

## ENTE ACQUE DELLA SARDEGNA

AFFIDAMENTO DEI SERVIZI DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE, RELATIVI ALLE INFRASTRUTTURE NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL COLLEGAMENTO TRA I SUB-SISTEMI IDRICI MULTISETTORIALI TIRSO-FLUMENDOSA-CAMPIDANO E SULCIS-IGLESIENTE, PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL 1° LOTTO FUNZIONALE AI FINI DEL PROVVEDIMENTO UNICO AMBIENTALE EX ART. 27 D.LGS 152/2006 E DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA E COORDINAMENTO SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE RELATIVI AL 1° LOTTO FUNZIONALE DELLE INFRASTRUTTURE NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL COLLEGAMENTO TRA I SUB-SISTEMI IDRICI MULTISETTORIALI TIRSO-FLUMENDOSA-CAMPIDANO E SULCIS-IGLESIENTE -INTERCONNESSIONE DEI SISTEMI IDRICI COLLEGAMENTO TIRSO-FLUMENDOSA 4° LOTTO COLLEGAMENTO SULCIS-IGLESIENTE

### STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

#### Valutazione degli impatti conseguenti al trasferimento di risorsa tra gli invasi

RTI:



MCE – The Milan Company Srl

CONSULENZA SPECIALISTICA: PROF.SSA SARA BOGIALLI

# SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CRITERI DI ANALISI E STRUMENTI MODELLISTICI</b> .....	<b>7</b>
2.1	L'INTERCONNESSIONE DEGLI INVASI.....	7
2.2	ASPETTI LIMNOLOGICI GENERALI E FATTORI AMBIENTALI.....	8
2.3	I RISULTATI DELLE ANALISI PROPEDEUTICHE E LE ESIGENZE DI APPROFONDIMENTO.....	9
2.4	IL MODELLO DI BILANCIO IDROLOGICO DI BACINO.....	10
2.5	IL MODELLO GLOBALE DI JENSEN.....	12
2.6	IL MODELLO W2 – US WES.....	13
<b>3</b>	<b>ANALISI DEI DATI DISPONIBILI</b> .....	<b>16</b>
3.1	DATI TERMO-PLUVIOGRAFICI ED IDROMETRICI.....	16
3.2	DATI CARTOGRAFICI E TERRITORIALI.....	18
3.3	DATI SUI PARAMETRI FISICO-CHIMICO-BIOLOGICI DEGLI INVASI E DEGLI AFFERENTI CORSI D'ACQUA.....	19
3.4	DATI SULLE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DEGLI INVASI.....	21
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEGLI INVASI</b> .....	<b>22</b>
4.1	INVASO DI BAU PRESSIU.....	22
4.1.1	Caratteristiche dell'invaso e dello sbarramento.....	23
4.1.2	Idrografia e bacino idrografico.....	24
4.1.3	Regime termo-pluviometrico del bacino.....	25
4.1.3.1	Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature.....	25
4.1.3.2	Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino.....	26
4.1.4	Bilancio idrico e stima degli apporti meteorici all'invaso.....	27
4.1.5	Qualità delle acque.....	29
	Invaso di Bau Pressiu – dati misure cedoc e rapporti di prova di ENAS-Sqae.....	29
	Invaso di Bau Pressiu – elaborazioni del PTA.....	32
4.2	INVASO MEDAU ZIRIMILIS.....	34
4.2.1	Caratteristiche dell'invaso.....	35
4.2.2	Idrografia e bacino idrografico.....	36
4.2.3	Regime termo-pluviometrico del bacino.....	37
4.2.3.1	Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature.....	37
4.2.3.2	Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino.....	38

4.2.4	Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso .....	38
4.2.5	Qualità delle acque.....	41
4.2.5.1	MEDAU ZIRIMILIS – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE .....	41
4.2.5.2	MEDAU ZIRIMILIS – ELABORAZIONI DEL PTA.....	43
4.3	INVASO DI MONTE PRANU.....	45
4.3.1	Caratteristiche dell'invaso .....	46
4.3.2	Idrografia e bacino idrografico .....	46
4.3.3	Regime termo-pluviometrico del bacino .....	47
4.3.3.1	Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature.....	47
4.3.3.2	Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino.....	49
4.3.4	Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso .....	49
4.3.5	Qualità delle acque.....	53
4.3.5.1	Misure Cedoc e rapporti di prova ENAS Sqae.....	53
4.3.5.1.1	Parametri di qualità dell'invaso Monte Pranu.....	54
4.3.5.1.2	Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Manni di Santadi .....	57
4.3.5.1.3	Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Mannu di Villaperuccio.....	61
4.3.5.1.4	Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Palmas di San Giovanni Suergiu.....	65
4.3.5.2	MONTE PRANU – ELABORAZIONI DEL PTA .....	69
4.4	INVASO CIXERRI.....	71
4.4.1	Caratteristiche dell'invaso .....	72
4.4.2	Idrografia.....	72
4.4.3	Regime termo-pluviometrico del bacino .....	74
4.4.3.1	Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature.....	74
4.4.3.2	Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino.....	75
4.4.4	Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso .....	76
4.4.5	Qualità delle acque.....	80
4.4.5.1	CIXERRI – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE .....	80
4.4.5.1.1	Parametri di qualità dell'invaso Cixerri.....	81
4.4.5.1.2	Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Siliqua.....	84
4.4.5.1.3	Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Uta.....	88
4.4.5.2	CIXERRI – ELABORAZIONI DEL PTA.....	92

