siti prossimi a quelle dell'Idrografico.

L'elenco e le caratteristiche delle Stazioni utilizzate, con la relativa corrispondenza tra stazione S.I. e stazione S.A.R. sono riportati nella tabella seguente.

Nell'annesso 1.1 in allegato 1 sono riportate le seguenti tabelle che riprendono il data-base predisposto per il Piano d'Ambito regionale:

- Tab. 1 – Altezze di Pioggia Osservate nelle stazioni del Servizio Idrografico – periodo 1993-2002
- Tab. 2 – Altezze di Pioggia Osservate nelle stazioni del S.A.R. – periodo 1993-2002
- Tab. 3 – Altezze di Pioggia Osservate nelle stazioni del Servizio Idrografico, Integrate, negli anni mancanti, con i Dati Osservati nelle corrispondenti stazioni del S.A.R. – periodo 1993-2002

A seguito di una procedura di integrazione dei dati mancanti, per la descrizione della quale si rimanda alla relazione idrologica di Piano d'Ambito, si sono completate le serie storiche delle altezze di pioggia alle singole stazioni riportate nell'annesso 1.1 in allegato 1 nelle seguenti tabelle:

- Tab. 4 – Altezze di Pioggia delle stazioni del Servizio Idrografico, Integrate e Ricostruite – periodo 1922-2002 – anni solari
- Tab. 5 – Altezze di Pioggia delle stazioni del Servizio Idrografico, Integrate e Ricostruite – periodo 1922-2002 – anni idrologici

Nelle elaborazioni realizzate dall'EAF sono state, inoltre, elaborate le serie di altezza di afflusso sulla Sardegna, e sui bacini idrografici del Flumendosa, del Tirso e del Coghinis.

Le altezze ragguagliate per tali aree idrografiche sono state così stimate:

- per la Sardegna si è calcolata la media delle altezze di pioggia annua (anno idrologico) alle 52 stazioni disponibili;

SEZIONE PER LA SARDEGNA DEL SERVIZIO IDROGRAFICO					Servizio Agrometeorologico Regionale					
n. ord.	n.cod. SISS	Area Idrografica	Denominazione Stazione	Quota (m s.l.m.)	Gauss Boaga		Denominazione Stazione	Quota (m s.l.m.)	U.T.M.	
					EST (m)	NORD (m)			EST (m)	NORD (m)
1	294	1	S.ANNA ARRESI	58	1468930	4317440	MASAINAS	90	467760	4323350
2	6	2	ALLAI	50	1488480	4423060	ALLAI	60	488280	4423495
3	7	2	ARBOREA	7	1464120	4402760	ARBOREA	2	466860	4402808
4	31	2	BAULADU	29	1472060	4430010	MILIS	125	469725	4435231
5	34	2	BENETUTTI	406	1514420	4478240	BENETUTTI	279	512325	4475625
6	136	2	GHILARZA	290	1486140	4441290	GHILARZA	293	485204	4440180
7	147	2	ILLORAI	503	1499980	4466930	ILLORAI	882	493516	4470231
8	166	2	MACOMER	572	1480690	4457680	MACOMER	664	481826	4462696
9	177	2	MEANASARDO AGGREGATA	585	1506260	4421700	ATZARA	620	507469	4428608
10	263	2	RIFORNITORE TIRSO	184	1502860	4463940	ORANI	163	502904	4459653
11	268	2	RIOIA	9	1460780	4427470	ZEDDIANI (UCEA)	14	467505	4425929
12	403	3	BONORVA AGGREGATA	479	1480400	4474260	GIAVE	410	476449	4479361
13	84	3	CHILIVANI (CABINA)	220	1492190	4495990	CHILIVANI (UCEA)	220	494360	4496284
14	91	3	CUGLIERI	484	1463250	4448970	SCANO MONTIFERRU	405	466182	4453407
15	121	3	FRAIGAS (C.RA)	202	1499150	4497570	OZIERI	228	488935	4497802
16	165	3	MACCIADOSA (C.RA)	74	1449610	4509010	SORSO	57	467092	4520130
17	172	3	MARTIS	300	1483960	4514280	CHIARAMONTI	365	484847	4509002
18	212	3	OLMEDO F.C.	52	1447400	4500210	OLMEDO	32	446086	4501504
19	223	3	OSCHIRI	202	1508450	4507600	BERCHIDDA	290	518891	4515178
20	405	3	SASSARI AGGREGATA	224	1462430	4508040	SASSARI S.A.R.	150	461043	4510106
21	277	3	S.MARIA COGHINAS	10	1490590	4528880	VALLEDORIA	5	485875	4532175
22	339	3	STINTINO	9	1435050	4532110	STINTINO	35	435225	4524775
23	360	3	TORRALBA	352	1479860	4485000	BONNANARO	346	481399	4490324
24	363	3	TRESNURAGHES F.C.	263	1459590	4456380	MODOLO	212	460116	4459295
25	374	3	VILLANOVA MONTELEONE	567	1455410	4483660	PUTIFIGARI	423	454297	4488683
26	26	4	BASSACUTENA	69	1521970	4550980	AGLIENTU	110	506400	4550350
27	210	4	OLBIA	15	1542780	4530430	SAN TEODORO	13	554475	4516100
28	233	4	PALAU	5	1532150	4558990	ARZACHENA	20	532650	4546075
29	349	4	TEMPIO	558	1508800	4528050	LURAS	488	512675	4531035
30	206	5	NUORO	545	1527280	4463370	NUORO	490	523900	4465733
31	211	5	OLIENA	378	1534410	4458410	OLIENA	124	541824	4462882
32	218	5	OROSEI	19	1559260	4470230	OROSEI	65	557430	4468659
33	222	5	ORUNE	745	1531210	4473000	BITTI	782	528850	4482800
34	359	5	TORPE'	24	1557250	4497660	SINISCOLA	14	561747	4494226
35	23	6	BARISARDO	50	1555070	4410470	JERZU	46	551925	4405050
36	29	7	BAU MUGGERIS	802	1536388	4426563	VILLANOVA STRISAILI	813	539110	4423575
37	88	7	CORONGIU	126	1524230	4351320				
38	93	7	DECIMOMANNU	15	1496630	4351120	DECIMOMANNU	20	498779	4352640
39	97	7	DOLIANOVA F.C.	191	1514480	4358610	DOLIANOVA	167	513445	4359557
40	98	7	DOMUS DE MARIA	84	1488230	4310610	DOMUSDEMARIA	195	488020	4313320
41	143	7	GUASILA	210	1504030	4379180	GUASILA	242	503199	4375854
42	146	7	IGLESIAS	193	1460250	4351290	IGLESIAS	208	458528	4348464
43	149	7	IS ACQUAS	450	1509920	4401360	NURALLAO	380	505425	4406550
44	169	7	MANDAS F.C.	491	1511240	4390110	SIURGUS-DONIGALA	420	516239	4384533
45	196	7	MURAVERA	19	1548490	4364000	MURAVERA	4	551535	4363525
46	258	7	PULA	10	1500250	4317950	VILLA S. PIETRO	42	498413	4321597
47	303	7	SADALI F.C.	763	1523090	4407320	SADALI	780	521375	4407925
48	404	7	SANLURI AGGREGATA	68	1487120	4375310	SAMASSI	100	493250	4375290
49	314	7	SARDARA	138	1484550	4385190	SARDARA	100	487741	4383509
50	334	7	SILIQUA	53	1483390	4350230	SILIQUA	75	486035	4349600
51	373	7	VALLERMOSA	70	1482420	4357110	VILLACIDRO	121	481208	4364531
52	384	7	VILLASALTO	514	1533670	4371510	VILLASALTO	555	530228	4368637

- per i bacini idrografici suindicati, si è ricostruita la serie storica degli afflussi ragguagliati, ai bacini idrografici sottesi da tre stazioni di misura idrometrica del Servizio Idrografico, mediante una regressione multipla tra gli afflussi ragguagliati stimati nel periodo 1922-1992 nell'ambito dello Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (EAF 1996) e i dati di 6-7 stazioni pluviometriche, per ciascun bacino, che, fra quelle disponibili, fossero interne a detti bacini o situate immediatamente all'esterno della linea spartiacque.

I bacini idrografici analizzati sono quelli relativi alle seguenti sezioni osservate:

- Coghinas a Muzzone
- Tirso a S. Chiara
- Flumendosa a M. Scrocca

Nello studio idrologico adottato nel PSDRI si è proceduto ad individuare la struttura del "kernel" ("nucleo") della variabile statistica, evidenziando la sua evoluzione nel corso del periodo osservato. Il kernel smoothing è uno strumento statistico standard utilizzato per filtrare il rumore a più alta frequenza di una serie temporale per evidenziare le variazioni a bassa frequenza.

Si è utilizzato un kernel quadratico (o di Epanechnikov) con lambda rispettivamente pari a 0.2 e 0.06. L'ampiezza di banda è λn , cioè, in questo caso, vale, ad esempio, $0.2 \cdot 80 = 16$ anni. La procedura è simile ad una media mobile di +/- 16 ritardi. Ma, poiché i pesi tendono a ridursi con l'aumentare della distanza temporale dall'istante interessato, l'estensione dell'intervallo è sostanzialmente inferiore a quella della corrispondente media mobile convenzionale.

Il valore del kernel smoothing all'istante t vale

$$y_t = \frac{\left(\sum_{s=1}^n y_s K\left(\frac{s-t}{\lambda n}\right) \right)}{\left(\sum_{s=1}^n K\left(\frac{s-t}{\lambda n}\right) \right)}$$

dove la funzione kernel simmetrica è la quadratica (o di Epanechnikov) funzione data da

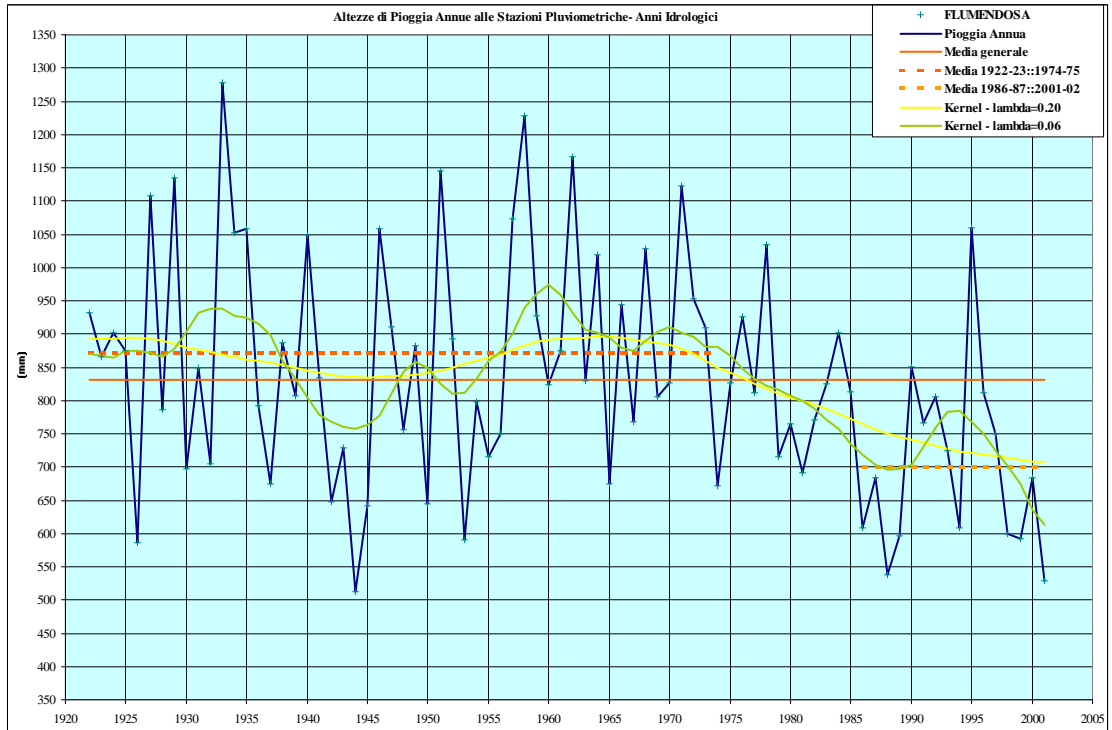
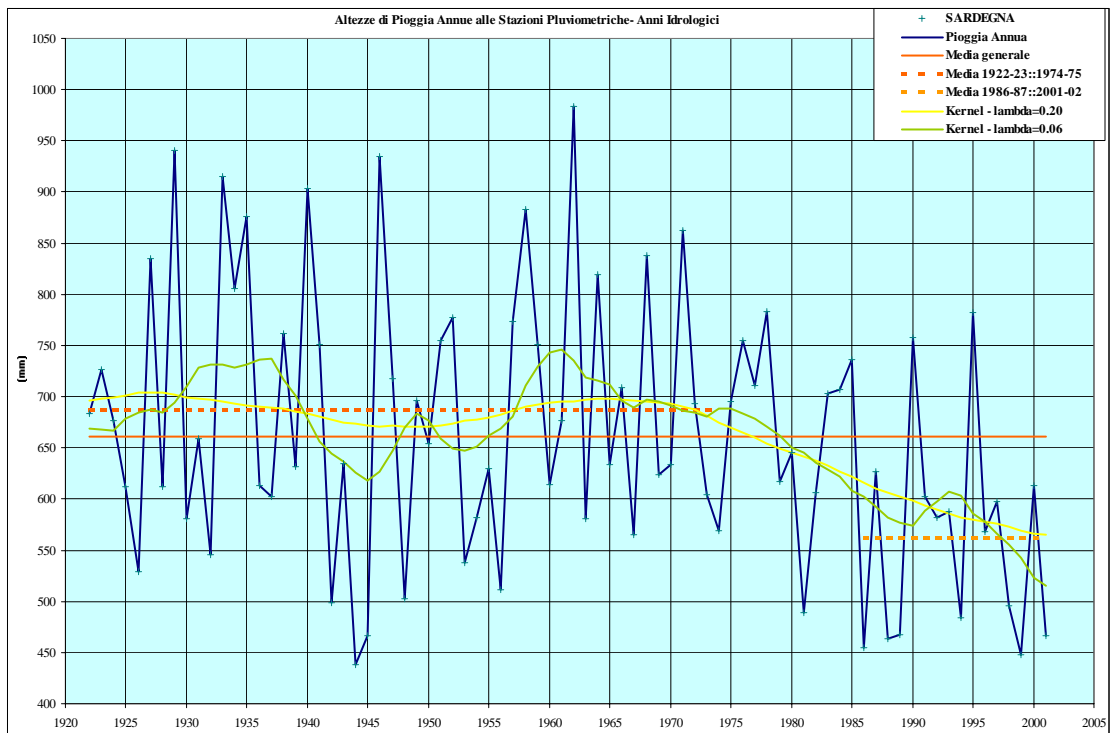
$$K(x) = \max(0, (1 - x^2))$$

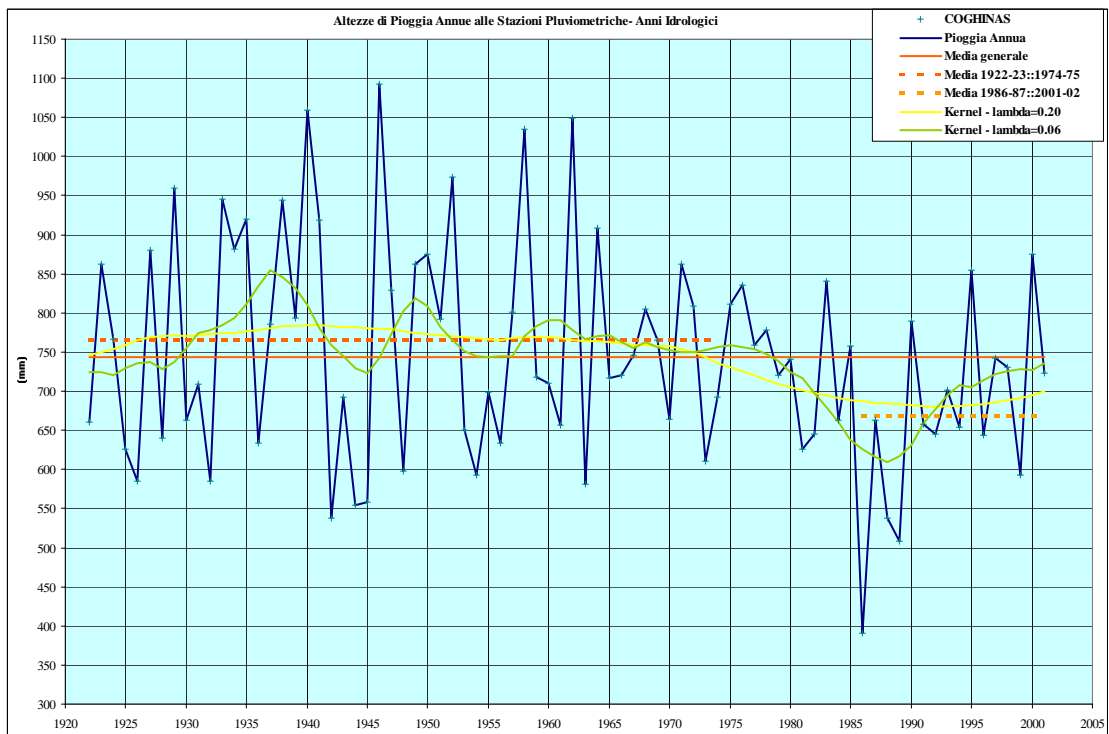
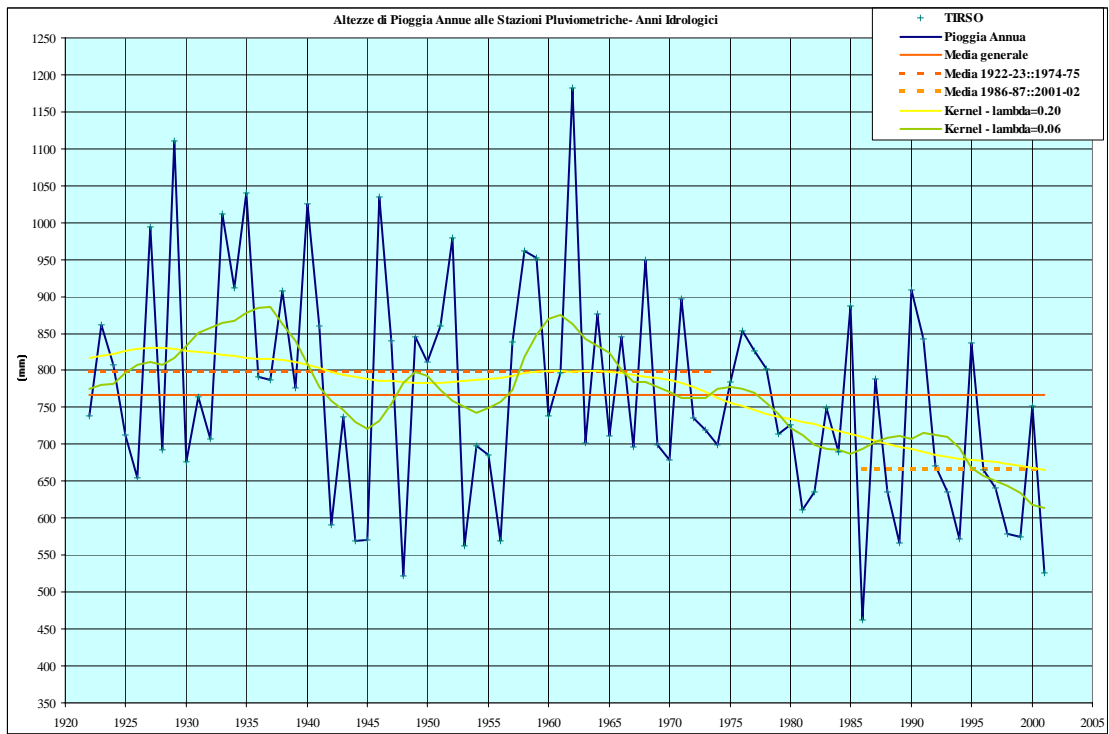
E' stato poi elaborato un test, basato sulla distribuzione della variabile t di Student, per verificare se fra la media del totale annuo di pioggia (per anno idrologico ottobre-settembre) del periodo 1922-1923 / 1974-1975 ($N_1=53$ anni) e quella del periodo 1986-1987 / 2001-2002 ($N_2=16$ anni) esiste, o meno, una differenza statisticamente significativa.

Per verificare l'ipotesi H_0 che i campioni provengano dalla stessa popolazione (cioè $\mu_1=\mu_2$ e $\sigma_1=\sigma_2$) si utilizza il valore t dato da

Appare evidente che i parametri media e scarto delle altezze di pioggia non possono più essere considerati stazionari.

Tale risultato viene confermato considerando i valori di altezza di pioggia sulla Sardegna, e sui bacini idrografici del Flumendosa, del Tirso e del Coghinas, per i quali si forniscono nelle figure seguenti le rappresentazioni grafiche delle serie storiche.





Dalle figure appare evidente che fino al 1975 non sussistevano indizi di una non stazionarietà della media, le fluttuazioni, infatti, risultavano contenute. E' risultato, pertanto, opportuno confrontare la media degli ultimi 16 anni (saltando un periodo di circa 10 anni di chiara transizione) con i primi 53, proprio perché tale periodo fornisce un quadro di riferimento importante in relazione all'estensione temporale ed alla stabilità dei parametri statistici. A ciò si aggiunga che le serie delle grandezze idrologiche dal 1922 al 1975 hanno costituito la base su cui sono stati impostati gli schemi idrici del Piano Acque Sardegna (1985) e, quindi, tale confronto appare interessante anche per verificare e riportare le prestazioni delle diverse configurazioni infrastrutturali.

Dalle elaborazioni effettuate dall'EAF si evince che le altezze di pioggia annue nell'isola hanno subito una contrazione tra i due periodi del 18% come valor medio sull'intera isola, del 20% sul Flumendosa, del 17% sul Tirso e del 13% sul Coghinas.

Tale andamento territoriale corrisponde alle indicazioni fornite dall'analisi dei coefficienti di contrazione sui singoli pluviometri sembra fornire indicazione che la riduzione delle altezze di pioggia annue è più rilevante spostandosi da ovest a est, da nord a sud e con l'aumentare della quota sul livello del mare.

Tali dati, elaborati sulle osservazioni pluviometriche della Sardegna, confermano le valutazioni riportate in numerose pubblicazioni internazionali. Far queste si ritiene opportuno ricordare: *"Rainfall over the Central-Western Mediterranean basin in the period 1951-1995. Part I: precipitation trends."*, E. Piervitali, M. Colacino, M. Conte - Istituto di fisica dell'Atmosfera (CNR) Roma - IL NUOVO CIMENTO Maggio-Giugno 1998.

In tale pubblicazione si documentano le seguenti variazioni nelle piogge annue nel Mediterraneo Centro-Occidentale nel periodo 1951-1995, valutando un trend lineare in detto periodo.

	ΔP (mm)	ΔP (%)	TREND (mm/anno)
Intero Bacino	-142	-20,7	-3,2
Fascia settentrionale	-107	-13,3	-2,4
Fascia Centrale	-148	-20,3	-3,3
Fascia Meridionale	-157	-26,5	-3,5

Applicando la medesima metodologia sui dati elaborati in questo studio per il periodo 1951-2001 si ha il seguente prospetto.

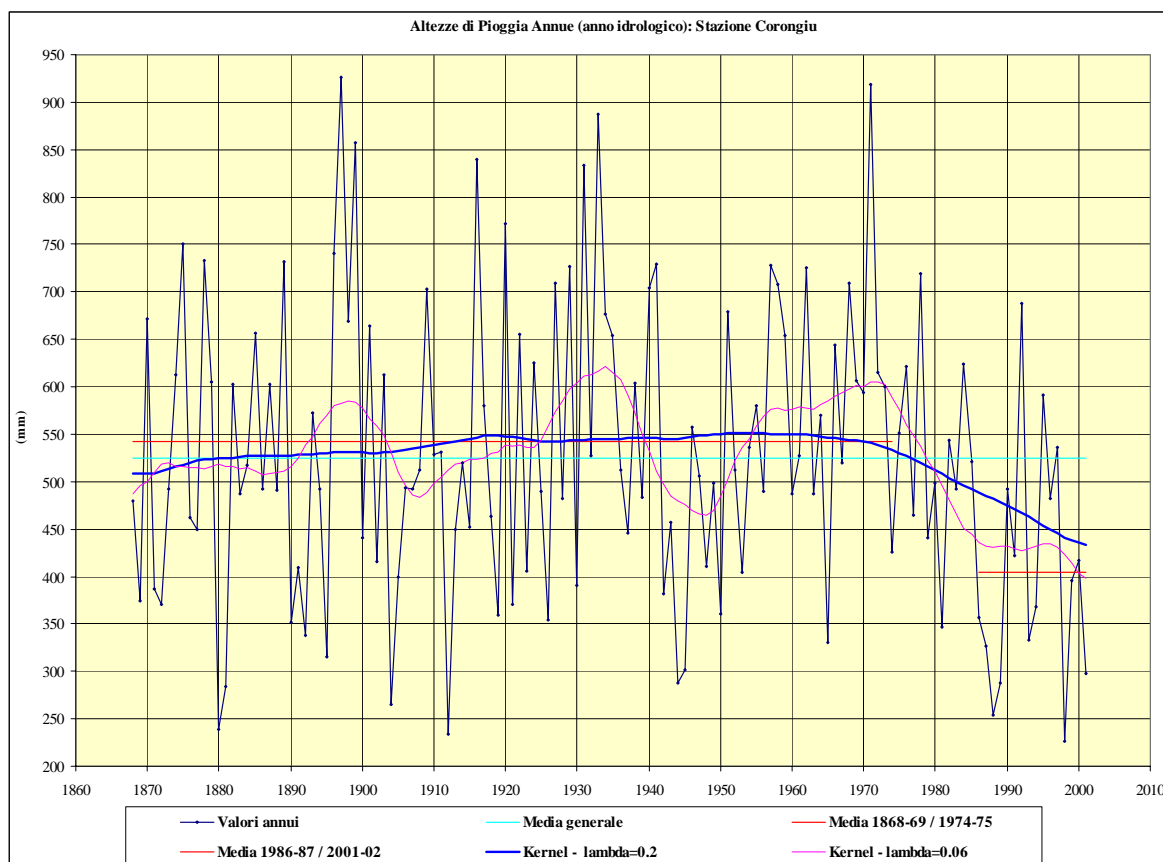
	ΔP (mm)	ΔP (%)	TREND (mm/anno)
Sardegna	-173	-23,6	-3,5
Coghinas	-104	-13,3	-2,1
Tirso	-185	-22,1	-3,7
Flumendosa	-269	-28,2	-5,4

Dalle elaborazioni effettuate viene, quindi, confermata l'analisi sul trend elaborata sull'intero Mediterraneo Occidentale. In Sardegna emerge una situazione ancora più critica nell'area

idrografica del Flumendosa e meno critica in quella del Coghinas ma, come detto, emerge anche una sostanziale e rilevante coerenza complessiva.

Tale fattore evidenzia la necessità di un'impostazione complessa e delicata dei processi decisionali connessi all'analisi dei sistemi idrici in condizioni di incertezza.

A completamento dell'analisi sulle caratteristiche della serie storica delle altezze di pioggia pare importante mostrare l'andamento di questa variabile in una stazione dell'area sud-orientale della Sardegna osservata (con soli 2 anni mancanti) fin dal 1868. Tale stazione pluviometrica è stata installata a cura dei tecnici che hanno studiato e realizzato la diga di Corongiu del Comune di Cagliari. Si riporta nel seguito il grafico della serie.



L'andamento del kernel, con $\lambda=0,2$, mostra chiaramente che dal 1868 a metà degli anni '70 le caratteristiche del 'nucleo' della variabile non hanno subito sostanziali variazioni. Mentre, a partire da tali anni, è iniziato un periodo di variazione ancora in corso. L'andamento del kernel con $\lambda=0,06$ non ha mai raggiunto, in tutto l'arco temporale osservato, valori così bassi come quelli attuali.

La media degli ultimi 16 anni vale, in rapporto a quella 1868-69 / 1974-75, meno del 75%, con una riduzione del 26% circa. Tale riduzione è del tutto analoga a quella valutata confrontando la media degli ultimi 16 anni con la media del periodo 1922-23 / 1974-75 che vale il 27%. Ciò conforta il fatto che, in relazione ai dati disponibili su base regionale, sia stata adottata la media del cinquantatreennio a partire dal 1922 come media di lungo periodo

della variabile in gioco al fine di procedere a tutte le analisi precedentemente descritte per l'intero territorio dell'isola.

3.1.2 *La trasformazione Afflussi-Deflussi*

Lo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, redatto alla fine degli anni '70, nell'ambito degli studi di settore preliminari al Piano Acque, ha riguardato la ricostruzione dei deflussi mensili con riferimento alla serie storica delle grandezze idrologiche del periodo 1922-1975, afferenti a un gran numero di sezioni di interesse, per una superficie complessiva dei bacini idrografici di 17.993 km² (su una superficie complessiva dell'isola di circa 24.000 Km²). Il bilancio idrologico complessivo risultava il seguente:

Afflussi	779,3 mm
Perdite	522,9 mm
Deflussi	256,4 mm
Coefficiente di deflusso	0,33

La valutazione dei deflussi su scala regionale era stata effettuata a partire dai bilanci idrologici ricostruiti su 30 bacini idrografici corrispondenti alle stazioni di misura di portata del Servizio Idrografiche che hanno significativamente funzionato a partire dal 1922.

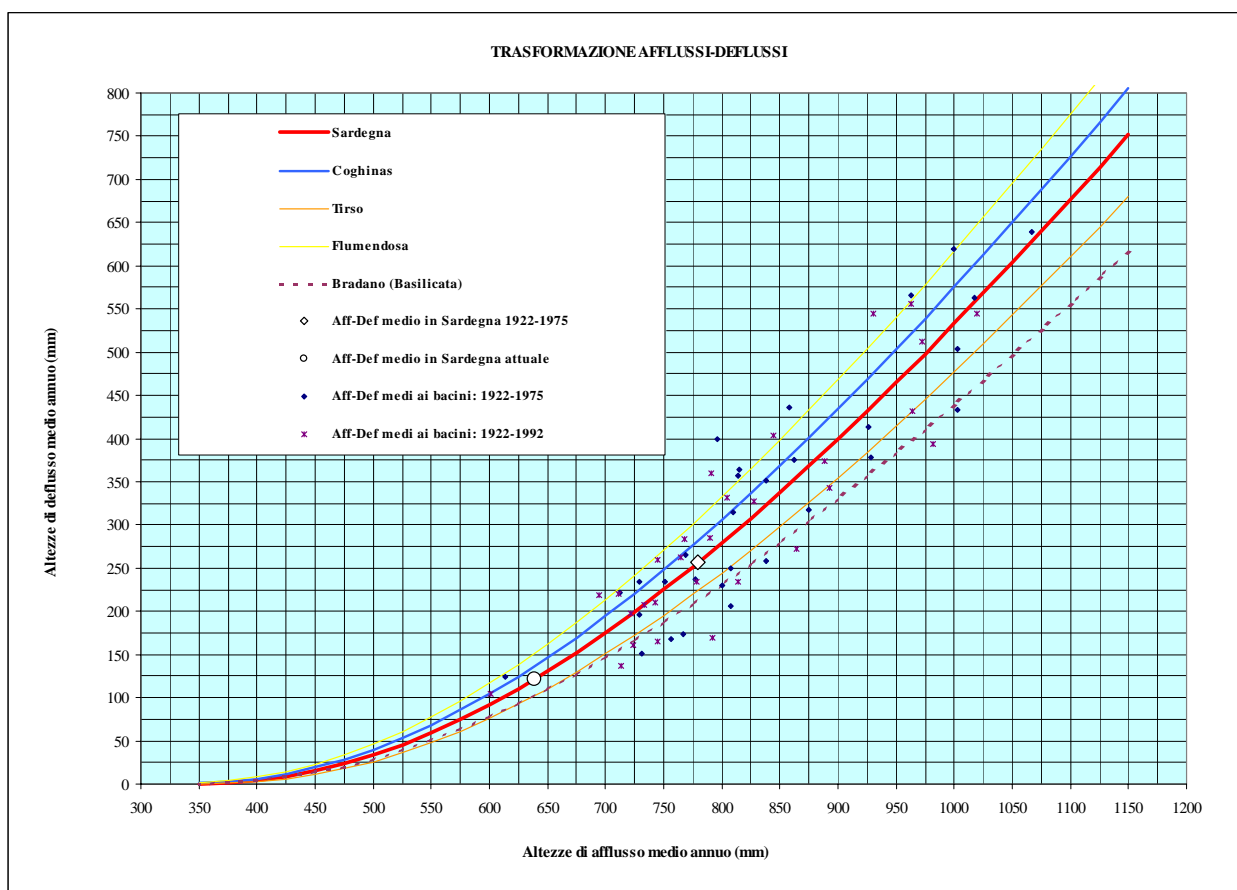
A metà degli anni '90 lo Studio dell'Idrologia è stato aggiornato con i dati fino al 1992.

Le elaborazioni adottate nel PSDRI hanno preso in esame le variazioni del rapporto tra afflussi e deflussi al diminuire dell'entità del primo termine. Inserendo in un diagramma i valori di afflusso e di deflusso medio annuo di tutte le sezioni osservate dell'isola, si può ricostruire il legame tra le precipitazioni (afflussi) e le portate nei corsi d'acqua (deflussi). Tale diagramma consente di valutare gli effetti della riduzione delle piogge e di quantificare quanto tale riduzione incide sulle risorse superficiali potenzialmente utilizzabili (deflussi).

Tale legame, può essere correttamente interpretato da una funzione del tipo:

$$D_m^{1/3} = c_1 + c_2 \text{Log}(A_m)$$

Nella figura seguente è riportata la curva ottenuta mediante una regressione sui dati relativi a tutti i bacini osservati nel periodo 1922-1992 in Sardegna. Tale curva fornisce le caratteristiche medie che nell'isola caratterizza il processo di trasformazione afflussi-deflussi. Sullo stesso diagramma sono state poi riportate le curve relative ai bacini idrografici del Coghinas, del Tirso e del Flumendosa, unitamente a quella del fiume Bradano (Basilicata), riportata solo al fine di osservare la similitudine idrologica di tali relazioni nell'ambito dei bacini idrografici dell'Italia meridionale con clima semiarido mediterraneo.



Si è, quindi, proceduto, utilizzando le relazioni analitiche descritte, sulla base degli afflussi ragguagliati del periodo 1922-23 / 1974-75 ed a quelli del periodo 1986-87 / 2001-02, alla valutazione dei principali parametri del bilancio idrico nei due periodi considerati.

I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente.

		<i>Valori dimensionali in mm</i>	Sardegna	Coghinas	Tirso	Flumendosa
1922-23 / 1974-75	Afflussi		779,3	766,2	799,7	871,6
	Deflussi		256,4	266,4	244,4	427,8
	A Perdite		522,9	499,7	555,3	443,8
	Coefficiente di deflusso		0,33	0,35	0,31	0,49
1986-87 / 2001-02	Afflussi		639,0	669,2	666,1	700,6
	Deflussi		121,7	164,4	122,9	214,4
	B Perdite		517,3	478,6	543,2	486,2
	Coefficiente di deflusso		0,19	0,25	0,18	0,31
Rapporto	Afflussi		0,820	0,873	0,833	0,804
	Deflussi		0,475	0,617	0,503	0,501
B/A	Perdite		0,989	0,958	0,978	1,096
	Coefficiente di deflusso		0,579	0,707	0,604	0,623

La contrazione minima si registra nel Coghinas, con una riduzione nelle precipitazioni medie di quasi il 13% ed una contrazione dei deflussi di circa il 38%. La situazione più critica si ha sul Flumendosa, con riduzioni rispettivamente del 20% e di oltre il 50%.

Sull'intera isola il fenomeno è rappresentato dai seguenti parametri: riduzione delle precipitazioni del 18% e dei deflussi del 52-53%.

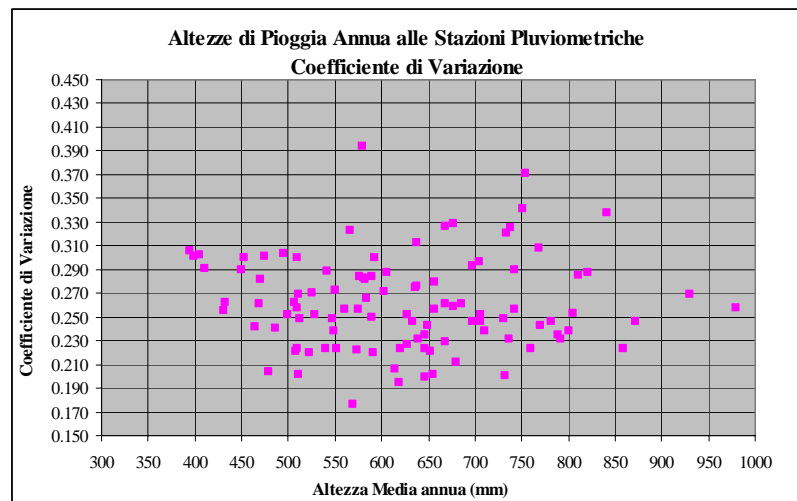
Si sottolinea ancora che il problema più rilevante in termini di processo di pianificazione non è tanto la riduzione degli apporti naturali ai sistemi idrici che, una volta valutata, costituisce uno dei tanti elementi del sistema in esame, quanto che tale parametro appare connesso ad un alto grado di incertezza, trasferendo, in modo amplificato, detta incertezza agli scenari decisionali.

Nel PSDRI, al fine di elaborare una prima valutazione delle risorse idriche potenzialmente utilizzabili in Sardegna con opere di captazione di risorse superficiali, è apparso opportuno assumere, come scenario idrologico di base, quello riferito ad una riduzione dei deflussi uniforme sull'intero territorio regionale, in misura pari al 55% della media del periodo storico di 53 anni 1922-23 / 1974-75, con, quindi, un nuovo valor medio pari al 45% di quello osservato in precedenza.

Tale assunzione è fatta, in via preliminare, sulla base delle seguenti considerazioni:

- il valore del 55% di riduzione è quello che si sta registrando nell'area dove il fenomeno appare più rilevante in Sardegna, anche ai fini dell'utilizzazione delle risorse: nel bacino del Flumendosa, nella zona sud orientale dell'isola;
- tale valore è molto simile a quello registrato sul Tirso, accomunando sotto tale aspetto i due maggiori bacini idrografici della regione;
- il fenomeno appare meno grave nell'area nord occidentale, nella quale d'altra parte la riduzione è sempre significativa. Comunque, il valore medio sull'isola è stimato pari al 52-53% di riduzione, corrispondente ad un valor medio pari al 47-48% di quello storico. Tali livelli sono molto prossimi a quelli osservati sul Flumendosa;
- come si è visto queste condizioni climatiche appaiono interessare l'intero bacino del Mediterraneo occidentale, per cui le diverse indicazioni territoriali registrate nell'isola potrebbero dipendere da situazioni contingenti e tendere ad uniformarsi all'estendersi della serie storica;
- l'esigenza di assumere parametri cautelativi nella valutazione delle risorse è sottolineata dal fatto che i parametri idrologici registrano differenze statisticamente significative rispetto al passato e non mostrano di aver ancora raggiunto una condizione di nuova stabilità. Il processo sembra essere ancora in evoluzione.