4.5	INVASO MULARGIA.....	94
4.5.1	Caratteristiche dell'invaso.....	95
4.5.2	Idrografia.....	95
4.5.3	Qualità delle acque.....	96
4.5.4	BAU PRESSIU – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE.....	96
4.5.4.1	Mulargia – Elaborazioni del PTA.....	100
<b>5</b>	<b>ANALISI DELLO STATO ATTUALE DEGLI INVASI.....</b>	<b>103</b>
5.1	METODOLOGIA DI ANALISI.....	103
5.2	INVASO DI BAU PRESSIU.....	104
5.3	INVASO MEDAU ZIRIMILIS.....	105
5.4	INVASO DI MONTE PRANU.....	105
5.5	INVASO DI CIXERRI.....	106
5.6	INVASO MULARGIA.....	106
5.7	INVASO DI CASA FIUME.....	107
5.8	ANALISI DELLE PRESENZE DI biomasse cianobatteriche.....	107
<b>6</b>	<b>ANALISI DELL'EVOLUZIONE TROFICA PREVEDIBILE A SEGUITO DEI TRASFERIMENTI IDRICI.....</b>	<b>109</b>
6.1	SCENARI DI TRASFERIMENTO TRA GLI INVASI.....	109
6.2	INVASO DI BAU PRESSIU.....	118
6.3	INVASO DI MEDAU ZIRIMILLIS.....	119
<b>7</b>	<b>ANALISI MODELLISTICA DELL'EVOLUZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE DEL BAU PRESSIU.....</b>	<b>120</b>
7.1	COSTRUZIONE DEL MODELLO.....	120
7.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	121
7.2.1	Andamento annuale della temperatura e del fosforo totale in corrispondenza dell'opera di presa.....	121
7.2.2	Profilo verticale della temperatura e del fosforo totale in corrispondenza dell'opera di presa.....	126
7.3	ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI.....	132
<b>8</b>	<b>VALUTAZIONE DEI RISCHI SULLA QUALITÀ E SUGLI ECOSISTEMI.....</b>	<b>132</b>
<b>9</b>	<b>LA VALUTAZIONE DEI RISCHI PER GLI UTILIZZI IDRICI.....</b>	<b>134</b>
9.1	CRITERI DI IDONEITÀ DEI PROCESSI DI TRATTAMENTO.....	134
9.2	ANALISI DELLA FILIERA IDROPOTABILE DEL BAU PRESSIU.....	136
<b>10</b>	<b>MONITORAGGIO E CRITERI DI MITIGAZIONE DEI RISCHI.....</b>	<b>137</b>
10.1	LINEE GUIDA E CRITERI DI VALUTAZIONE.....	137
10.2	CRITERI SPECIFICI PER LA FILIERA IDROPOTABILE.....	138
10.3	MITIGAZIONE DEI RISCHI PER GLI ALTRI USI.....	140

---

11	INTERVENTI ED AZIONI COMPLEMENTARI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO .....	140
11.1	La filiera delle acque e la catena DELLE responsabilità.....	140
11.2	Le azioni di prevenzione ED IL COINVOLGIMENTO DEI PORTATORI DI INTERESSE.....	143
11.3	IL MONITORAGGIO del rischio nella filiera idrica.....	143
12	BIBLIOGRAFIA .....	144
13	ALLEGATO 1 – MISURE TERMO-PLUVIOMETRICHE .....	146

## 1 PREMESSA

Gli interventi di interconnessione oggetto della presente analisi sono quelli previsti nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per l'Interconnessione sistemi idrici: Collegamento Tirso - Flumendosa 4° lotto. Collegamento Sulcis-Iglesiente". L'intervento costituisce il completamento dell'interconnessione tra i bacini idrografici dell'area del Centro Sud della Sardegna che, per la complessità del sistema interconnesso, per l'entità dei volumi idrici da trasferire e per l'entità dei costi di realizzazione delle opere, riveste una importanza strategica nel complesso sistema di approvvigionamento idrico dell'area meridionale della Sardegna.

In Sardegna i laghi artificiali costituiscono le principali fonti di alimentazione idrica sia per i fini irrigui che per i per fini potabili e produttivi. Il loro stato ambientale è essenziale per garantire un'adeguata qualità dell'acqua per i differenti usi ovvero per alimentare i sistemi di trattamento presenti a monte dei sistemi di utenza. In particolare, per gli usi potabili, le acque degli invasi vengono derivate per l'alimentazione degli impianti di potabilizzazione i cui processi devono risultare adeguati rispetto alle qualità delle acque grezze.

L'interconnessione dei sistemi idrici prevista con il collegamento tra i sub-sistemi idrici Tirso-Flumendosa-Campidano e Sulcis-Iglesiente ha come conseguenza la miscelazione di acque aventi diverse caratteristiche qualitative. Nello specifico, nel sistema oggetto dell'intervento sono stati studiati gli effetti che questa interconnessione avrà in particolare per gli invasi di Bau Pressiu e Medau Zirimillis, in termini di possibili rischi ambientali e della variazione/evoluzione dello status chimico-fisico delle acque come conseguenza della miscelazione. Considerando che l'invaso di Bau Pressiu ha una derivazione per uso potabile verso l'impianto di potabilizzazione di Bau Pressiu che alimenta gran parte del Sulcis, la caratterizzazione qualitativa delle acque assume in questo senso un forte rilievo.

Gli studi delle variazioni dei parametri chimico-fisici risultanti dall'immissione di volumi d'acqua con caratteristiche qualitative diverse, consentono di valutare quanto le future condizioni che si svilupperanno all'interno degli invasi potranno favorire una maggior sviluppo di fitoplancton e specie potenzialmente tossiche quali i cianobatteri. Le analisi possono indirettamente consentire di valutare i possibili interventi di mitigazione del rischio, comprendenti eventuali proposte tecniche/gestionali per il miglioramento della filiera di trattamento. Le analisi illustrate nell'ambito della presente relazione costituiscono un ulteriore approfondimento conoscitivo e valutativo rispetto agli studi propedeutici già effettuati nell'ambito dello Studio di Fattibilità Tecnica – Economica già redatto da ENAS nell'anno 2016. In particolare, sono da assumere quale prima fase di analisi (non integralmente riportata nel presente rapporto) le valutazioni illustrate nei rapporti denominati "D5 - Rapporto preliminare sulla evoluzione della qualità delle acque a seguito della interconnessione tra invasi" (redatto da ENAS nel Febbraio 2016) e "Integrazioni alle considerazioni preliminari, di cui all'allegato D5 dello studio di fattibilità tecnico-economica, sulla possibile evoluzione della qualità delle acque a seguito degli interventi di interconnessione tra invasi", redatto da ENAS nell'ottobre 2017.