Un altro aspetto, importante, riguarda l'analisi del valore dello scarto delle serie temporali dei deflussi. Assunte le ipotesi sulla media, risulta ora necessario valutare in che misura si modifica, in corrispondenza a tali ipotesi, lo scarto della variabile "deflusso annuo", essendo evidente che non può essere imposto semplicemente per tale serie il medesimo coefficiente di variazione connesso alle medie precedenti.



Una prima analisi è stata sviluppata sull'andamento del coefficiente di variazione per le serie storiche delle altezze di pioggia alle 52 stazioni pluviometriche studiate.

Nel grafico che segue sono stati riportati, per ciascuna stazione, due punti, per un totale di 104 punti. Il primo è di coordinate pari alla media ed al coefficiente di variazione del periodo 1922-23 / 1974-75 ed il secondo relativo ai medesimi parametri per il periodo 1986-87 / 2001-02.

L'esame del grafico sembra mostrare l'assenza di un legame significativo tra le altezze di pioggia ed il coefficiente di variazione. Cioè si può ragionevolmente ipotizzare che al variare della media lo scarto vari della medesima percentuale, lasciando il coefficiente di variazione costante. Ciò vale per le altezze di pioggia e, quindi, per le altezze di afflusso ragguagliato ai bacini idrografici. Ma, una volta evidenziato tale comportamento, risulta più semplice formulare un'ipotesi attendibile per il corrispondente comportamento del parametro scarto della serie dei deflussi ragguagliati. Si ricorda, infatti, che il modello adottato, con buoni rendimenti, per la relazione afflussi-deflussi su base annua è di tipo lineare. Si sottolinea ancora che la riduzione della media degli afflussi che corrisponde alla riduzione della media dei deflussi assunta come ipotesi di base, pari al 55%, vale circa il 20%, come si desume dai prospetti riportati in precedenza.

Ma, come detto, ad una riduzione della media delle precipitazioni del 20% corrisponde una riduzione dello scarto della medesima variabile sempre del 20% (coefficiente di variazione costante). D'altra parte, una riduzione del 20% dello scarto della variabile di input (gli afflussi) in un modello lineare porta ad una identica riduzione percentuale sullo scarto della variabile di output (i deflussi).

In definitiva, nelle elaborazioni adottate nel PSDRI è apparso corretto e coerente con i risultati delle analisi precedentemente descritte assumere, per la definizione dello scenario idrologico di base, quali nuovi parametri statistici per le serie dei deflussi alle sezioni di interesse i seguenti valori:

- media = 0,45 x la media del periodo 1922-23 / 1974-75
- scarto = 0,80 x lo scarto del periodo 1922-23 / 1974-75

3.1.3 *La ricostruzione dei deflussi alle sezioni di interesse*

Lo studio delle possibilità di erogazione dei diversi assetti della configurazione infrastrutturale dei sistemi idrici regionali deve essere sviluppata mediante modelli di simulazione che valutino le prestazioni del sistema utilizzando come input le serie dei deflussi alle diverse sezioni di interesse con passo temporale mensile.

Tali serie devono essere sufficientemente estese, come numero di anni, da consentire di rappresentare adeguatamente i processi di regolazione di grandi serbatoi artificiali, con coefficienti di utilizzazione rispetto al media delle portate naturali piuttosto elevati, che si protraggono anche fino a dieci anni. L'estensione complessiva del periodo critico si amplifica via via che aumenta il livello di interconnessione fra i principali sistemi idrici dell'isola.

In relazione a ciò non appare adeguato, dal punto di vista dell'estensione temporale, utilizzare come base della simulazione la serie dei deflussi mensili del periodo relativo agli ultimi 16 anni a partire dal 1986, pur essendo rappresentativa del valore medio potenziale della risorsa.

D'altra parte, la complessità dei sistemi idrici e, quindi, il notevole numero di sezioni di interesse, l'ampia estensione territoriale dei bacini idrografici connessi a tali sezioni, impongono di rispettare la struttura di correlazione spaziale naturale delle serie dati di deflusso nei bacini idrografici dell'isola.

Sulla base di tali considerazioni, nel Piano d'Ambito e nel PSDRI è stata messa a punto una procedura di generazione che soddisfa l'esigenza di trovare soluzioni corrette ma speditive per la definizione della base dati da utilizzare come input della simulazione. Si è adottata la procedura seguente :

- la base dati su cui si opera è rappresentata dalle serie storiche dei deflussi ai bacini totali delle sezioni di interesse ricostruiti per tutto il territorio regionale nell'ambito dello studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (EAF, 1996) per il 53ennio 1922-23 / 1974-75, in cui i parametri statistici fondamentali mostrano un sufficiente grado di stazionarietà;
- in relazione alle rilevazioni dei parametri idrologici degli ultimi 16 anni, a partire dal 1986-87, come descritto nel paragrafo precedente, si riscalano le serie dei deflussi al fine di imporre, per il 53ennio, la nuova media ridotta al 45% della rispettiva media storica e lo scarto pari all'80% del corrispettivo valore storico. Tale operazione viene effettuata, di volta in volta, per tutte i bacini parziali corrispondenti alle sezioni di interesse definite dalla localizzazione sulle aste fluviali delle opere di captazione e regolazione previste nella configurazione infrastrutturale da sottoporre a verifica mediante simulazione.

Nello specifico l'applicazione dello schema descritto porta alle seguenti fasi operative:

- acquisizione dalla banca dati dello studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (EAF, 1996) della serie storica dei deflussi mensili alla sezione di interesse parziale (in relazione alla configurazione delle infrastrutture presenti nella simulazione) per il periodo 1922-23 / 1974-75;

- calcolo della serie storica dei deflussi per anno idrologico nel medesimo periodo;
- determinazione con il metodo dei momenti dei parametri della distribuzione lognormale imponendo il rispetto della media e dello scarto della serie storica. Si adotta pertanto la seguente espressione che trasforma il valore D_i , deflusso totale dell'anno i alla sezione di interesse, nella variabile di Gauss standardizzata z :

$$z_i = a \log_{10} D_i + b$$

Per stimare i parametri a e b si ricorre al metodo dei momenti, sapendo che essi sono legati alla media μ ed allo scarto σ dalle relazioni:

$$a = 1,517 / \sqrt{\log_{10} [1 + \sigma^2 / \mu^2]}$$

$$b = 1,151/a - a \log_{10} \mu$$

- trasformazione della serie dei deflussi nella corrispondente serie dei frattili z_i ;
- determinazione con il metodo dei momenti dei nuovi parametri (a^* e b^* , mediante l'espressioni precedenti) della distribuzione lognormale imponendo una media pari al 45% della media storica ed uno scarto pari al 80% del valore storico;
- antitrasformazione della serie dei frattili z_i , calcolati in precedenza, in una nuova serie di deflussi D_i^* , caratterizzata da una media ed uno scarto corrispondenti alle assunzioni adottate;
- per ogni anno idrologico si calcola il coefficiente dato dal rapporto D_i^* / D_i tra il nuovo valore di deflusso ed il valore di deflusso della serie originale. Tale coefficiente viene poi moltiplicato per tutti i valori mensili del singolo anno idrologico della serie di partenza, per ottenere la serie completa dei deflussi ricostruiti, con passo temporale mensile, con le caratteristiche richieste.

Con questa procedura si consegue il risultato cercato di poter simulare il funzionamento dei sistemi, mettendo a confronto risorse e fabbisogni, sulla base della serie dei deflussi estesa su un periodo di 53 anni che riproduce l'andamento storico, 1922-23 / 1974-75, ma con i parametri statistici adeguati alle più recenti condizioni climatiche.

Un altro aspetto importante da sottolineare è quello che la procedura adottata conserva, per le serie ricostruite alle varie sezioni di interesse, integralmente la struttura di correlazione spaziale e temporale delle serie originali.

Nell'annesso 1.1 in allegato 1, nelle Tabelle 6 (serie storica originale) e nelle Tabelle 7 (serie ricostruita) sono riportate le serie temporali mensili dei volumi di deflusso (periodo 53 anni) adottate nella simulazioni di prima fase per le sezioni relative alle principali opere di regolazione e derivazione degli schemi idraulici in esercizio.

3.2 LA MODELLAZIONE IDROLOGICA DI PIANO

3.2.1 Premesse

Le analisi sulla stazionarietà delle serie di precipitazione e di deflusso riportate nel paragrafo precedente, sostanzialmente estratte dalla relazione del Piano d'Ambito e dalla relazione del Piano Stralcio Direttore, hanno considerato le caratterizzazioni statistiche delle serie idrologiche del periodo dal 1922-1923 al 1974-1975 (53 anni di Piano delle Acque) e del periodo successivo al 1986-1987 (periodo recente di maggiore criticità). Tali analisi evidenziano una significativa differenza delle principali caratteristiche statistiche ed a seguito di ciò è apparso evidente che le serie complete di deflusso non potevano essere considerate stazionarie ai fini della modellazione degli schemi multi-settoriali di Piano per l'utilizzazione delle risorse idriche. Pertanto, come illustrato precedentemente, le elaborazioni idrologiche sviluppate dall'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF) per la predisposizione del data-base dei deflussi superficiali adottato nel PSDRI hanno assunto come serie di riferimento il 53-ennio dal 1922-23 al 1974-75 ri-scalato con una riduzione dei deflussi uniforme sull'intero territorio regionale, in misura pari al 55% della media osservata nel periodo storico.

Il valore della media delle serie di deflusso di riferimento nella modellazione del PSDRI è stata pertanto posta pari al 45% di quello storico osservato nel periodo 1922-23 / 1974-75. Tale assunzione sulla media, oltre ad essere giustificato dalle analisi statistiche, deriva dall'esigenza di considerare parametri cautelativi nella valutazione delle risorse e dal fatto che l'evoluzione climatica complessiva, rispetto al passato, non mostra di aver raggiunto una condizione di nuova stabilità.

Un altro parametro statistico considerato nelle elaborazioni idrologiche dell'EAF è stato il valore dello scarto quadratico medio delle serie temporali dei deflussi. Una prima analisi è stata sviluppata sull'andamento del coefficiente di variazione per le serie storiche delle altezze di pioggia alle 52 stazioni pluviometriche in Sardegna per le quali si posseggono i dati dal 1922 ad oggi. Queste analisi hanno mostrato l'assenza di un legame significativo tra le altezze di pioggia ed il coefficiente di variazione. Quindi è stato ipotizzato che al variare della media lo scarto vari della medesima percentuale, lasciando il coefficiente di variazione costante. All'ipotesi di costanza del coefficiente di variazione delle precipitazioni e dell'approssimazione con una relazione afflussi-deflussi su base annua di tipo lineare, consegue che ad una riduzione della media delle precipitazioni del 20% corrisponde una riduzione dello scarto della medesima variabile sempre del 20% (coefficiente di variazione costante). D'altra parte, una riduzione del 20% dello scarto della variabile di input (gli afflussi) in un modello lineare porta ad una identica riduzione percentuale sullo scarto della variabile di output (i deflussi).

In definitiva, nel PSDRI la generazione delle serie di deflusso, per ciascuna delle sezioni di interesse *SISS (1996)* nell'intera isola, ha assunto come parametri statistici i seguenti valori:

- media = $0,45 \times$ la media del periodo 1922-23 / 1974-75
- scarto = $0,80 \times$ lo scarto del periodo 1922-23 / 1974-75

Nella generazione dei deflussi è stata utilizzata la distribuzione probabilistica lognormale con parametri media e scarto calibrati sui valori di deflusso annuo valutati dalla serie storica dei deflussi in tutte le sezioni di interesse *SISS* e ri-scalati secondo le aliquote sopra dette.

Obiettivo della costruzione della serie ri-scalata dei deflussi è stata, principalmente, quello della caratterizzazione della risorsa ai fini della sua utilizzazione nell'ambito della simulazione dei sistemi idrici multi-settoriali. Pertanto le serie di deflusso devono essere sufficientemente estese, come numero di anni dell'orizzonte temporale, e tali da consentire di rappresentare adeguatamente i processi di regolazione dei grandi serbatoi artificiali. Questi serbatoi evidenziano, in taluni casi, coefficienti di utilizzazione che determinano trasferimenti inter-periodo che si estendono per diversi anni. L'ampiezza complessiva del periodo critico di regolazione si amplifica, inoltre, via via che aumenta il livello di inter-connessione fra i principali sistemi idrici dell'isola.

In relazione a ciò, nelle elaborazioni EAF per la modellazione idrologica, non è apparso adeguato utilizzare come base di simulazione la serie dei deflussi mensili successivi al 1986 anche per la difficoltà di predisporre un data base esteso a tutte le sezioni di interesse. L'obiettivo dello studio idrologico di Piano d'Ambito e della Prima fase di Piano di Bacino è stato quello di individuare procedure operative per la definizione della base dati di riferimento. D'altra parte, la complessità dei sistemi idrici e, quindi, il notevole numero di sezioni d'interesse, l'ampia estensione territoriale dei bacini idrografici connessi a tali sezioni, impongono di rispettare la struttura di correlazione spaziale naturale delle serie dati di deflusso nei bacini idrografici dell'isola e la procedura di re-scaling della serie 1922-75 ha consentito di rispettare questo vincolo.

Nella relazione idrologica del PSDRI è stata evidenziata la necessità di approfondire alcuni aspetti legati alla scelta dei parametri nel modello di generazione dei deflussi. Facendo quindi salvo l'approccio della generazione di serie ri-scalate, nella presente fase di Piano, in particolare, si è ritenuto che le indagini dovessero avere come obiettivo la verifica della attribuzione della media e scarto utilizzati come parametri del modello di generazione dei deflussi. Di seguito saranno illustrate le analisi sviluppate nel presente Piano che hanno portato alla ridefinizione delle serie idrologiche alle sezioni di interesse.

3.2.2 Ricostruzione dei deflussi tramite bilancio idrico dei laghi artificiali

Nella presente fase di Piano, preliminarmente alle procedure di verifica dei parametri del modello di generazione dei deflussi, è risultato essenziale provvedere alla ricostruzione dei deflussi nei corsi d'acqua dell'isola nel periodo successivo al 1992, anno di completamento delle serie idrologiche già contenute nel (*SISS, 1996*). E' ben noto che in questi ultimi anni il Servizio Idrografico regionale non ha più proceduto alla regolare osservazione dei livelli idrometrici delle stazioni di misura delle portate ed all'aggiornamento della relativa scala delle portate. Pertanto l'unica possibilità per avere a disposizione serie dei deflussi storici in questo ultimo periodo è stato quello di stima dei deflussi per via indiretta, valutando nei laghi artificiali l'input idrologico tramite la costruzione del bilancio di invaso con passo mensile.

Di seguito si fornisce il quadro sintetico dei risultati delle elaborazioni sui bilanci agli invasi conseguenti alle prime fasi di ricognizione presso gli Enti gestori, acquisizione ed analisi preliminari dei dati.

L'attività di ricostruzione dei deflussi affluenti agli invasi è stata caratterizzata da una generale difficoltà determinata dalla non omogeneità e sistematicità nelle procedure di acquisizione dei dati utilizzate dagli Enti gestori e, spesso, dalla mancanza di elementi fondamentali per la corretta ricostruzione dei deflussi.

In termini generali, si vuole qui richiamare l'attenzione dei competenti Uffici Regionali sulla necessità di provvedere alla formulazione di procedure standard di acquisizione, e archiviazione dei dati necessari per la ricostruzione dei bilanci e la necessità di un controllo e verifica in tempi rapidi della correttezza delle informazioni avute dagli Enti gestori in modo da poter procedere tempestivamente, quando necessario, al richiamo dei gestori agli obblighi di documentazione nella gestione delle risorse idriche.

Su tali aspetti si tornerà specificatamente per i singoli invasi fornendo una valutazione della possibilità di ricostruzione del bilancio e della presumibile correttezza della ricostruzione, quando questa è stata possibile.

Sempre in termini generali, si osserva che i dati forniti sono spesso carenti di elementi caratteristici descrittivi dell'invaso (tipologia sbarramento, curva d'invaso, curva delle superfici dello specchio liquido, caratteristiche organi di scarico, caratteristiche organi di sfioro, etc) e sono rare le trascrizioni su supporto informatico dei dati giornalieri, ancorché presenti nei registri degli Enti gestori degli invasi.

Per ciascun invaso la relazione che segue fornisce preliminarmente una sintesi dei dati grezzi messi a disposizione, alcune considerazioni sulla significatività e possibilità di utilizzazione di tali dati, commenti sui risultati ottenuti, la tabella con la serie ricostruita dei deflussi ed alcuni dati statistici di sintesi, valutati anche su base pluriennale.

La ricostruzione dei bilanci ha interessato gli undici anni idrologici compresi tra il 1992 ed il 2003. La prima data è quella alla quale è stata chiusa la revisione del SISS. Conformemente con le elaborazioni idrologiche contenute nel Piano d'Ambito il periodo critico di analisi sarà dato dal 17-ennio 1986-2003 e dovrà pertanto considerare un primo periodo di ricostruzione

fatto nel SISS e un secondo periodo ricostruito tramite i bilanci agli invasi forniti nella presente relazione.

Come è usuale, la ricostruzione del bilancio parte dalla conoscenza dei livelli di invaso nei diversi periodi ai quali, tramite la conoscenza della curva dei volumi di invaso, è possibile associare il volume invasato $V(t)$. La procedura ha considerato la possibilità che, oltre l'afflusso naturale $A(t)$, possa arrivare al serbatoio il rilascio da altri invasi o il trasferimento da opere di derivazione (traverse) su bacini di gronda, che indicheremo con $T(t)$. Nel bilancio consideriamo, ovviamente, i rilasci verso le utenze, indicati con $U(t)$, le perdite per evaporazione dallo specchio liquido dell'invaso indicate con $E(t)$, le perdite attraverso il corpo dello sbarramento raccolte dai dreni, che complessivamente indichiamo con $P(t)$. Indichiamo infine con $S(t)$ sia gli scarichi che gli sfiori dalla diga determinati dal superamento del massimo invaso utile di regolazione.

Dall'equazione di continuità all'invaso si ricava l'afflusso naturale nel mese:

$$A(t) = V(t) - V(t - 1) - T(t) + U(t) + E(t) + P(t) + S(t) \quad t = 1, \dots, T$$

La valutazione della $E(t)$ viene effettuata normalmente sulla base della conoscenza della curva delle superfici e di invaso, e dalla attribuzione al periodo t di un'altezza di evaporazione da specchio liquido $e(t)$, stimata sulla base delle caratteristiche medie climatiche della zona.

Sulla base di quanto premesso con riferimento alle operazioni di ricognizione dei dati, si è potuto operare nei seguenti invasi:

1. Mannu di Narcao a Bau Pressiu
2. Bidighinzu a Monte Ozzastru
3. Cixerri a Genna is Abis
4. Coghinas a Muzzone
5. Corongiu III
6. Flumendosa Alto e Medio + Mulargia
7. Govossai
8. Is Barrocos
9. Leni a Monte Arbus
10. Liscia a Punta Calamaiu
11. Mannu di Pattada a Monte Lerno
12. Olai
13. Sos Canales
14. Torrei

E' subito da notare la mancanza di ricostruzioni per sbarramenti importanti, in particolare del Tirso a Cantoniera. Le motivazioni di tali carenze sono da mettere in relazione alla mancanza di una adeguata documentazione che, almeno fino ad oggi, è disponibile sulla gestione degli invasi non considerati nella presente relazione. Per approfondimenti su tali aspetti si rimanda alle relazioni descrittive delle operazioni di raccolta dati e di ricostruzione dei bilanci.

Nell'annesso 1.1 in allegato 2-A è riportato il resoconto sintetico dei risultati ottenuti e gli elementi più significativi dell'analisi statistica operata sui deflussi ricostruiti alle sezioni di

interesse che coincidono con la chiusura di singoli invasi o con l'aggregazione di essi (caso del Flumendosa-Mulargia). Nell'annesso 1.1 in allegato 2-A sono anche consegnate le tabelle con i deflussi ricostruiti.

3.2.3 *Analisi statistiche sui deflussi ricostruiti*

Nella relazione idrologica del PSDRI è stata evidenziata la necessità di approfondire alcuni aspetti legati alla scelta dei parametri nel modello di generazione dei deflussi. Facendo quindi salvo l'approccio della generazione di serie ri-scalate, nella presente fase di Piano, in particolare, si è ritenuto che le indagini dovessero avere come obiettivo la verifica della attribuzione della media e scarto utilizzati come parametri del modello di generazione dei deflussi.

In questa procedura di verifica è stato quindi essenziale provvedere alla ricostruzione dei deflussi nei corsi d'acqua dell'isola nel periodo successivo al 1992, anno di completamento delle serie idrologiche già contenute nel (*SISS, 1996*).

Le analisi statistiche hanno preso in esame le ricostruzioni dei deflussi agli invasi che garantivano un sufficiente livello di affidabilità. Sulla base di quanto illustrato nel paragrafo precedente e documentato nell'annesso 1.1 in allegato 2-A che riporta i risultati delle operazioni di ricostruzione dei deflussi, si sono potuti considerare nelle successive analisi i deflussi ricostruiti nei seguenti sette invasi:

- Mannu di Narcao a Bau Pressiu
- Bidighinzu a Monte Ozzastru
- Coghinas a Muzzone
- Flumendosa Alto e Medio + Mulargia (senza i trasferimenti dal Flumineddu)
- Leni a Monte Arbus
- Liscia a Punta Calamaiu
- Mannu di Pattada a Monte Lerno

E' già stata notata la assenza di ricostruzioni per l'invaso di Santa Chiara e Cantoniera nel Tirso. Come già detto, la motivazione è data dalla mancanza di una adeguata documentazione rinvenuta su tale sistema. Le elaborazioni statistiche non hanno, inoltre, preso in esame gli invasi del Cixerri e di Is Barrocos poiché i dati di bilancio sono stati resi disponibili solo in tempi successivi a quelli necessari per la predisposizione del data-base idrologico.

A partire dal bilancio operato sui sette invasi sopra elencati per l'undicennio 92-03 e dai dati SISS per il periodo 1986-2002, è stata effettuata una analisi che ha come obiettivo quello della ricerca dei parametri della distribuzione log-normale più idonei a ricostruire i deflussi dell'ultimo diciassettennio 86-03.

E' subito da notare che l'aver stabilito, nella generazione dei deflussi utilizzati nel PSDRI, una riduzione della media al 45% e una riduzione dello scarto all'80% di quello verificatosi nel periodo 1922-75 ha comportato l'importante conseguenza statistica di una mutazione del coefficiente di variazione ($CV = \text{scarto}/\text{media}$) dei dati di deflusso generati. E' immediato verificare che il CV dei dati ricostruiti si attesta su valori superiori del 78% rispetto al CV dei dati osservati, ossia risulta: $CV_{gen} = 1.78 CV_{oss}$.

Come si vedrà di seguito, dai dati ricostruiti agli invasi nel diciassettennio non si è avuto riscontro di un innalzamento così ampio del coefficiente di variazione, e questo è presumibilmente da mettere in relazione con la sovrastima dello scarto attribuito nella generazione delle serie utilizzate nel PSDRI sulla base delle osservazioni pluviometriche. Com'era prevedibile, infatti, il CV dei dati di bilancio mostra, in genere, un andamento più costante che non evidenzia un innalzamento così elevato del CV dei deflussi come accade per i dati generati nel data-base del PSDRI.

Per i deflussi ricostruiti in ciascuna sezione di vaso, le analisi riportate di seguito confrontano le statistiche del 53-ennio 22-75 (Piano Acque), dell'undicennio 92-03 (dati di bilancio invasi) e del diciassettennio 86-03 ottenuto integrando i dati di bilancio con i dati della revisione del SISS. Questo ultimo rappresenta certamente il periodo di indagine più significativo per la caratterizzazione della criticità nei deflussi osservata a partire dalla crisi idrica di fine anni ottanta.

Le tabelle fornite nell'annesso 1.1 in allegato 2-B riportano per il 53-ennio 22-75 il valore minimo, medio, massimo, varianza, scarto e coefficiente di variazione per i deflussi annui e per le aggregazioni di anni successivi che vanno dal biennio al decennio. Per l'undicennio 92-03 e per il diciassettennio 86-03, oltre alle statistiche precedenti, sono anche forniti i dati di deflusso.

Nell'annesso 1.1 in allegato 2-B è quindi riportata la rappresentazione grafica dell'andamento dei deflussi annui nell'intero periodo osservato 1922-2003, nella quale è evidenziata la parte, successiva al 1992, ricostruita con il bilancio agli invasi.

Sempre nell'annesso 1.1 in allegato 2-B sono quindi date alcune tabelle che riportano i valori delle statistiche principali (valore di deflusso minimo, medio, massimo, varianza, scarto e coefficiente di variazione) sempre valutate dall'anno al decennio, ottenute con la procedura di generazione illustrata precedentemente (e quindi realizzata come re-scaling del 53-ennio 1922-75) quando si attribuiscono i parametri del PSDRI, ovvero i valori dei parametri evidenziati in testa a ciascuna tabella. Per una più agevole lettura, in testa alla tabella è riportata l'aliquota di riduzione attribuita per la stima della media R_m e l'aliquota di riduzione per la stima dello scarto R_s .

In chiusura di ciascuna tabella che riporta le statistiche delle serie generate, per agevolare l'individuazione della migliore combinazione fra i parametri, è anche riportato l'errore quadratico cumulato EQC dei minimi pluriennali ricostruiti rispetto a quelli storici del diciassettennio.

Per esempio, per il quadriennio esso vale: $EQC_4 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (X_i - \bar{X}_i)^2}$,

avendo indicato con X_i e \bar{X}_i rispettivamente il minimo ricostruito e storico del pluriennio i -esimo.

Le combinazioni dei parametri sono state individuate con l'obiettivo di attribuire il corretto valore del rapporto tra le medie dei deflussi nei due periodi 86-03 e 22-75 e di effettuare la mappatura delle statistiche variando progressivamente, con passo discreto di 0.05, il valore di riduzione dello scarto.

Nella maggioranza dei casi, per i plurienni il dato di *EQC* evidenzia il valore minore in corrispondenza di un coefficiente di variazione *CV* pressoché uguale a quello storico registrato nel diciassettennio, e quindi in genere inferiore rispetto a quello attribuito per la generazione del data-base di prima fase di Piano.

E' tuttavia ancora da notare che, se l'obiettivo della generazione è quello di riprodurre il valore minimo annuale, l'attribuzione dei parametri che fornisce il risultato col minore *EQC_i* si attesta in corrispondenza di uno scarto particolarmente elevato cui corrisponde un valore di *CV* sensibilmente più elevato rispetto a quello storico del diciassettennio.

In ogni caso, per ciascuna sezione è fornita la tabella relativa alle generazioni ottenute con riduzione della media pari a 0.45 e riduzione dello scarto fissato a 0,70.

In chiusura delle elaborazioni per ciascuna sezione è dato il grafico dell'errore quadratico *EQC* in corrispondenza delle diverse combinazioni dei parametri in generazione.

3.2.4 Procedura di generazione adottata in seconda fase di Piano

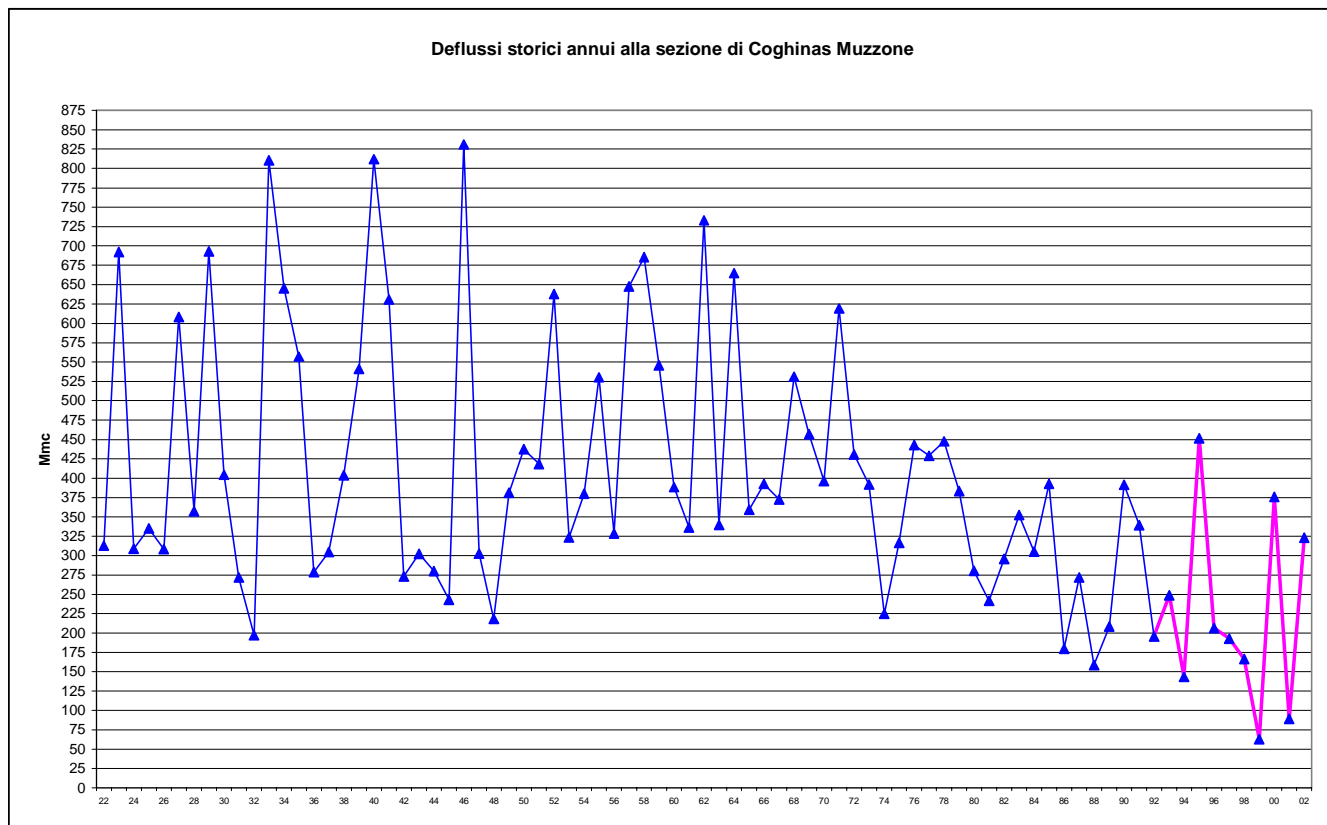
Nella predisposizione del data-base idrologico nella presente fase di Piano si è seguito il criterio generale di non stravolgere la procedura adottata nel PSDRI ma, contestualmente, di procedere alla verifica dei parametri di generazione sulla base delle ricostruzioni dei bilanci agli invasi .

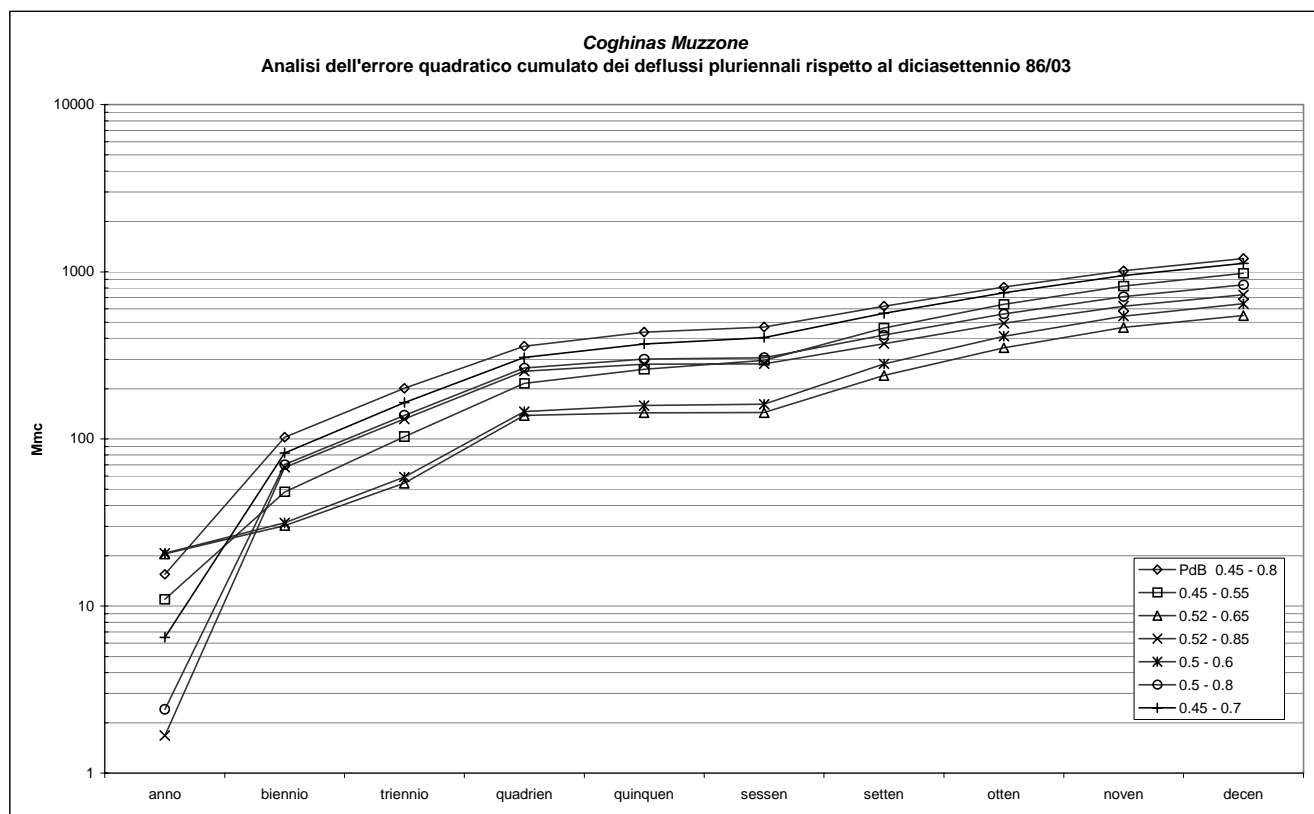
Al riguardo è opportuno puntualizzare che la significatività dei risultati ottenuti varia da invaso ad invaso in relazione alla dimensione e caratteristiche del bacino sotteso. Ovviamente la ricostruzione del Coghinas e del Flumendosa-Mulargia hanno importanza preminente rispetto a quella degli altri invasi. In secondo luogo l'affidabilità dei dati di deflusso ricavati dai bilanci sembra avere in alcuni casi non adeguata affidabilità per operare modifiche sostanziali nella procedura di generazione.

A giustificazione della procedura adottata nel presente Piano, di seguito si forniscono alcuni commenti sui risultati delle analisi statistiche sui deflussi ricostruiti.

Coghinas a Muzzone

Il deflusso medio che nel 53-ennio idrologico 22-75 era stato di $450.6 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ si riduce a $235.6 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ nel 17-ennio 86-03 con un rapporto di riduzione di pari a 0.52. L'andamento dei deflussi nell'intero periodo 22-03 è dato nella figura seguente, nella quale è evidenziato l'ultimo periodo ricostruito col bilancio al lago. Tra i due periodi storici il coefficiente di variazione si innalza da 0.380 a 0.461 restando, comunque ben al di sotto del valore 0.632 ottenuto con le generazioni di prima fase. Come è evidenziato nella figura, con la generazione utilizzata nel PSDRI risulta sottostimato il minimo annuale e, soprattutto, quello cumulato sui plurienni critici. Su base pluriennale i risultati con EQC più basso si ottengono con rapporto di riduzione sulle medie $R_m = 0.52$ e rapporto di riduzione sullo scarto $R_s = 0.65$.