Nella presente relazione si sono innanzitutto analizzate le caratteristiche quali-quantitative attuali degli invasi oggetto del presente Progetto di fattibilità in relazione agli apporti dai rispettivi bacini idrografici. Gli invasi considerati nell'analisi sono quelli di Cixerri, Medau Zirimillis, Bau Pressiu e Monte Pranu, oggetto del presente progetto e relativo studio di impatto ambientale, e del Mulargia agli scenari di pianificazione della gestione delle risorse idriche a scala regionale. Per tali invasi sono stati acquisiti ed analizzati i dati e le serie storiche quanti-qualitative disponibili. L'analisi dei dati ha consentito di ricostruire le relazioni quanti-qualitative caratteristiche per le acque in afflusso dai bacini che le dinamiche stagionali per gli invasi. A partire dai dati

disponibili si è quindi proceduto alla messa a punto e calibrazione di strumenti modellistici di supporto, sia a scala di bacino (per la generazione degli scenari sintetici di apporti quanti-qualitativi) che a scala dei singoli invasi.

Gli strumenti modellistici messi a punto hanno quindi consentito di valutare la possibile evoluzione della qualità delle acque degli invasi a seguito degli interventi di interconnessione, derivanti dai risultati delle simulazioni di differenti scenari.

In relazione ai risultati delle analisi si è infine proceduto alla valutazione dei rischi sugli ecosistemi, sugli utilizzi e sulla salute pubblica, in particolare in relazione ai processi di potabilizzazione, definendo le misure di prevenzione e controllo eventualmente necessarie.

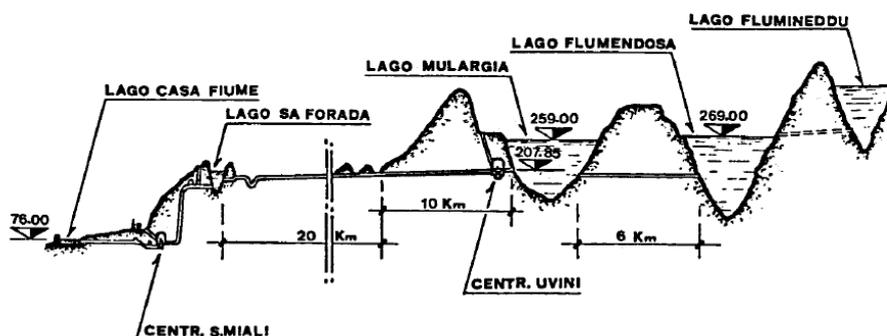
## 2 CRITERI DI ANALISI E STRUMENTI MODELLISTICI

Si sono riportate nel presente capitolo sia le considerazioni generali riguardo agli aspetti quanti-qualitativi oggetto delle valutazioni e sia una sintesi dei principi e schemi di analisi degli strumenti modellistici adottati.

### 2.1 L'INTERCONNESSIONE DEGLI INVASI

Di seguito si riporta una breve descrizione dei trasferimenti idrici oggetto della presente analisi e che risultano in parte già in atto ed in parte conseguenti agli interventi previsti nel presente Progetto di Fattibilità. Per il trasferimento di risorsa idrica verso il Sulcis - Iglesiente previsto in progetto, non sono previste nuove opere di derivazione di risorse superficiali. Le risorse trasferite verso il Sulcis - Iglesiente, si otterranno mediante l'efficientamento del sistema complessivo e la ridistribuzione delle assegnazioni alle utenze multisettoriali della vasta area Centro Meridionale della Sardegna. Il punto di partenza del nuovo sistema di opere è stato individuato nel nodo idraulico esistente presso l'invaso del Cixerri in agro di Uta. Presso tale nodo è attualmente possibile attingere risorsa idrica, per il successivo trasferimento verso il Sulcis e l'Iglesiente, sia dall'invaso del Cixerri, sia dal terminale del canale Sud-Ovest, entrambi in grado di fornire portate sufficienti allo scopo (nell'ordine di 1÷2 m<sup>3</sup>/s).

Il canale Sud-Ovest ha origine dal terminale del canale Est-Ovest, che a sua volta ha origine dall'invaso della traversa sul Rio Mannu a Casa Fiume in agro di Furtei. Quindi, tramite il canale Sud-Ovest possono giungere al nodo del Cixerri le acque invase a Casa Fiume, che a loro volta possono provenire, oltre che direttamente dal Rio Mannu, dall'invaso di Sa Forada de S'Acqua. All'invaso di Sa Forada, che ha un limitato bacino idrografico e apporti idrici propri trascurabili, giungono normalmente le acque prelevate dall'invaso del Mulargia, veicolate attraverso il canale adduttore principale del sistema Flumendosa.



*Profilo schematico degli impianti del sistema Flumendosa- Sa Forada- Casa Fiume*

Lo stesso invaso di Sa Forada de S'Acqua è anche il punto di consegna al sistema Flumendosa delle acque trasferite dal sistema Tirso tramite l'interconnessione Tirso - Flumendosa, che ha origine in agro di Marrubiu, con prelievo dal canale adduttore Sinistra Tirso, e che veicola acque prelevate dalla diga sul Tirso a Santa Vittoria, a loro volta rilasciate dalla diga di Pranu Antoni e dalla diga sul Tirso a Cantoniera.

Inoltre, pur non facendo parte del presente progetto, nell'ambito del presente studio si è valutata, a livello di scenari di pianificazione, la possibile futura alimentazione diretta con portate provenienti dall'acquedotto Mulargia - Cagliari, qualora venisse realizzata un'ulteriore condotta di interconnessione tra l'Acquedotto Mulargia, presso il nodo di Sa Mandara, e la nuova centrale del Cixerri prevista in progetto. Risultando in tal caso possibile l'alimentazione a gravità, la nuova centrale verrebbe potrebbe essere by-passata. Tale scenario consentirebbe di alimentare direttamente gli invasi di Medau Zirimillis e Bau Pressiu a partire dalle acque del Lago Mulargia che, come evidenziato nel proseguito della presente relazione, presenta caratteristiche qualitative più favorevoli.

A seguito della selezione dell'alternativa A.1.1. quale soluzione preferibile (si veda a proposito la relazione del PFTE), mediante l'intervento di 1° lotto risulterà possibile alimentare attraverso il nuovo sistema di interconnessione gli invasi di Medau Zirimillis, Bau

Pressiu e Monte Pranu. In una seconda fase (già inserita nell'ambito del presente PFTE) l'interconnessione verrà estesa all'invaso di Punta Gennarta. A seguito della possibile futura realizzazione dell'intervento di valorizzazione energetica (anch'esso inserito nell'ambito del presente PFTE e denominato "linea C") verrà attuato il trasferimento di risorsa idrica dall'invaso di Monte Pranu al lago Bau Pressiu, associato al funzionamento del sistema energetico, ovvero all'invaso temporaneo dei volumi idrici necessari per l'accumulo dell'energia in eccesso prodotta dall'impianto fotovoltaico. Si evidenzia infine che la configurazione infrastrutturale prevista nel PFTE comprende, e valuta economicamente, le opere che consentono, in particolari condizioni di esercizio, di trasferire la risorsa verso Monte Pranu – Sulcis bypassando gli invasi di Medau Zirimilis e Bau Pressiu. Il bypass degli invasi consente una ampia flessibilità gestionale, anche e soprattutto in relazione alla preservazione della qualità della risorsa degli invasi e quindi alla loro qualità sia ecologica che in relazione alla specifica destinazione d'uso.

## 2.2 ASPETTI LIMNOLOGICI GENERALI E FATTORI AMBIENTALI

Le principali cause di deterioramento della qualità delle acque degli invasi della Sardegna sono legate al fenomeno dell'eutrofizzazione. L'eutrofizzazione è una condizione di ricchezza di sostanze nutritive che comporta un aumento significativo della produzione vegetale. Essa è indice di un arricchimento in sali nutritivi provenienti da fonti naturali o antropiche, come i fertilizzanti, alcuni tipi di detersivo, scarichi civili o industriali. Questo arricchimento causa l'aumento della biomassa e della produzione delle alghe, che non sono completamente consumate dai consumatori primari. I resti delle alghe in senescenza e i prodotti metabolici dei consumatori primari sono soggetti a degradazione batterica, con un aumentato consumo di ossigeno. In un lago stratificato, le acque profonde non possono rinnovare le loro riserve di ossigeno durante la stagione estiva, quando l'attività metabolica è maggiore, e la riduzione o la mancanza di ossigeno nelle acque profonde crea numerosi scompensi, tra cui il più evidente è la possibile moria di pesci. Altri fenomeni indesiderati legati all'anossia delle acque profonde sono la produzione di ammoniaca, metano e acido solfidrico.

Nel corso dell'eutrofizzazione si può riscontrare anche un cambiamento nelle specie algali dominanti, con il prevalere dei cianobatteri, un gruppo di organismi particolarmente problematico perché alcuni loro metaboliti possono conferire all'acqua un odore sgradevole, ma soprattutto perché diverse specie possono produrre tossine estremamente pericolose per l'uomo e per gli altri animali (L. Lucentini e Ottaviani, 2011).

Nella gestione dell'eutrofizzazione, il controllo della disponibilità di fosforo è essenziale per due motivi: da una parte il fosforo è, per la maggior parte dei laghi italiani, l'elemento limitante, d'altra parte quando questo è largamente disponibile l'elemento limitante diventa l'azoto, e in questo caso la produzione primaria può essere sostenuta da cianobatteri azotofissatori che possono utilizzare direttamente l'azoto molecolare dell'atmosfera. Ne consegue che il controllo del livello di fosforo si deve ritenere l'azione più determinante per la limitazione dello stato trofico di un lago, e indirettamente ha conseguenza sulla gestione delle specie algali costituente la biomassa.

L'abbondante sviluppo di cianobatteri planctonici potenzialmente tossici (*bloom*) è un evento comune nelle acque dolci e rappresenta un grave problema ambientale e sanitario. I cianobatteri sono un gruppo di batteri in grado di svolgere il processo di fotosintesi. Sono cioè in grado di ricavare energia dalla luce, esattamente come le piante. Per questo motivo sono stati a lungo considerati alghe e venivano chiamati "alghe azzurre" o "cianofite". In caso di fioriture massive, quando cioè i cianobatteri si moltiplicano raggiungendo densità cellulari molto alte, si possono formare ammassi galleggianti molto vistosi detti *scums* o schiume, di colore variabile dal verde brillante fino al rosso mattone, a seconda delle specie coinvolte. Le proprietà ecofisiologiche specifiche dei diversi cianobatteri sono molto diverse e consentono loro di occupare nicchie ecologiche differenti negli ecosistemi acquatici, rispondendo in modo differenziato ai fattori ambientali che ne regolano la crescita, e che sono principalmente l'intensità luminosa, la temperatura, la stabilità della colonna d'acqua e i principali nutrienti, sia in termini di disponibilità che di rapporto tra le loro concentrazioni. L'interazione tra gli effetti dei diversi fattori ambientali sulla crescita dei cianobatteri rende difficile una previsione delle fioriture. In termini generali si può dire che i cianobatteri preferiscono una temperatura dell'acqua relativamente elevata, una stratificazione stabile, un'intensità luminosa elevata, ed elevate

concentrazioni di fosforo, ma esistono importanti eccezioni a questa generalizzazione (Rapporto ISTISAN 11/35).

I cianobatteri vengono distinti, in base alla capacità di produrre tossine, in produttori e non produttori. Dei circa 150 generi noti di cianobatteri, non tutti producono tossine. Sono circa 40 i generi che comprendono specie responsabili della produzione di cianotossine. È da sottolineare, che negli ultimi decenni, la quasi totalità delle regioni italiane è stata colpita, più o meno sistematicamente, da fioriture di cianobatteri. Le fioriture sono imputabili allo sviluppo di specie potenzialmente tossiche di cianobatteri per lo più ascrivibili a specie appartenenti ai generi *Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, *Dolichospermum* (ex *Anabaena*) e *Cylindrospermopsis*.

In termini generali (N. Sechi in Rapporto ISTISAN 00/30) si può dire che l'eutrofia è situazione dominante nei laghi della Sardegna; questo comporta una composizione algale nel quale le Cianofite o Cianobatteri hanno un ruolo dominante. Da questo punto di vista i laghi della Sardegna presentano un quadro quasi "standard", cioè molto simile a quello che si può rilevare su qualunque lago di medesima trofia, anche naturale e di aree climatiche diverse. In Sardegna le cianofite sono molto abbondanti nel semestre caldo ma talvolta, in alcuni laghi, si ritrovano, a livelli di densità rilevanti, anche nella restante parte dell'anno. Le indagini pluriennali sugli invasi della Sardegna hanno preso avvio nel 1985 quando, un'improvvisa e prolungata fioritura di *Oscillatoria rubescens* D.C. nei laghi M. Flumendosa e Mulargia, aveva determinato una colorazione rosso mattone delle acque lacustri, una scarsa efficienza nel funzionamento degli impianti di potabilizzazione e la conseguente presenza rilevante di tricomi nell'acqua potabilizzata, con tutta una serie di problemi. I risultati pluriennali hanno permesso di constatare che gli stati trofici e gli assetti fitoplanctonici di questi due laghi sono molto variabili, in particolare nel Mulargia dove l'eutrofia va da una situazione incipiente ad una molto spinta (Sechi N.; Lugliè A., vari 1987-96).