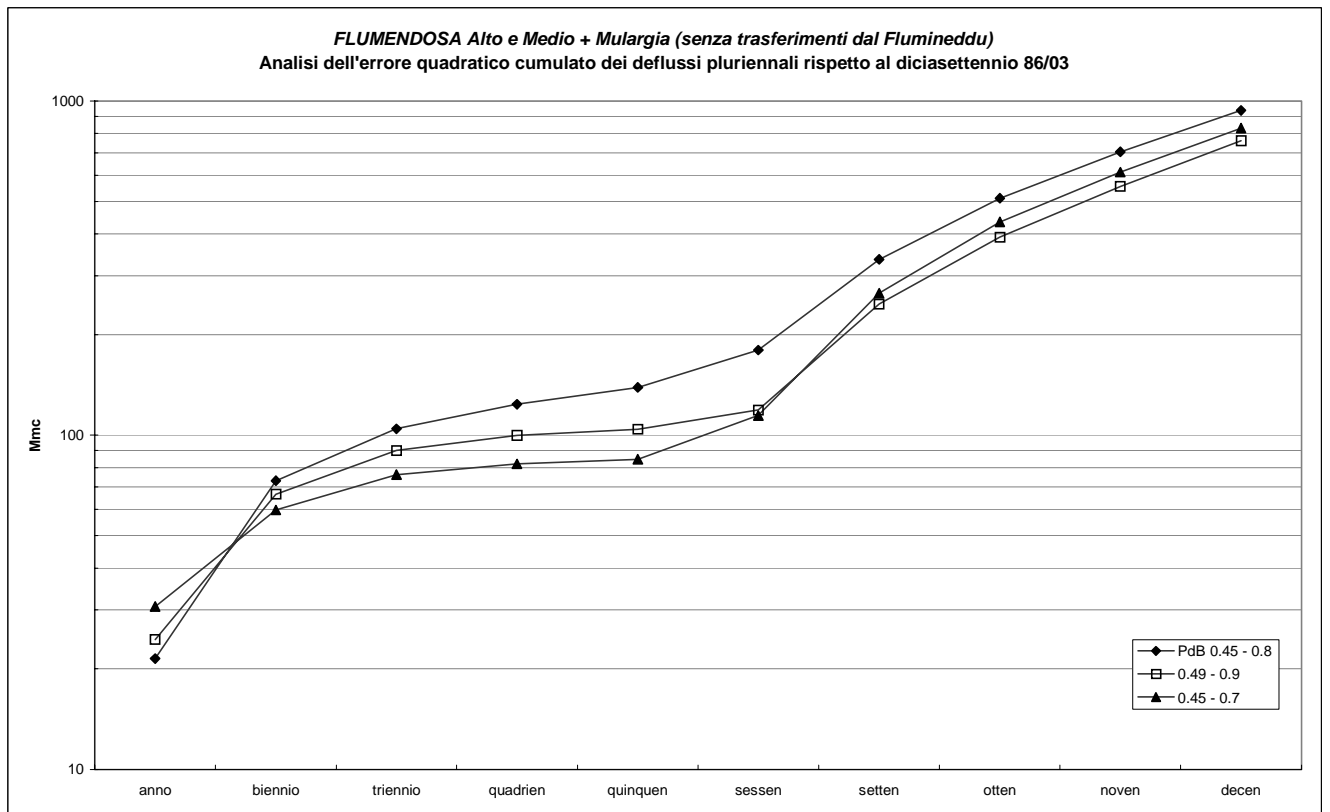
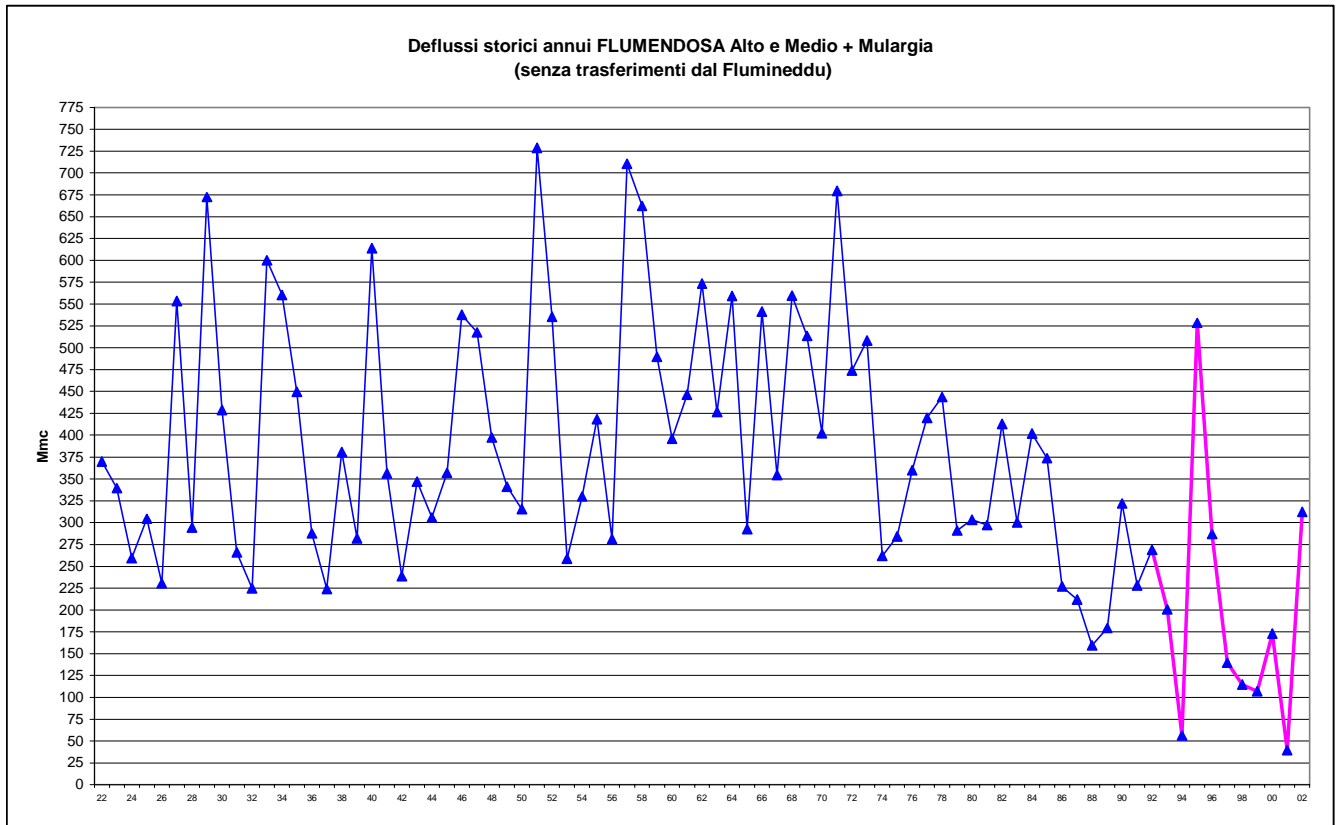


Flumendosa alto e medio + Mulargia

Nella figura di pagina seguente è consegnato l'andamento dei deflussi per l'intero periodo storico 1922-03 evidenziando l'ultimo periodo valutato sulla base del bilancio ai laghi.

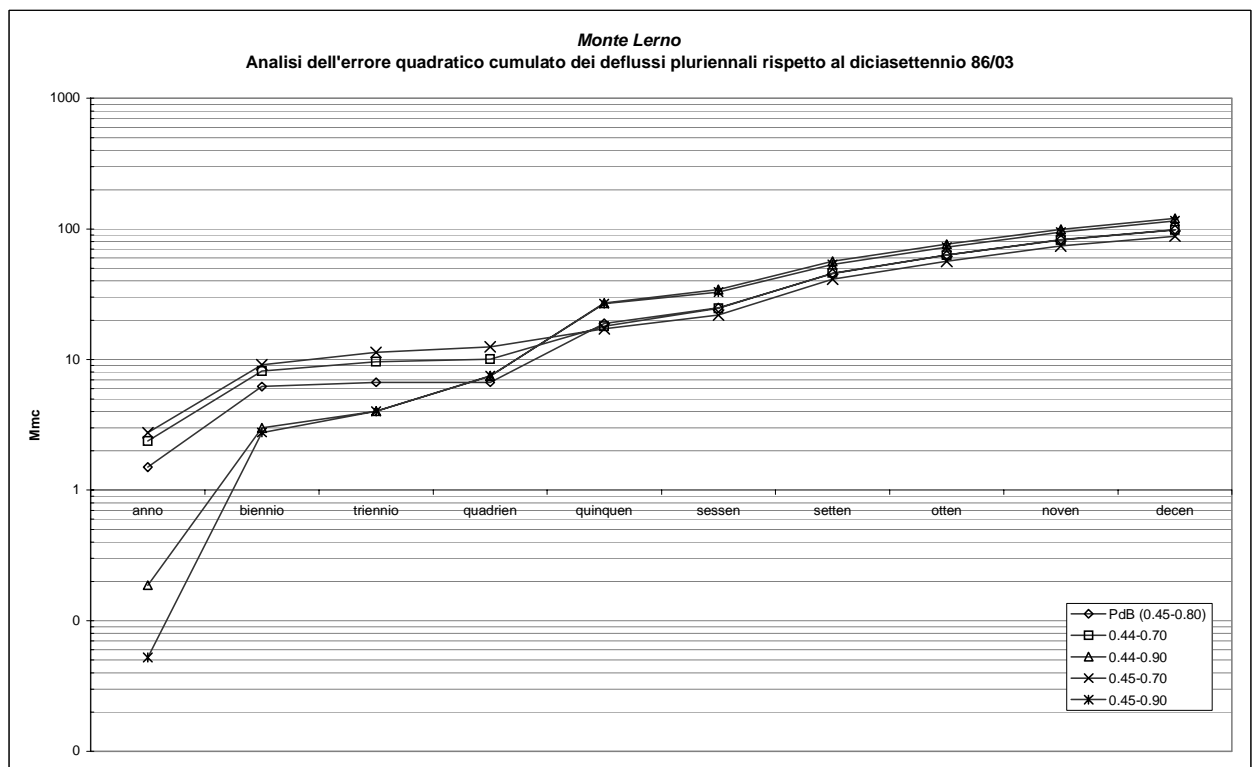
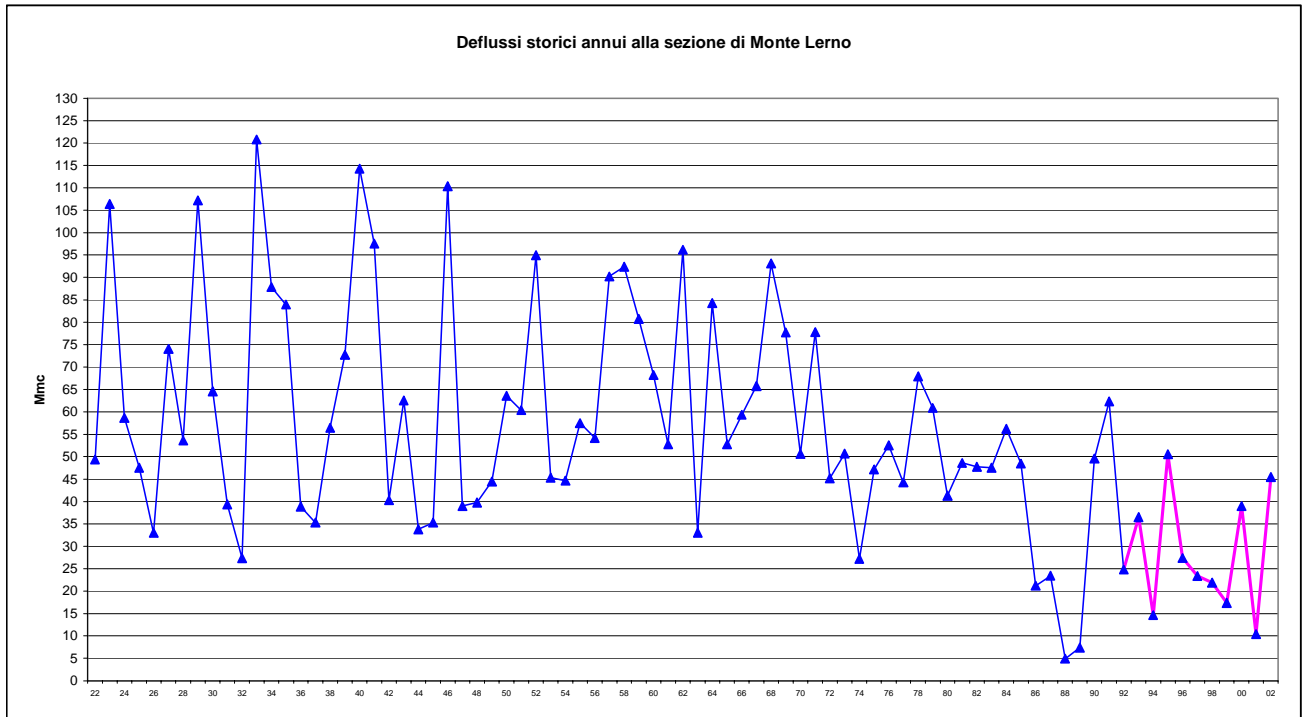
Il deflusso medio annuo del periodo 22-75 è per l'insieme dei bacini dominati da questo sistema pari a 423.8 Mm^3 . Nel diciassettennio 86-03 il deflusso medio scende a 209.11 Mm^3 con un coefficiente di riduzione $R_m = 0.49$. Il valore di CV sale da 0.332 a 0.557, attestandosi su un valore molto prossimo a quello ottenuto nella generazione del PSDRI, che risultava pari a 0.554. Il valore di deflusso minimo annuale del diciassettennio non risulta riproducibile dalla generazione anche adottando valori molto alti della varianza. Su base pluriennale un buon compromesso per rappresentare l'andamento dei deflussi sembra quello di mantenere la riduzione sulle medie $R_m = 0.45$, valore adottato nel PSDRI, ed attribuire rapporto di riduzione sullo scarto $R_s = 0.70$.

Nella figura seguente è dato l'andamento dell'errore quadratico cumulato con le diverse ipotesi di attribuzione dei coefficienti di riduzione R_m ed R_s .



Monte Lerno

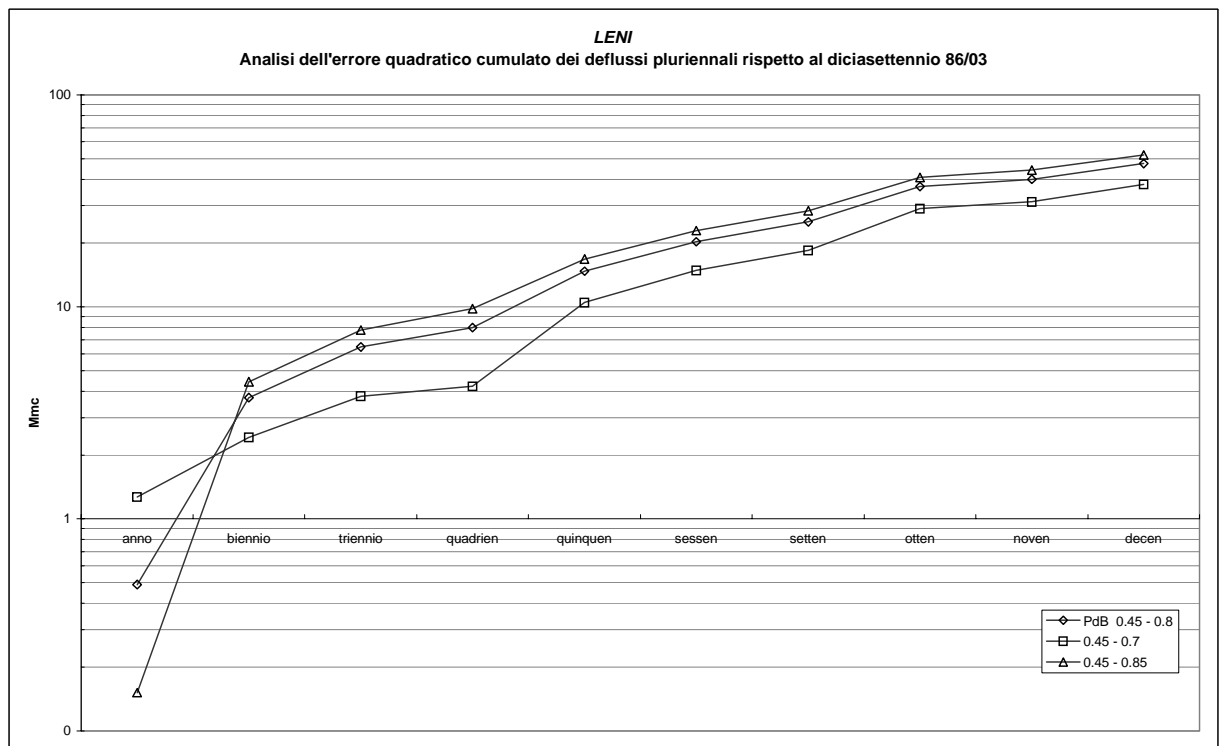
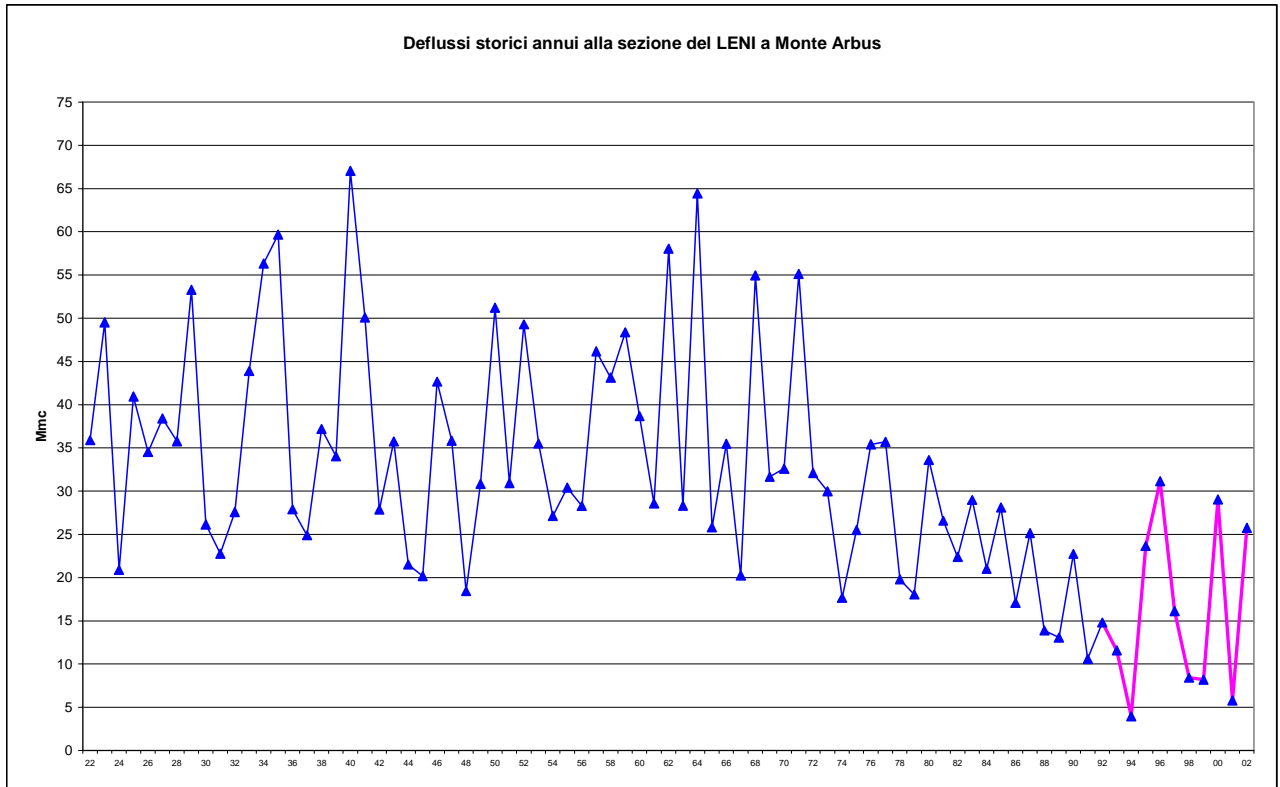
I risultati sono sintetizzati nelle figure seguenti. Per questo invaso si passa da un deflusso medio annuo pari a 64 Mm^3 nel 53-ennio a 28.25 Mm^3 nel 17-ennio con una riduzione $R_m = 0.44$. Il valore di CV sale da 0.390 a 0.583, restando comunque inferiore a quello riprodotto in generazione di PSDRI che forniva $CV = 0.638$. Anche per le serie di deflusso a questo invaso un valore che minimizza EQC su base pluriennale dei deflussi minimi risulta essere quello conseguente al mantenimento di $R_m = 0.45$, come nel PSDRI, ed una diminuzione del rapporto di riduzione sullo scarto assumendo $R_s = 0.70$.



Leni

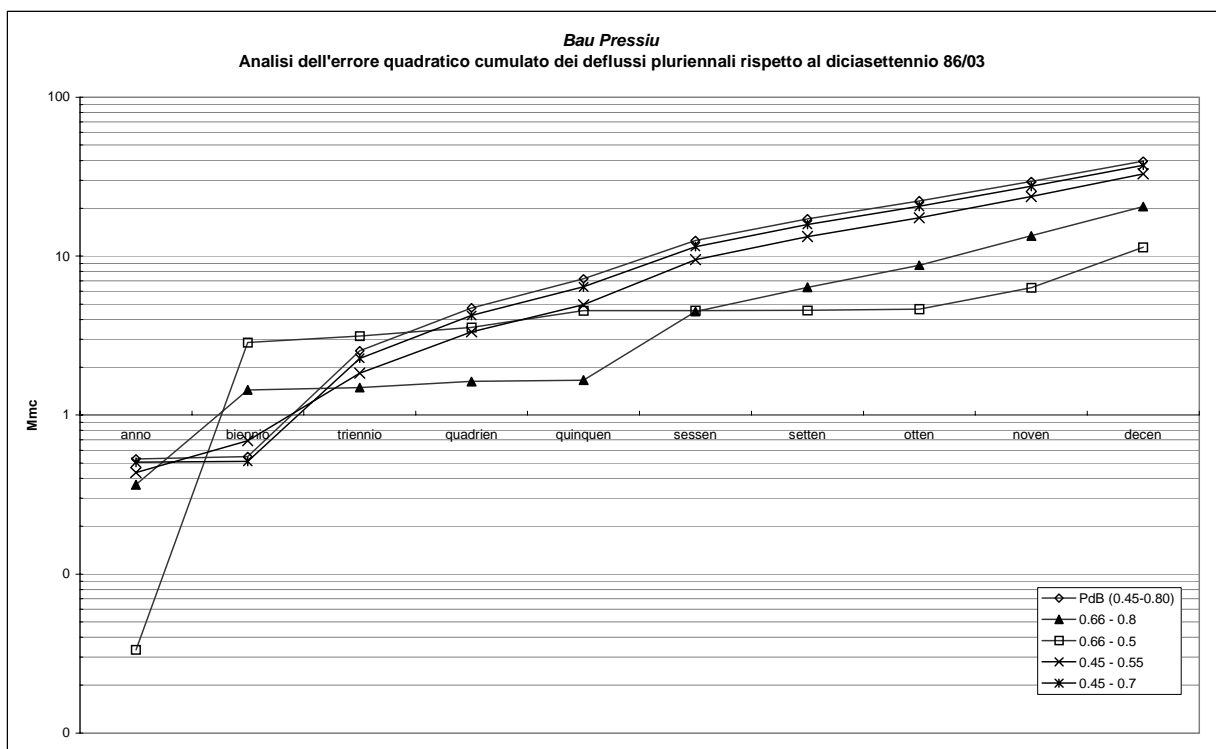
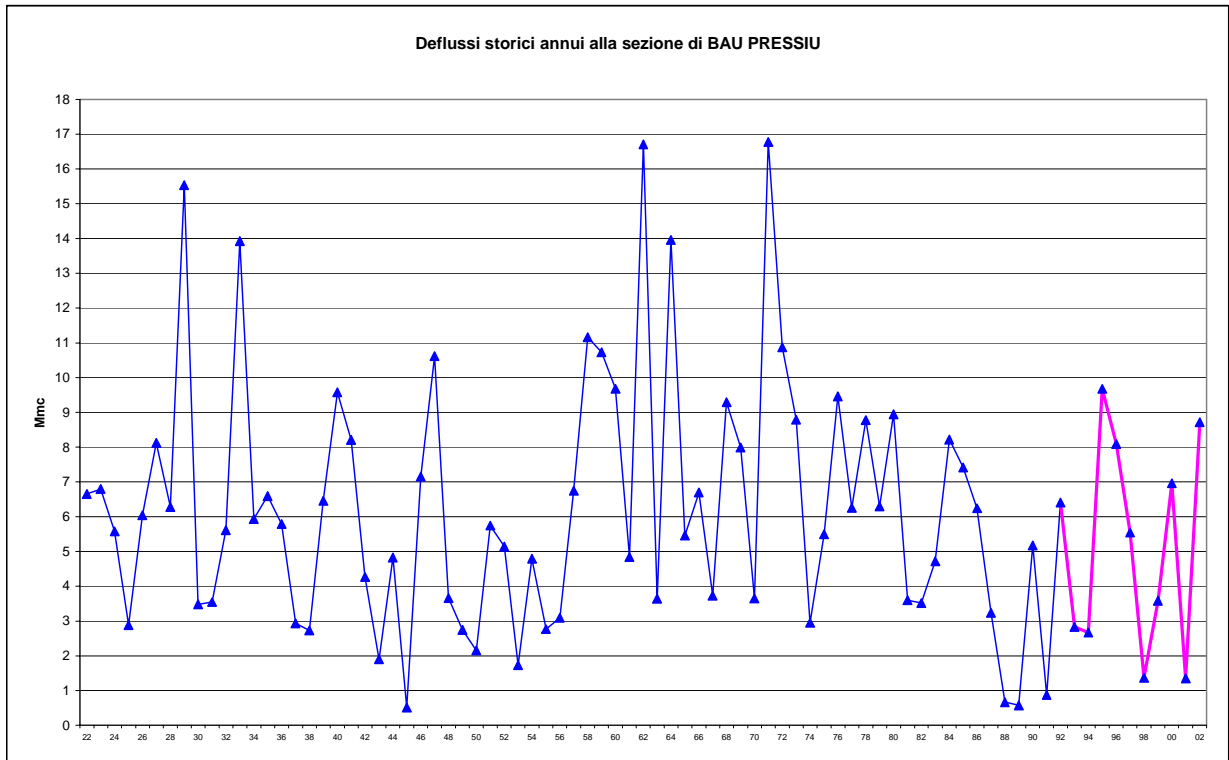
Il valore di deflusso medio annuo si riduce da 37.1 a 16.54 passando dal 53-ennio al 17-ennio più recente. Sulla base dei deflussi calcolati risulta quindi $R_m = 0.45$.

Il CV si innalza da 0.338 a 0.503 restando, comunque, inferiore al valore di 0.570 ottenuto nella modellazione del PSDRI. Anche per questo invaso pare giustificata una riduzione dello scarto ed i valori ottimale per la riproduzione delle sequenze pluriennali di deflussi minimi si ottiene adottando $R_s = 0.70$.



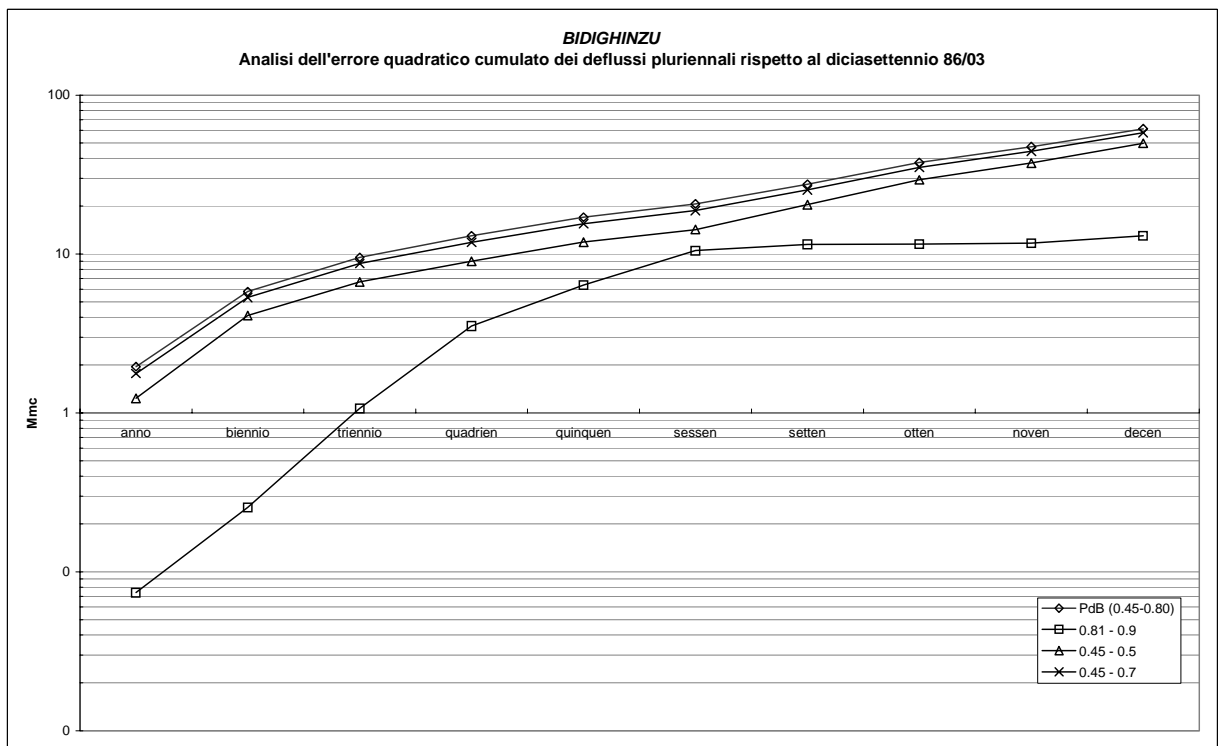
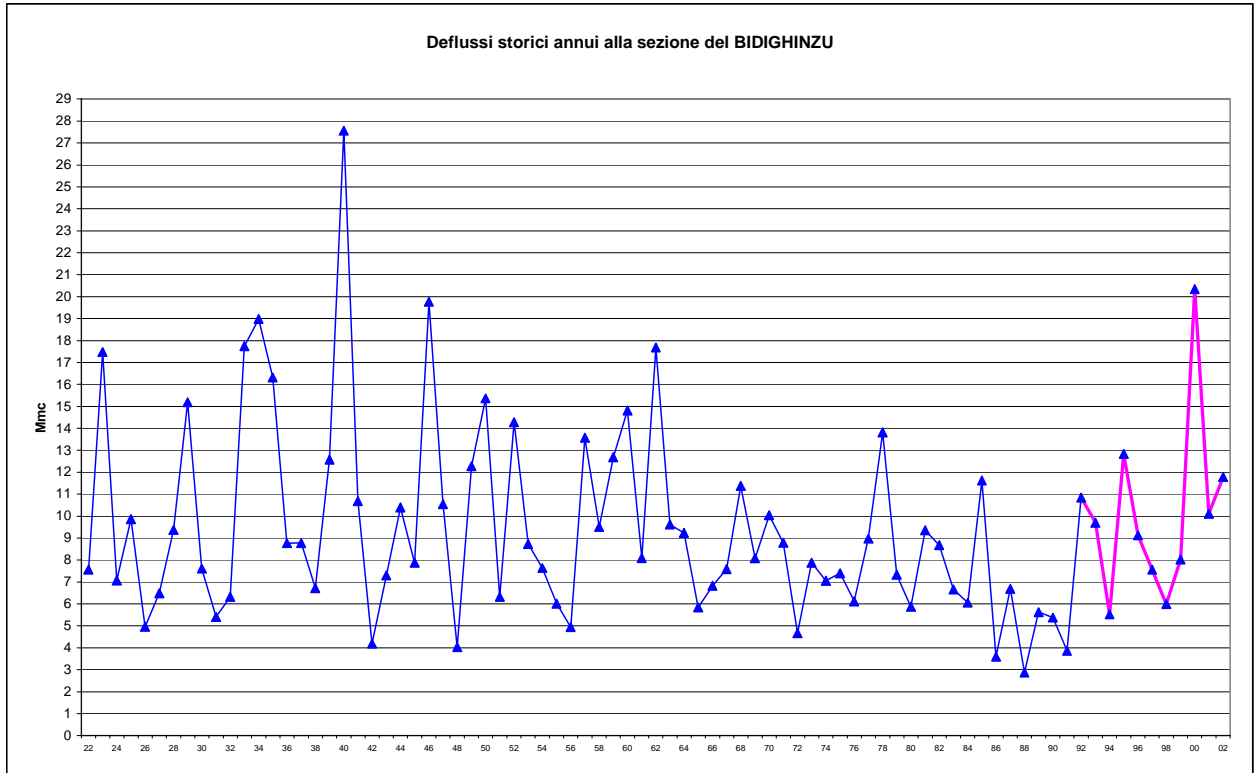
Bau Pressiu

Per questa sezione nella serie storica 1922-75 era stato valutato un deflusso medio annuo pari a $6.6 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Nel 17-ennio 86-03 i dati di bilancio forniscono una stima del deflusso medio annuo pari a $4.35 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ da cui consegue un valore di $R_m = 0.66$. Anche sulla base di quanto esposto nella relazione sui bilanci, è probabile che nella stima dei deflussi conseguente al bilancio dell'invaso siano introdotti errori sistematici che tendano a sovrastimare i deflussi in ingresso a questo lago. Per questo invaso il più basso EQC si ottiene per la combinazione $R_m = 0.66$ e $R_s = 0.70$. Tale indicazione è tuttavia sicuramente condizionata dal livello di incertezza del dato.



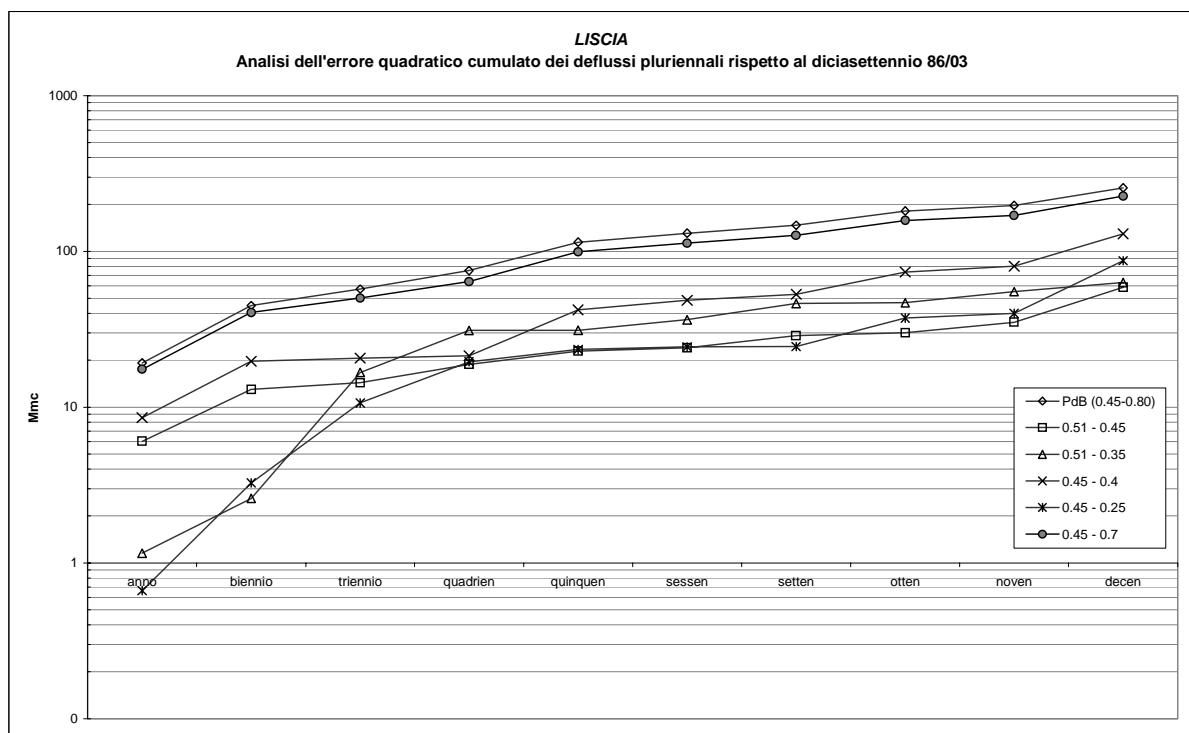
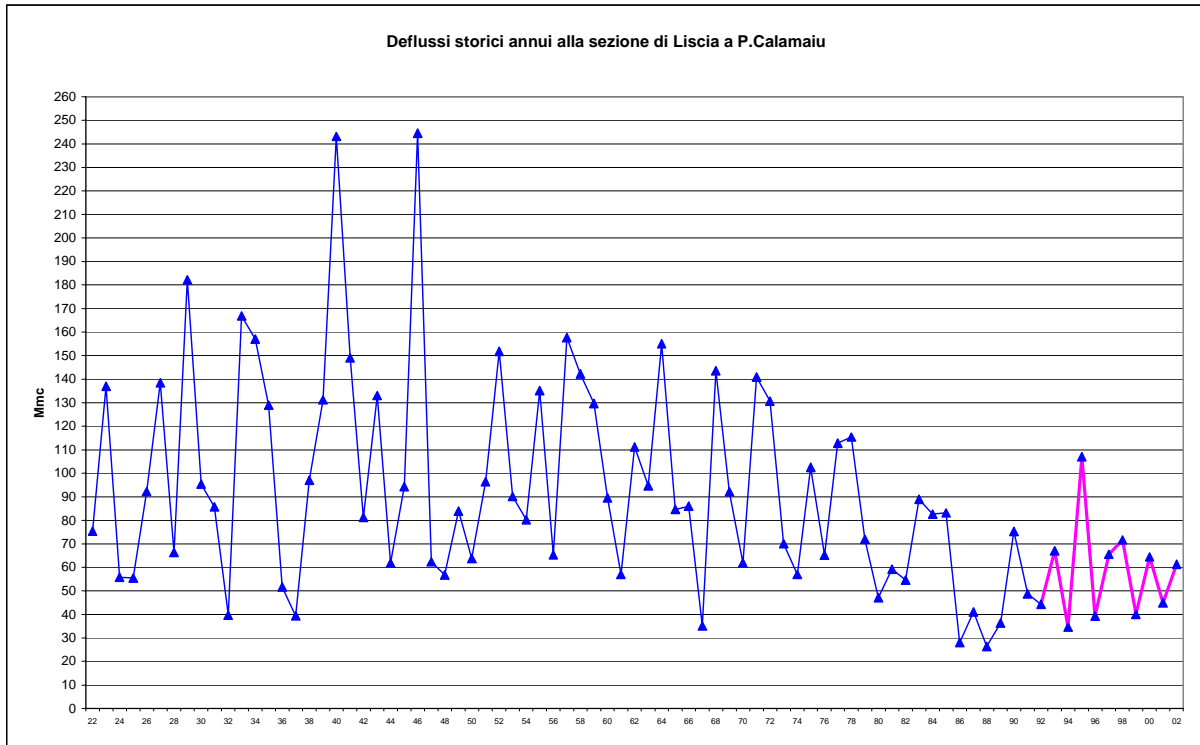
Bidighinzu

Anche per questo lago le indicazioni che si ottengono circa i parametri da adottare in modellazione risultano condizionati da una probabile sovrastima dei deflussi conseguente alla scarsa affidabilità dei dati di bilancio. Risulta, infatti, per il 53-ennio un deflusso medio annuo pari a $10.2 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ mentre per il 17-ennio più recenti si ottiene una stima di deflusso medio pari a $8.23 \text{ Mm}^3/\text{anno}$, da cui consegue $R_m = 0.81$. Per questo invaso il più basso EQC si ottiene, quindi, per la combinazione $R_m = 0.81$ e $R_s = 0.90$. Tale indicazione è tuttavia sicuramente condizionata dal livello di incertezza dei dati utilizzati.



Liscia a Punta Calamaiu

I deflussi medi annui nel 53-ennio erano stati stimati pari a $104.3 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ ed il CV valutato per tale periodo risulta $CV = 0.452$. Nel 17-ennio 86-03 il deflusso medio si riduce a $52.73 \text{ Mm}^3/\text{anno}$; a ciò consegue $R_m = 0.52$. Per questo invaso risulta anomalo il valore dello scarto ricavato dai bilanci: su base annua esso risulta decisamente modesto e porta ad un valore del CV che si riduce rispetto a quello del 53-ennio assumendo il valore $CV=0.394$. Questo fatto è essenzialmente da imputare ad una palese sovrastima dei deflussi nei periodi più critici, presumibilmente determinata da una attribuzione di valori di erogazione superiori a quelli reali. Per questo invaso il più basso EQC si ottiene per la combinazione $R_m = 0.51$ e $R_s = 0.35$. Tale indicazione è tuttavia sicuramente condizionata dal livello di incertezza del dato.



Sulla base delle considerazioni sopra esposte, per diversi invasi si è palesata una non adeguata affidabilità per operare modifiche sostanziali nella procedura di generazione. Si è pertanto deciso di mantenere tutta la Sardegna in un'unica zona nella attribuzione dei parametri utilizzati per realizzare il re-scaling delle serie di deflusso alle sezioni di interesse.

L'unica modifica che si è palesata necessaria, rispetto alla procedura utilizzata nello studio idrologico predisposto dall'EAF per il PSDRI, riguarda la riduzione dello scarto che è passato dall'80% al 70% del valore storico osservato nel 53-ennio.

In definitiva, in questa seconda fase di generazione si sono pertanto assunti come parametri statistici i seguenti valori:

- media = $0,45 \times$ la media del periodo 1922-23 / 1974-75
- scarto = $0,70 \times$ lo scarto del periodo 1922-23 / 1974-75

L'effetto più rilevante che, in termini generali, consegue a questa modifica nell'assunzione dei valori dei parametri riguarda la criticità sui singoli anni o su un numero limitato di anni successivi.

Come risulta evidente sia dalle figure precedenti, che riportano l'andamento dell'errore quadratico cumulato, sia dalle tabelle nell'annesso 1.1 in allegato 3, il deflusso minimo annuo risulterà maggiore rispetto alle serie generate con i parametri attribuiti nel PSDRI.

La procedura di generazione rimane sostanzialmente invariata e per la sua descrizione si può fare riferimento a quanto riportato in relazione al metodo utilizzato nel PSDRI. Infatti, anche nel presente Piano, nella generazione dei deflussi è stata utilizzata la distribuzione probabilistica lognormale con parametri media e scarto calibrati sui valori di deflusso annuo valutati dalla serie storica dei deflussi in tutte le sezioni di interesse *SISS* e ri-scalati secondo le aliquote sopra dette. La procedura di generazione è avvenuta nelle seguenti fasi:

1. La base dati su cui si opera è rappresentata dalle serie storiche dei deflussi ai bacini totali delle sezioni di interesse ricostruiti per tutto il territorio regionale nell'ambito dello studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (*SISS, 1996*) per il 53 ennio 1922-23 / 1974-75, in cui i parametri statistici fondamentali mostrano un sufficiente grado di affidabilità. Si considerano le serie storiche dei deflussi mensili alla sezione di interesse totale ed in relazione alla configurazione delle infrastrutture di regolazione presenti a monte nello schema di simulazione vengono operate le decurtazioni dei deflussi ai bacini dominate da tali opere. Nella tabella riportata in testa all'annesso 1.1 nell'allegato 4 sono evidenziate, per ciascuna sezione di interesse di Piano, il codice *SISS* corrispondente, la superficie dei bacini parziali e totali, la media e scarto dei deflussi ricostruiti ed i numeri di codice *SISS* delle sezioni di monte i cui contributi sono stati decurtati nella procedura di generazione.
2. Si è proceduto alla determinazione, con il metodo dei momenti, dei parametri della distribuzione lognormale calibrata sui valori di deflusso annuo; conseguentemente vengono valutati i valori della media e dello scarto della serie storica dei deflussi in tutte le sezioni di interesse;

3. E' stata fatta la valutazione dei frattili delle distribuzione probabilistiche corrispondenti ai singoli valori annui nelle serie dei deflussi osservate;
4. E' stata individuata la nuova distribuzione distribuzione lognormale imponendo una media pari al 45% della media storica ed uno scarto pari al 70% del valore storico;
5. Si è proceduto alla antitrasformazione della serie dei frattili calcolati in precedenza in una nuova serie di deflussi caratterizzata da una media ed uno scarto corrispondenti alle assunzioni adottate;
6. Per ogni anno idrologico si calcola il coefficiente dato dal rapporto tra il nuovo valore di deflusso ed il valore di deflusso della serie originale. Tale coefficiente viene poi moltiplicato per tutti i valori mensili del singolo anno idrologico della serie originale per ottenere la serie completa dei deflussi ricostruiti, con passo temporale mensile, con le caratteristiche richieste

In definitiva, anche la tecnica utilizzata nella presente fase di Piano determina un re-scaling delle serie originali e, a differenza delle generazioni tipo montecarlo, la sequenza dei frattili viene generata non in modo casuale ma con riferimento alla sequenza riscontrata nelle serie osservate. La procedura conserva, per le serie ricostruite alle varie sezioni di interesse, la struttura di correlazione spaziale e temporale delle serie originali.

I deflussi ricostruiti alle sezioni di interesse di Piano sono consegnati nell'annesso 1.1 in allegato 2-C.

In tale allegato, preliminarmente alle tabelle dei deflussi ricostruiti alle sezione di interesse di Piano, è fornita una tabella che riporta il nome della sezione, codice SISS corrispondente, superficie del bacino parziale SISS e totale sotteso dalla sezione, media e scarto dei deflussi generati delle serie riscalate e le sezioni di interesse di piano a monte nel bacino considerato.

3.2.5 Verifiche sulle serie idrologiche generate

Si è ritenuto che le analisi statistiche riportate nel precedente paragrafo, e più ampiamente documentate nell'annesso 1.1 in allegato 2, dovessero necessariamente essere ampliate per verificare le interrelazioni che esistono tra i deflussi generati nelle diverse sezioni di interesse. E' stato precedentemente affermato che la procedura di generazione procede, anno per anno, alla valutazione dei frattili delle distribuzioni probabilistiche corrispondenti ai singoli valori annui nelle serie dei deflussi osservati. La complessità dei sistemi idrici e, quindi, il notevole numero di sezioni d'interesse che l'ampia estensione territoriale dei sistemi idrografici connessi richiede, impongono, infatti, di rispettare la struttura di correlazione spaziale naturale delle serie dati di deflusso nelle sezioni dei diversi bacini idrografici dell'isola. La procedura di re-scaling della serie operata sui frattili osservati consente, in linea di massima, di rispettare questi vincoli di correlazione spaziale. Questo è tuttavia assicurato unicamente con riferimento alla struttura di cross-correlazione osservata nel 53-ennio 1922-75, mentre è da verificare se la medesima struttura non si sia significativamente modificata nel più recente 17-ennio osservato.

Ovviamente, tale verifica può essere condotta unicamente per le nove sezioni di invaso le cui ricostruzioni hanno consentito di estendere la serie osservata dei deflussi fino al 2003. In via semplificata il problema può essere posto nei seguenti termini: è necessario verificare se l'accadimento sistematico e concomitante in tutti i bacini dell'isola di eventi di magra può rendere più grave, su estensioni spaziali estese (scala dei sistemi multi-serbatoio interconnessi), gli eventi siccitosi, rendendo eventualmente vani la possibilità di trasferimenti di risorsa interbacino calibrati su serie con strutture di cross-correlazione meno forti rispetto a quelle osservate recentemente. Sebbene la trattazione completa di questo problema richieda elaborazioni ed analisi complesse che non è stato possibile affrontare compiutamente nel contesto del presente Piano, si è voluto analizzare, in via preliminare, se la struttura di cross-correlazione risulta significativamente modificata nelle serie idrologiche più recenti e, in secondo luogo, verificare le potenzialità di erogazione dei sistemi considerando, in alternativa alla serie del 53-ennio riscalata, le serie ricostruite o generate per il 17-ennio.

In merito al primo punto, nella seguente tabella sono sinteticamente riportate le matrici di cross-correlazione valutate per le 9 sezioni di bilancio sia sul 53ennio SISS che sul 17-ennio 1986-2003. In tabella è anche riportata la correlazione media di ciascuna sezione con le rimanenti sezioni delle quali si dispone la ricostruzione.

La struttura della matrice non evidenzia un aumento della correlazione spaziale media tra le sezioni di invaso considerate in tutta l'isola. Questo risultato può fornire una prima giustificazione per l'adozione del modello del 53-ennio riscalato a rappresentare la criticità dell'ultimo ventennio anche in ambiti territoriali estesi, oltre che per le singole sezioni.

CROSSCORR 17-ENNIO / 53-ENNIO	Rio Bidighinzu a Monte Ozzastru	Rio Mannu di Pattada a Monte Lerno	Liscia a Punta Calamaiu	Fluminimannu a Is Barroccus	Cixerri a Genna Is Abis	Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	Rio Leni a Monti Arbus	Flumendosa a NA + Mulargia	Coghinas a Muzzone - Monte Lerno	MEDIE
Rio Bidighinzu a Monte Ozzastru	1 \ 1	0.29 \ 0.73	0.47 \ 0.65	0.3 \ 0.59	0.08 \ 0.51	0.58 \ 0.37	0.47 \ 0.71	0.23 \ 0.41	0.39 \ 0.73	0.35 \ 0.59
Rio Mannu di Pattada a Monte Lerno	0.29 \ 0.73	1 \ 1	0.64 \ 0.82	0.66 \ 0.6	0.32 \ 0.67	0.45 \ 0.59	0.42 \ 0.78	0.65 \ 0.66	0.83 \ 0.94	0.53 \ 0.72
Liscia a Punta Calamaiu	0.47 \ 0.65	0.64 \ 0.82	1 \ 1	0.58 \ 0.49	0.01 \ 0.61	0.45 \ 0.49	0.29 \ 0.71	0.59 \ 0.63	0.68 \ 0.87	0.46 \ 0.66
Fluminimannu a Is Barroccus	0.3 \ 0.59	0.66 \ 0.6	0.58 \ 0.49	1 \ 1	0.58 \ 0.53	0.65 \ 0.47	0.68 \ 0.64	0.89 \ 0.49	0.81 \ 0.56	0.64 \ 0.55
Cixerri a Genna Is Abis	0.08 \ 0.51	0.32 \ 0.67	0.01 \ 0.61	0.58 \ 0.53	1 \ 1	0.5 \ 0.76	0.79 \ 0.68	0.5 \ 0.58	0.46 \ 0.67	0.41 \ 0.63
Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	0.58 \ 0.37	0.45 \ 0.59	0.45 \ 0.49	0.65 \ 0.47	0.5 \ 0.76	1 \ 1	0.74 \ 0.61	0.7 \ 0.66	0.5 \ 0.64	0.57 \ 0.57
Rio Leni a Monti Arbus	0.47 \ 0.71	0.42 \ 0.78	0.29 \ 0.71	0.68 \ 0.64	0.79 \ 0.68	0.74 \ 0.61	1 \ 1	0.65 \ 0.58	0.65 \ 0.8	0.58 \ 0.69
Flumendosa a NA + Mulargia	0.23 \ 0.41	0.65 \ 0.66	0.59 \ 0.63	0.89 \ 0.49	0.5 \ 0.58	0.7 \ 0.66	0.65 \ 0.58	1 \ 1	0.78 \ 0.7	0.62 \ 0.59
Coghinas a Muzzone - Monte Lerno	0.39 \ 0.73	0.83 \ 0.94	0.68 \ 0.87	0.81 \ 0.56	0.46 \ 0.67	0.5 \ 0.64	0.65 \ 0.8	0.78 \ 0.7	1 \ 1	0.64 \ 0.74
MEDIE	0.35 \ 0.59	0.53 \ 0.72	0.46 \ 0.66	0.64 \ 0.55	0.41 \ 0.63	0.57 \ 0.57	0.58 \ 0.69	0.62 \ 0.59	0.64 \ 0.74	

Tabella: Matrici di cross-correlazione; valore del 17-ennio \ valore del 53-ennio

In merito al secondo punto richiamato precedentemente, riferito alla verifica delle potenzialità di erogazione dei sistemi considerando, in alternativa alla serie del 53-ennio riscalata, le serie ricostruite o generate per il 17-ennio, si è deciso di operare sul sistema Flumendosa-Campidano nel quale ricadono quattro degli invasi per i quali sono stati ricostruiti i bilanci.

Preliminarmente è stata realizzata la ricostruzione dei deflussi anche alle sezioni di interesse non coincidenti con le sezioni di sbarramento per il diciassettenio storico 1986-2003.

Si ricorda che la ricostruzione dei bilanci ai laghi ha consentito di valutare il deflusso mensile ricostruito alle sezioni del Flumendosa a Nuraghe Arrubiu, del Mulargia a Monte Su Rei, del Mannu a Is Barroccus, del Cixerri a Genna Is Abis. Le perplessità circa alcuni valori mensili attribuiti ai deflussi delle predette sezioni, o, ancora, inerenti la quantificazione dei contributi delle sezioni montane, evidenziati in Appendice 2-B, non inficiano la validità generale della procedura di ricostruzione.

Per ricostruire i deflussi alle sezioni non osservate si sono valutati i legami di cross-correlazione fra i deflussi nelle sezioni di interesse e nelle sezioni di bilancio valutata sulla base dei valori ricostruiti nel SISS per 53ennio 1922-1975. La matrice di cross correlazione è riportata nella seguente tabella.

	SISS	Rio Bidighinzu a Monte Ozzastru	Rio Mannu di Pattada a Monte Lerno	Liscia a Punta Calamau	Fluminimannu a Is Barroccus	Cixerri a Genna Is Abis	Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	Rio Lenti a Monti Arbus	Flumendosa a NA + Mulargia	Coghinas a Muzzone - Monte Lerno
		27	37	44	110	111	204	104	352	353
Bau 'e Mela	91	0.304	0.54	0.532	0.248	0.407	0.439	0.348	0.837	0.591
Bau 'e Mandara	74	0.19	0.458	0.503	0.144	0.359	0.394	0.32	0.824	0.523
Sicca d'Erba	73	0.162	0.389	0.493	0.039	0.318	0.328	0.219	0.782	0.455
Flumendosa a Villanovatulo	192	0.411	0.633	0.618	0.387	0.524	0.605	0.536	0.979	0.687
Flumendosa a Nuraghe Arrubiu	82	0.395	0.637	0.619	0.435	0.548	0.634	0.554	0.995	0.687
Rio Mulargia a Monte Su Rei	81	0.319	0.54	0.454	0.768	0.612	0.556	0.538	0.618	0.506
Flumineddu a Capanna Silicheri	83	0.191	0.5	0.523	0.253	0.491	0.607	0.428	0.871	0.553
Forada de s'Acqua a S. Miali	298	0.472	0.611	0.475	0.559	0.628	0.698	0.583	0.563	0.624
Fluminimannu a Casa Fiume	107	0.616	0.716	0.562	0.803	0.679	0.747	0.71	0.634	0.695
Rio Mannu a Monastir	100	0.552	0.759	0.658	0.515	0.718	0.782	0.656	0.778	0.788
Simbirizzi	98	0.155	0.519	0.411	0.261	0.537	0.708	0.366	0.7	0.556
Rio di S. Lucia	112	0.24	0.545	0.513	0.282	0.851	0.773	0.487	0.685	0.595
Fluminimannu a Is Barroccus	110	0.59	0.604	0.486	1	0.529	0.466	0.639	0.495	0.562
Cixerri a Genna Is Abis	111	0.507	0.67	0.606	0.529	1	0.762	0.681	0.582	0.674
Rio Corongiu	96	0.308	0.527	0.47	0.381	0.556	0.656	0.48	0.74	0.558
Fanaris	168	0.417	0.639	0.565	0.542	0.908	0.735	0.624	0.583	0.637
Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	204	0.369	0.593	0.486	0.466	0.762	1	0.615	0.656	0.639
Rio Monti Nieddu a sa Stria	115	0.293	0.544	0.529	0.403	0.706	0.881	0.587	0.61	0.604
Flumendosa a Monte Perdosu	504	0.341	0.629	0.619	0.466	0.591	0.659	0.551	0.982	0.67

Le ombreggiature chiare indicano valori di correlazione compresi fra 0.6 e 0.8, quelle più scure fra 0.8 e 1.0. Le celle con bordo evidente individuano la scelta operata per l'attribuzione della sezione di bilancio utilizzata come riferimento per la ricostruzione del 17-ennio. Si osserva che non sempre la sezione di bilancio risulta quella caratterizzata dal valore di correlazione più elevato; in alcuni casi si è operata una scelta fondata su ulteriori considerazioni che hanno preso in esame la relativa ubicazione delle sezioni e l'affidabilità dei dati utilizzabili nelle ricostruzioni.

In via semplificata, considerata la finalità di queste valutazioni, la ricostruzione dei deflussi annuali alle sezioni non osservate si basa sull'ipotesi di mutuare dalle sezioni di bilancio osservate meglio correlate, o comunque scelte, sia la medesima serie dei frattili annuali della distribuzione probabilistica che la medesima attribuzione di riduzione della media e dello scarto per stimare i parametri del modello lognormale. Con questa procedura sono stati ricostruiti i dati di deflusso annuale del 17ennio 1986-2003 per tutte le sezioni di interesse.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i deflussi annuali ricostruiti alle sezioni di bilancio ai laghi e la serie dei corrispondenti frattili. Compaiono anche le riduzioni di media e scarto,

rispetto al precedente 53ennio 22-75, di cui si è tenuto conto per operare il migliore adattamento della distribuzione teorica con quella osservata. Di seguito sono anche forniti i valori annui ricostruiti nel diciassettenni per le sezioni di interesse

	Rio Bidighinzu a Monte Ozzastru	Rio Mannu di Pattada a Monte Lerno	Liscia a Punta Calamaiu	Fluminimannu a Is Barrocus	Cixerri a Genna Is Abis	Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	Rio Leni a Monti Arbus	Flumendosa NA + Mulargia	Muzzone - Monte lerno
sisss	27	37	44	110	111	204	104	352	353
1986\1987	3.60	21.20	28.09	6.71	69.14	6.24	17.09	226.92	179.63
1987\1988	6.69	23.41	41.03	12.77	110.08	3.24	25.18	211.87	271.78
1988\1989	2.87	4.92	26.37	8.26	12.52	0.67	13.89	159.48	158.91
1989\1990	5.62	7.38	36.38	9.72	42.75	0.58	13.07	179.43	208.35
1990\1991	5.37	49.56	75.29	27.89	91.48	5.17	22.75	321.81	391.54
1991\1992	3.87	62.35	48.78	10.95	41.68	0.88	10.60	227.81	339.30
1992\1993	10.85	24.83	44.38	19.18	63.13	6.41	14.81	268.98	195.83
1993\1994	9.70	36.50	67.04	9.11	13.47	2.83	11.57	200.63	248.77
1994\1995	5.52	14.62	34.58	1.59	4.67	2.67	4.00	56.43	143.47
1995\1996	12.83	50.54	107.03	26.56	42.27	9.67	23.67	528.69	451.68
1996\1997	9.12	27.41	39.34	13.14	91.92	8.09	31.17	286.86	206.39
1997\1998	7.56	23.37	65.51	8.89	43.17	5.54	16.14	139.58	192.91
1998\1999	5.99	21.88	71.71	3.00	13.50	1.37	8.44	114.69	166.33
1999\2000	8.02	17.40	40.06	4.43	20.81	3.59	8.23	106.90	62.85
2000\2001	20.35	38.99	64.46	12.55	57.74	6.96	29.05	173.04	375.66
2001\2002	10.11	10.44	44.89	2.02	8.88	1.35	5.79	39.67	89.08
2002\2003	11.78	45.47	61.36	21.90	54.06	8.71	25.77	312.11	323.27
min	2.87	4.92	26.37	1.59	4.67	0.58	4.00	39.67	62.85
media	8.23	28.25	52.72	11.69	45.96	4.35	16.54	209.11	235.63
max	20.35	62.35	107.03	27.89	110.08	9.67	31.17	528.69	451.68
var	18.33	271.50	432.51	64.20	1020.18	8.92	69.35	13542.53	11822.41
sqm	4.28	16.48	20.80	8.01	31.94	2.99	8.33	116.37	108.73
CV	0.520	0.583	0.394	0.686	0.695	0.686	0.503	0.557	0.461

Deflussi annui ricostruiti alle sezioni di bilancio nel 17-ennio

	Rio Bidighinzu a Monte Ozzastru	Rio Mannu di Pattada a Monte Lerno	Liscia a Punta Calamaiu	Fluminimannu a Is Barroccus	Cixerri a Genna Is Abis	Rio Mannu di Narcao a Bau Pressiu	Rio Leni a Monti Arbus	Flumendosa NA + Mulargia	Muzzone - Monte lerno
N° siss	27	37	44	110	111	204	104	352	353
RID. Media	0.81	0.44	0.51	0.43	0.49	0.66	0.45	0.49	0.52
RID. Scarto	0.90	0.70	0.45	0.70	0.85	0.80	0.70	0.90	0.65
var	18.3	271.5	432.5	64.2	1020.2	8.9	69.3	13542.5	11822.4
med	8.2	28.3	52.7	11.7	46.0	4.4	16.5	209.1	235.6
a	4.7024114	4.2540973	6.0532774	3.7081808	3.666903	3.7045541	4.8438294	4.4317232	5.2392815
b	-4.059082	-5.902263	-10.23362	-3.648676	-5.781805	-2.055308	-5.665187	-10.02355	-12.20912
1	-1.441871	-0.26003	-1.465485	-0.582768	0.9644092	0.8913028	0.3061284	0.4170237	-0.397859
2	-0.17765	-0.076567	-0.469093	0.4530544	1.704972	-0.164838	1.1213498	0.2849454	0.5444614
3	-1.904889	-2.959971	-1.631634	-0.249088	-1.757512	-2.703489	-0.129665	-0.261726	-0.676621
4	-0.531851	-2.208882	-0.785518	0.0131019	0.1987206	-2.942277	-0.257701	-0.034904	-0.060288
5	-0.625521	1.3089185	1.1268426	1.7111477	1.4101741	0.5891868	0.9078013	1.0894419	1.3751421
6	-1.295533	1.7330492	-0.013989	0.2054012	0.1584148	-2.263344	-0.697983	0.4245308	1.049322
7	0.8105179	0.0321033	-0.262849	1.1082225	0.8195493	0.9337427	0.0053502	0.7443002	-0.201304
8	0.5803753	0.7438824	0.8216063	-0.091086	-1.640903	-0.381315	-0.514582	0.1800278	0.3431763
9	-0.569724	-0.946464	-0.918747	-2.902243	-3.328719	-0.47659	-2.748385	-2.261462	-0.909166
10	1.1519902	1.3451666	2.0515102	1.6328101	0.1806461	1.5958111	0.9915505	2.0449201	1.700287
11	0.4546916	0.2147415	-0.579406	0.4994192	1.4178205	1.3091704	1.5702193	0.8681329	-0.081782
12	0.0721755	-0.079856	0.761131	-0.129684	0.21416	0.6998488	0.1859524	-0.518291	-0.235564
13	-0.403951	-0.201572	0.9985408	-1.880183	-1.636613	-1.548355	-1.177644	-0.896306	-0.57286
14	0.1936591	-0.624846	-0.531769	-1.250053	-0.947919	-0.000332	-1.232169	-1.031686	-2.787414
15	2.0938776	0.8658064	0.7184328	0.425508	0.6773538	1.0657688	1.4216813	-0.104708	1.2809675
16	0.6657715	-1.568612	-0.232404	-2.520095	-2.303437	-1.568007	-1.969812	-2.93966	-1.993712
17	0.978638	1.1498598	0.5889967	1.3219558	0.5725531	1.4278444	1.169929	1.0305155	0.9391806

Riduzione dei parametri di modello e frattili annuali delle sezioni di bilancio

media 53 SEZ RICOSTR	55.29	12.65	43.09	320.16	388.90	34.91	102.52	0.18	78.71	53.18	0.66	12.15	27.19	105.29
scarto 53 SEZ RICOSTR	21.80	5.57	21.98	104.97	131.38	16.36	50.99	0.10	38.45	28.47	0.37	5.04	12.88	45.05
RID. Media	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
RID. Scarto	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
a'	4.0735882	3.7145459	3.2936373	4.7873393	4.6616904	3.5259893	3.3609442	3.0580996	3.4098193	3.171145	3.0639079	3.8996202	3.4946616	3.801595
b'	-5.403699	-2.496224	-3.89141	-10.09345	-10.20951	-3.891025	-5.250153	3.6971447	-4.945127	-4.00981	1.9979003	-2.582169	-3.471604	-6.067243
n° siss sez bilancio	352	352	352	352	352	352	352	110	110	352	352	111	110	111
N° ord sez ricostruita	159	147	146	163	150	149	151	211	198	191	183	232	201	212
	Bau 'e Meia	Bau 'e Mandara	Sicca u'Erba	Flumendosa a Villanovatulo	Flumendosa a Nuraghe Arrubiu	Rio Mulargia a Monte Su Rei	Flumineddu a Capanna S'icherri	Forada de s'Acqua a S. Miali	Fluminimannu a Casa Fiume	Rio Mannu a Monastir	Simbirizzi	Rio di S. Lucia	Fluminimannu a Is Barroccus	Cixerri a Genna Is Abis
N° SISS sez ricostruita	91	74	73	192	82	81	83	298	107	100	98	112	110	111
1	26.85	6.09	20.33	156.85	190.35	16.66	48.55	0.04	19.03	24.89	0.30	8.12	6.71	70.74
2	24.92	5.61	18.54	147.19	178.32	15.29	44.35	0.09	38.29	22.61	0.28	12.57	13.28	110.78
3	18.29	4.00	12.65	113.16	136.13	10.70	30.50	0.05	23.83	15.20	0.18	1.63	8.36	13.60
4	20.79	4.60	14.82	126.20	152.26	12.41	35.62	0.06	28.45	17.93	0.22	5.17	9.93	44.49
5	39.26	9.23	32.53	216.74	265.33	25.85	76.96	0.22	89.56	40.55	0.51	10.56	30.41	92.66
6	26.96	6.11	20.44	157.41	191.05	16.75	48.80	0.07	32.40	25.02	0.31	5.04	11.28	43.42
7	32.30	7.45	25.55	183.58	223.74	20.64	60.75	0.14	59.60	31.56	0.39	7.45	20.44	64.80
8	23.48	5.25	17.22	139.95	169.32	14.28	41.27	0.06	26.52	20.95	0.26	1.74	9.28	14.60
9	5.91	1.16	3.13	43.25	50.70	2.90	7.75	0.01	3.97	3.56	0.04	0.64	1.46	5.25
10	67.38	16.69	63.44	343.17	425.36	48.25	148.10	0.21	84.94	81.16	1.04	5.11	28.88	44.00
11	34.64	8.05	27.87	194.85	237.86	22.37	66.13	0.09	39.51	34.53	0.43	10.61	13.69	93.10
12	15.82	3.41	10.57	100.02	119.92	9.05	25.58	0.06	25.84	12.62	0.15	5.21	9.04	44.91
13	12.78	2.70	8.12	83.39	99.50	7.07	19.74	0.02	7.92	9.59	0.11	1.75	2.85	14.64
14	11.84	2.48	7.38	78.14	93.06	6.47	17.99	0.02	12.12	8.69	0.10	2.62	4.32	22.21
15	19.99	4.40	14.12	122.04	147.10	11.85	33.96	0.09	37.59	17.04	0.21	6.85	13.04	59.45
16	4.03	0.76	1.95	31.21	36.26	1.86	4.87	0.01	5.14	2.18	0.02	1.18	1.87	9.77
17	37.97	8.90	31.22	210.68	257.72	24.88	73.91	0.17	68.86	38.85	0.48	6.44	23.53	55.79
min	4.03	0.76	1.95	31.21	36.26	1.86	4.87	0.01	3.97	2.18	0.02	0.64	1.46	5.25
media	24.89	5.70	19.40	143.99	174.94	15.72	46.17	0.08	35.50	23.94	0.30	5.45	12.26	47.31
max	67.38	16.69	63.44	343.17	425.36	48.25	148.10	0.22	89.56	81.16	1.04	12.57	30.41	110.78
var	226.40	14.26	211.38	5531.14	8593.49	120.61	1147.60	0.00	684.47	348.18	0.06	13.09	78.21	1023.55
sqm	15.05	3.78	14.54	74.37	92.70	10.98	33.88	0.07	26.16	18.66	0.24	3.62	8.84	31.99
CV	0.604	0.663	0.749	0.517	0.530	0.699	0.734	0.809	0.737	0.780	0.808	0.663	0.722	0.676

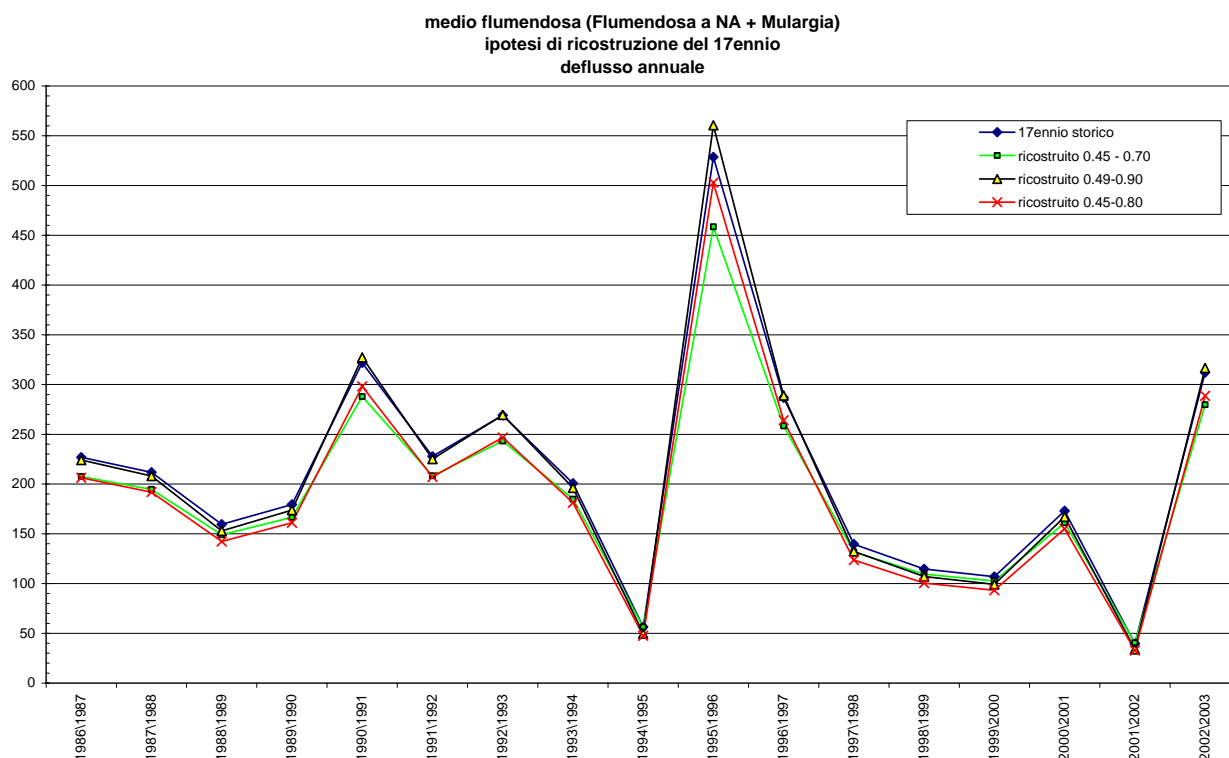
Ricostruzione dei deflussi annuali nel 17-ennio alle sezioni d'interesse

Utilizzando la procedura di ricostruzione anche per la sezione che cumula i deflussi in ingresso ai laghi del Mulargia e del Medio Flumendosa è possibile determinare le seguenti serie dei deflussi annuali nel 17-ennio 1986-2003:

- a)- Valori storici ricostruiti sulla base dei bilanci ai laghi.
- b)- Valori generati riscaldando i parametri del 53-ennio 0.45 (media) e 0.70 (scarto)
- c)- “ “ “ “ “ “ 0.49 “ 0.90 “
- d)- “ “ “ “ “ “ 0.45 “ 0.80 “

Le serie c) sono quelle che per il sistema Mulargia-Flumendosa forniscono il migliore adattamento del modello ai valori osservati; le serie b) e d) sono quelle medie regionali adottate nel PSDRI e nel presente Piano.

Il grafico che segue fornisce una comparazione fra le serie dei valori annuali osservati e generati nelle diverse ipotesi. Risulta evidente come il modello adottato fornisce sui valori minimi annuali un buon adattamento rispetto alle serie osservate mentre sui valori massimi determina una cautelativa riduzione nella stima del deflusso.



3.2.6 Verifiche sulle possibilità di erogazione

Una successiva verifica sulle serie generate ri-scalando il 53-ennio storico è stata realizzata esaminando la possibilità di erogazione dei sistemi multi-settoriali che consegue all'adozione di tali serie e la comparazione con quella che viene determinata utilizzando le serie più recenti del 17-ennio 1986-2003. Come nel paragrafo precedente, per la definizione del diciassettennio è stata considerata la ricostruzione dei deflussi sulla base dei bilanci agli invasi.

Per realizzare questa verifica è stato sempre preso in esame lo schema multi-settoriale del Flumendosa-Campidano semplificato in alcune sue interconnessioni rispetto alle alternative considerate nelle seguenti parti della relazione di Piano. Lo schema è rappresentato nella figura della pagina seguente. Per chiarezza si riporta la corrispondenza tra simbologia ed elementi di sistema, mentre si rimanda alle successive parti della relazione di Piano per la descrizione degli ulteriori elementi necessari per la simulazione.

DIGHE

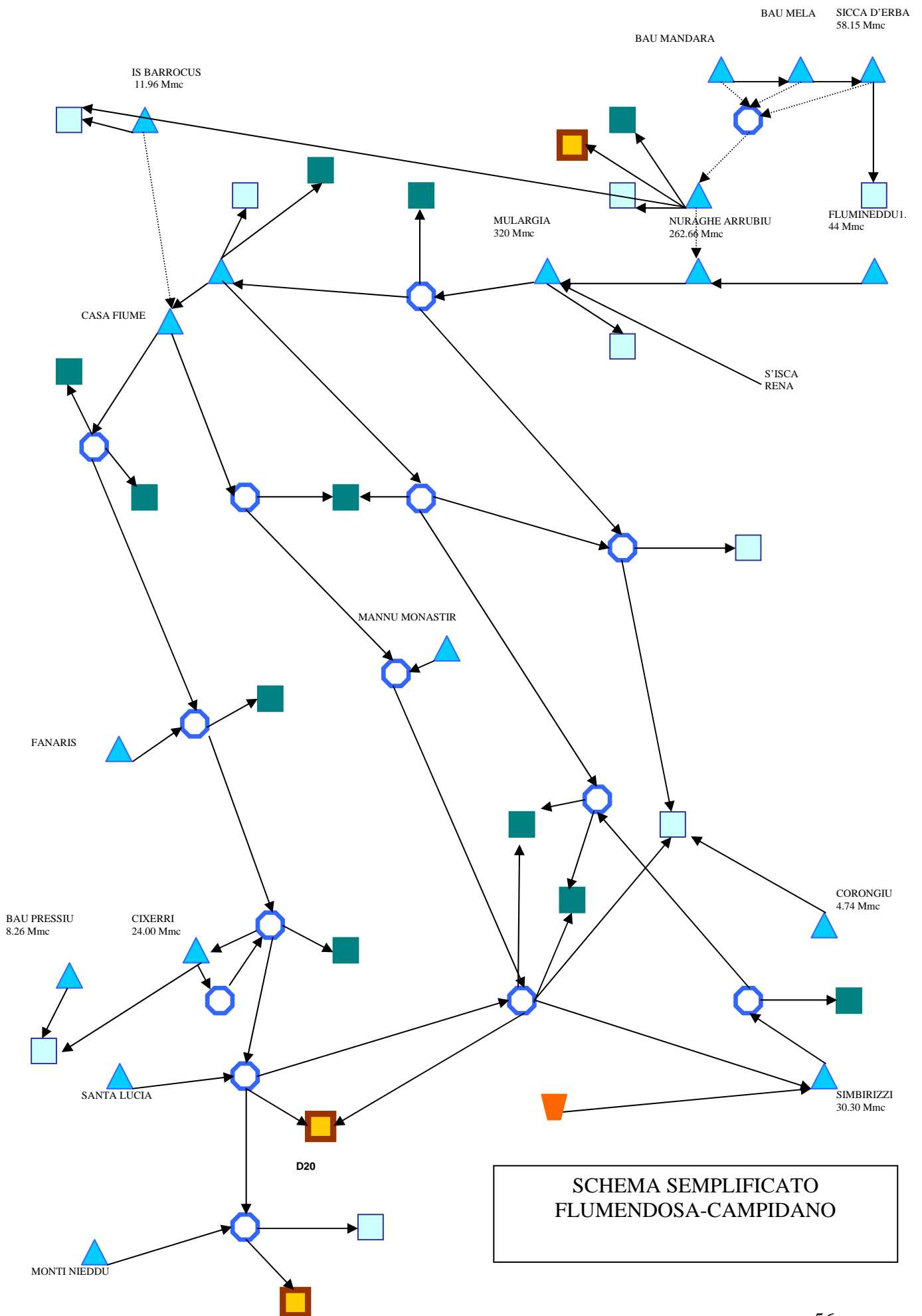
S1 -Sicca d'Erba
S2 -Flumineddu C.S
S3 -Nuraghe Arrubiu
S4 -Mulargia
S5 -Sa Forada
S6 -Mannu Is Barroccus
S7 -Simbirizzi
S8 -Cixerri
S9 -Mannu Bau Pressiu
S10 -Corongiu

TRAVERSE

T1 -Bau 'e Mela
T2 -Bau e' Mandara
T3 -Villanovatulo
T4 -Mannu a Casa Fiume
T5 -Mannu a Monastir
T6 -Fanaris
T7 -Rio di S.Lucia
T8 -Monti Nieddu
T9 -S'isca Rena

UTENZE

D3 -POT 2° salto
D4 -IRR Isili
D6 -POT Orroli
D7 -IRR Trexenta
D8 -IRR Serrenti
D9 -POT S.Miali
D10 -POT Is Barroccus
D11 -IRR S.Gavino
D12 -IRR Serramanna
D13 -POT Donori
D14 -IRR Leni
D15 -IRR Elmas-S.Sperate
D16 -POT
D17 -IRR Quartu
D18 -IRR Uta
D19 -POT Bau Pressiu
D20 -IND Casic Macchiareddu
D21 -IND Casic Sarroch
D22 -POT Gerrei
D23 -POT Sarroch
D24 -IRR S.Gavino
D25 -IRR Elmas-S.Sperate



La simulazione del sistema è stata effettuata con passo mensile. I dati di deflusso mensile sono stati valutati per le sezioni di interesse non osservate utilizzando la medesima ripartizione del dato annuale presente nella sezione di bilancio di riferimento.

La comparazione delle possibilità di erogazione è stata realizzata prendendo in esame tre scenari idrologici:

- 53-ennio riscalato: è la serie idrologica generata partendo dal 53-ennio storico 1922-75 riscaldando i parametri del modello lognormale (0.45 – 0.70) secondo le procedure illustrate nei paragrafi precedenti. Questo scenario è quello adottato nel presente Piano come serie idrologica di riferimento.
- 17-ennio storico: è la serie idrologica ricostruita per il periodo 1986-2003 utilizzando i dati SISS fino al 1992 e, successivamente a tale data, i dati di bilancio agli invasi secondo la procedura illustrata nel paragrafo precedente.
- 17-ennio ricostruito: la serie idrologica alle sezioni di interesse è stata ricostruita utilizzando il modello lognormale con parametri valutati come per il 53-ennio (0.45 – 0.70) ma utilizzando i frattili dei deflussi annuali del 17-ennio calcolati sulla base dei valori osservati alle sezioni di bilancio.

La simulazione è stata realizzata con il modello WARGI-SIM utilizzato per tutti gli schemi multisettoriali. La procedura prevede l'attribuzione di maggiore priorità alle utenze potabile ed industriale rispetto quella irrigua. Non sono ammessi deficit e l'erogazione irrigua viene ridotta in modo da potersi mantenere costante in tutto l'orizzonte temporale.

I risultati ottenuti, sintetizzati nella tabella delle pagine seguenti, evidenziano una leggera riduzione dell'erogazione media quando si passa dal 53-ennio ai 17-enni. In aliquota il livello di soddisfacimento dell'utenza irrigua passa dal 76% a circa il 72%. Tale ultima aliquota si mantiene pressoché costante considerando sia il 17-ennio storico, sia quello ricostruito col modello.