Considerato che, in Sardegna, le acque per il consumo umano sono derivate, per oltre il 90%, da questi laghi ed in particolare da quelli eutrofici, si intuisce il rischio potenziale di esposizione della popolazione alle sostanze tossiche prodotte dalle Cianofite.

Essendo generalmente il fosforo il fattore limitante la crescita della biomassa algale, gli studi quali-quantitativi degli invasi si basano sulla valutazione dell'evoluzione di questo nutriente in risposta agli apporti esterni ed alla dinamica interna. Sono stati allo scopo sviluppati vari modelli previsionali che consentono di valutare l'evoluzione della concentrazione di fosforo in relazione agli apporti esterni di origine sia naturale che antropica. La stima dei carichi di nutrienti nelle acque che affluiscono a un invaso riveste perciò importanza fondamentale per poter procedere ad una calibrazione dei parametri caratteristici del fenomeno e poter valutare, eventualmente preventivamente, l'evoluzione ovvero la risposta del sistema idrico ad una variazione degli apporti esterni.

### 2.3 I RISULTATI DELLE ANALISI PROPEDEUTICHE E LE ESIGENZE DI APPROFONDIMENTO

Le valutazioni generali e strategiche inerenti la possibile evoluzione della qualità delle acque, a seguito della interconnessione tra invasi, sono già state effettuate nell'ambito del rapporto D.5 allegato allo studio di fattibilità tecnico-economica relativo all'interconnessione dei sistemi idrici – Collegamento Tirso-Flumendosa 4° lotto- collegamento Sulcis – Iglesiente ed al successivo rapporto integrativo allo stesso rapporto D.5. Nell'ambito di tali rapporti le valutazioni propedeutiche sono state effettuate per il complesso degli invasi interessati dal progetto di interconnessione. In particolare, sono stati considerati gli otto invasi coinvolti sia direttamente che indirettamente di cui quattro possibili "datori" e quattro "reettori". I primi, i "datori", comprendono gli invasi di Mulargia, Santa Vittoria (Tirso), Cixerri e la traversa di Casa Fiume, i secondi, i "ricettori" quelli di Medau Zirimilis, Bau Pressiu, Punta Gennarta e Monte Pranu.

Nell'allegato D5 dello SdF sono state esaminate le possibili evoluzioni della qualità delle acque degli invasi a seguito degli interventi di interconnessione applicando a differenti scenari di interconnessione il modello carico-risposta di Vollenweider-OECD. Nella successiva relazione integrativa sono state, invece, integrate le considerazioni di cui all'allegato D.5, approfondendo gli aspetti relativi alla fattibilità dei trasferimenti di risorsa tra invasi.

In sintesi, nelle conclusioni delle analisi propedeutiche effettuate nell'ambito dei suddetti due rapporti, è stato evidenziato che il

trasferimento di risorse verso il Sulcis – Iglesiente secondo l'alternativa selezionata A.1 dello SdF (corrispondente all'alternativa A.1.1. selezionata nel presente PFTE), determina un potenziale impatto negativo sulla qualità della risorsa stessa e sulla qualità ecologica degli invasi di Bau Pressiu e Medau Zirimilis, che però non pregiudica comunque l'utilizzo a scopo potabile, iriguo e industriale delle risorse. Lo studio preliminare ha altresì qualitativamente evidenziato che alcuni accorgimenti di natura gestionale, quale la scelta della risorsa da cui derivare a seconda delle caratteristiche momentanee della stessa, o altre da studiare, potrebbero ridurre il decadimento qualitativo delle risorse conseguente al trasferimento tra invasi. In particolare, a tale riguardo, lo studio preliminare ha evidenziato che se le risorse da trasferire a Medau Zirimilis e Bau Pressiu fossero derivate in pressione dal sistema di invasi Flumendosa - Mulargia (ovvero tramite la citata futura condotta di interconnessione tra l'Acquedotto Mulargia, con captazione presso il nodo di Sa Mandara) verrebbero minimizzati i rischi di impatto sulla qualità ecologica dei due laghi. Le conclusioni hanno anche evidenziato la necessità di approfondire le analisi finalizzate alla quantificazione degli impatti ed all'individuazione degli eventuali interventi di mitigazione proponibili (compresi i possibili interventi di miglioramento delle filiere di trattamento delle acque per uso potabile).

In relazione alle conclusioni dello studio preliminare, ovvero che il trasferimento idrico potrà determinare un peggioramento dello stato trofico dei due invasi di Medau Zirimilis e Bau Pressiu, lo SdF ha previsto una successiva fase di approfondimento conoscitivo e valutativo da effettuare nell'ambito delle fasi successive di progettazione di fattibilità e di redazione dello SIA. Il presente rapporto è stato quindi predisposto allo scopo di far seguito alle suddette indicazioni. Esso contiene l'illustrazione degli approfondimenti conoscitivi e di studio relativi ai due invasi di Medau Zirimilis e Bau Pressiu a partire dallo stato di fatto e degli scenari di interconnessione con l'invaso di Monte Pranu a Sud (ai fini della valorizzazione energetica) e con il sistema Tirso-Flumendosa a Nord.

Ai fine delle valutazioni e ricostruzioni dello stato di fatto delle caratteristiche quali-quantitative degli invasi di Medau Zirimilis e Bau Pressiu si è considerato il complesso, ritenuto geograficamente di riferimento, degli invasi di Monte Pranu, Cixerri, Medau Zirimilis e Bau Pressiu. Per tali laghi si è acquisito ed analizzato il complesso dei dati quali-quantitativi storicamente disponibili afferenti sia il bacino idrografico che l'invaso. Ai fini della valutazione degli scenari di trasferimento di risorsa si sono considerati: il trasferimento di risorsa idrica dall'invaso di Monte Pranu al lago Bau Pressiu ai fini della valorizzazione energetica; il trasferimento di risorsa idrica dall'invaso/nodo Cixerri agli invasi di Medau Zirimilis, Bau Pressiu; lo scenario futuro di trasferimento diretto dall'invaso Mulargia agli invasi di Medau Zirimilis e Bau Pressiu.

Ai fini della caratterizzazione idrologica dei bacini idrografici degli invasi di Monte Pranu, Cixerri, Medau Zirimilis e Bau Pressiu si è proceduto alla acquisizione, analisi ed elaborazione, mediante specifico modello di bilancio a scala mensile, dei dati idrometeorologici storici. La caratterizzazione e calibrazione della dinamica trofica dei suddetti invasi è stata condotta utilizzando il modello globale dinamico messo a punto da Jensen ed altri, i cui parametri sono stati opportunamente calibrati a scala mensile in base ai dati disponibili. Tale modello è utilizzato a livello internazionale per la caratterizzazione e valutazione degli effetti di scenari di mitigazione degli impatti degli apporti di nutrienti e di misure di manipolazione degli invasi. Infine, per l'invaso Bau Pressiu, che riveste interesse strategico per l'approvvigionamento idropotabile del Sulcis, si è proceduto ad un ulteriore approfondimento valutativo basato sul codice di calcolo W2 messo a punto dall'USACE.

## 2.4 IL MODELLO DI BILANCIO IDROLOGICO DI BACINO

Il bilancio idrico su scala mensile è effettuato innanzitutto applicando il metodo di Turc (1954) per la stima dell'evapotraspirazione. L'equazione che governa il processo è stata ottenuta dall'esame di oltre 250 bacini in diverse zone del globo. La formulazione originale è da utilizzarsi su scala annuale, ma dall'esperienza pratica si è visto che l'applicazione a livello mensile, con le dovute correzioni, è ugualmente efficace.

Indicando con  $T$  la temperatura media annua (in °C) e con  $P$  la precipitazione media annua (in mm), l'evapotraspirazione  $ET$  espressa in mm è pari a:

$$\left\{ \begin{array}{l} ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \\ L = 300 + 25 T + 0.05 T^3. \end{array} \right.$$

L'equazione di Turc è valida per  $P/L > 0.316$ . altrimenti si assume  $ET=P$ .

Ottenuto il volume di pioggia evapotraspirato si procede all'applicazione di un semplice bilancio idrologico a passo mensile, descritto secondo lo schema seguente:

- 1) Calcolo dell'evapotraspirazione con l'equazione di Turc e quindi del deflusso efficace  $P_e$ .
- 2) Calcolo del volume infiltrato " $Q_{inf}$ " nello strato sub-superficiale pari a:  $BFI \times P_e$ , essendo BFI un parametro compreso tra 0 ed 1 oggetto di calibrazione.
- 3) Calcolo del deflusso superficiale  $Q_s$  pari a  $(1-BFI) \times P_e$ .
- 4) Calcolo del volume d'acqua nello strato sub-superficiale secondo la seguente formula (dove il pedice "i" indica il mese attuale oggetto di calcolo ed "i-1" il mese precedente), essendo  $Q_{sub}$  il deflusso sub-superficiale:

$$V_{sub,i} = V_{sub,i-1} + Q_{inf,i-1} - Q_{sub,i-1}$$

- 5) Calcolo del deflusso sub-superficiale al passo i-esimo " $Q_{sub,i}$ " come prodotto tra il volume sub-superficiale al passo i-esimo ed parametro "k" oggetto di calibrazione, i cui valori spaziano tra 0 ed 1.
- 6) Calcolo del deflusso totale " $Q_{tot}$ " come somma del deflusso superficiale e sub-superficiale.

In sede di calibrazione si variano i parametri affinché il deflusso totale calcolato sia il più vicino possibile a quello misurato, inserendo come input l'andamento mensile della precipitazione e della temperatura.

## 2.5 IL MODELLO GLOBALE DI JENSEN

Il modello matematico per l'analisi sull'evoluzione temporale della concentrazione di fosforo totale negli invasi messo a punto da Jensen et al. si struttura come un bilancio di massa su scala giornaliera in due strati fondamentali:

- 1) Il volume d'acqua presente nell'invaso;
- 2) Lo strato di sedimenti.

I due strati scambiano tramite equazioni di rilascio e di deposito il fosforo totale, che quindi è differenziato in fosforo nel lago e fosforo nei sedimenti. Le equazioni che governano i processi sono di seguito riportate.

$$\frac{dP_l}{dt} = \frac{Q}{V} \times (f_d \times P_i - P_l) - SED + REL$$

$$\frac{dP_s}{dt} = \frac{Q}{V} \times (1 - f_d) P_i + SED - REL$$

$$f_d = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{V}{365 V'}}$$

$$SED = bS \times (1 + tS)^{T-20} \times \frac{P_l}{Z}$$

$$REL = bF \times (1 + tF)^{T_s-20} \times P_s$$

Parametro	Descrizione	UDM
$P_l$	Massa di fosforo totale nel lago su unità di superficie	$g/m^2$
$P_s$	Massa di fosforo totale nei sedimenti su unità di superficie	$g/m^2$
$P_i$	Massa di fosforo totale in ingresso su unità di superficie	$g/m^2$
$Q$	Portata liquida in ingresso	$m^3/s$
$V$	Volume dell'invaso	$m^3$
$V'$	Volume d'acqua giornaliero in ingresso	$m^3$
$Z$	Altezza d'acqua media dell'invaso	$m$
$T$	Temperatura della massa liquida	$^{\circ}C$
$T_s$	Temperatura dei sedimenti	$^{\circ}C$
$f_d$	Frazione di fosforo in ingresso che entra nella massa liquida	-
$bS$	Tasso di sedimentazione	$m/giorno$
$bF$	Tasso di rilascio	$1/giorno$
$tS$	Parametro di correzione della temperatura dei sedimenti	-
$tF$	Parametro di correzione della temperatura del lago	-

Il modello di Jensen è strutturato per quei laghi ove avviene un mescolamento completo in quanto non analizza la stratificazione di fosforo, e caratterizza l'invaso esclusivamente dal volume medio e dall'altezza media.