La motivazione di questa differenza di erogazione può essere trovata esaminando l'andamento dei deflussi minimi cumulati dati nella figura seguente. Si nota come per una durata quinquennale, circa pari al periodo di regolazione mediamente operato dal sistema, i deflussi minimi cumulati del 17-ennio risultano inferiori rispetto a quelli del 53-ennio.

Per tenere in considerazione la criticità delle serie su orizzonti temporali omogenei, una ulteriore simulazione per valutare la possibilità di erogazione del sistema è stata, quindi, fatta considerando all'interno del 53-ennio (0.45 – 0.70) il 17-ennio più critico. In questa situazione, la possibilità di erogazione ottenibile nei 17 anni più critici del 53-ennio si riduce a 0.73%, risultando circa coincidente con quella ottenuta con i dati storici e ricostruiti del periodo 1986-2003.

E' infine da notare che questa leggera differenza di erogazione si accompagna ad una inversione, tra le due serie, nei deflussi medi che li caratterizzano: a fronte di un deflusso medio di 365 Mmc/anno del 17-ennio più critico della serie di 53 anni, si ha un deflusso medio di circa 470 Mmc/anno del 17ennio storico. Questa apparente discrasia trova giustificazione dal fatto che, come già evidenziato, nel periodo più breve di regolazione i

deflussi del diciassettenio storico risultano più critici. Motivazione di tale riduzione dei deflussi nel breve periodo può essere presumibilmente individuata nella procedura semplificata di ricostruzione del diciassettenio storico. Come già detto, nel modello di ricostruzione dei deflussi alle sezioni di interesse non coincidenti con sezioni di vaso, anno per anno si è dovuta definire il frattile del modello lognormale. L'attribuzione del medesimo frattile della sezione di vaso più correlata ha sicuramente aumentato la possibilità di accadimento di criticità elevate in abiti territoriali estesi. Evidentemente questa è una carenza modellistica che può essere eventualmente sanata facendo ricorso a procedure di generazione dei deflussi nell'ultimo periodo che tengano conto in maniera più corretta della struttura di cross-correlazione delle variabili nelle diverse sezioni.

Tabella: Sintesi delle erogazioni ottenute nelle simulazioni

17-ennio storico

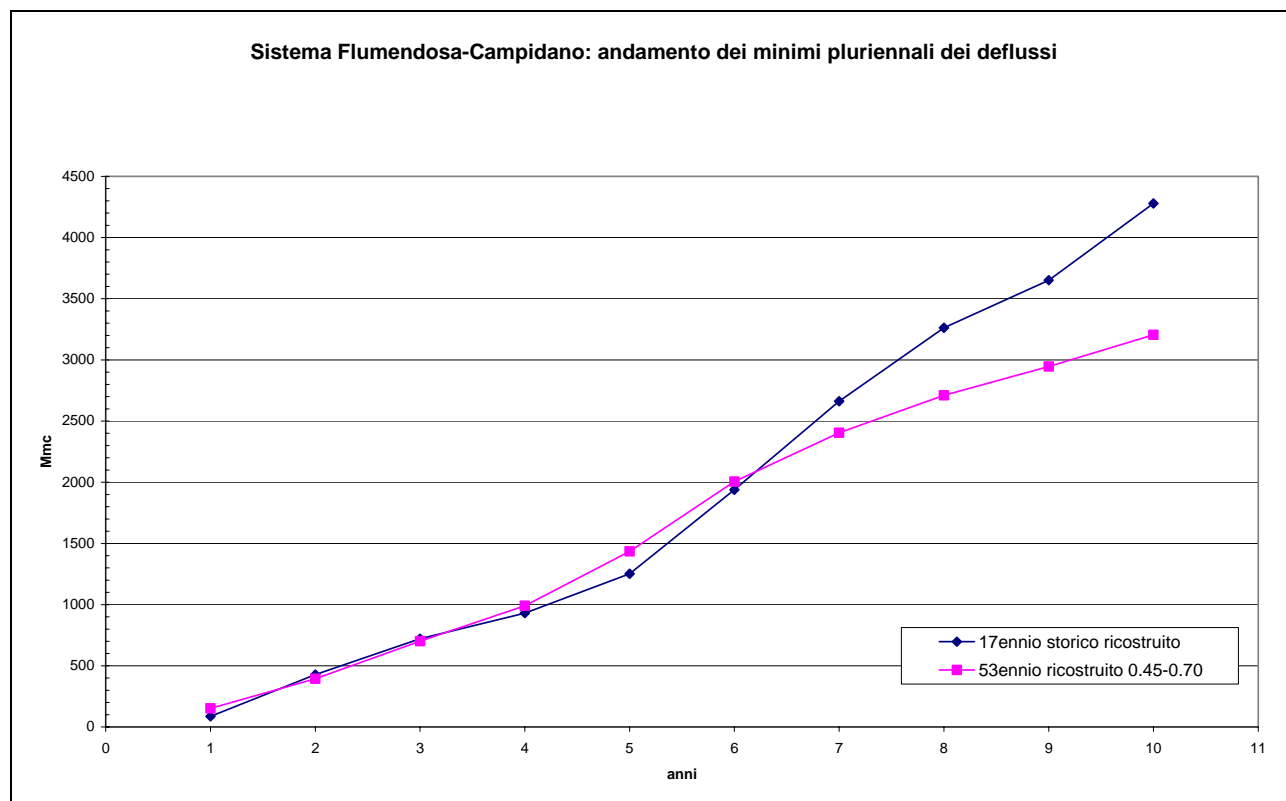
Utenze	POT	IRR	IND
Fabbisogni (Mmc/anno)	100	235.8	20
Erogazioni (Mmc/anno)	100	168.6	20
Livello soddisf. (%)	100%	71.5%	100%

17ennio (0.45 - 0.70)

Utenze	POT	IRR	IND
Fabbisogni (Mmc/anno)	100	235.8	20
Erogazioni (Mmc/anno)	100	169.8	20
Livello soddisf. (%)	100%	72.0%	100%

53ennio (0.45 - 0.70)

Utenze	POT	IRR	IND
Fabbisogni (Mmc/anno)	100	235.8	20
Erogazioni (Mmc/anno)	100	179.2	20
Livello soddisf. (%)	100%	76.0%	100%



3.3 UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SUPERFICIALI: POSSIBILITA' DI DERIVAZIONE DALLE TRAVERSE E POTENZIALITA' DI EROGAZIONE DAI NUOVI INVASI

3.3.1 Premesse

In questo capitolo della relazione sulle risorse idriche superficiali si vogliono esaminare due aspetti di fondamentale importanza per la definizione delle possibilità di utilizzazione della risorsa idrica superficiale: *l'analisi delle possibilità di erogazione delle singole opere di invaso di nuova realizzazione e la verifica delle possibilità di trasferimento ipotizzate per le traverse.*

In questo capitolo saranno in particolare studiati gli aspetti legati alla utilizzazione di 10 nuovi invasi già inseriti nella Schema unico regionale della prima fase del Piano Stralcio Direttore e le relative traverse collegate.

Gli invasi considerati in specifico sono stati pertanto i seguenti:

1. S33 – Monti Nieddu
2. S38 – Monte Perdosu
3. S44 – Foddeddu
4. S47 – Mogoro
5. S45 – Allusia
6. S43 – Mannu di Cuglieri
7. S39 – Cumbinadou
8. S40 – Posada ad Abba Lughente
9. S42 – San Simone
10. S46 – Badu Crabolu

Nella Figura 1 sono riportati gli schemi degli invasi che prevedono il trasferimento da traverse direttamente collegate. Nell'annesso 1.1 in allegato 3-A sono date le caratteristiche degli invasi considerati.

L'idrologia adottata è quella del 53-ennio ri-scalato considerata nella prima fase del PSDRI; nelle tabelle dell'allegato 3-A nell'annesso 1.1 sono indicati il nome del file di input idrologico del data-base, il deflusso medio annuo corrispondente e la capacità adottata nel modello di simulazione. A titolo di verifica, nell'annesso 1.1 in allegato 3-A sono anche forniti i parametri della curva invaso-superfici secondo la procedura che prevede il passaggio di tale curva per l'origine degli assi e per il punto H_{max} , V_{max} , S_{max} . Tale punto della curva di invaso è ugualmente riportato in tabella. Nell'annesso 1.1 in allegato 3-A sono inoltre fornite le altezze di evaporazione annua considerate per l'invaso, utilizzando la ripartizione mensile già adottata nel PSDRI, e l'elenco delle traverse direttamente collegate, riscontrabili in Figura 1.

La seconda tabella nell'annesso 1.1 in allegato 3-A fornisce per le traverse allacciate il deflusso medio annuo (input idrologico alla sezione di interesse considerata) e la capacità di trasferimento, espressa come portata massima convogliabile dall'opera di derivazione dalla traversa. Nella stessa tabella sono anche riportati sinteticamente i valori medi dei deflussi

derivati utilizzando 5 procedure, indicate come metodo di stima A, B, C, D ed E. Per la descrizione di queste procedure si rimanda al paragrafo 3.3.3.

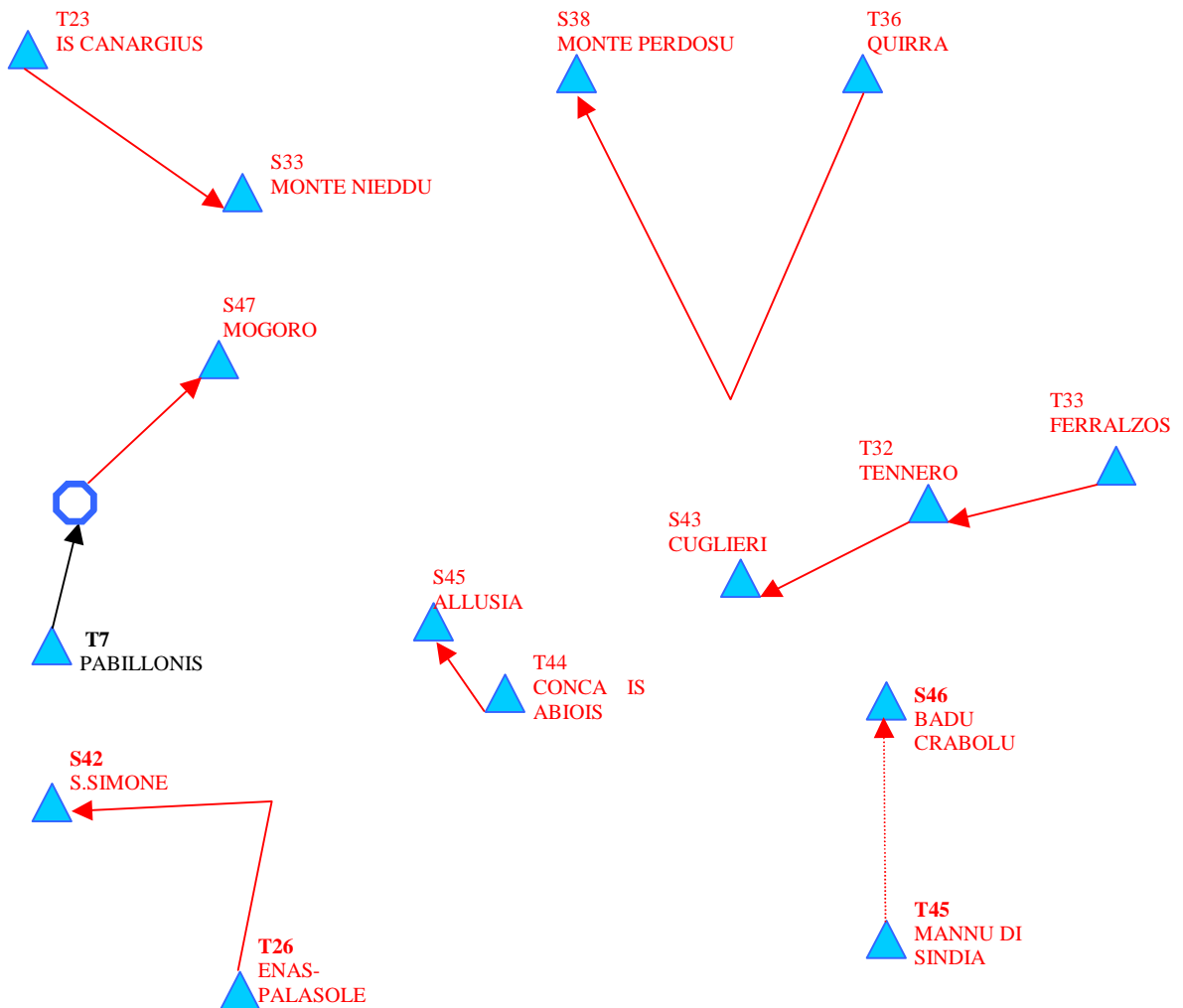


Figura 1: Schemi funzionali dei collegamenti traverse-invasi

L'ultima tipologia di tabella data nell'annesso 1.1 in allegato 3-A riporta il programma di erogazione attribuito al serbatoio. In questa fase si è deciso di adottare un programma che preveda per tutti gli invasi una ripartizione che assegna il 30% per i settori potabile-industriale ed il 70% per l'irriguo. La prima aliquota è stata ripartita uniformemente in tutti i mesi, la seconda aliquota secondo il programma di richiesta adottato nel Piano. Queste ultime ipotesi potranno essere modificate sulla base di ulteriori elementi conoscitivi per gli specifici invasi.

Nell'annesso 1.1 in allegato 3-B sono forniti i risultati ottenuti come stima delle possibilità di erogazione dei nuovi invasi. Nelle tabelle è individuato l'afflusso totale medio annuo al serbatoio, tenendo conto delle derivazioni dalle traverse allacciate stimate con i diversi metodi considerati. Con riferimento ad aliquote crescenti di sfruttamento della risorsa, espressa come rapporto tra erogazione ed afflusso totale medio annuo, in tabella sono quindi indicate le capacità di regolazione necessarie, stimate secondo la procedura che sarà descritta nel prossimo paragrafo. Sono quindi forniti gli andamenti grafici delle possibilità di erogazione al variare del volume di regolazione dell'invaso.

Nell'annesso 1.1 in allegato 3-C è sviluppata l'analisi di sensitività sulle portate di derivazione dalle traverse stimando la variazione del volume mediamente trasferito al variare della portata di progetto della derivazione.

Infine, nell'annesso 1.1 in allegato 3-D sono forniti i risultati delle ulteriori elaborazioni per la individuazione di una metodologia di riferimento per la valutazione delle portate trasferibili dalle traverse.

Di seguito sono illustrate le procedure di calcolo adottate.

3.3.2 Determinazione delle possibilità di erogazione

La curva di possibilità di erogazione per i nuovi invasi è stata determinata valutando la capacità necessaria per il soddisfacimento completo della domanda, suddivisa tra le utenze secondo un prefissato programma di erogazione. A tal fine è stata utilizzata la procedura di “*sequent peak analyses*” (Thomas ed al., 1963; Loucks ed al. 1992; Sechi, 1997) modificata per tener conto delle perdite per evaporazione dallo specchio liquido.

In sintesi, adottando un valore di erogazione annua UA uguale ad un'aliquota α , compresa tra 0 ed 1, dell'afflusso medio annuo QA al serbatoio, (comprensivo, ovviamente, sia dell'input idrologico dal bacino proprio sia dei trasferimenti di risorsa in arrivo da altri invasi o opere di derivazione) è stata determinata la capacità di regolazione che rende ammissibile l'erogazione.

Le erogazioni nei singoli mesi, si possono scrivere:

$$U(t) = \alpha \beta(t) QA \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Il vettore $\beta(t)$ è ciclico, con periodo di ciclicità τ pari ad un anno e rappresenta il programma di erogazione adottato. Indichiamo con $Q(t)$ la somma degli input di risorsa al serbatoio, comprensivi sia dell'apporto idrologico del bacino proprio, sia dei trasferimenti dalle traverse:

$$Q(t) = A(t) + T(t) \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

e con $R(t)$ gli output dal serbatoio, che contengono sia le erogazioni verso le utenze che eventuali rilasci programmati.

$$R(t) = U(t) + D(t) \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

Indichiamo quindi con $k(t)$ lo svuotamento dell'invaso nel periodo t . Ipotizzando condizioni iniziali di invaso pieno, che implica $k(0)=0$, la capacità condizionata K' risulta:

$$K' = \max_{t=1, T} \left\{ k(t) = \max \left[0, \left(R(t) - Q(t) + k(t-1) \right) \right] \right\} \quad (4)$$

La capacità K si otterrà da una seconda applicazione della (4) imponendo $k(0) = k(T)$. Pertanto in $k(t)$ saranno memorizzati gli *svuotamenti* dell'invaso conseguenti agli input ed output che avvengono al trascorrere del tempo. Il *massimo svuotamento* determinato dalla sequenza sopra definita e' uguale alla capacità K necessaria per effettuare la regolazione dei deflussi.

La valutazione della capacità necessaria considerando anche la perdita per evaporazione $E(t)$ dal lago viene effettuata con una procedura per successive approssimazioni basata sulla conoscenza della relazione che lega le superfici con i volumi di invaso e sulla attribuzione al periodo t di un'altezza di evaporazione $e(t)$, stimata sulla base delle caratteristiche medie climatiche della zona.

In definitiva la perdita per evaporazione si può scrivere:

$$E(t) = S(t) e(t) = f(V(t)) e(t) \quad (5)$$

e dipende unicamente dallo stato d'invaso, essendo la $e(t)$ un vettore ciclico predeterminato. Per esplicitare la relazione volumi-superfici, si è seguita la procedura adottata nel Piano d'Ambito assumendo la seguente forma della curva delle superfici di invasio:

$$S = S_{\max} \cdot \left(\frac{h}{H_{\max}} \right)^n \quad (6)$$

Per integrazione della equazione differenziale $dV = S \cdot dh$ si ricava l'espressione della curva d'invasio:

$$V = \frac{S_{\max}}{(n+1) \cdot H_{\max}^n} \cdot h^{n+1} \quad (7)$$

Per la stima dei parametri si assume implicitamente che sia: $H_{\min}=0$; $S_{\min}=0$; $V_{\min}=0$. I dati da fornire per ciascun invasio sono: H_{\max} ; S_{\max} ; V_{\max} .

Esplicitando h dalla (7) e sostituendo nella curva delle superfici di invasio si ottiene:

$$S = \left[\frac{S_{\max}^{1/n} \cdot (n+1)}{H_{\max}} \cdot V \right]^{\frac{n}{n+1}} \quad (8)$$

Ponendo:

$$a = \left[\frac{S_{\max}^{1/n} \cdot (n+1)}{H_{\max}} \right]^{\frac{n}{n+1}} ; \quad b = \frac{n}{n+1} \quad (9)$$

la (8) diventa:

$$S = a \cdot V^b \quad (10)$$

I parametri a e b sono i dati da fornire nella procedura di stima della possibilità di erogazione.

La $E(t)$, stimata con la (5) tramite la (10), viene quindi inserita come elemento in output dal serbatoio nella espressione (4) che fornisce la capacità K .

3.3.3 Valutazione del volume derivabile dalle traverse

Nella applicazione della procedura illustrata nel paragrafo precedente è necessario determinare preliminarmente l'entità del volume $T(t)$ derivabile mensilmente dalle traverse direttamente connesse al serbatoio.

A tal fine sono state considerate differenti procedure che nelle tabelle degli allegati sono indicati come metodi A, B, C, D ed E.

Le prime tre fanno sostanzialmente riferimento alla pubblicazione *Saba e Deriu (1998)* nella quale, con specifico riferimento ai bacini della Sardegna, si è sintetizzata la curva delle durate relative ad un generico mese i -esimo mediante l'espressione:

$$q(t) = \bar{q}(i) \frac{e^{-t/k}}{k(1 - e^{-1/k})} \quad (11)$$

nella quale $t \in [0,1]$ rappresenta la frazione di mese durante la quale la portata risulta maggiore o uguale a q , mentre $\bar{q}(i)$ è la portata media del mese stesso. Nella espressione (11) compare un unico parametro, la costante di decadimento k .

Indicando con R_d il rapporto di derivazione:

$$R_d = \frac{q_{\max}}{\bar{q}(i)} \quad (12)$$

ossia il rapporto tra la portata massima derivabile e la portata media del mese i -esimo, il rapporto V_d tra il volume derivabile ed il volume defluito nel mese:

$$V_d = \frac{T(i)}{A(i)} \quad (13)$$

può essere determinato dalle seguenti relazioni:

- Se $R_d < \frac{e^{-1/k}}{k(1 - e^{-1/k})} \rightarrow V_d = R_d \quad (14a)$

- Se $R_d > \frac{1}{k(1 - e^{-1/k})} \rightarrow V_d = 1 \quad (14b)$

- Altrimenti risulta: $V_d = 1 - \frac{1}{1 - e^{-1/k}} + R_d k \left\{ 1 - \ln \left[R_d k (1 - e^{-1/k}) \right] \right\} \quad (14c)$

Mediante questo approccio il legame tra il volume derivabile, espresso adimensionalmente tramite V_d , e la portata massima derivabile, espressa anch'essa adimensionalmente tramite R_d , viene interpretato attraverso l'introduzione di una variabile aleatoria k per la quale dovrà essere assunta una distribuzione probabilistica di riferimento.

La soluzione proposta in (*Saba e Deriu, 1998*), prevede l'adozione per tutti i bacini della Sardegna, e per qualunque mese considerato, di una curva delle durate di forma esponenziale

negativa la cui costante di tempo k abbia una distribuzione di probabilità lognormale con media e scarto pari rispettivamente a -0.348 e 0.368 .

Le curve di possibilità di derivazione, proposte in funzione della probabilità di non superamento, valide per qualunque bacino della Sardegna, sono riportate nella Figura 2.

La procedura con la quale sono tracciate le curve richiede, ovviamente, la stima preliminare del valore di k come frattile associato nella distribuzione lognormale, con media e varianza precedentemente definita, ai diversi livelli di probabilità di non superamento.

In particolare risulta:

$$\begin{aligned} P\{0.5\} &\rightarrow k = 0.4487 \\ P\{0.1\} &\rightarrow k = 0.1515 \end{aligned}$$

Nella Figura 2 è anche riportata la curva media della possibilità di derivazione, questa valutata non sulla base dell'approccio probabilistico ma sulla base dei valori mediamente derivabili.

Il volume mediamente derivabile è dato dalla seguente espressione approssimata:

$$T(i) = A(i) \left(1 - \frac{1}{0.85 + \left(0.48 + \left(\frac{2.592 q_{\max}}{A(i)} \right)^{1.05} \right)^{2.43}} \right) \quad (15)$$

L'espressione (15), nota la serie storica dei deflussi mensili $A(i)$ espressi in Mm^3 , fornisce direttamente i corrispondenti volumi derivati $T(i)$, espressi anch'essi in Mm^3 , in funzione della portata massima derivabile q_{\max} espressa in m^3/s .

Sulla base di quanto sopra esposto, i primi tre metodi utilizzati per la stima delle possibilità di derivazione dalle traverse fanno riferimento alle seguenti ipotesi:

- Metodo A → equazioni (14) con $k=0.4487$ che corrisponde ad una probabilità di non superamento $P\{0.5\}$.
- Metodo B → equazioni (14) con $k=0.1515$ che corrisponde ad una probabilità di non superamento $P\{0.1\}$.
- Metodo C → equazione (15) per la valutazione del volume mediamente derivabile.

Oltre questi primi tre metodi si è fatto, ovviamente, riferimento alla procedura implementata nel modello di simulazione del PSDRI, che peraltro risulta essere la procedura normalmente utilizzata dall'EAF per la stima delle possibilità di derivazione dalle traverse. Questa sarà di seguito indicata come "Metodo D".

Anche questa procedura fa riferimento ad una curva delle durate nel generico mese di tipo esponenziale negativo e lega la portata massima nel mese con quella media con la seguente espressione:

$$q_{\max} = \bar{q} \frac{1}{(1 - e^{-b})/b} \quad (16)$$

al coefficiente b viene attribuito il valore 7.59.

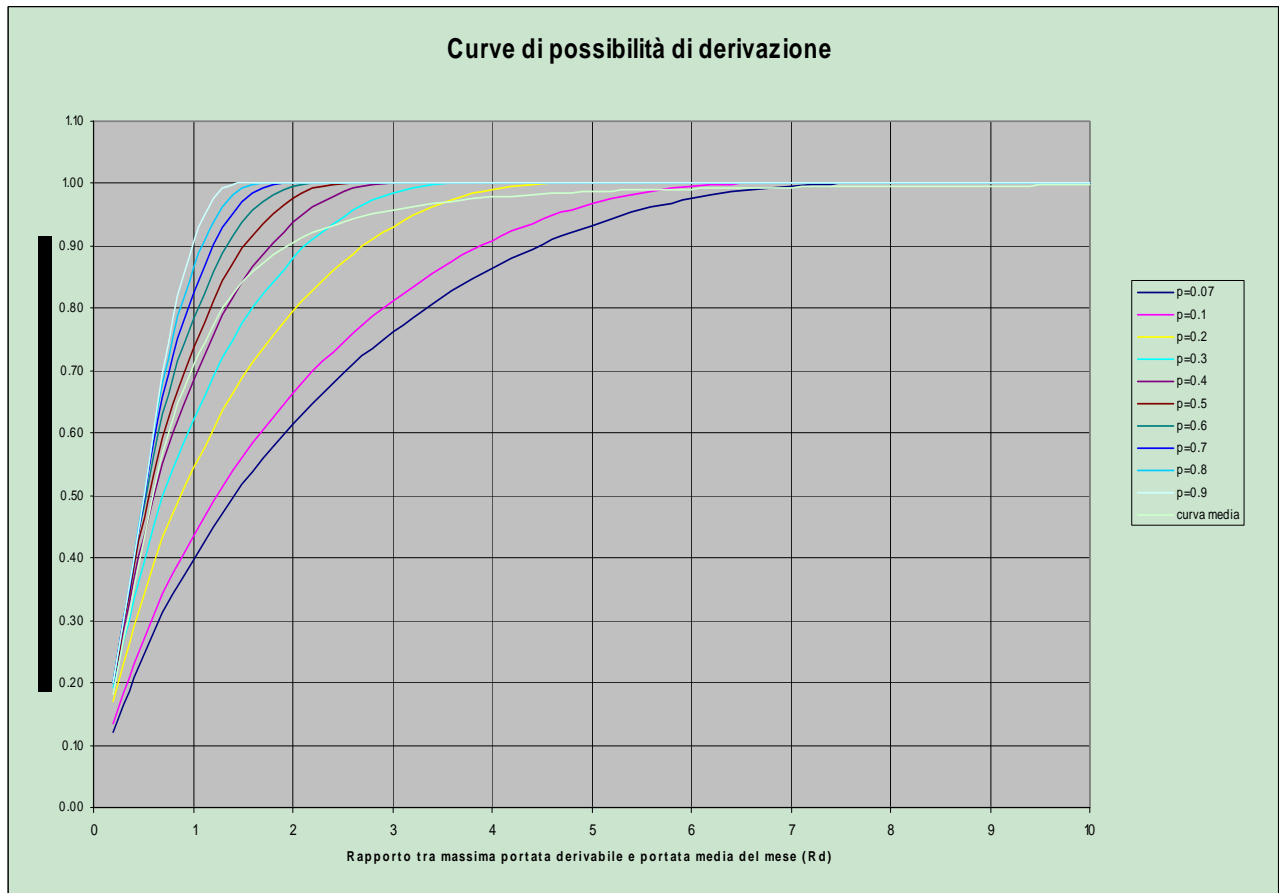


Figura 2 : Curva di possibilità di derivazione proposte per i bacini della Sardegna in funzione della probabilità di non superamento e curva media.

Questa procedura prevede l'integrazione per valori finiti del volume derivabile. La scansione della curva delle durate avviene con passo di 2.4 ore in quanto ciascuno giorno del mese viene suddiviso in 10 intervalli temporali. Per un generico intervallo t -esimo, la portata corrispondente:

$$q(t) = \bar{q}(i) \frac{e^{-bt}}{(1 - e^{-b})/b} \quad (17)$$

è confrontata con la portata massima derivabile q_{\max} .

Nel periodo t sarà integralmente derivato il volume $VD(t) = q(t) \Delta t$ nel caso in cui risulti $q_{max} \geq q(t)$, ovvero il volume $VD(t) = q_{max} \Delta t$ nel caso in cui risulti $q_{max} < q(t)$.

Il volume totale derivabile nel mese i -esimo risulta ovviamente: $T(i) = \sum_{t=1, N} VD(t)$.

Risulta, inoltre, immediato verificare che al valore $b=7.59$ corrisponde $k = 1/b = 0.1317$ e che questo valore del frattile nella distribuzione lognormale corrisponde ad una probabilità di non superamento pari a 0.07 .

A titolo di verifica, il “Metodo E” prevede la rivalutazione del volume derivabile nel caso in cui nelle espressioni (14) si ponga tale valore di k . Le differenze che compaiono nell’annesso 1.1 in allegato 3-A nei valori del deflusso medio derivato con i due metodi D ed E sono essenzialmente dovute alle approssimazioni che intervengono nella integrazione dei volumi quando effettuata per differenze finite. Tali differenze sono, in ogni caso, limitate e nell’annesso 1.1 in allegato 3-B sono riportati i soli valori ottenuti con il Metodo D.

E’ ancora da sottolineare che l’approccio relativo al “Metodo D”, ossia quello utilizzato dall’EAF e considerato nel PSDRI, seppure abbia origine da elaborazioni sui dati di un numero limitato di stazioni di misura, ha preso in esame la relazione tra le portate medie mensili e le portate istantanee al colmo nel determinare l’andamento della curva delle durate nel mese. Le elaborazioni sviluppate nella memoria *Saba-Deriu (1998)* hanno invece considerato le relazioni che, su base dati molto più ampia, legano le portate giornaliere con il deflusso medio nel mese. Pertanto, ulteriore elemento da considerare nelle valutazioni della possibilità di derivazione sarebbe quello della capacità di regolazione che compete alla traversa che, seppure limitata, potrebbe consentire di operare un trasferimento nel tempo, dei deflussi. La possibilità di utilizzare una relazione tra portate al colmo e portate giornaliere, del tipo ad esempio di quella proposta in (*Sechi, 1993*) per i bacini della Sardegna, esprimibile come:

$$q_c = 3.02 q_g^{0.9684} S^{-0.0316} \quad (18)$$

non sembra tuttavia, in questo contesto, adeguata per trattare il problema in quanto, innanzitutto, si presta a fornire i legami tra le grandezze in condizioni di eventi di piena significativi. In secondo luogo, l’eventuale differenza tra i metodi di stima dei volumi derivabili considerando le relazioni tra q_{max} e portate giornaliere, ovvero tra q_{max} e le portate istantanee, sembra legata più che agli eventi di piena intensi, durante i quali sicuramente la portata derivabile sarà pari a quella massima trasferibile q_{max} , a quelle situazioni nelle quali la portata giornaliera risulta prossima a q_{max} . In tale situazione una eventuale, anche piccola, capacità di regolazione consente di derivare più di quello che la portata istantanea evidenzerebbe come ammissibile.

In definitiva si ritiene che la stima della possibilità di derivazione individuata con la procedura che associa le probabilità $P\{0.1\}$ e $P\{0.07\}$ (quest’ultimo caso coincidente con il metodo EAF già precedentemente adottato) possa considerarsi come estremamente cautelativa nell’ipotizzare l’accadimento del non superamento dell’evento considerato. Il valore del volume derivabile che si ottiene col Metodo C, ossia il valore dato dalla curva media di derivazione (15), può essere associato a quelle traverse che evidenziano una capacità di regolazione dei deflussi significativa.

In particolare, la capacità dovrà essere messa in relazione con l'andamento dei deflussi in situazioni che possono consentire la derivazione completa di un volume giornaliero corrispondente alla portata massima derivabile q_{max} .

Indicando con Δt il numero di secondi nel mese, un volume di regolazione della traversa di $VT = q_{max} \Delta t$ consente di poter ipotizzare il trasferimento dell'intero volume giornaliero anche nella situazione limite di un input istantaneo. Un andamento più realistico dei deflussi che, in una situazione di morbida, considera una variazione lineare dell'input idrologico nel giorno ed una media delle portate pari a q_{max} , consente, evidentemente, di ipotizzare il completo trasferimento dei deflussi se è assicurata una capacità di regolazione pari a:

$$VT = \frac{1}{2} q_{max} \Delta t / 2 = \frac{1}{4} q_{max} \Delta t .$$

Nel caso in cui il giorno sia interessato da un evento di piena, si può considerare la relazione tra q_g e q_c espressa dalla (18). Ipotizzando, a titolo di esempio, un bacino sotteso dalla sezione della traversa di 100 km^2 , si ottiene: $q_c/q_g \approx 2.61$. Ipotizzando, inoltre, un idrogramma di piena di forma triangolare e considerando il caso limite che il volume della piena sia, nel giorno, pari al volume massimo derivabile, il volume di regolazione necessario per consentire la completa regolazione risulta:

$$VT = (1.61/2.61)^2 q_{max} \Delta t = 0.38 q_{max} \Delta t \quad (19)$$

Sulla base di queste prime elaborazioni si ritiene, pertanto, che con un volume di regolazione della traversa pari a circa $\frac{1}{4} q_{max} \Delta t$ sia ipotizzabile l'uso della relazione (15) per la stima del volume mediamente derivabile dalla traversa.

3.3.4 Prime analisi dei risultati sulle possibilità di erogazione

Nell'annesso 1.1 in allegato 3-B sono dati, in forma di tabella e grafica, le curve di possibilità di erogazione dei nuovi dieci invasi già inseriti nello Schema unico regionale del PSDRI, già citati in premessa. L'andamento delle curve di possibilità di erogazione è quello usuale che vede il susseguirsi di andamenti pressoché rettilinei quando l'incremento di erogazione non introduce ulteriori aggregazioni nella definizione del periodo critico di riferimento per il calcolo della capacità.

Le curve sono valutate con i quattro metodi precedentemente illustrati per la definizione della possibilità di derivazione dalle traverse direttamente allacciate. Ovviamente, per gli invasi del Rio Foddeddu a Corongiu (S44), Rio di Orgosolo a Cumbidanovu (S39), Rio Posada ad Abba Lughente (S40) e Rio Badu Crabolu (S46) le possibilità di erogazione restano comunque uguali in quanto, allo stato attuale, non sono ipotizzate traverse allacciate.

Negli altri invasi, in alcuni casi le differenze tra le possibilità di erogazione stimate sono pressoché trascurabili, come nel caso del Rio di Monti Nieddu a Sa Stria (S33) e del Rio Mannu di Cuglieri a S.Marco (S43).

Per i rimanenti invasi, le differenze riscontrate sono più significative. In particolare Monte Perdosu (S38), Mogoro (S47) e San Simone (S42) evidenziano scostamenti significativi anche nelle zone non estreme superiori, come invece accade per la possibilità di erogazione dell'Araxisi ad Allusia (S45).

In particolare per questi ultimi invasi risulta, pertanto, necessario definire una procedura di riferimento per la stima del volume derivabile dalle traverse e può essere significativo effettuare una analisi di sensitività sul valore di portata massima derivabile q_{max} attribuita che, si ricorda, in questa fase è stata assunta uguale al valore già considerato nel PSDRI.

Per i risultati di tale analisi di sensitività si rimanda a quanto riportato nell'annesso 1.1 in allegato 3-C nel quale sono forniti i valori ottenuti per i volumi mediamente derivabili, con riferimento ai diversi metodi di stima precedentemente individuati, ed alle variazioni delle curve di possibilità di erogazione. I valori considerati per la portata massima di derivazione q_{max} sono stati assunti pari al doppio ed alla metà del valore adottato nel PSDRI.

Infine si vuole evidenziare come la capacità attribuita a questi dieci nuovi invasi nel PSDRI (indicata nella Tabella A) risulti in corrispondenza di un livello di regolazione, espresso come rapporto tra erogazione e deflusso medio annuo (leggibile in prima colonna dell'annesso 1.1 in allegato 3-B), in genere sufficientemente cautelativo e normalmente compreso in un intervallo del livello di regolazione compreso tra 0.3 e 0.4 .

Si ricorda che i risultati qui consegnati dovranno essere messi in relazione con i costi e benefici conseguenti alle realizzazioni delle opere esaminate in modo da definirne il dimensionamento ottimale degli invasi.

3.3.5 Ulteriori elaborazioni per la stima dei volumi derivabili dalle traverse

Come accennato precedentemente, la metodologia proposta nella memoria *Saba e Deriu (1998)* presenta due aspetti che hanno richiesto un maggiore approfondimento:

- tutte le valutazioni erano state basate sulla disponibilità di serie storiche di portate medie giornaliere osservate, da cui sono stati determinati i volumi storicamente derivabili nelle diverse configurazioni analizzate;
- inoltre, non si teneva conto della capacità di regolazione di cui dispone, generalmente, la traversa di intercettazione dei deflussi.

Sovrastima dei volumi derivabili con portate medie giornaliere

Il possibile effetto del primo problema sopra richiamato è quello di aver sovrastimato il volume storicamente derivabile per il fatto che ad una portata media giornaliera misurata può corrispondere un idrogramma che, per alcune frazioni della giornata, può presentare portate ben maggiori della media giornaliera, eventualmente maggiori della portata massima derivabile.

Per riconoscere l'effetto di questa sovrastima, si è fatto ricorso ad una diversa base dati idrometrografica, basata sulla digitalizzazione degli idrogrammi con discretizzazione oraria.

La base dati di cui si dispone è costituita da tracciati di durata settimanale, la cui raccolta era stata finalizzata alla caratterizzazione degli idrogrammi di piena. In quell'ottica, per ogni mese fu digitalizzato soltanto l'idrogramma settimanale che conteneva, per ogni mese, il valore della portata massima. Solo in un secondo tempo, in una fase di ulteriore digitalizzazione dei tracciati, si decise di acquisire l'intera sequenza dei tracciati idrometrografici disponibili, coprendo anche interi mesi.

Poiché la ricostruzione dei volumi derivabili è caratterizzata soprattutto dalle portate medio-basse del corso d'acqua, sono stati presi in considerazione, per questa analisi, soltanto i casi in cui la copertura temporale degli idrogrammi digitalizzati copriva interi mesi.

Questo è stato possibile per un totale di 688 mesi, variamente ripartiti tra stazioni, anni e mesi.

La serie di dati è estremamente frammentaria ed eterogenea, e tuttavia essa è stata utilizzata per evincere il rapporto esistente tra il volume derivabile valutato con gli idrogrammi registrati con base oraria e il volume derivabile basato sulle portate medie giornaliere.

Tale rapporto, sempre maggiore o pari all'unità, è stato calcolato in diverse condizioni, ed in particolare considerando per ogni bacino portate massime derivabili pari a 0.1, 0.3, 1, 3 e 10 volte la portata media del corso d'acqua.