## 2.6 Il MODELLO W2 – USWES

Il modello noto in letteratura con la sigla W2 permette l'analisi dell'idrodinamica longitudinale e verticale e dell'evoluzione della qualità delle acque in corpi idrici sia stratificati che non-stratificati. Il modello W2 è stato applicato con successo in numerosi casi di studio a livello internazionale, per la simulazione sia di corpi idrici fluviali che laghi (naturali e artificiali) ed estuari. Il modello simula i processi di eutrofizzazione di base, con relazioni temperatura-nutriente-ossigeno disciolto-materia organica e sedimenti. Il modello, che è di tipo bidimensionale (mediato lateralmente), consente di simulare il comportamento idrodinamico e la qualità di corpi idrici singoli o tra loro collegati. Per il presente studio si è utilizzata la versione 4.1 del codice di calcolo CE-Qual-W2, sviluppato dal "Environmental Laboratory (EL)" dello US Army Engineer Waterways Experiment Station (WES) di Vicksburg. Il software CE-QUAL-W2 è considerato un "industry standard" per la valutazione dell'evoluzione della qualità di laghi ed invasi artificiali.

Il codice di calcolo contiene due moduli di simulazione tra loro indipendenti ed integrati: un modulo idrodinamico ed uno della qualità delle acque.

Il modulo idrodinamico consente di simulare, in particolare, l'evoluzione dei campi di velocità e della superficie del corpo idrico e la temperatura dell'acqua. La temperatura riveste particolare importanza nelle simulazioni idrodinamiche per i suoi effetti sulla densità dell'acqua.

Il modulo di simulazione della qualità consente di includere nella modellazione differenti parametri di qualità, che possono essere inseriti o esclusi in relazione alla natura del corpo idrico, agli obiettivi dello studio, alla scala spaziale e temporale dell'analisi ed alla disponibilità di dati chimico-biologici di monitoraggio necessari per le calibrazioni dei differenti coefficienti delle relazioni che regolano i fenomeni. Il codice consente perciò di modellare il corpo idrico secondo differenti livelli di complessità. Il livello di base utilizzato per le modellazioni di numerosi scenari evolutivi nel lungo termine include in genere le relazioni definite per i costituenti generici quali i traccianti ed i contaminanti conservativi e non conservativi quali i solidi inorganici sospesi, l'azoto totale, il fosforo totale, ecc. Questo livello di simulazione è quello normalmente adottato per i corpi idrici per i quali sono disponibili i dati rilevati dai sistemi monitoraggio sistematici. I successivi livelli di simulazione consentono di includere ulteriori elementi chimico-biologici. In questo caso, in relazione all'incremento del grado di complessità, si rende necessario disporre di dati di calibrazione specifici, desumibili mediante la programmazione ed esecuzione di specifiche campagne di analisi e monitoraggio dei corpi idrici.

### Schemi di calcolo

#### *Modulo idrodinamico*

Per le simulazioni idrodinamiche, il modello utilizza equazioni mediate lateralmente, derivate da quelle tridimensionali. Lo schema di calcolo risolve le espressioni delle equazioni che nel modello regolano l'idrodinamica di ogni simulazione: seguenti risultanti: x- momento; y- momento; z- momento; stato e superficie libera. I parametri utilizzati sono la velocità orizzontale, la velocità verticale, la larghezza della superficie libera e la pressione.

#### *Scambi di calore*

Il modulo simula il processo di scambio di calore in superficie, che dipendendo dalla temperatura dell'acqua in superficie. Gli scambi vengono calcolati in relazione ai dati di temperatura ed ai processi di trasporto.

#### *Densità*

Le simulazioni idrodinamiche richiedono una corretta valutazione della densità dell'acqua. La densità dell'acqua è influenzata dalla variazione di temperatura e della concentrazione di solidi.

#### *Qualità dell'acqua*

La variazione di concentrazione dei costituenti simulati dal modello può derivare sia dalla presenza di immissioni e prelievi/derivazioni idriche al contorno del corpo idrico (come ad esempio la portata in ingresso da un corso d'acqua affluente o da un trasferimento idrico

artificiale) sia da immissioni e prelievi “interni” derivanti dalle interazioni cinetiche.

Il modello può simulare ogni costituente che abbia la capacità di sedimentare e/o decadere.

Per le analisi di primo livello si assume che i costituenti non interagiscano con le variabili idrodinamiche né con le variabili dello stato di qualità dell'acqua. Le equazioni che nel modello regolano l'evoluzione della concentrazione delle sostanze nel corpo idrico assumono forma seguente:

$$S_g = \underbrace{-K_0 \theta_g^{(T-20)}}_{0\text{-order decay}} - \underbrace{K_1 \theta_g^{(T-20)} \Phi_g}_{1\text{st-order decay}} - \underbrace{\omega_g \frac{\partial \Phi_g}{\partial z}}_{\text{settling}}$$

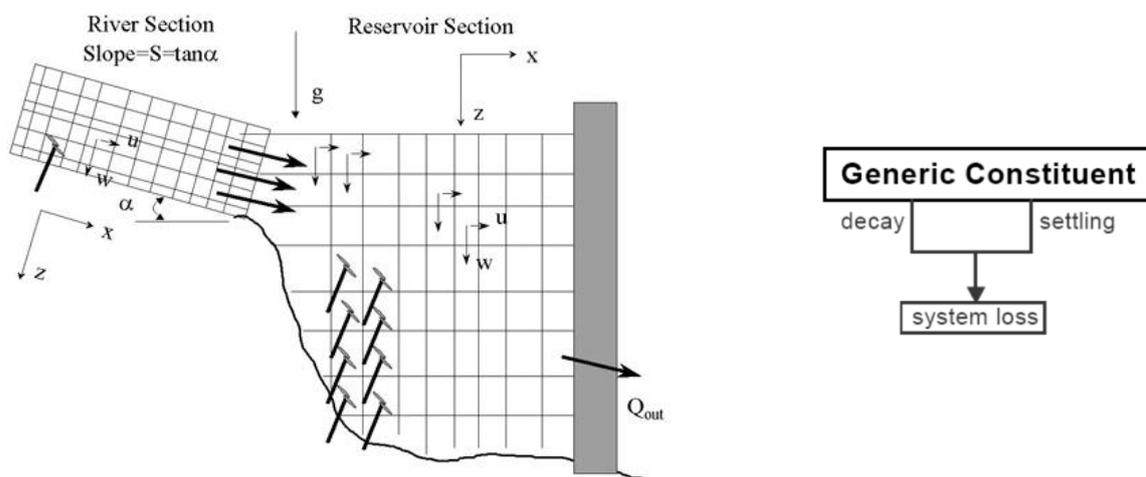
Per ciascun costituente la definizione dei parametri caratteristici delle equazioni deve discendere da specifica taratura a partire dai dati di monitoraggio disponibili. In assenza di dati di monitoraggio congruenti e significativi la valutazione di possibili scenari evolutivi può essere basata su parametri desunti da casi di studio afferenti corpi idrici simili per caratteristiche geo-climatiche ed impatti antropici.