Il dettaglio del confronto è riportato sinteticamente nel seguente grafico:

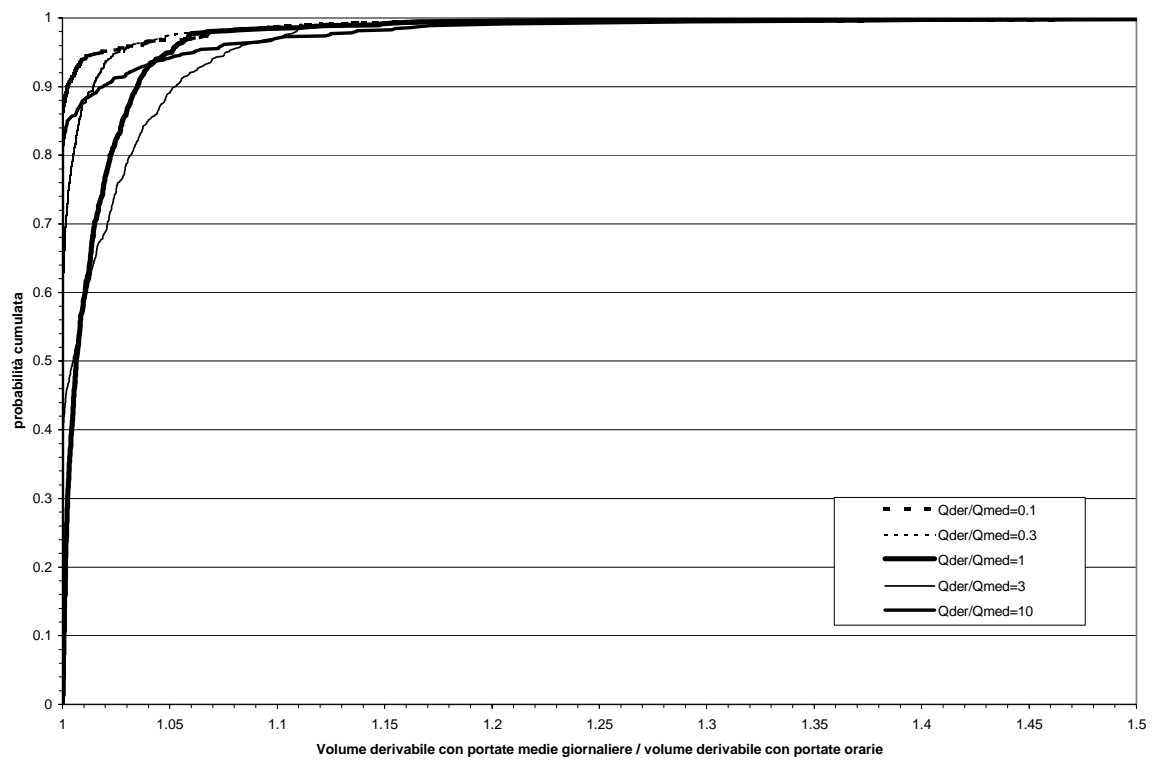


Figura 3

da esso emerge che il volume derivabile calcolato con le medie giornaliere risulta, in più del 90% dei casi, sovrastimato di meno del 5%. La sovrastima media è fornita dal seguente grafico:

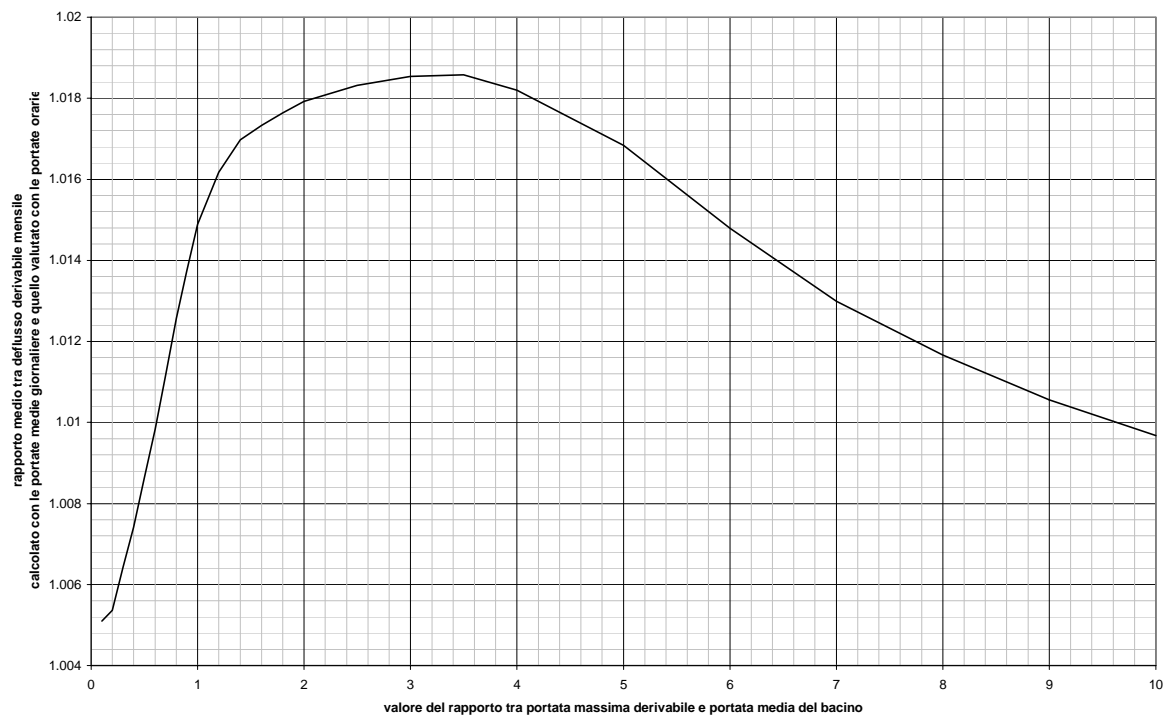


Figura 4

In definitiva, la sovrastima indotta dall'aver valutato le portate medie giornaliere sembra di entità trascurabile.

Effetto della capacità di regolazione della traversa

La presenza di una capacità di regolazione dell'opera di presa porta ad un miglioramento delle potenziale di derivazione.

Per valutare questo effetto sono stati utilizzati innanzitutto gli idrogrammi orari considerati nell'analisi precedente.

La presenza di una capacità di regolazione è stata messa in conto considerando come parametro il rapporto tra la capacità ed il volume derivabile con la portata massima derivabile in un giorno.

Il maggior volume derivabile in presenza di capacità di regolazione è stato quindi attribuito convenzionalmente ad un incremento del valore della costante di esaurimento k della curva delle durate.

In particolare, per diverse capacità di regolazione si sono ottenuti i valori di k riportati nel grafico seguente:

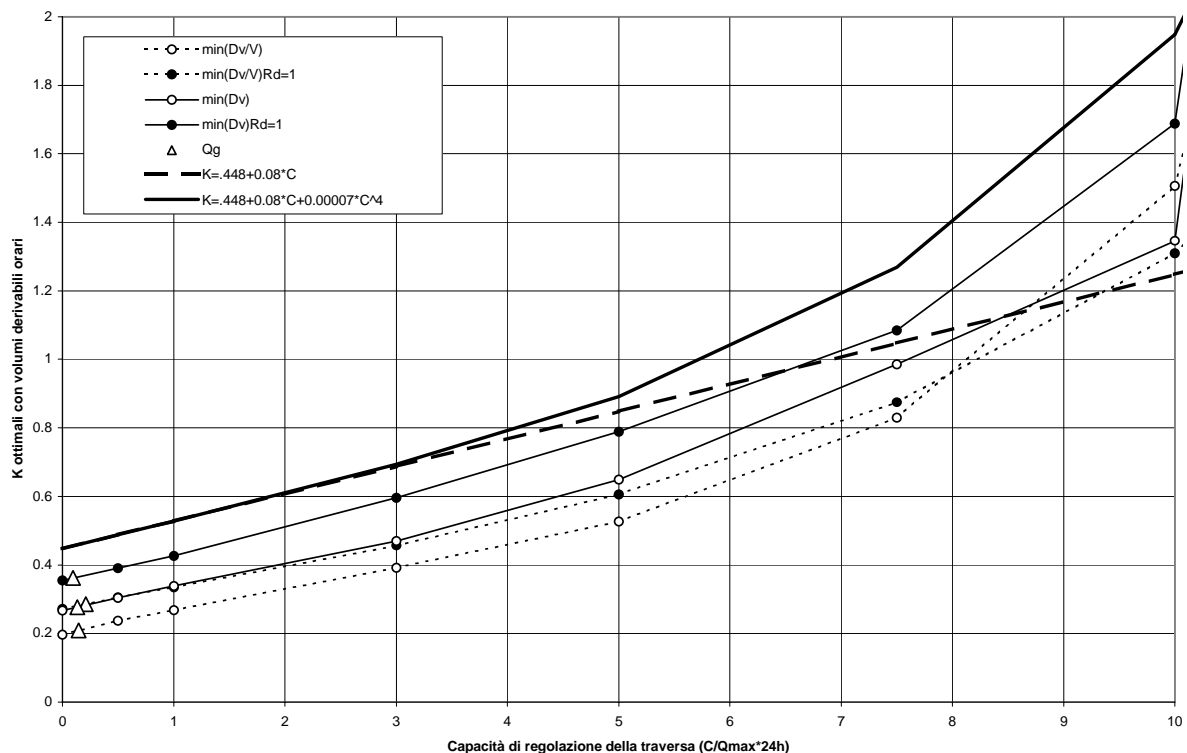


Figura 5

Sono riportati diversi metodi per la stima di k . Considerato il fatto che la base dati è eterogenea e che un confronto probabilistico tra i volumi derivabili in mesi e stazioni diverse non è facilmente rapportabile ad uno schema probabilistico standard, si è preferito effettuare

la stima di k in modo da minimizzare lo scarto tra il volume derivabile con la espressione (15) e quello desunto dalle osservazioni.

L'eterogeneità dei dati ha suggerito di avvalersi di diversi indicatori, quali:

- la somma delle differenze al quadrato tra i volumi derivabili per valori di portata massima derivabile pari a 0.1, 0.3, 1, 3 e 10 volte la portata media del corso d'acqua; (nel grafico **min(Dv)**)
- la somma delle differenze al quadrato tra i volumi derivabili per valori di portata massima derivabile pari a 1 volta la portata media del corso d'acqua; (nel grafico **min(Dv)Rd=1**)
- la somma dei rapporti tra le differenze al quadrato tra i volumi derivabili rapportate al volume effettivamente derivabile per valori di portata massima derivabile pari a 0.1, 0.3, 1, 3 e 10 volte la portata media del corso d'acqua; (nel grafico **min(Dv/V)**)
- la somma dei rapporti tra le differenze al quadrato tra i volumi derivabili rapportate al volume effettivamente derivabile per valori di portata massima derivabile pari a 1 volta la portata media del corso d'acqua; (nel grafico **min(Dv/V)Rd=1**)

Inoltre, si è determinato il valore di k_g che persegue lo stesso obiettivo con i volumi derivabili calcolati considerando le portate medie giornaliere degli stessi mesi, riportando nel grafico, per ogni curva, il valore della capacità di regolazione adimensionalizzata C cui corrisponde il valore di k_g lungo la linea dei k orari corrispondenti (nel grafico sono i triangolini **Qg**). Questo valore è risultato, nelle varie ottimizzazioni, pari a 0.25, ritrovando quindi il valore ipotizzato nel paragrafo precedente sulla base di analisi qualitative.

Nei diversi casi la capacità di regolazione ha un effetto che può essere messo in conto in prima approssimazione con un incremento di k pari a circa $0.08 C$, e per valori molto elevati di capacità con un ulteriore incremento di $0.00007 C^4$.

Verifica del modello proposto

Per verificare l'effetto del modello proposto sono stati considerati a titolo esemplificativo i seguenti tre bacini osservati:

<i>SO 7 Tirso a Rifornitore</i>	(sup. 578 km ²)
<i>SO 10 Araxisi a Orto Sciavico</i>	(sup. 122 km ²)
<i>SO 19 Coghinas a Muzzone</i>	(sup. 1889 km ²)

Per ognuno sono state considerate 3 portate massime derivabili pari rispettivamente al 30%, 100% e 300% della portata media derivabile.

Sono stati riportati inoltre, oltre ai 4 modelli A, B, C e D già descritti, altri 5 modelli denominati $K1$, $K2$, $K3$, $K4$ e $K5$ caratterizzati dall'aver per $C=0$ i valori di k pari ai frattili rispettivamente di 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 e 0.50, e di crescere con la capacità di regolazione C con un coefficiente pari a $0.08 C$.

I risultati sono riportati nelle Tabelle consegnate nell'annesso 1.1 in allegato 3-D.

Dall'esame delle Tabelle riportate, considerando una capacità di regolazione C pari a 0, si può riassumere quanto segue:

- i metodi B e D forniscono sottostime dei volumi derivabili pari in media al 30-40%, e solo in qualche anno particolare la sottostima si annulla;
- il metodo C ed il metodo A forniscono risultati simili, leggermente migliori per il metodo C che a parità di errore medio fornisce scarti inferiori sui singoli anni;
- tra i metodi $K1$... $K5$ le differenze sono contenute ($K5$ è identico per definizione al metodo A), e l'errore minimo lo si commette considerando il frattile del 50%, se si escludono alcuni casi particolari di sovrastima su singoli anni, comunque quasi mai superiori al 10%.

Considerando, invece, la capacità di regolazione C , si considera quanto segue:

- per il metodo C , che non è legato ad un determinato valore di k , non è stata messa punto alcuna modalità di correzione, e quindi non è utilizzabile;
- i metodi A, B e D non sono stati corretti con la capacità C e quindi offrono sottostime del volume derivabile crescenti col valore di C ;
- tutti i metodi $K1$, $K2$, $K3$, $K4$ e $K5$ offrono errori medi contenuti e costanti al variare della capacità C , segno che l'incremento di $0.08 C$ da apportare a k risulta particolarmente attendibile;
- la scelta del valore del frattile può essere portata, come nel caso precedente, a valori del 50% (*modello K5*) che continua a fornire, per tutte le situazioni nel loro complesso, i minimi scostamenti medi.

In definitiva, per considerare la sovrastima indotta dall'aver considerato le portate medie giornaliere, si propone di ridurre il valore di k che deriva dal metodo A, ovvero $K5$, del valore di $0.08 * 0.25$, giungendo quindi, in definitiva alla seguente valutazione del parametro k :

$$k = 0.448 - 0.02 + 0.08 C \quad (20)$$

in cui 0.448 è il valore relativo al frattile del 50%, 0.02 la correzione della sovrastima dovuta alla mediazione delle portate giornaliere, e $0.08 C$ l'incremento di derivabilità legato alla presenza di una capacità di regolazione pari a C volte il volume derivabile in un giorno con la portata massima derivabile.

3.6 Possibilità di erogazione degli invasi inseriti negli schemi multi-settoriali

Le elaborazioni contenute nei precedenti paragrafi realizzano la stima delle potenzialità di erogazione dei nuovi invasi senza considerare l'interconnessione che gli stessi hanno con la configurazione preesistente degli schemi multi-settoriali. E' tuttavia evidente che, almeno quando si considera una capacità d'invaso limitata, la possibilità di erogazione dalla nuova opera di invaso sarà maggiore quando la stessa è inserita in un contesto di opere di regolazione preesistenti. All'aumentare della dimensione del nuovo invaso potranno invece intervenire limitazioni che derivano, in particolare, dalla configurazione delle opere di trasferimento e delle interconnessioni nel sistema preesistente .

In via teorica, se la nuova opera non determina variazioni nell'idrologia associata alle opere di invaso preesistenti ed in assenza di vincoli sulle possibilità di trasferimento dalla nuova opera di invaso verso i centri di domanda, il confronto tra la possibilità d'erogazione dell'invaso studiato singolarmente, ovvero inserito nello schema multi-settoriale, dovrebbe fornire per quest'ultima situazione una possibilità di erogazione sempre superiore che tende a raccordarsi con la prima situazione per i valori più elevati di capacità nel nuovo invaso.

Sono state effettuate alcune analisi preliminari per valutare come si modifica la curva di erogazione dei nuovi invasi, quando siano inseriti negli schemi multi-settoriali preesistenti, prendendo come sistema campione lo schema Tirso ed esaminando l'incremento di erogazione determinato dal nuovo invaso sul rio Mannu di Cuglieri a San Marco (S43). Per semplificare le analisi, in questa fase esplorativa non sono stati inseriti i contributi di deflusso conseguenti alle derivazioni dalle traverse di Ferralzos (T32) e di Tennero (T33).

In una prima fase, dallo schema concettuale esaminato fin'ora, che considera la nuova opera d'invaso collegata direttamente al centro di domanda, si è passati ad uno schema che, in modo estremamente semplificato, considera l'interconnessione al sistema esistente. A tal fine si è considerata la domanda di tutto il sistema concentrata un unico centro che viene approvvigionato dall'invaso di Cantoniera Tirso (S15), maggiore opera di regolazione preesistente, e dal nuovo invaso sul Mannu di Cuglieri (S43). La Figura 6 riporta questo schema semplificato. La Figura 7 riporta l'andamento delle curve di possibilità di erogazione ottenuto per questo schema concettuale semplificato di tutto il sistema Tirso.

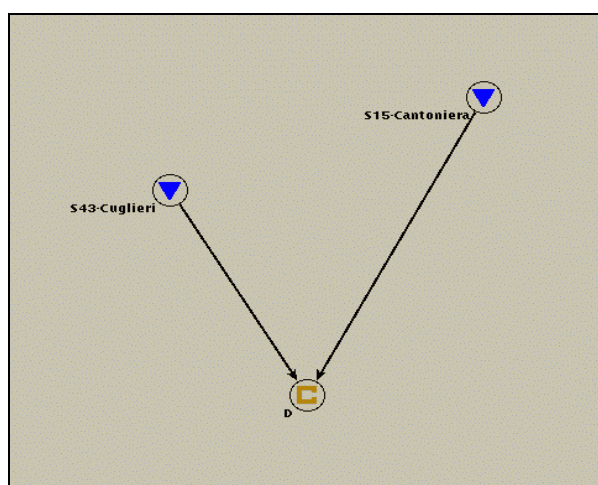


Figura 6: Schema semplificato per la valutazione delle possibilità d'erogazione da (S43)

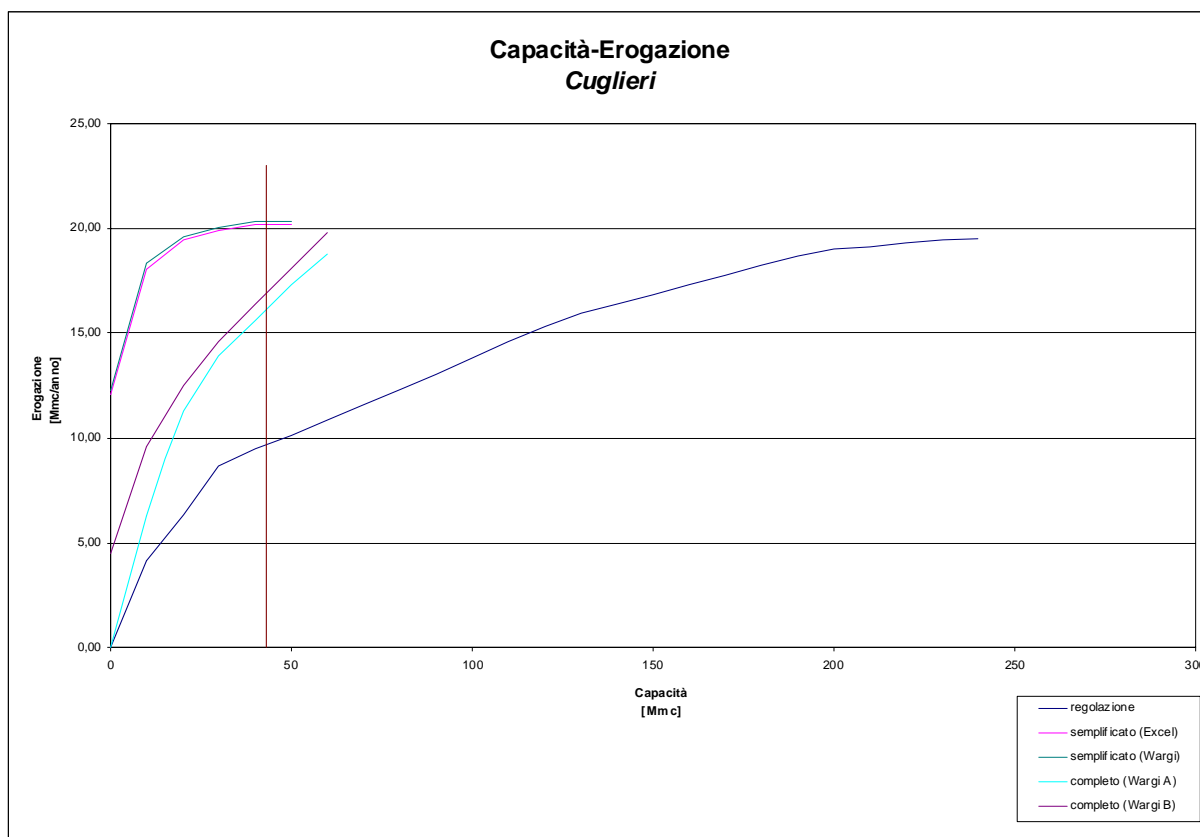


Figura 7: Curve di possibilità di erogazione dal nuovo invaso sul Mannu di Cuglieri (S43)

E' evidente dalla figura come l'ottimizzazione della gestione di questo schema concettuale semplificato fornisca possibilità di erogazione molto maggiori rispetto a quelle ottenute per il singolo invaso. A fronte di un unico centro di domanda, la regola gestionale adottata prevede la possibilità di erogazione da un grande invaso preesistente, quello di Cantoniera Tirso, oltre che dal nuovo invaso del Mannu di Cuglieri e consente di realizzare una consistente erogazione media annua anche con capacità nulla di quest'ultimo invaso, che in pratica viene utilizzato come traversa di derivazione. Nella Figura 7 sono, ovviamente, riportati gli incrementi di erogazione ottenuti rispetto ad una situazione antecedente (riferibile alla configurazione di scheda 0 del PSDRI relativa allo stato di fatto) nella quale sia presente il solo invaso di Cantoniera e siano imposti i rispettivi vincoli di invaso. Per questo schema la curva di incremento della potenzialità di erogazione parte da un volume annuo di $12.26 \text{ Mm}^3/\text{anno}$ e raggiunge già con capacità di 40 Mm^3 la massima erogazione annua, di poco superiore ai $20 \text{ Mm}^3/\text{anno}$. Nella figura sono riportati gli andamenti, pressoché coincidenti, ottenuti con un'elaborazione semplificata, sviluppata con foglio elettronico, ed i risultati ottenuti col software SIMFLU abbinato con l'interfaccia grafica WARGI, che di seguito sarà denominato WARGI-SIM.

Appare tuttavia evidente che questo schema concettuale molto semplificato fornisce risultati eccessivamente ottimistici rispetto alle reali possibilità di erogazione dei nuovi invasi. Sempre con riferimento all'invaso del Mannu di Cuglieri si è quindi considerato lo schema completo del Tirso nel quale si è ipotizzato di inserire, contestualmente al nuovo invaso, anche un

nuovo centro di domanda direttamente connesso al nuovo invaso. Lo schema visualizzato con l'interfaccia grafica di WARGI-SIM è dato in Figura 8.

A questo schema, denominato in Figura 7 come "schema completo", sono stati associati diverse ipotesi gestionali. In particolare nella Figura 7 sono illustrati i risultati ottenuti considerando il nuovo centro di domanda approvvigionato unicamente dal nuovo invaso, che può peraltro alimentare anche i centri di domanda preesistenti (curva WARGI - A).

L'incremento di erogazione è stato anche calcolato considerando la nuova domanda collegata sia al serbatoio di Cuglieri che a quello di Cantoniera (curva WARGI - B). La lista di priorità delle risorse vede il serbatoio di Cuglieri in testa per la nuova utenza ed in coda per tutte le utenze dell'Oristanese, che attingono prima da Cantoniera, Pranu Antoni e S. Vittoria. La distribuzione mensile della richiesta è calcolata come media pesata della distribuzione delle utenze realmente presenti nel sistema a valle di Cantoniera: utenze di tipo irriguo ed una utenza civile che rappresenta la possibilità di erogazione del sistema Tirso verso il sistema del Flumendosa. In corrispondenza di capacità nulla per Cuglieri, la possibilità di derivazione è calcolata assimilando il serbatoio ad una traversa con coefficiente $k=0.132$, in analogia a quanto già fatto nel PSDRI.

E' evidente dalla Figura 7 come queste due curve (WARGI - A e B) si pongano in una situazione intermedia, tra la curva di regolazione del singolo invaso e le curve relative allo schema semplificato, nel fornire la possibilità di erogazione.

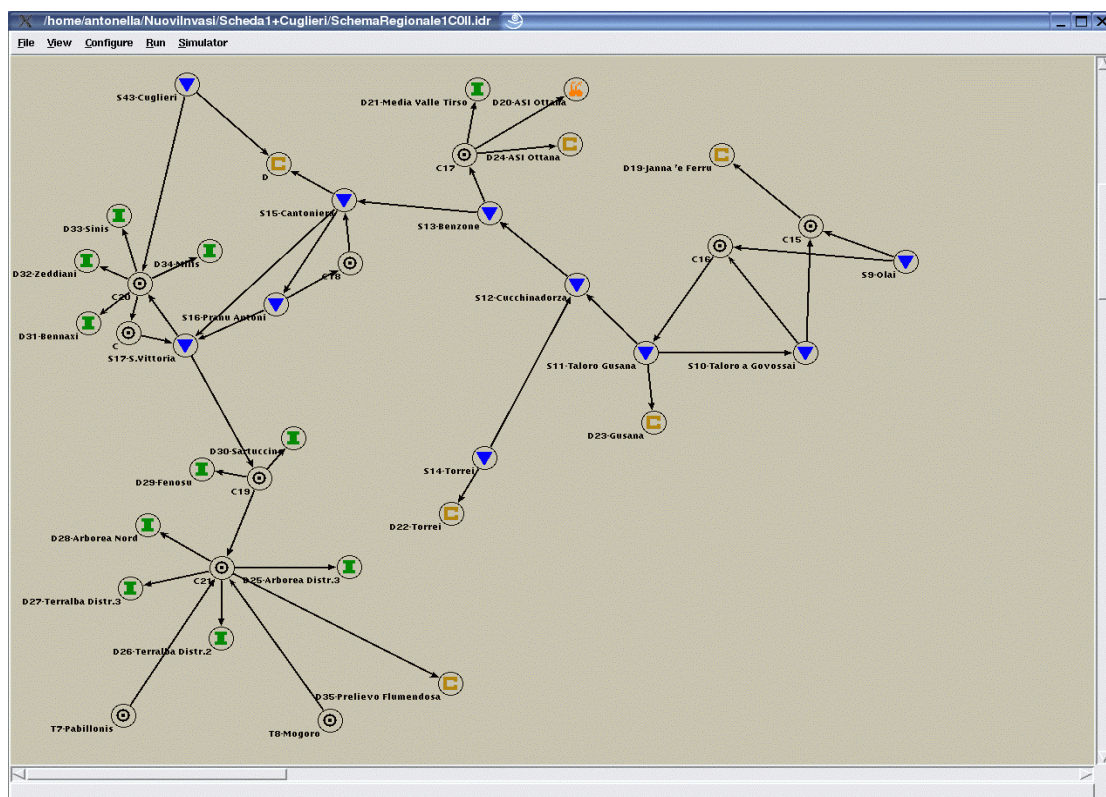


Figura 8: Schema completo visualizzato con interfaccia grafica di WARGI-SIM

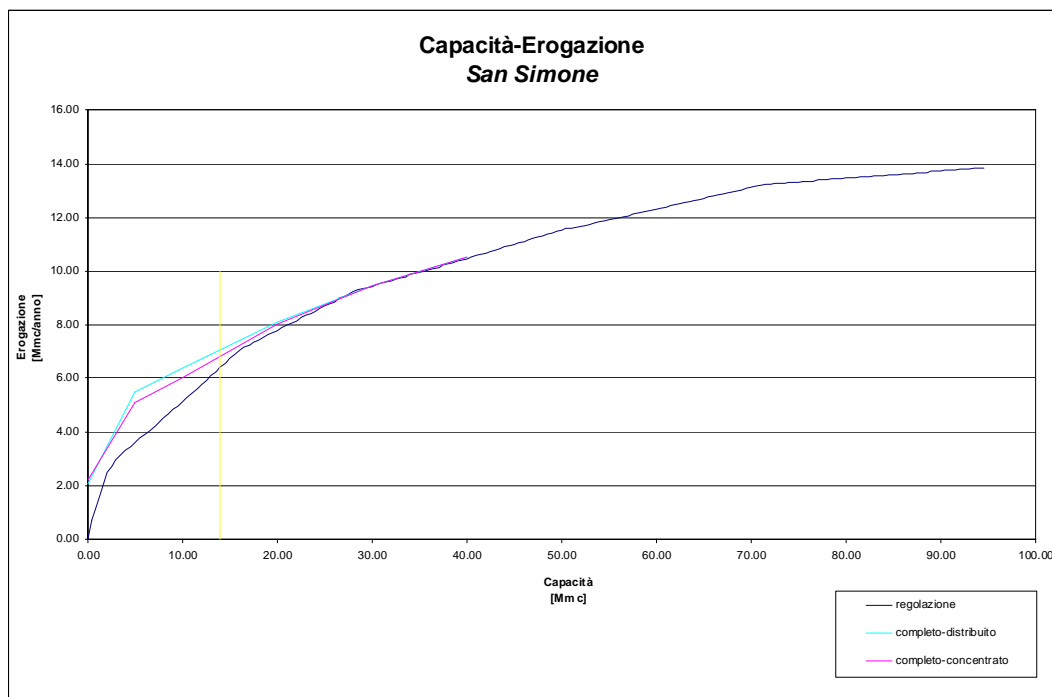


Figura 9: Curve di possibilità di erogazione dal nuovo invaso di San Simone (S42)

Ulteriori analisi preliminari sono state realizzate considerando come sistema campione lo schema Gallura. I risultati sono stati omogenei e confrontabili con quelli ottenuti per lo schema Tirso. Per lo schema Gallura è stata valutata la possibilità di erogazione determinata dal nuovo invaso di San Simone (S42). I risultati sono documentati nella Figura 9. Lo schema Gallura, visualizzato con l'interfaccia grafica di WARGI-SIM, è dato in Figura 10.

Anche in questo caso, per una prima valutazione delle possibilità di erogazione, non è inserita la derivazione dalla traversa Enas-Palasoletto (T26) verso l'invaso di San Simone. I risultati riportati in Figura 9 mostrano l'aumento della possibilità di erogazione passando dal singolo invaso al sistema completo. Per questo schema è anche evidenziata la lieve differenza che si ottiene dall'ipotesi di introdurre un nuovo centro di domanda per il quale diventa prioritario l'erogazione dal nuovo invaso (indicato in figura come "completo concentrato") ovvero a seguito di un incremento della domanda che è stato distribuito in modo uniforme su tutte le utenze irrigue già esistenti e per le quali nello stato di fatto del PSDRI (scheda 0) era presente un coefficiente di riduzione (indicato in figura come "completo distribuito").

Dalle analisi su questo secondo schema campione risulta, comunque, confermato come l'inserimento del nuovo invaso in uno schema che ha capacità d'invaso preesistenti, seppure di entità più modesta rispetto allo schema precedente, determina un innalzamento della curva di possibilità di erogazione che tende, all'aumentare della capacità del nuovo invaso, a raccordarsi con la curva di regolazione di tale invaso considerato autonomamente.

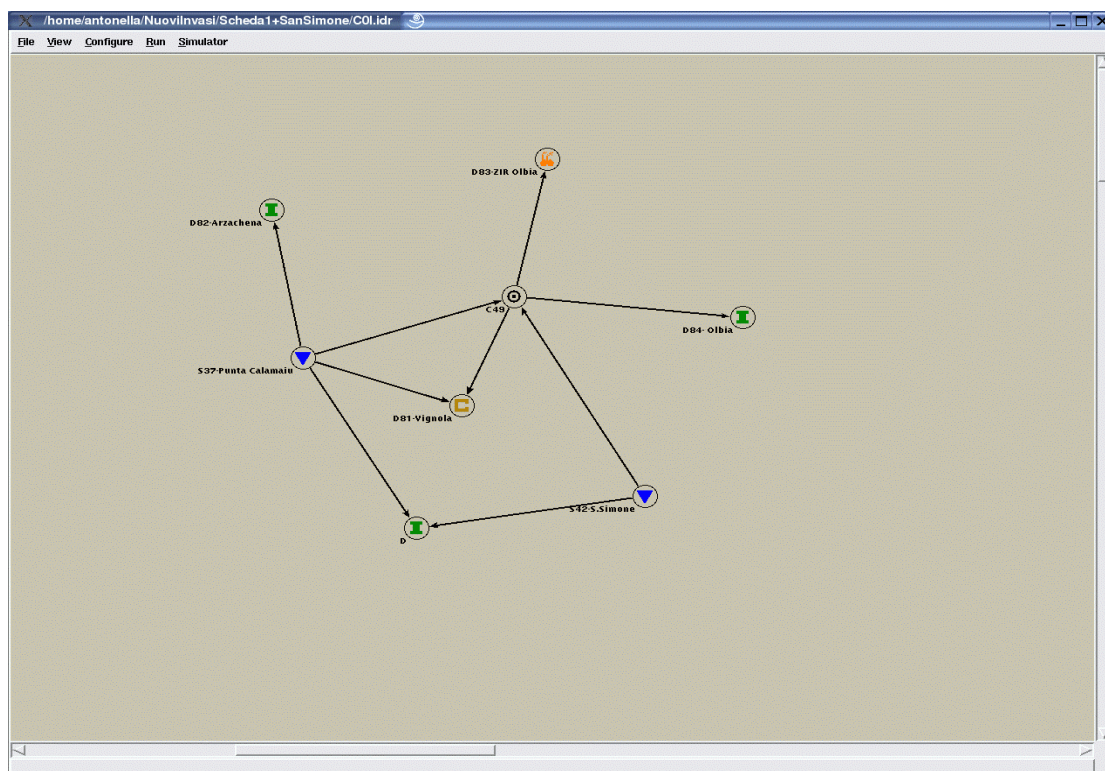


Figura 10: Schema Gallura completo del nuovo invaso e del centro di domanda, visualizzato con interfaccia grafica di WARGI-SIM

In definitiva, a seguito di queste analisi preliminari, è stata estesa a tutti i nuovi invasi la valutazione delle capacità di erogazione considerando i sistemi preesistenti completi, così come comparivano nello stato di fatto nel PSDRI (scheda 0).

Per limitare l'onere di calcolo (la definizione di ogni punto della curva di erogazione richiede infatti l'esecuzione di una simulazione con WARGI-SIM) sono state assunte le seguenti ipotesi nello sviluppo della procedura di stima delle potenzialità di erogazione nei sistemi completi:

1. I nuovi invasi sono stati inseriti nello stato di fatto del PSDRI (scheda 0) utilizzando lo schema funzionale individuato nell'assetto proposto dal medesimo PSDRI (scheda 1) .
2. La capacità dei nuovi invasi è stata fatta variare da zero (funzionamento come traversa) per un numero discreto e limitato di capacità fino al valore di capacità che ha consentito di stimare come la curva di erogazione del sistema completo si raccorda con quello dell'invaso singolo.
3. La possibilità di erogazione del nuovo invaso è stimata come differenza tra quella garantita complessivamente al sistema dalla presenza del nuovo invaso e quella definita sul sistema preesistente, con riferimento allo stato di fatto del PSDRI. Si precisa che l'incremento di erogazione di un opera di invaso presente nello stato di fatto come traversa è, quindi, valutato come differenza tra l'erogazione garantita con l'invaso e quella precedentemente garantita dal sistema con traversa.

4. L'incremento di erogazione è definito con riferimento alla domanda soddisfatta senza deficit per un nuovo centro di domanda. Tale centro è stato connesso direttamente al nuovo serbatoio ed agli invasi (o centri di risorsa) preesistenti più significativi.
5. Nel funzionamento come traversa (capacità nulla) il nuovo invaso è considerato risorsa prioritaria sia per il nuovo centro di domanda che per i centri preesistenti. All'aumentare della capacità il modello di simulazione verifica quale sia la condizione di massima erogazione modificando la posizione del nuovo invaso nella lista di priorità delle utenze preesistenti. Il nuovo invaso resta, comunque, risorsa prioritaria per il nuovo centro di domanda. Gli invasi preesistenti compaiono in coda nella lista di priorità di risorsa per il nuovo centro di domanda.
6. Per omogeneità con le stime di possibilità di erogazione effettuate nello stato di fatto del PSDRI, la possibilità di derivazione dalle traverse collegate è stimata ponendo $k=0.132$ (*Metodo D*, esposto nei precedenti paragrafi).
7. Il programma di erogazione verso il nuovo centro di domanda è stimato come media pesata di quelli relativi ai centri di domanda preesistenti per i quali il nuovo serbatoio è inserito nella lista delle risorse di riferimento.

Le possibilità di erogazione dei nuovi invasi, calcolate seguendo questa procedura che prende in esame i sistemi completi dello stato di fatto del PSDRI, sono documentate nell'annesso 1.1 in allegato 3-E dove è fornito lo schema di WARGI-SIM.

In particolare nell'annesso 1.1 in allegato 3-E sono consegnate sia in forma tabellare che grafica le erogazioni ottenute per il singolo invaso con le relative traverse collegate (*Metodo D*) e le erogazioni ottenute considerando il sistema completo con l'inserimento del nuovo centro di domanda.

Nell'annesso 1.1 in allegato 3-E è anche data la tabella che documenta il calcolo del programma di erogazione adottato per il nuovo centro di domanda sulla base dei programmi dei centri di domanda preesistenti che considerano il nuovo invaso nella lista delle risorse di riferimento.

4 LE RISORSE SOTTERRANEE

4.1 PREMESSA

Il quadro attuale delle conoscenze non permette di poter operare un bilancio delle risorse idriche sotterranee della Sardegna.

Uno studio organico in materia è stato recentemente avviato dal competente Assessorato Difesa Ambiente, nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque, dagli sviluppi del quale si attendono nuovi risultati sulla consistenza e sulla qualità delle risorse sotterranee in Sardegna.

Gli studi condotti dal 1930 a oggi, i cui risultati sono sintetizzati nel recente Piano d'Ambito della Sardegna (2002), offrono un quadro sufficientemente dettagliato sui punti di risorsa per uso idropotabile, mentre risultano scarsamente affidabili per il settore irriguo e industriale.

Nella presente pianificazione i dati di Piano d'Ambito, riferiti in particolare all'uso idropotabile delle risorse sotterranee, sono stati assunti quale base di riferimento per la determinazione della quota di domanda civile a carico del sistema superficiale.

Nel corso del lavoro si è proceduto perciò ad una verifica, condotta presso gli enti gestori delle risorse, sui più significativi punti di prelievo, ottenendo una sostanziale conferma della validità dei dati puntuali utilizzati.

4.2 GLI STUDI PRECEDENTI

Il primo catasto delle acque sotterranee in Sardegna fu realizzato negli anni 1931 – 1932 dalla sezione di Cagliari del Servizio Idrografico del Ministero dei LL.PP.. In tale ambito furono censite tutte le sorgenti con portata superiore o uguale a 0,10 l/s e, di esse, quelle con portata maggiore di 0,5 l/s furono riportate su una carta in scala 1:250.000. I risultati delle ricerche, corredati da elenchi e da fotografie delle sorgenti principali, figurano nel volume “Le Sorgenti Italiane: elenco e descrizione. Pubbl. n. 4 - Sardegna” (1934), Ministero dei Lavori Pubblici, Sezione Idrografica di Cagliari, curato dal Manfredi.

Successivamente, fra i primi anni '70 e il 1984, è stato realizzato, dall'Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università di Sassari, sotto la direzione del Prof. A. Pietracaprina, lo Studio delle Risorse Idriche Sotterranee della Sardegna, per conto della Cassa per il Mezzogiorno (Casmez).

Lo studio si è concretizzato in numerosi volumi e atlanti cartografici (Carte IGM 1:25.000) che contengono descrizioni e dati di pozzi e sorgenti. Nella prima fase si è provveduto al censimento dei punti d'acqua, con portate idriche superiori o uguali a 0,01 l/s, e ad effettuare analisi chimiche e fisiche. Nella seconda fase si sono eseguite indagini geofisiche e trivellazioni nelle aree di maggior interesse della Sardegna alcune delle quali vengono utilizzate ancora oggi con ottimi risultati per approvvigionamento idropotabile di centri abitati.

Il più recente lavoro condotto in Sardegna sulle risorse sotterranee (2001) ha riguardato la predisposizione del Sistema Informativo delle Risorse Idriche Sotterranee (SIRIS) a cura delle Università di Cagliari e Sassari e con la collaborazione della Progemisa, nel quale sono state raccolte e organizzate tutte le informazioni disponibili sul settore.

Nel 2002, nell'ambito della redazione del Piano d'Ambito della Sardegna, l'EAF ha predisposto un documento che, basandosi in larga parte sul SIRIS, riorganizza i dati disponibili, e, in particolare, attraverso i dati forniti dall'ESAF, approfondisce il tema dell'uso idropotabile delle risorse sotterranee.

In tale occasione il programma di lavoro è stato, dati i tempi a disposizione, necessariamente ridotto ad alcune attività e limitato pressoché al solo ambito idropotabile. Per gli usi industriale ed irriguo i dati disponibili, ancorché forniti per via ufficiale da privati e da enti pubblici, hanno comunque fornito risultati che nel complesso si confermano aleatori e spesso di scarsa affidabilità.

Il programma di attività sulle risorse sotterranee svolto nel contesto del Piano d'Ambito si è articolato secondo le seguenti fasi di lavoro:

- Acquisizione delle banche dati esistenti sulle acque comprendenti informazioni su pozzi e sorgenti, rilevate presso enti pubblici quali ESAF, Genio Civile, Assessorato alla Difesa dell'Ambiente, Assessorato Lavori Pubblici, Dipartimento Scienze della Terra;

- Analisi dei dati sull'utilizzo attuale e previsto delle risorse sotterranee ad uso idropotabile contenuti nel Piano Regolatore degli Acquedotti, in corso di aggiornamento;
- Analisi incrociata delle informazioni raccolte presso i vari soggetti per verificare le caratteristiche identificative di pozzi e sorgenti, onde evitare la presenza di doppioni. Tutti i dati mancanti sono stati inseriti nella banca dati già strutturata e attualmente più completa che è quella del SIRIS, realizzata nell'ambito del Programma di Opere e Interventi per fronteggiare l'emergenza idrica in Sardegna – Progetto obiettivo n° 1 (Delibera Giunta Regionale n° 29/24 del 2.07.1999);
- Realizzazione di una carta di sintesi dove sono stati evidenziati tutti i pozzi e le sorgenti in uso;
- Stesura di un rapporto finale comprendente lo stato attuale delle risorse sotterranee e le potenzialità idriche dei pozzi o sorgenti di maggiore interesse.

Successivamente lo stesso EAF ha proceduto ad una ulteriore integrazione ed aggiornamento dei dati riguardanti l'utilizzo delle acque sotterranee per usi idropotabili, ed in particolar modo degli emungimenti reali effettuati durante il 2001 da parte dell'ESAF.

Il quadro aggiornato delle conoscenze derivante dagli studi effettuati e dalle più recenti attività sopra descritti è di seguito fornito.

4.3 CENNI IDROGEOLOGICI DELLA SARDEGNA

Gli studi idrogeologici più recenti, sulla traccia di quello eseguito in occasione del primo censimento delle sorgenti dell'Isola, contenuto nel citato volume "Le Sorgenti Italiane. Sardegna" (Manfredi, 1934), hanno portato a distinguere, in base alla permeabilità, almeno 7 gruppi di terreni o complessi geolitologici. Il SIRIS (2001) li indica come segue:

1. *Complessi ad alta permeabilità essenzialmente calcareo-dolomitici*, con spessori da 100 a 700 m: Cambriano del Sulcis e dell'Iglesiente, spesso in giacitura subverticale. Mesozoico della Nurra, del M.te Albo, del Golfo di Orosei, del Supramonte di Oliena, del Sarcidano e dei "Tacchi" d'Ogliastra e Barbagia. Miocene del Logudoro, dell'Anglona e del Sarcidano.
2. *Complessi vulcanici ad alta permeabilità* essenzialmente vulcaniti del Montiferru e del Logudoro, con spessori fino a 250 m circa, di età pliocenica: basalti, con lave affini, scoriacei e cavernosi, su trachiti fonolitiche.
3. *Complesso a media permeabilità* in prevalenza alluvionale, di età quaternaria, inferiormente forse pliocenica, di spessore fino a 200 m: esteso soprattutto nel Campidano e subordinatamente in qualche limitata piana costiera (Nurra, Sarrabus-Gerrei, Basso Sulcis, etc.).
4. *Complessi a media o bassa permeabilità, sedimentari o vulcanici*, prevalentemente del Terziario, con spessori fino a 800 m circa: arenarie, marne arenacee o calcaree, ignimbriti, tufi, andesiti, etc., del Logudoro, Anglona, Trexenta, Sulcis e Quirra.
5. *Complesso a media o bassa permeabilità, in prevalenza alluvionale*, del Pliocene, con spessore di 200-500 m, denominato "Formazione di Samassi", nel sottosuolo del graben campidanese e nei dintorni di Cagliari.
6. *Complesso granitico – scistoso - metamorfico*, a permeabilità piuttosto bassa, più o meno fratturato, la permeabilità può talora essere discreta lungo le principali dislocazioni per faglie; costituisce il basamento di età pressoché esclusivamente paleozoica dell'Isola, con spessore praticamente illimitato: Sarrabus, Gerrei, Ogliastra, Barbagia, Nuorese, Gallura, Sulcis, Iglesiente, Arburese, e parte della Nurra.
7. *Complesso marnoso miocenico impermeabile*, di spessore fino a 400 m: Marmilla, Trexenta, Campidano di Cagliari e parte del Logudoro.

Per superficie e spessore prevalgono i complessi a bassa e media permeabilità (graniti, scisti paleozoici, metamorfiti, vulcaniti e sedimenti clastici dal Permiano al Quaternario), che costituiscono almeno il 90% del territorio sardo, mentre i complessi permeabili (calcarei, dolomie e basalti scoriaceo-cavernosi) e quelli del tutto impermeabili (marne in prevalenza) ne occupano rispettivamente il 6% e il 4%.

4.4 SORGENTI E POZZI DELLA SARDEGNA

Complessivamente, secondo gli studi citati, sono state enumerate nell'isola oltre 30.000 sorgenti, di cui circa 6.000 con portata di magra superiore a 0.10 l/s. L'acqua di tutte le sorgenti sarde ammonterebbe, in magra, a circa 6.000 l/s, cioè approssimativamente a 200 Mmc/anno utili, ma solo in piccola parte utilizzati a causa della fortissima dispersione dei punti d'acqua.

A fronte dell'elevato numero di piccole sorgenti, quelle con portata superiore ai 2 l/s sono circa 250, di cui 24 con portata al di sopra dei 20 l/s, escludendo le fonti termali più note. Le sorgenti con portata superiore ai 50 l/s sono soltanto 12, ma forniscono da sole il 27% del volume idrico sorgivo di tutta l'Isola; quelle con oltre 100 l/s ammontano a 5, di cui 2 supererebbero i 200 l/s (Gologone e Pubusinu).

Le sorgenti più ricche d'acqua sono alimentate dai complessi permeabili calcareo-dolomiti e basaltici. Il versante occidentale dell'Isola, con precipitazioni più abbondanti e condizioni geomorfologiche più favorevoli, è maggiormente acquifero (Nurra, Montiferru, Iglesiente e Sulcis).

Per ciò che riguarda pozzi e relative falde d'acqua, si riportano i dati storici riguardanti le principali ricerche eseguite mediante trivellazioni dal 1970 ad oggi.

Pozzi "ESAF 1": perforati soprattutto nel periodo 1973-1985, di cui numerosi ancora oggi in esercizio in varie zone dell'Isola, con portata idrica complessiva di circa 300 l/s.

Pozzi "Cassa del Mezzogiorno": eseguiti nel 1983-84 quale seconda fase del Progetto Speciale "Studio Acque Sotterranee" effettuato dall'Università di Sassari in varie zone dell'Isola, dal Logudoro fino al Basso Campidano, con portata complessiva di almeno 300 l/s.

Pozzi "ESAF 2": trivellati nel Sulcis Iglesiente per fronteggiare l'emergenza idrica nel periodo 1989-1990, con portata complessiva di circa 280 l/s.

Pozzi "PROGEMISA": trivellati in massima parte nel 1996 nel Sulcis, con portata idrica complessiva utile di almeno 140 l/s.

Pozzi ad uso industriale: realizzati nelle principali Aree Industriali dell'Isola, da Porto Torres a Cagliari, eseguiti a partire dal 1970 al 1995, con portata complessiva di almeno 500 l/s, con un massimo di circa 300 l/s nella Nurra (ex SIR di Porto Torres).

4.5 PUNTI DI CAPTAZIONE PER USO IDROPOTABILE

Il lavoro di approfondimento condotto dall'EAF sui punti di captazione ad uso idropotabile ha sostanzialmente confermato i dati di Piano d'Ambito fornendo modesti scostamenti che, nell'ottica della presente pianificazione, possono considerarsi trascurabili.

I dati forniscono complessivamente circa 3.542 l/s di acque sotterranee potabili o potabilizzate corrispondenti ad un'erogazione complessiva annua di circa 111,71 Mmc come risulta dalla seguente Tabella 4.5.1, elaborata dall'EAF in collaborazione con l'Università di Cagliari e il Genio Civile. I dati di dettaglio sono riportati nell'annesso 1.2 in allegato A.

Le principali opere di captazione per uso idropotabile attualmente esistenti interessano sorgenti, falde idriche profonde o superficiali e deflussi subalvei, che sono descritte dettagliatamente nell'annesso 1.2 in allegato A, dove risultano classificate in base agli Schemi Acquedottistici di NPRGA. Sono forniti per ciascuna di esse i seguenti elementi:

- *denominazione dei centri serviti;*
- *denominazione del punto di captazione, eventuale ubicazione;*
- *tipologia, numero di punti captati,*
- *dato di portata del Piano d'Ambito*
- *dato di portata di esercizio ESAF, riportante gli effettivi emungimenti eseguiti nel corso del 2001;*
- *dato di portata media di magra;*
- *media potenziale che tiene conto dell'effettiva portata, attualmente non completamente utilizzata, di alcune sorgenti e di diversi pozzi realizzati recentemente ma non ancora entrati in esercizio, o coincidente con la media di magra citata al punto precedente;*
- *ente gestore del punto di captazione.*

Le opere di captazione con portate utili maggiori o uguali a 15 l/s sono state elencate nella Tabella 4.5.2. Queste ultime forniscono complessivamente circa 2967 l/s pari a circa 93 Mmc/anno. Dal confronto con i 3.542 l/s ricavabili dall'elenco di tutte le captazioni ad uso idropotabile risulta che i rimanenti 575 l/s sono forniti da una miriade di piccole sorgenti e pozzi di assai modesta portata, comunque utilizzati per esigenze strettamente locali di comuni e relative frazioni.

Nella Tabella 4.5.2 sono riportate anche 7 opere di captazione su corsi d'acqua consistenti in pozzi o traverse, che durante i periodi siccitosi o generalmente in estate prelevano soltanto acque subalvee. In taluni casi tuttavia, come sul Flumineddu e sul Liscia, i prelievi beneficiano dei rilasci più o meno saltuariamente effettuati dalle opere di sbarramento a monte.

Nella stessa Tabella 4.5.2 risultano essere 24 le principali aree sarde dotate di notevoli falde idriche spesso profonde, raggiungibili con pozzi fino a un massimo di 200 m circa, distribuite soprattutto nella Nurra, nel Logudoro, nel Campidano, nel Sulcis e nelle maggiori pianure

litoranee dell'Isola. Queste falde frequentemente sono alimentate dai principali corsi d'acqua: Tirso, Coghinas, Flumendosa, ecc..

Un'eccezione assai degna di nota è rappresentata nel Basso Sulcis dalla falda di Nuraghe Rubiu (presso Giba), alimentata dalle perdite sotterranee dell'invaso di M. Pranu di Tratalias, da cui l'ESAF preleva circa 150 l/s di acqua direttamente potabile.

Le principali aree sorgentifere, indicate sempre in Tabella 4.5.2, sono una ventina e coincidono di solito con i maggiori rilievi montuosi: Limbara, Gennargentu, M. Albo, Montiferru, Monti del Sulcis e dell'Iglesiente, Altopiano del Sarcidano e Tacchi dell'Ogliastra. Talora esse coincidono con aree pedemontane di transizione alle pianure (Milis, San Vero, Bonarcado), zone collinari con pianori calcarei (Laerru, Sedini, Bulzi, Florinas e Sassari), aree carsiche spesso connesse con faglie d'importanza regionale (Gologone, Monte Albo, San Giovanni di Domusnovas).

Da mettere in particolare evidenza è la trasformazione di ben note sorgenti del passato in pozzi attuali, resa necessaria dalla scomparsa delle stesse sorgenti a seguito di trivellazioni eseguite da privati ed in alcuni casi anche da enti pubblici (Nurra, Capodacqua di Villamassargia).

Fra le aree acquifere dell'isola spicca soprattutto quella del massiccio vulcanico del Montiferru, con le sue colate laviche circostanti, che, da sola, fra pozzi e sorgenti, garantisce con continuità ben 436 l/s di buona acqua potabile regolarmente captata da vari acquedotti. Per confronto, si noti che altre aree montuose non calcaree paragonabili con il Montiferru, come il Gennargentu, il Limbara e il Settefratelli, forniscono quantitativi d'acque sotterranee notevolmente inferiori, ciascuna dell'ordine di 30 – 40 l/s. Peraltro, le aree carsiche, costituite da calcari e dolomie di varie età, racchiudono ancora oggi notevoli riserve idriche potenziali di difficile accesso: il loro utilizzo, infatti, incontra oggi difficoltà assai complesse d'indole non solo tecnico-economica, ma anche ambientale e talora politico-sociale. E' questo il caso della Nurra (vecchi pozzi SIR fuori uso), del Supramonte di Oliena – Orgosolo (sorgente Gologone pressoché inutilizzata e a rischio di inquinamento), dell'Iglesiente (sorgente Pubusinu e falda di Monteponi – Campo Pisano) e del Sulcis (pozzi di Seddargia, Su Benatzu, Mont'Ega e Narcao).

TABELLA 4.5.1- Riepilogo portate derivate da pozzi e sorgenti per uso idropotabile

SCHEMA ACQUEDOTTISTICO	Portate totali pozzi e sorgenti l/s	Volumi complessivi emunti mc/anno	Volumi complessivi emunti Mmc/anno
N. 1 Vignola	97,60	3.077.913,60	3,08
N. 2 Liscia	44,40	1.400.198,40	1,40
N. 3 Casteldoria	86,55	2.729.440,80	2,73
N. 4 Perfugas	41,00	1.292.976,00	1,29
N. 5 Pattada	83,55	2.634.832,80	2,63
N. 6 Sassari-P.Torres Sorso	71,00	2.239.056,00	2,24
N. 7 Bidighinzu	166,75	5.258.628,00	5,26
N. 8 Florinas	11,85	373.701,60	0,37
N. 9 Alghero - Cuga	105,50	3.327.048,00	3,33
N. 10 Goceano	11,20	353.203,20	0,35
N. 11 Siniscola	120,90	3.812.702,40	3,81
N. 12 Temo	164,10	5.175.057,60	5,18
N. 13 Cedrino	16,00	504.576,00	0,50
N. 14 Govossai	142,60	4.497.033,60	4,50
N. 15 Luzzanas	31,00	977.616,00	0,98
N. 16 Bortigali	17,00	536.112,00	0,54
N. 17 S.Antioco	46,50	1.466.424,00	1,47
N. 18 Sennariolo			
N. 19 Santulussurgiu			
N. 20 Bau Pirastu - N. 24 Paulilatino	117,20	3.696.019,20	3,70
N. 21 Flumineddu di Dorgali	106,55	3.360.160,80	3,36
N. 22 Milis Narbolia Seneghe	25,60	807.321,60	0,81
N. 23 Oristano	252,60	7.965.993,60	7,97
N. 25 Barbagia Mandrolisai	41,10	1.296.129,60	1,30
N. 26 Bacu Turbina	34,00	1.072.224,00	1,07
N. 27 Mandrainas	76,60	2.415.657,60	2,42
N. 28 Ogliastra	82,50	2.601.720,00	2,60
N. 29 Gairo	18,00	567.648,00	0,57
N. 30 Seulo - Sadali	18,00	567.648,00	0,57
N. 31 Tirso	205,30	6.474.340,80	6,47
N. 32 Sarcidano	65,30	2.059.300,80	2,06
N. 33 Laconi	16,00	504.576,00	0,50
N. 34 Nuragus - Nurallao	10,00	315.360,00	0,32
N. 35 Gerrei	46,80	1.475.884,80	1,48
N. 36 Marina Arbus	3,50	110.376,00	0,11
N. 37 Santu Miali	69,00	2.175.984,00	2,18
N. 38 Villacidro	91,50	2.885.544,00	2,89
N. 39 Sud Orientale	249,00	7.852.464,00	7,85
N. 40 Campidano	218,50	6.890.616,00	6,89
N. 41 Fluminimagiore	33,10	1.043.841,60	1,04
N. 42 Buggerru			
N. 43 Burcei	2,00	63.072,00	0,06
N. 46 Cagliari			
N. 44 Iglesias	226,40	7.139.750,40	7,14
N. 45 Sulcis Nord	218,50	6.890.616,00	6,89
N. 47 Sud Occidentale	17,00	536.112,00	0,54
N. 48 Domus de Maria	9,00	283.824,00	0,28
N. 49 Sulcis Sud	31,60	996.537,60	1,00
TOTALE	3.542,15	111.705.242,40	111,71

TABELLA 4.5.2- Pozzi, sorgenti e prese subalvee con portate medie di magra >=15 l/s

POZZI		SORGENTI		PRESE SUBALVEE SU CORSI D'ACQUA	
Denominazione	l/s	Denominazione	l/s	Denominazione	l/s
Pozzi Tiveri	20,00	Sorgenti del Limbara (Tempio - Calangianus - Luras - Berchidda - Oschiri)	22,00	Pozzi Liscia	86,00
Pozzi Li Pedriazzi - Porto Torres	15,00	Sorgenti Valle dei Ciclamini	15,00	Pozzi La Multa	48,00
Pozzi Nurra (Tottu Bella e altri)	32,50	Sorgente Frunche Oche	110,00	Traversa Ciclamini	35,00
Pozzo Berti (Alghero)	62,00	Sorgenti dell'Anglona (Laerru - Sedini e Bulzi)	21,00	Traversa Mascari	120,00
Pozzi di Sennori - Sorso (Teraculos - Pulcaggiu)	25,00	Sorgenti di Briai e altre (Florinas - Ittiri)	25,00	Pozzi Flumendosa	20,00
Pozzi Rocchittas e Riu Oes	24,00	Sorgenti di Lanusei (+ Pozzi)	20,00	Pozzi Flumineddu	23,00
Pozzi di Ploaghe e Codrongianus	16,00	Sorgenti Luzzanas	55,00	Rio Cannisone	50,00
Pozzi di Macomer (Campeda e Locatelli)	24,00	Sorgenti Sant'Antioco (Scano Montiferru)	50,00		
Pozzi di Tissi - Usini - Ossi - Muros	34,00	Sorgenti Su Gologone e Venichedda	80,00		
Pozzi di Oristano	130,00	Sorgenti Bau Pirastu e S'Ena Ruja	88,00		
Pozzi di Sili	130,00	Sorgenti Santu Lussurgiu e Cuglieri	30,00		
Pozzi del Campidano di Oristano - Arborea	80,00	Sorgenti dei Tacchi (Ierzu-Ulassai-Osini-Gairo-Tertenia-Seui)	32,00		
Pozzi di S.Gavino - Guspini - Pabillonis - Zeppara - Gonnosfanadiga	75,00	Sorgenti del Sarcidano	72,00		
Pozzi del Rio Pelau (Genna Masoni-Museddu-Perdu Pili)	50,00	Sorgenti e Pozzi di Milis-S.Vero Milis-Narbolia-Seneghe	100,00		
Pozzi del Campidano Centrale (Samassi - Serramanna)	36,00	Sorgenti di Bonarcado - S.Miali - Bau Nou-Paulilatino-Abbasanta	113,00		
Pozzi del Campidano Meridionale (compreso Capoterra)	139,00	Sorgenti del Gennargentu	34,00		
Pozzi Rio Pramaera e Riu Mirenu	34,00	Sorgenti e Pozzi di Monte Arci	27,00		
Pozzi Muravera - S.Vito - Villaputzu	100,00	Sorgenti Pubusinu - Su Mannau	35,00		
Pozzi Picocca - Tuerra e Castiadas	82,00	S.Giovanni di Domusnovas e S'acqua Callenti	98,00		
Pozzi Villasimius - Geremeas	50,00	Sorgenti del Sulcis	44,00		
Pozzi Iglesias (compreso Campo Pisano)	125,00				
Pozzi Sulcis	90,00				
Pozzi Monte Pranu (Nuraghe Rubiu)	125,00				
Pozzi Chia - Pula - Villa S. Pietro	16,00				
SUBTOTALE	1.514,50		1.071,00		382,00
Pari a Mmc/Anno	47,76		33,78		12,05

PORTATA COMPLESSIVA 2.967,50 l/s

EROGAZIONE COMPLESSIVA ANNUA 93,58 Mmc/Anno

4.6 PUNTI DI CAPTAZIONE PER USO IRRIGUO ED INDUSTRIALE

Un quadro riassuntivo riepilogativo delle informazioni disponibili sugli usi irrigui ed industriali delle acque sotterranee, è contenuto nella Tabella 4.6.3. Nell'annesso 1.2 in allegato B è riportato l'elenco, suddiviso per provincia, di tutti i pozzi e sorgenti destinati a questi usi che è stato possibile catalogare partendo dai dati contenuti nel database SIRIS.

La colonna corrispondente al "Dato storico" si riferisce alle informazioni dedotte dal libro "Le Sorgenti italiane. Sardegna" (Manfredi, 1934), mentre la colonna con le "Portate presunte di esercizio" è stata ricavata dalle informazioni contenute nel database SIRIS.

Dall'esame di queste tabelle risulta che la portata complessiva emunta per gli usi irrigui nelle quattro province ammonterebbe annualmente a circa 1784,33 l/s di acque sotterranee, corrispondenti ad un'erogazione complessiva annua di circa 56,27 Mmc, mentre quella emunta per scopi industriali ammonterebbe annualmente a circa 2039,91 l/s di acque sotterranee, corrispondenti ad un'erogazione complessiva annua di circa 64,33 Mmc.

A tale proposito occorre considerare che i dati sopra riportati provenendo in prevalenza da fonti di carattere storico, relative in parte a studi e misurazioni oramai abbondantemente superati e in altra parte a dati di concessione idrica rilevati presso le sezioni del Genio Civile, non sono da considerarsi attendibili e vengono riportate per pura completezza di esposizione.

Allo stesso modo ne deriva che l'ammontare complessivo delle disponibilità idriche da risorse sotterranee precedentemente definito in circa 200 Mmc è, per la parte che riguarda i due usi irriguo e industriale, da considerarsi come un puro riferimento bibliografico.

Il dato complessivo di 56,27 Mmc, riferito all'uso irriguo, si può ritenere abbastanza rappresentativo della quantità d'acqua prelevata annualmente dal sottosuolo per l'irrigazione di grandi e piccole aziende tramite pozzi e sorgenti.

L'uso di acque sotterranee per irrigazione non è generalmente praticato dai Consorzi di Bonifica. Di conseguenza, la gestione delle acque sotterranee a fini irrigui è in massima parte privata, in mano ad aziende e singoli agricoltori.

Ai volumi sopra riportati va aggiunta, inoltre, la somma di tanti innumerevoli prelievi dalle varie migliaia di pozzi sparsi soprattutto nel Campidano, nella Nurra, nelle pianure minori, litoranee ed interne, e nei fondi valle dei corsi d'acqua, dai maggiori ai più modesti, dove le risorse idriche di superficie vengono spesso a mancare in estate e soprattutto durante le ricorrenti annate siccitose: si tratta, in generale, di prelievi stagionali spesso protratti solo per qualche mese.

A questi prelievi, che sfuggono a controlli e verifiche di portata da parte degli uffici del Genio Civile, e la cui reale entità trova certamente limitazioni nella gestione, soprattutto per la mancanza o per il costo dell'energia elettrica, una stima dell'EAF assegna un volume d'acqua totale di ulteriori 20 Mmc emunti ogni anno.

Maggiori perplessità si hanno invece sul dato relativo agli usi industriali che appare a prima vista sovradimensionato.

A tale riguardo, occorre comunque evidenziare, ai fini dei conteggi, che il concessionario del punto di prelievo, in diversi casi, fornisce i volumi prelevati ad utilizzatori finali che si inquadrano in usi diversi da quello industriale. Circostanza questa che rende ulteriormente meno affidabile il dato numerico riferito a tale uso.

E' questo il caso degli emungimenti dai pozzi di Campo Pisano che vengono utilizzati ad uso idropotabile.

In conclusione mentre si possono sostanzialmente ritenere corretti i dati complessivi di volume destinato agli usi civili e irrigui, grosse perplessità si hanno con riguardo al dato disponibile sugli usi industriali.

Il quadro generale fornito dalle attuali conoscenze non consente ad oggi di spingersi ulteriormente avanti sulla materia, che riveste comunque grande importanza nel bilancio idrico complessivo della Regione e necessita degli opportuni approfondimenti già in corso da parte delle competenti autorità nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque.

TABELLA 4.6.3- Riepilogo portate derivate da pozzi e sorgenti per uso irriguo e industriale

PROVINCIA	USO INDUSTRIALE		USO IRRIGUO		TOTALE PER PROVINCIA	
	Pozzi	Sorgenti	Pozzi	Sorgenti		
	Portate l/s	Portate l/s	Portate l/s	Portate l/s	Portate l/s	Mmc/Anno
CAGLIARI	1.151,12	32,34	792,40	26,56	2.002,42	63,15
NUORO	100,50	2,55	111,49	124,25	338,79	10,68
ORISTANO	47,90	8,20	539,78	16,20	612,08	19,30
SASSARI	697,30	0,00	168,25	5,40	870,95	27,47
Subtotale	1.996,82	43,09	1.611,92	172,41		
	TOTALE l/s ad USO INDUSTRIALE 2.039,91		TOTALE l/s ad USO IRRIGUO 1.784,33			
Pari a mc/anno	62.971.747,06	1.358.886,24	50.833.509,12	5.437.121,76		
Pari a Mmc/anno	62,97	1,36	50,83	5,44		

EROGAZIONE COMPLESSIVA ANNUA	120,60
Mmc	

4.7 L'ORGANIZZAZIONE DEI DATI DISPONIBILI

I dati degli aggiornamenti condotti dall'EAF sono stati raccolti in una banca dati organizzata sulla base della esistente del SIRIS.

Durante l'indagine conoscitiva condotta dal gruppo di lavoro, composto dall'EAF e dal Genio Civile, tutti i dati di nuova acquisizione ricavati da altre fonti informative (ESAF, Geni Civili di Cagliari e Oristano, Università, ecc.) relativi a pozzi e sorgenti, sono stati confrontati con quelli già presenti nella banca dati del SIRIS per evitarne la duplicazione; solo quelli di nuova acquisizione sono stati inseriti nel database finale.

Si deve comunque precisare che i Geni Civili di Sassari e Nuoro, non disponendo di una propria banca dati informatizzata, non hanno potuto fornire, sebbene richiesti, gli ultimi dati aggiornati, pertanto per queste due province le informazioni disponibili corrispondono a quelle già contenute nella banca dati SIRIS.

Bisogna ancora una volta precisare che i valori di portata dei pozzi e delle sorgenti ad uso irriguo e industriale riportati sia nel database che nelle tabelle allegate alla presente relazione, hanno solo valore storico, infatti sono in massima parte gli stessi misurati negli anni 1931-1932 dal Servizio Idrografico del Ministero dei LL.PP. e pubblicati nel libro "Le Sorgenti Italiane. Sardegna". Questi valori storici si riferiscono tutti a portate di magra dei mesi tardo estivi- autunnali, e solo in minima parte sono stati aggiornati nell'ambito dello studio delle "Risorse Idriche Sotterranee" realizzato dall'Università di Sassari per conto della Cassa per il Mezzogiorno negli anni '70.

Solo per l'uso potabile si è fatto riferimento alle portate di esercizio in periodo di magra, riportate nel NPRGA.

Buona parte dei dati contenuti nel database sono correlati alla cartografia all'interno del sistema informativo territoriale, predisposto a suo tempo per la realizzazione del SIRIS. Tuttavia si è accertato che le coordinate indicate nel database per i vari usi risentono inevitabilmente di "errori di determinazione del punto" derivanti dalla cartografia IGM di riferimento relativa agli anni 1899-1943, che dovranno essere opportunamente corretti.

4.8 LA VERIFICA DEI DATI PER IL SETTORE CIVILE

Nel corso del presente lavoro si è proceduto all'approfondimento dei dati disponibili sui più significativi punti di prelievo ad uso idropotabile, condotto attraverso una indagine presso gli enti gestori, e, successivamente, al raffronto fra questi e i medesimi dati forniti nel Piano d'Ambito.

La verifica è stata condotta selezionando i punti di prelievo con portata maggiore di 5 l/s, facendo riferimento al maggiore tra i dati di portata riportati nell'annesso 1.2 in allegato A, e inserendo fra questi anche quei punti di minore portata appartenenti a un territorio circoscritto, e in grado, nell'insieme, di fornire la portata limite a base della selezione.

Sono stati coinvolti nell'indagine i soggetti gestori delle relative risorse: ESAF, CONSORZIO GOVOSSAI, e 64 COMUNI.

La prima fase di lavoro ha previsto l'esame su base cartografica IGM alla scala 1:25.000 della esatta ubicazione dei punti di prelievo selezionati.

La seconda fase di lavoro è stata dedicata alla raccolta dei dati. Allo scopo è stata utilizzata una scheda di acquisizione dati elaborata dall'EAF che viene riportata nell'annesso 1.2 in allegato C. Si evidenzia sin d'ora che nella fase di raccolta delle informazioni non è stato possibile entrare in possesso della maggior parte dei dati tecnici richiesti.

Tale aspetto, di enorme importanza per la determinazione delle caratteristiche quantitative dell'acquifero di riferimento dei punti di prelievo, attiene peraltro al più ampio tema dello studio della reale potenzialità delle risorse sotterranee, che è oggetto, come più volte ricordato, di altra indagine attualmente in corso.

E' stato invece possibile rilevare, nella quasi totalità dei casi, il dato della portata prelevata estiva (2003) e invernale (2003-2004) riportato per ciascun punto di prelievo nell'annesso 1.2 in allegato D, unitamente alle note, che riferiscono, per ogni situazione, i motivi di assenza del dato.

I dati di portata rilevati, come si evince dall'allegato E dell'annesso 1.2, hanno sostanzialmente confermato quelli riportati nel Piano d'Ambito, che, di conseguenza, sono stati confermati quale base di riferimento per la determinazione della quota di domanda civile a carico del sistema superficiale nella presente pianificazione.

Al fine di facilitare il confronto tra i dati disponibili e i dati acquisiti, a ciascun punto risorsa oggetto di studio è stato associato un codice alfanumerico univoco, che richiama il codice di riferimento nel SIRIS, antepoendo ad esso la sigla della provincia di appartenenza del punto, e aggiungendo in coda la lettera P o S, riferita a pozzo o sorgente. Ad un pozzo della provincia di Cagliari con codice SIRIS "1" si è attribuito il codice "CA1P".

E' stato inoltre attribuito un secondo codice identificativo che fa riferimento alla Tavola IGM 1:25000 nella quale il punto risorsa ricade. Nel caso precedente, se il pozzo ricade nella Tavola IGM n. 427 alla sezione I, assume codice "427I1P".

Sulla base della indagine effettuata sono stati evidenziati gli acquiferi principali sotto riportati con le rispettive formazioni geologiche:

<i>Sulcis Iglesiente:</i>	<i>Metamorfico (paleozoico)</i>
<i>Campidano:</i>	<i>Sedimentario alluvionale (terziario – quaternario)</i>
<i>Montiferru - Monte Arci:</i>	<i>Vulcanico (plio-pleistocene)</i>
<i>Nurra:</i>	<i>Complesso calcareo-dolomitico (mesozoico) sedimentario alluvionale (quaternario)</i>
<i>Sassarese:</i>	<i>Sedimentario marino (terziario)</i>
<i>Supramonte – Monte Albo:</i>	<i>Complesso calcareo-dolomitico (mesozoico)</i>
<i>Sarcidano – Tacchi Ogliastra:</i>	<i>Complesso calcareo-dolomitico (mesozoico – terziario)</i>

I punti di prelievo oggetto di indagine e i principali acquiferi sono rappresentati nell'allegato grafico EL. R.2., che, si ricorda, non ha valenza di carta idrogeologica, ma il solo scopo di evidenziare le zone maggiormente suscettibili di utilizzazione. Nella stessa non vengono pertanto rappresentati gli acquiferi di carattere locale.

L'indagine condotta nel presente studio ha quindi fornito una sostanziale conferma dei dati di Piano d'Ambito relativamente alle risorse sotterranee utilizzate a scopi idropotabili.

Il tema complessivo delle risorse sotterranee in Sardegna è sicuramente meritevole di ulteriori studi e rende necessario un approfondimento sullo stato delle disponibilità idriche, in modo da consentire la determinazione delle aree di ricarica, il bilancio idrogeologico delle falde e infine il bilancio idrico complessivo, studi peraltro già in atto nell'ambito della redazione, attualmente in corso, del Piano di Tutela delle Acque.

5 LE RISORSE NON CONVENZIONALI

5.1 PREMESSA

A fronte della scarsità attuale e del progressivo depauperamento delle risorse idriche tradizionali si rendono indispensabili politiche di salvaguardia delle risorse idriche di pregio anche attraverso il ricorso a fonti di approvvigionamento alternative.

Le esigenze legate alla sostenibilità degli usi imposte dal nuovo quadro di riferimento costituito dalla Direttiva Comunitaria 2000/60 l'evoluzione tecnologica dei processi di trattamento e le condizioni sempre più frequenti di estrema scarsità di apporti naturali rendono sempre più importanti alcune fonti di approvvigionamento, definite non convenzionali, perché non riferibili a quelle tradizionalmente utilizzate, ossia superficiali o sotterranee.

Con riferimento allo specifico caso della Sardegna, le risorse c.d. non convenzionali prese in considerazione nel presente Piano sono riferibili essenzialmente a:

- acque di eduazione dalle miniere;
- acque reflue di origine civile o industriale;
- acque prodotte mediante processi di dissalazione di acque marine o salmastre.

5.2 ACQUE DI EDUZIONE DALLE MINIERE

Il Piano delle acque del 1987 (PA) aveva individuato nelle acque del bacino di Monteponi l'unica possibilità di utilizzo, essendo il resto delle acque di questo tipo caratterizzate da forti livelli di inquinamento.

Gli approfondimenti successivi e la forte spinta determinata dall'emergenza idrica ha portato alla realizzazione di un intervento per l'utilizzazione delle acque della miniera di Campo Pisano a cura del Commissario Governativo per l'Emergenza idrica per un volume annuo stimato in 10 Mmc. Tale volume viene quindi considerato fra le risorse del sistema Meridionale nell'ambito delle simulazioni del bilancio domanda – offerta.

Le attuali conoscenze circa lo stato della qualità e quantità del corpo idrico interessato non consentono di prevedere incrementi della quantità di risorsa utilizzabile da questa fonte.

5.3 ACQUE REFLUE DI ORIGINE CIVILE O INDUSTRIALE

Il riutilizzo delle acque reflue, coerentemente alle indicazioni legislative nazionali e comunitarie, permette di declinare in azioni pratiche il concetto di tutela quali – quantitativa della risorsa idrica che è alla base del Piano di Tutela: grazie agli elevati standard richiesti vengono liberate risorse idriche importanti per il riequilibrio dei bilanci idrici, alleggerendo la pressione sui corpi idrici superficiali e consentendo di annullare l'immissione di inquinanti, nel caso di assenza completa di scarico, ovvero di scaricare acque di elevata qualità qualora la disponibilità di acqua depurata ecceda la richiesta.

Si può ritenere quindi a buon ragione che, tra le diverse pratiche volte alla produzione di “risorse idriche non convenzionali”, il riutilizzo rappresenti probabilmente quella più efficace, sia in termini tecnici sia in relazione ai benefici conseguibili per la salvaguardia dell'ambiente idrico.

Con l'emanazione del Decreto Ministeriale n. 185 del 12 giugno 2003, “Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue”, predisposto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, di concerto con i Ministeri delle Politiche Agricole e Forestali, della Salute e delle Attività Produttive, si è costituito uno strumento importante nella direzione di una gestione sostenibile del patrimonio idrico.

Gli usi consentiti per i reflui depurati sono:

l'uso irriguo: per l'irrigazione di colture destinate sia alla produzione di alimenti per il consumo umano ed animale sia a fini alimentari, nonché per l'irrigazione di aree destinate al verde o ad attività ricreative o sportive;

l'uso civile: per il lavaggio delle strade nei centri urbani; per l'alimentazione di reti duali di adduzione, separate da quelle delle acque potabili, con esclusione dell'utilizzazione diretta negli edifici a uso civile, ad eccezione degli impianti di scarico nei servizi igienici;

l'uso industriale: come acqua antincendio, di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali, con l'esclusione degli usi che comportano un contatto tra le acque reflue recuperate e gli alimenti o i prodotti farmaceutici e cosmetici.

L'impiego delle acque recuperate è subordinato al rispetto dei limiti dei parametri chimico-fisici e microbiologici elencati nel Decreto stesso, per alcuni dei quali è previsto un meccanismo di deroga subordinata alla richiesta delle Regioni e all'intesa con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, mentre nel caso di impiego industriale i limiti vengono stabiliti dalle parti interessate all'attività nel rispetto comunque dei limiti previsti per lo scarico in acque superficiali.

Gli oneri necessari per arrivare ad un livello di depurazione tale da permettere il riutilizzo sono a carico del titolare dell'impianto di trattamento, mentre tutti gli investimenti necessari affinché il refluo possa arrivare all'utilizzatore finale sono a carico del titolare della rete di distribuzione.

Per dare immediata operatività alle previsioni contenute nel Decreto e pianificare le attività di recupero delle acque è stato richiesto alle Regioni di definire un primo elenco degli impianti i cui scarichi devono conformarsi ai limiti tabellari previsti per il riutilizzo.

La Regione Sardegna non ha ancora definito tale elenco; in sede di Piano d'Ambito di cui alla legge n. 34/94 è stato indicato un primo elenco di impianti di depurazione destinabili al riutilizzo dei reflui come indicato nella tabella seguente:

SchemaPRRA	Denominazione Impianto	Residenti 1998	Fluttuanti 1998	Volume riutilizzabile civile (milioni di mc/anno)
3	Porto Torres - Agglomerato Industriale	21,888	3,761	1.42
4 02	Sassari - Loc. Ottava -	21,894	6,500	1.46
5	Sassari - Loc. Caniga	97,396	1,890	6.07
10	Sorso - Sennori - Impianto Consortile Pedrugnano	21,516	16,194	1.58
33	Alghero -Loc. Mariotti -	38,888	39,058	3.01
49	Palau	3,355	56,335	1.07
50	Arzachena - Loc. Mulgianu	9,513	36,302	1.15
58	Olbia - Zona Industriale	281	12,500	0.21
62	Olbia - Loc. Baratta -	40,791	20,000	2.84
77	Tempio Pausania - Loc. Z.I.R S.S. 127 km 41,00	22,759	1,323	1.43
113 01	Siniscola - Loc. Abba Fritta	11,020	35,209	1.22
134	Macomer - Cons. Ind.le	13,556	292	0.85
135	Bosa Loc. Torridi	10,683	35,682	1.21
144	Ottana T.A.S.	0	0	0.00
170	Oristano - Loc. Cirras Z.I. Santa Giusta	62,077	5,389	3.93
197 01	Terralba- Marrubiu - Loc. S'Isca	21,516	3,028	1.38
206 06	Pabillonis - Loc. Bau Sa Taula -	30,229	4,308	1.94
207	Villacidro - Consorzio Industriale	24,985	144	1.55
213	Nuoro - Loc. Mughina	37,869	7,613	2.47
223	Tortoli - Loc. Baccasara	14,080	35,458	1.42
255	Muravera	13,425	10,950	1.00
263	Serramanna - Loc. Pruni Cristis	44,332	121	2.75
264 6	Monastir - Loc. Sa Murta-	22,146	600	1.38
275	Cagliari - Loc. Is Arenas	320,257	90,693	21.26
276	CASIC - Loc. Sa Marra	84,419	363	5.24
294 03	ZIR Iglesias	39,241	140	2.44
310_08	San Giovanni Suergiu	33,106	0	2.05
	TOTALI	1,061,222	423,853	72.33

Con riferimento ai reflui di origine industriale, concordemente con quanto ipotizzato nel PA (1987) si è previsto, per quanto possibile, il riciclo interno che deve essere incrementato con un'adeguata politica tariffaria che, "obbligando" al riciclo, minimizzi il prelievo di risorse fresche dal sistema naturale di tale settore di utenza.

Allo stato attuale è stato realizzato ed è in funzione dal mese di maggio 2002 l'impianto di affinamento di Is Arenas a Cagliari che è in grado di produrre e conferire al lago di Simbirizzi circa 20 milioni di m³ all'anno prodotti dall'impianto di depurazione di Cagliari e che risulta già interconnesso con il sistema irriguo del basso Campidano.

A livello regionale resta pertanto ancora da sfruttare un volume di circa 50 milioni di m³ all'anno.

Per una corretta valutazione del volume utilizzabile è, tuttavia, necessario considerare che il volume annuo prodotto può essere integralmente utilizzato solo se i volumi scaricati nella stagione invernale possono essere accumulati in un invaso di sufficiente capacità.

In tali casi inoltre occorre valutare attentamente il problema della protezione dei corpi idrici ricettori, soggetti a rilevanti fenomeni eutrofici.

Il riuso delle acque usate, previo adeguato trattamento e mediante una opportuna connessione idraulica con le aree di utilizzo, deve costituire una parte importante del ciclo dell'acqua così da *alleggerire* il prelievo dal sistema naturale di risorse "fresche".

Tuttavia al fine di promuovere e sviluppare effettivamente sul campo il riuso dei reflui è fondamentale costruire un processo organico che, considerando il riuso come obiettivo primario nella costruzione di un sistema di razionale utilizzazione delle risorse naturali, consenta ai soggetti che operano nel settore di programmare tali interventi in presenza di condizioni al contorno ben definite.

Sulla base di tali elementi è necessario intervenire a livello istituzionale affinché norme e regolamenti attuativi sul piano regionale, tenendo conto delle specificità locali, risolvano i seguenti nodi operativi:

- definizione operativa del regolamento sulla qualità dell'effluente in grado di minimizzare i rischi sanitari, in relazione alla situazione locale di qualità media delle risorse superficiali storicamente utilizzate nel settore irriguo; tale normativa deve, comunque, tener conto che, almeno negli impianti irrigui consortili dell'Italia meridionale i quali servono ampie aree territoriali, risulta pressoché impossibile stabilire diversi livelli di qualità a seconda delle caratteristiche delle colture irrigate. La frammentazione della proprietà agricola rende imprevedibile e difficilmente controllabile l'effettiva destinazione dell'acqua prelevata da una rete irrigua pubblica;
- dal punto di vista della protezione del suolo manca oggi una conoscenza adeguata, basata su dati sperimentali osservati in campo, dei fenomeni di trasformazione e di perdita della capacità produttiva del suolo stesso dopo cicli di irrigazione pluriennali in relazione alle caratteristiche qualitative delle acque (prelevate da corpi idrici superficiali o da impianti di

affinamento dei reflui). La normativa non può che essere, per tali aspetti, dinamica e soprattutto orientata nella fase iniziale all'obbligo del monitoraggio in campo così da reperire i dati di base necessari. Si sottolinea, comunque, che tale problematica può essere affrontata non solo incrementando il grado di trattamento degli impianti di depurazione ma anche prevedendo adeguate regole operative irrigue e, soprattutto, per i terreni più sensibili, installando adeguati sistemi di drenaggio superficiale e anche sotterraneo. Tale provvedimento rende più efficaci i positivi apporti delle precipitazioni naturali per la ricostituzione degli equilibri naturali dei terreni interessati;

- definire un quadro programmatico di sviluppo agricolo sostenibile in una regione a clima semiarido come quello della Sardegna, così da integrare la programmazione agricola nel più ampio scenario di pianificazione dell'utilizzo delle risorse idriche con specifico riferimento al riuso delle acque usate e depurate;
- definire processi di trattamento tecnologicamente ragionevoli (in termini di costi di investimento e di esercizio) e stabilire a monte la ripartizione degli oneri economici tra soggetti produttori dei reflui, e dei relativi impatti sull'ambiente, soggetti utilizzatori della risorsa, di qualità inferiore a quella naturale ma quantitativamente costante, e fiscalità generale in relazione al raggiungimento di obiettivi di interesse generale (riduzione delle pressioni ambientali che sarebbero determinate da nuovi prelievi idrici dall'ambiente, valorizzazione degli elementi paesaggistici con la protezione delle aree marine costiere, difesa dell'occupazione, ecc.)
- definire un protocollo per coinvolgere le associazioni e gli utilizzatori al progetto di riuso.
- definire un adeguato controllo e monitoraggio sia delle caratteristiche qualitative delle acque e sia degli effetti ambientali, agronomici e pedologici del riutilizzo. Tali dati sono fondamentali per mettere a punto nel corso degli anni sia gli aspetti tecnologici che quelli normativi così da passare, nel più breve tempo possibile, da una fase sperimentale a una situazione ordinaria di esercizio. La disponibilità di dati di monitoraggio dell'intero sistema consente, inoltre, di poter dare risposte ad eventuali dubbi degli utilizzatori, potendo analizzare i diversi problemi che possono emergere nel territorio e verificando se per tali problemi esiste realmente un rapporto di causa – effetto con il riuso dei reflui. Il poter fornire risposte documentate non può che favorire la migliore utilizzazione delle risorse.

Un aspetto decisivo riguarda poi la possibilità che le Regioni hanno di stabilire appositi accordi di programma con i titolari degli impianti di recupero e i titolari delle reti di distribuzione anche ai fini di prevedere agevolazioni ed incentivazioni al riutilizzo.

Nel presente Piano gli interventi riferiti all'utilizzo delle acque reflue depurate sono assunti come prioritari; in tal senso le proposte progettuali esistenti sono state sempre considerate per la definizione dell'alternativa base.

Gli interventi così considerati sono:

NUOVI INTERVENTI

SISTEMA	CODICE.	TITOLO INTERVENTO	VOLUME (Mmc/anno)
4	REF5	Depuratore di Sassari e adduzione acque reflue sino all'invaso Cuga	6,07
4	REF1	Recupero reflui Alghero	3,01
2/6/7	REF26	Recupero reflui Monastir	1,38
2/6/7	REF25	Recupero reflui civili CASIC	5,24
2/6/7	REF4	Recupero reflui San Giovanni Suergiu	2,05
TOTALE			17,75

INTERVENTI FINANZIATI O REALIZZATI

SISTEMA	CODICE	TITOLO INTERVENTO	VOLUME (Mmc/anno)
2/6/7	REF6	Recupero reflui Serramanna	2,75
2/6/7	REF2	Recupero reflui Is Arenas	21,26
2/6/7	REF7	Recupero reflui Iglesias	2,44
3	REF27	Recupero reflui Olbia (*)	
TOTALE			26,45

5.4 ACQUE PRODOTTE MEDIANTE PROCESSI DI DISSALAZIONE

Il ricorso ad impianti di dissalazione è uno dei provvedimenti possibili per la riduzione del disavanzo tra idroesigenze e disponibilità di risorsa anche se non può che avere un ruolo marginale nella quota di copertura del deficit potenziale, mentre assume un ruolo strategico nell'ambito delle strategie per fronteggiare le situazioni di emergenza.

Dal punto di vista dei costi la dissalazione risulta ancora il sistema più oneroso per la produzione di acqua potabile. Tuttavia, il differenziale con le risorse convenzionali si è fortemente ridotto nell'ultimo decennio, in conseguenza dell'incremento dei costi delle opere convenzionali che prevedono un recupero di risorsa erogabile sempre minore, e della riduzione dei costi delle tecnologie nel campo impiantistico.

Altro problema è rappresentato dall'impatto ambientale di tale genere di opera, sia dal punto di vista ecologico e sia da quello paesaggistico.

Di particolare peso è la problematica legata allo scarico della salamoia, ovvero acque con concentrazione di sali pari a circa il doppio di quella media del mare, che sulla base di studi recenti, ancora in corso di approfondimento, in assenza di specifici provvedimenti di contenimento o eliminazione degli effetti, potrebbe avere implicazioni negative sulle praterie di posidonia che insistono sui fondali marini.

I vantaggi della realizzazione di un impianto di dissalazione risiedono nella continuità di erogazione rispetto alle risorse convenzionali, strettamente dipendenti dagli andamenti meteorologici.

Infatti il sistema attuale è caratterizzato da un'altissima vulnerabilità. Come dimostra l'attuale situazione delle scorte idriche, sempre più spesso al di sotto del livello di guardia, la persistenza delle condizioni meteorologiche, l'eccesso del deficit strutturale, e gli elevati livelli di pressione dei diversi settori produttivi sulle risorse idriche, non consentono di garantire, in qualsiasi condizione, un livello minimo di erogazione alle utenze potabili.

La produzione d'acqua mediante un impianto di dissalazione risponde all'esigenza di garantire una produzione annua con un determinato livello di erogazione indipendentemente dal ciclo climatico in atto.

I "benefici" della realizzazione di un impianto di dissalazione risiedono non soltanto nel contributo di produzione annua di risorsa idrica, che come si è detto non può che avere una incidenza marginale sul complessivo deficit, ma soprattutto per le specifiche caratteristiche, in termini di garanzia di produzione, che tale risorsa ha rispetto alle risorse convenzionali strettamente dipendenti dagli andamenti meteorologici e dalla capacità di rispettare regole di gestione assolutamente rigorose e fortemente penalizzanti rispetto a settori produttivi strategici.

Peraltro i costi già elevati di produzione dell'acqua dissalata vengono moltiplicati nel passaggio dalla produzione all'utente finale, in considerazione dell'elevato livello di perdite riscontrato a livello regionale.

Per i problemi esposti, nel contesto di una pianificazione di medio termine il ricorso alla dissalazione deve essere esaminato alla luce di una attenta verifica di tutte le alternative tecnologiche possibili.

Si ritiene infine che la realizzazione di un impianto di dissalazione debba essere d'altra parte valutata dal soggetto responsabile dell'approvvigionamento della utenze civili (Autorità d'Ambito) al fine di incrementare l'affidabilità e ridurre la vulnerabilità del servizio idrico civile.

In relazione a tale finalità i costi complessivi (investimento ed esercizio) dovranno essere a carico del sistema tariffario idropotabile in regime di project financing secondo la normativa vigente.

La produzione d'acqua mediante un impianto di dissalazione risponde a queste due esigenze. Infatti una produzione annua garantita costituisce un livello minimo di erogazione che può valere, ad esempio, per Cagliari e il suo hinterland, con un impianto da 20 Mmc, circa il 40% del fabbisogno base, una volta eliminate le perdite in rete.

Tale livello minimo di erogazione potrà comunque essere in futuro garantita con qualsiasi condizione climatica o, eventualmente, un parziale recupero delle scorte può essere attuato in tempi più contenuti. In ogni caso è fondamentale prevedere la contemporanea ristrutturazione delle reti di distribuzione cittadine che non solo consente di recuperare risorse che derivano dal contenimento delle perdite ma impedisce che i costi unitari dell'acqua dissalata vengano moltiplicati, nella passaggio dalla produzione all'utente finale, per via del fatto che una parte consistente dell'acqua che uscirà dall'impianto si disperderà nel sottosuolo.

Paradossalmente, se si realizza un impianto e non si interviene a ridurre drasticamente le perdite in rete, i benefici della produzione aggiuntiva di acqua nel sistema potranno essere acquisiti solo mantenendo l'attuale un certo livello di restrizioni.

Occorre poi tenere sotto controllo ed approfondire gli aspetti ambientali e paesaggistici, sottolineando la presenza di alcuni impatti del tutto analoghi a quelli di un impianto di potabilizzazione e di una grossa centrale di sollevamento.

L'aspetto che si ritiene più delicato a livello di impatto sull'ecosistema è quello dello scarico della salamoia, ovvero acque con concentrazione di sali pari a circa il doppio di quella media del mare, che sulla base di studi recenti, ancora in corso di approfondimento, in assenza di specifici provvedimenti di contenimento o eliminazione degli effetti, potrebbe avere implicazioni negative sulle praterie di poseidonia che insistono sui fondali marini.

Lo stato della dissalazione nel mondo

È stato dimostrato, durante gli ultimi 20 anni, che è tecnicamente ed economicamente fattibile produrre grossi volumi di risorsa idrica di adatta qualità attraverso la dissalazione dell'acqua marina, di quella salmastra e dell'acqua reflua trattata.

Gli impianti in esercizio nel mondo raggiungono il volume di 1 milione di mc al giorno essendo formati da singole linee di trattamento da oltre 50.000 mc/g con elevato grado di affidabilità, producendo acqua di elevata purezza a costi accettabili per le regioni nelle quali sono stati costruiti.

Il mare rappresenta la risorsa d'acqua illimitata. La sfida consiste nel convertire tale risorsa in acqua dolce attraverso la dissalazione a costi compatibili con le caratteristiche dell'utilizzazione.

Nel seguito viene illustrata una breve sintesi dello stato dell'arte di tale tecnologia estratta dalle più recenti pubblicazioni internazionali.

Gli impianti esistenti

Come risulta dall'ultimo World Wide Inventory Report (IDA), in tutto il mondo sono stati installati o sono in fase di realizzazione 13.600 impianti di dissalazione in 120 paesi con una capacità complessiva di 26 milioni di mc/g.

I paesi del Medio Oriente, specialmente quelli del Consiglio di Cooperazione del Golfo, sono gli utenti più grandi delle tecnologie di dissalazione, con 11.991.000 mc/g, che supera il 50% della capacità mondiale.

Il regno dell' Arabia Saudita si posiziona primo con il 23,6%, in diminuzione del 2,3% dall'ultimo inventario della capacità mondiale installata, la maggior parte costituita da unità multy-stage flaSH (MSF) di dissalazione di acqua marina unite alla produzione di energia in impianti duali di generazione di energia e dissalazione. Il più grande impianto del mondo, funzionante con successo dal 1982, è il complesso di Al Jubail Phase II che produce 908.400 mc/g di acqua distillata e 1.300 MW di energia elettrica.

L' Arabia Saudita è seguita dagli Stati Uniti d'America, che ha il 16,7% della capacità mondiale installata, in 3.060 unità, consistenti principalmente in impianti che usano soprattutto il processo di osmosi inversa per trattare acqua di falda salmastra o acqua di fiume.

Gli Emirati Arabi Uniti con il 16,3%, seguiti dal Kuwait con il 6,4%, della capacità installata in tutto il mondo, sono buoni esempi dei paesi in cui gli impianti combinati di generazione di energia e dissalazione sono utilizzati su scala importante.

L'Egitto al momento ha installati 230 impianti per una capacità installata di 174.640 mc/g che rappresentano un incremento di 187 impianti e di 128.972 mc/g rispetto al 1999.

In termini di processi di dissalazione, il 42,87% degli impianti installati o in fase di realizzazione sono basati sul principio MSF che mostra un calo continuo della proporzione raggiunta nel 1993 (51,5%). In confronto, il processo di osmosi inversa ha aumentato la relativa quota a 38,95% nello stesso periodo. Negli impianti da 4.000 mc/g per unità ed oltre è ancora prevalente la tecnologia MSF con il 57,5%, mentre la tecnologia RO è presente per il 27,6%. Anche se le altre tecnologie di distillazione dell' acqua, Multi-Effect (MED) e Vapour

Compression (VCD), non sono molto diffusi, è possibile che questi avranno un ruolo importante in avvenire.

E' interessante notare che per gli impianti con una capacità di trattamento superiore a 3.785 mc/g la dissalazione di acqua marina prevale con il 60,6% sulla dissalazione di acqua di falda salmastra che si attesta al 22,8% di tutta la capacità installata od in fase di realizzazione.

Da questi numeri risulta chiaro che la tecnologia di dissalazione è una tecnologia matura e ben studiata. Essa fornisce un servizio affidabile in diverse parti del mondo, a costi di installazione, così come di gestione e manutenzione, sempre elevati, ma continuamente decrescenti grazie alla migliore conoscenza delle tecnologie, alla maggiore attenzione ai dettagli e particolare attenzione allo sviluppo dei prodotti chimici più avanzati.

Anche se l'acqua dissalata rimane ancora più costosa rispetto ad altre fonti di risorsa, il divario si sta riducendo anche perché lo sfruttamento di altre forme di risorsa idrica sta diventando sempre più costoso a causa di considerazioni ambientali.

I processi di dissalazione e le tendenze future

Una unità di dissalazione essenzialmente separa l'acqua salata in due flussi: uno con una bassa concentrazione di sali disciolti (il ramo d'acqua dolce) e l'altro contenente i restanti sali disciolti (il ramo di acqua concentrata o salata)

I processi termici

Nel processo di distillazione l'acqua viene riscaldata ottenendone vapore acqueo che viene condensato in acqua dolce. In un impianto industriale l'acqua è portata sino al punto di ebollizione per ottenerne il massimo del vapore acqueo.

In un impianto di dissalazione per fare questo la pressione applicata all'acqua da portare ad ebollizione è regolata in modo tale da controllare il punto di ebollizione stesso. Questa riduzione del punto di ebollizione è importante nel processo di dissalazione per due ragioni fondamentali: stadi multipli e controllo delle scorie.

Portare ad ebollizione l'acqua necessita di due importanti condizioni: un'appropriata temperatura per una data pressione ambiente ed una energia sufficiente per l'evaporazione. Quando l'acqua è riscaldata sino al suo punto di ebollizione e di seguito l'apporto di calore viene interrotto essa continuerà a bollire solo per breve tempo in quanto necessita di energia addizionale (il calore di evaporazione) per poter proseguire nell'ebollizione stessa. Una volta che cessa l'ebollizione tale processo può essere riattivato o fornendo nuovo calore o riducendo la pressione esterna dell'ambiente sopra il liquido. Riducendo la pressione, l'acqua si troverebbe ad una temperatura superiore al suo punto di ebollizione passando immediatamente allo stato di vapore mentre la sua temperatura diminuirebbe sino al suo nuovo punto di evaporazione. Se altro vapore può essere prodotto e successivamente condensato in acqua dolce con la stessa quantità di calore, il processo tende ad un più elevato grado di efficienza.

Al fine di ridurre significativamente la quantità di calore necessaria per l'evaporazione, la dissalazione per distillazione usualmente impiega la bollitura multipla in una serie di serbatoi in successione, ognuno operante a temperatura e pressione via via decrescenti. Normalmente da 1 tonnellata di vapore si producono 8 tonnellate di distillato.

Oltre all' ebollizione multipla, l'altro fattore importante è il controllo delle scorie. Anche se la maggior parte delle sostanze si dissolvono più facilmente in acqua calda, alcune si dissolvono più prontamente in acqua fredda. Purtroppo, alcune di queste sostanze, come i carbonati ed i solfati, sono presenti in acqua di mare. Una delle più importanti è il solfato di calcio (CaSO_3) che inizia a lasciare la soluzione quando l' acqua di mare si avvicina a circa 115 °C. Questo materiale forma una incrostazione molto forte che ricopre tutti i tubi e tutte le superfici presenti. Queste scorie creano problemi sia di ordine termico che meccanico e, una volta formatesi, sono difficili da rimuovere. Un metodo di evitare la formazione di queste incrostazioni è di controllare la concentrazione dell'acqua marina e di controllare la temperatura del processo. Un altro metodo è di aggiungere all'acqua di alimentazione speciali prodotti chimici in modo tale da ridurre la precipitazione di questi sali potendosi così raggiungere le temperature massime di 120 °C.

I processi multy-stage flaSH (MSF)

In questi processi un vapore d'acqua salmastra attraversa la parte inferiore del serbatoio fino a 25 stadi (serbatoi). La pressione in ogni stadio è mantenuta ad un livello inferiore della pressione di vapore di saturazione dell'acqua una cui parte passa immediatamente (flash) allo stato di vapore che viene di seguito condensato. Il calore latente perso durante la condensazione è usato per riscaldare il successivo stadio di flash recuperando quindi parte dell'energia.

Tra i vantaggi di questo processo vi è il fatto che la composizione dell'acqua d'alimentazione ha un effetto trascurabile sul consumo di energia per l'acqua prodotta ed in comune con tutti i processi di distillazione produce dell'acqua comparativamente pura.

Gli impianti sono completamente sviluppati e sono stati oggetto di operazioni commerciali a grande scala per molti anni. I costi di impianto variano tra i 1,06 euro/l·g ed i 3,17 euro/l·g. Le dimensioni degli impianti variano da 3'785 mc/g a 56'775 mc/g.

I processi multi-effect distillation (MED)

Nella distillazione Multi-effect l'evaporazione ha luogo nel momento in cui un sottile velo d'acqua passa attraverso una superficie calda. Questa consiste normalmente nella parte esterna di un tubo orizzontale. Il vapore formatosi in ogni stadio condensa nel successivo fornendo una risorsa di calore per una ulteriore evaporazione. Il risparmio di energia è ottenuto se il vapore dell'ultimo stadio viene compresso termicamente o meccanicamente. Il numero di stadi impiegati è inferiore di quello della tecnologia MSF.

Il consumo specifico di calore di questa tecnologia è inferiore a 1,8 KWh/ton di distillato molto più bassa che i 4 KWh/ton per la tecnologia MSF. Un altro vantaggio è la capacità di produrre rapporti di rendimento elevato al di sopra di 15 tonnellate di prodotto per una tonnellata di vapore laddove il limite pratico della tecnologia MSF è 10.

Questi impianti sono stati recentemente migliorati e, combinati con processi di Nanofiltrazione (NF), possono ridurre i costi in maniera significativa. Le dimensioni possono variare da 1'892 mc/g a 18'925 mc/g. I costi di impianto variano tra i 0,92 euro/l·g ed i 2,11 euro/l·g.

I processi vapour compression distillation (VCD)

Il processo Vapour Compression è simile al processo MED. Il vapore prodotto dalla evaporazione dell'acqua salata è compresso nello stesso lato dell'evaporatore dove il vapore è prodotto. Esso condensa sulle superfici di scambio di calore, fornendo il suo calore latente per far evaporare un volume aggiuntivo d'acqua. L'energia di evaporazione proviene dal compressore del vapore a differenza dei metodi precedenti in cui deriva dalla sorgente di calore primaria.

Questo metodo è semplice, adattabile e richiede solo una alimentazione elettrica. Ancora deve avere il suo impatto con il mercato.

I processi a membrana

In natura le membrane giocano un importante ruolo nella separazione dei sali, includendo sia i processi di dialisi che di osmosi, che avviene nell'organismo umano. Le membrane sono utilizzate in due importanti, commercialmente parlando, processi di dissalazione: elettrodialisi (ED) ed osmosi inversa (RO). Ciascun processo usa la capacità della membrana di differenziare e separare selettivamente sali ed acqua. Tuttavia, le membrane sono utilizzate diversamente in ciascuno di questi processi.

L'osmosi inversa è un processo a pressione controllata dove la pressione è utilizzata per separare i sali dall'acqua permettendo all'acqua dissalata di attraversare la membrana lasciando i sali dietro questa. Il processo avviene utilizzando la pressione idraulica come fonte di energia, operando a temperatura ambiente. Una frazione del contenuto idrico dell'acqua di mare o acqua salmastra è guidata sotto pressione attraverso una membrana semi-permeabile, generalmente di materiali organici. Come implica la denominazione, il valore della pressione applicata deve eccedere la pressione osmotica della acqua di alimentazione.

Al fine di prevedere installazioni più compatte e minori costi di realizzazione, i progetti sono stati sviluppati per massimizzare la dimensione della superficie della membrana contenuta in ogni singolo modulo. Due sono le soluzioni correntemente utilizzate per il trattamento delle acque marine: fibre cave ovvero fibre piane e piane a spirale.

L'osmosi inversa in generale richiede un pretrattamento completo in modo da evitare depositi che possano ridurre il flusso di acqua o, nei casi estremi, possano completamente distruggere

le membrane. L'alimentazione alla pressione di 69 bar è usata per acque di media e bassa salinità mentre alimentazioni a pressioni da 83 bar sono utilizzate per acque con salinità e temperature elevate nel Mar Rosso e nel Golfo Arabico.

Il rapporto di trattamento può variare dipendendo dalla salinità dell'acqua dal 35% per salinità elevate al 50% per la normale salinità dell'acqua di mare. Il processo ad osmosi inversa per le acque marine normalmente impiega solo energia elettrica. Pompe centrifughe multi-stadio per alte pressioni (efficienza 70-85 %) sono impiegate per le grosse unità singole che correntemente raggiungono gli 11.355 mc/g. Normalmente al fine di recuperare energia si impiegano sistemi di recupero basati su pompe reversibili, turbine ad azione, turbocompressori o similari. Il costo di ammortamento (circa il 35-45%), il costo dell'energia elettrica (30-50%), la sostituzione delle membrane, costituiscono l'aliquota più importante del costo totale dell'acqua trattata. Questo costo può variare dai 0,75 ai 1,20 euro/mc I costi di installazione di in un impianto possono variare dai 0,92 euro/l-g ai 2,38 euro/l-g.

I sistemi di generazione-dissalazione combinati

Gli impianti di dissalazione e generazione di energia combinati utilizzano l'energia estratta o esaurita dalle centrali elettriche sotto forma di calore a bassa pressione come input agli impianti di dissalazione termici per processi di distillazione del tipo MSF o MED. L'energia elettrica può essere effettivamente usata nei processi di dissalazioni controllati elettricamente come l'osmosi inversa (RO) e la distillazione per compressione del vapore (VCD).

La questione importante che i pianificatori, i progettisti e gli operatori di questa tipologia di impianti devono affrontare è la scelta ottimale dei processi di produzione di energia e di dissalazione in modo da ottimizzare la produzione di energia e di acqua dissalata.

Condizioni eccezionali ed uniche si verificano in Arabia Saudita, dove il picco di consumo di energia elettrica cresce significativamente durante l'estate principalmente a causa del condizionamento degli ambienti e quindi rimbalza drammaticamente al 30-40% della capacità estiva. Questo crea una situazione in cui oltre il 50% dell'energia prodotta è inutilizzata. Al contrario la domanda idrica è pressoché costante. Mentre l'acqua può essere stoccata questo non è pratico per l'energia.

In questo caso l'eccesso di energia elettrica può essere usato per dissalare acqua incorporando tecnologie di osmosi inversa e/o di distillazione per compressione di vapore di acqua marina controllate elettricamente e combinate con tecnologie a vapore MSF e MED a bassa pressione, rendendo così vantaggioso avere impianti ibridi integrati.

Come risultato della continua crescita della domanda idrica in misura sempre maggiore di quella dell'energia elettrica, la progettazione dei futuri impianti dovrà tener conto accuratamente del rapporto tra potenza prodotta e volumi d'acqua dissalata.

Le tendenze future

Le tecnologie basate sull'evaporazione, per se stesse, vedranno solo dei modesti miglioramenti. La loro più grande possibilità di competere più aggressivamente con le tecnologie basate sull'osmosi inversa può venire dagli sviluppi nella tecnologia delle membrane. Sia l'efficienza di produzione che quella termica di un evaporatore sono limitate dalla massima temperatura operativa che è molto spesso limitata dalla propensione a formare incrostazioni inorganiche insolubili. L'uso di membrane NF per nano-filtrazione al fine di attenuare parzialmente il contenuto salino dell'acqua, consentono agli impianti trattanti acque di mare di lavorare a temperature maggiori, più che giustificando in questo caso i maggiori costi del pretrattamento NF.

Sia gli impianti MSF che quelli ME possono essere migliorati con l'impiego di uno stadio NF in modo da incrementare la capacità di trattamento senza la necessità di aggiungere nuovi impianti completi di trattamento.

Nel caso dell'osmosi inversa sono stati anticipati ulteriori miglioramenti nel progetto dei sistemi e nelle prestazioni delle membrane così come è stata anticipata una riduzione dei costi ed un incremento delle opzioni per il recupero di energia dall'acqua salata di rifiuto. E, come visto nel paragrafo precedente, un pretrattamento con membrane nell'osmosi inversa, può incrementarne la produttività e ridurre i costi operativi attraverso tale ibridazione. Egualmente, l'ottimizzazione continua nella progettazione degli elementi della membrana e del sistema delle membrane. Nuovi approcci, atti a intervenire sulla turbolenza dell'acqua in trattamento e la distribuzione all'interno degli elementi stessi, promettono di migliorare il rendimento delle membrane attuali.

In caso di NF (o MS) si sta iniziando solo ora ad apprezzarne le possibilità. Ulteriori sviluppi ancora necessitano di essere fatti in modo da ottimizzare queste membrane per applicazioni specifiche sia per pretrattamento di acqua marina, di acqua salmastra di falda o per membrane per addolcire acque ad uso potabile.

Le problematiche connesse alla realizzazione di un impianto

La presa e la qualità dell'acqua di mare

Il progetto di un dissalatore e, in conseguenza, i costi di installazione e gestione vengono pesantemente condizionati dalle caratteristiche dell'acqua di mare disponibile. Relativamente alle possibili ubicazioni dell'impianto di dissalazione, occorre pertanto verificare la fattibilità delle prese di acqua di mare sia con presa diretta dal mare che mediante campo pozzi.

Tra le due forme disponibili per effettuare la presa dell'acqua di mare necessaria (campo pozzi e captazione diretta dal mare) è logicamente il campo pozzi il metodo che fornisce (anche se non sempre) acqua di migliore qualità.

Si rileva infatti che la presa di acqua di mare mediante emungimento diretto da pozzi, mentre risulta più onerosa dal punto di vista energetico dovendosi installare, a parità di portata emunta, pompe di potenza superiore, presenta l'indubbio vantaggio di fornire acqua di mare con migliori caratteristiche di qualità (in pratica si ottiene una prima filtrazione dell'acqua) ed

ha certamente un minore impatto ambientale per cui risulta, nella maggior parte dei casi, preferibile alla soluzione con presa diretta dal mare.

La qualità dell'acqua di mare da sottoporre a trattamento è uno dei parametri progettuali più importanti per la corretta definizione del processo di trattamento ed influisce pesantemente, ad esempio, sulla tipologia di membrane da adottare.

Da un lato il posizionamento dell'opera di presa deve avvenire nell'ottica di addurre all'impianto acqua di buona qualità, in particolare dal punto di vista chimico-batteriologico, dall'altro la stessa presa non deve interferire con l'idrodinamica marina, che a sua volta condiziona l'equilibrio idrogeologico della costa, né con tutte le forme di vita presenti, comunità bentoniche, fauna e flora acquatiche.

La scelta della tipologia dell'impianto di dissalazione

Come più ampiamente accennato in premessa, attualmente, per la dissalazione di acqua di mare, esistono sostanzialmente due tecniche ben sviluppate: i sistemi ad evaporazione (MSF, MED e CV) e la osmosi inversa.

La scelta del tipo di impianto dipende da numerose considerazioni di carattere tecnico, economico ed ambientale quali ad esempio il costo e l'impatto delle opere civili, elettromeccaniche, di presa e di restituzione, il costo di investimento iniziale in infrastrutture, il costo di esercizio dovuto essenzialmente al consumo energetico che rappresenta, senza ombra di dubbio, uno dei principali fattori economici di produzione, il costo di manutenzione dell'impianto etc.

La parte essenziale di un impianto di trattamento di acqua di mare mediante osmosi inversa risiede ad esempio nell'intessitura delle membrane, tant'è che questo processo richiede un pretrattamento di acqua di alimentazione che dipende dalle caratteristiche dell'acqua da trattare e dal tipo di membrana (a fibra cava o piana a spirale).

Lo smaltimento delle acque di scarico

In generale l'acqua di rifiuto prodotta da un impianto di dissalazione deve essere convogliata fino a punto di scarico a mare mediante tubazioni interrato e lo scarico sottomarino si realizza generalmente mediante tubazioni ancorate mediante blocchi in c.a.

L'evacuazione dipenderà quindi dalle caratteristiche del fondo marino, delle caratteristiche batimetriche della zona di scarico e dalla legislazione applicabile per lo scarico.

In Italia non esistono, in base alla legislazione vigente sugli scarichi (cfr. Legge n° 152/99), limiti di sorta alla concentrazione di sali disciolti (solfati e cloruri) nelle acque di scarico, mentre per quanto riguarda gli altri parametri chimici e batteriologici si fa riferimento alla tabella 3 della citata legge.

A prescindere comunque dal rispetto dei limiti normativi, occorre in generale effettuare uno specifico studio in merito agli effetti del convogliamento delle acque di scarico in prossimità di aree con presenza di praterie di poseidonia.

In generale l'ubicazione delle opere a mare di un impianto di dissalazione deve tenere conto di alcuni aspetti:

- presenza di correnti marine: la valutazione dell'idrodinamica locale è di fondamentale importanza per comprendere come verrà modificato l'ambiente marino in funzione della possibilità di diluizione della concentrazione salina della salamoia di rilascio; la conformazione dell'opera di presa non deve interferire con il regime idraulico della zona costiera in esame e, di conseguenza, non deve alterare il regime di trasporto solido litoraneo;
- conformazione del fondale marino: l'acclività favorisce la circolazione della corrente di scarico per effetto delle differenti densità: la corrente a salinità maggiore tende ad affondare rapidamente;
- esistenza di importanti praterie di poseidonia: è necessario valutare la tolleranza di questa specie rispetto alle variazioni di concentrazione salina indotte da tali opere.

In ogni caso, l'incertezza sui fenomeni in gioco è tale da consigliare, in sede progettuale, di attenersi ad un generale principio di cautela nella scelta dei siti e comunque demandare ad approfondimenti specialistici le valutazioni che riguardano i diversi fenomeni coinvolti, il tutto in un'ottica autenticamente multidisciplinare.

In particolare risulta di grande utilità supportare tali valutazioni con strumenti di modellazione matematica che consentano, previa idonea calibrazione, di analizzare il funzionamento del sistema chimico-fisico della zona in esame in relazione ai prelievi ed alle immissioni.

Le scelte di Piano

Le uniche proposte progettuali riferite all'utilizzo della dissalazione sono quelle del dissalatore di Portovesme e del dissalatore per la Città di Cagliari.

Le suddette due proposte sono state quindi inserite nell'ambito del processo di pianificazione relativo al Sistema Meridionale, e valutate nell'ambito del set di alternative ivi considerate. I risultati delle analisi confermano la difficoltà di inserire una tale soluzione in un quadro di pianificazione che faccia riferimento alle condizioni medie idrologiche attese.

Il presente Piano, però, considera l'opzione della dissalazione come uno degli elementi costitutivi della strategia per la gestione delle situazioni di emergenza. Poiché l'insorgere di tali condizioni di emergenza potrà essere attentamente monitorato con margini di tempo sufficienti per interventi di carattere "estremo", quali potrebbero essere quelli di realizzare uno o più impianti di dissalazione, il presente Piano considera quale elemento di priorità quello di definire preventivamente le scelte di base relative alla eventuale realizzazione degli impianti di dissalazione, ovvero alla localizzazione ed eventuale predisposizione di installazioni fisse (connessione per l'utilizzazione, connessioni energetiche, prelievo dell'acqua di mare e scarichi della salamoia) tali da consentire, una volta determinatesi le

condizioni di estrema urgenza, di assemblare in pochi mesi la parte impiantistica a terra ed avere la disponibilità immediata della risorsa.

Tali predisposizioni dovranno riguardare le principali aree urbanizzate, e quindi, oltre Cagliari, e Portovesme, anche Porto Torres, Olbia, Oristano, Tortolì, ed eventuali altri siti costieri, per ciascuno dei quali dovrà essere indicato il bacino di popolazione di riferimento (anche in rapporto alla facilità di comunicazione stradale per l'utilizzo delle autobotti) in modo da coprire l'intera popolazione della Sardegna.

Il dimensionamento dei siti dovrà essere fatto in modo tale che possano ospitare impianti di potenzialità tale da assicurare, per gli usi potabili della popolazione del proprio bacino di riferimento, il minimo indicato dalla Protezione civile di 50 l/abxgiorno. Le suddette attività di pianificazione e realizzazione dovranno essere espletate dal Soggetto Gestore del servizio idrico integrato che le deve prevedere nel "Piano di gestione delle emergenze".