#### Geometria del modello e condizioni al contorno

La rappresentazione alle differenze finite del corpo d'acqua avviene attraverso la “computational grid”, determinata da quattro parametri:

- lunghezza unitaria;
- altezza unitaria;
- ampiezza laterale media;
- pendenza di fondo.

Le maglie della griglia sono chiamate celle e sono originate dall'intersezione dei segmenti con i layers.



Schema concettuale di simulazione idrodinamica del modello W2 e del decadimento dei costituenti

#### *Condizioni iniziali*

Le condizioni iniziali che devono essere specificate riguardano: Il tempo; i fattori climatici e meteorologici; le caratteristiche di qualità dell'acqua; gli ingressi e le uscite.

### *Condizioni al contorno*

Il modello può considerare i seguenti ingressi: in testa al "branch"; da affluenti laterali; dalle precipitazioni; da immissioni artificiali.

Il modello può considerare le seguenti uscite: in coda al branch; da prelievi laterali; per evaporazione; per derivazioni artificiali.

Le condizioni al contorno sulla superficie considerate sono: gli scambi di calore superficiali; l'assorbimento della radiazione solare; il vento.

### *I parametri idraulici*

I parametri idraulici sono costituiti dai coefficienti di dispersione e diffusione e dai coefficienti di attrito al fondo. I parametri cinetici vengono in genere attribuiti quali valori di default.

### 3 ANALISI DEI DATI DISPONIBILI

I dati necessari per l'analisi dei processi fisico-chimici che avvengono all'interno degli invasi sono classificabili secondo le seguenti macro-categorie:

- 1) Dati termo-pluviometrici per la caratterizzazione climatica dell'intera zona che ospita gli invasi oggetto di studio;
- 2) Dati relativi alla caratterizzazione fisico-topografica del territorio in termini di: elevazione sul livello medio-mare, litologia, uso del suolo, rete idrografica, curve caratteristiche degli invasi e successive elaborazioni;
- 3) Dati sulle portate e sui livelli idrometrici dei principali corsi d'acqua che alimentano gli invasi e andamento del livello all'interno degli stessi;
- 4) Dati sulle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche degli invasi e dei principali corsi d'acqua affluenti;
- 5) Dati sulle caratteristiche strutturali e sulle modalità di funzionamento degli sbarramenti.

#### 3.1 DATI TERMO-PLUVIOGRAFICI ED IDROMETRICI

Le stazioni di misura termo-pluviometriche ed idrometriche adottate e le relative misure rappresentano una porzione di una vasta rete esistente costituita da 283 punti, la quale riportata nel sito ufficiale della Regione Sardegna e complessivamente raffigurata in Figura 1. Le stazioni che interessano i bacini idrografici relativi agli invasi oggetto di studio sono approfondite nel Capitolo 3.

Dalla documentazione resa disponibile relativa alle stazioni termo-pluviometriche si leggono i volumi di pioggia giornaliera precipitata e le temperature minime e massime giornaliere, per un periodo di tempo che spazia dal 1922 al 2011 (chiaramente non tutte stazioni possiedono misurazioni che coprano interamente l'arco temporale).

Le stazioni idrografiche ufficiali della Regione Sardegna sono in numero limitato, con una maggiore presenza nella provincia di Sassari, e sono riportate in Tabella 1. Sia i livelli che le portate sono misurati come medie giornaliere relative ad un periodo che va dal 1951 a 2013, inoltre è calcolato su base mensile il coefficiente di deflusso.

Tabella 1: Lista delle stazioni idrometriche ufficiali

RETE TRADIZIONALE: ELENCO STAZIONI IDROMETRICHE						
N°ORD	CODICE		STAZIONE	longit.	latitud.	H smm
1	3080	RIO	ARAXISI A MEANA SARDO	1505499	4423524	319
2	3110	RIO	BADU CRABOLU A PONTE BADU CRABOLU	1465780	4464791	221
3	3120	RIO	BIDIGHINZU A Pte BIDIGHINZU	1473353	4486004	330
4	3140	RIO	BUTTULE (COGHINAS) A BUTTULE	1494248	4490942	242
5	3130	RIO	CALAMBRU (COGHINAS) A BONORVA	1489725	4478875	360
6	3090	RIO	CISPURI (M. DI S. LUSS.) A BONARCADO	1474444	4440855	187
7	3000	RIO	CIXERRI A UTA	1495475	4347750	4
8	3170	RIO	COGHINAS A C.ra COGHINAS	1496675	4523575	24
9	3215	Fiume	FLUMENDOSA A BALLAO	1530425	4378350	80
10	3210	Fiume	FLUMENDOSA A VILLAPUTZU	1548600	4364775	4
11	3030	RIO	FLUMINIMAGGIORE A FLUMINIMAG.	1457001	4365103	40
12	3150	RIO	MANNU DI BERCHIDDA (COGH.) A BERCHID	1512521	4511632	165
13	3100	RIO	MANNU DI CUGLIERI A Pte LOBOS	1460821	4453858	218
14	3160	RIO	MANNU DI OSCHIRI (COGH) A CONCARABELLA	1512278	4510321	180
15	3145	RIO	MANNU DI OZIERI A FRAIGAS	1499400	4497200	196
16	3190	RIO	SA TEULA	1556175	4423900	6
17	3040	RIO	TERRAMAISTUS (M.di PABIL) A GONNOSFANADIGA	1467872	4373062	130
18	3066	Fiume	TIRSO A PASSERELLA	1502775	4465250	182
19	3065	Fiume	TIRSO A PONTE F.C.	1502900	4463500	172
20	3060	Fiume	TIRSO A RIFORNITORE TIRSO	1503013	4463958	174
21	3180	RIO	VIGNOLA A Pte VIGNOLA	1504101	4552127	43

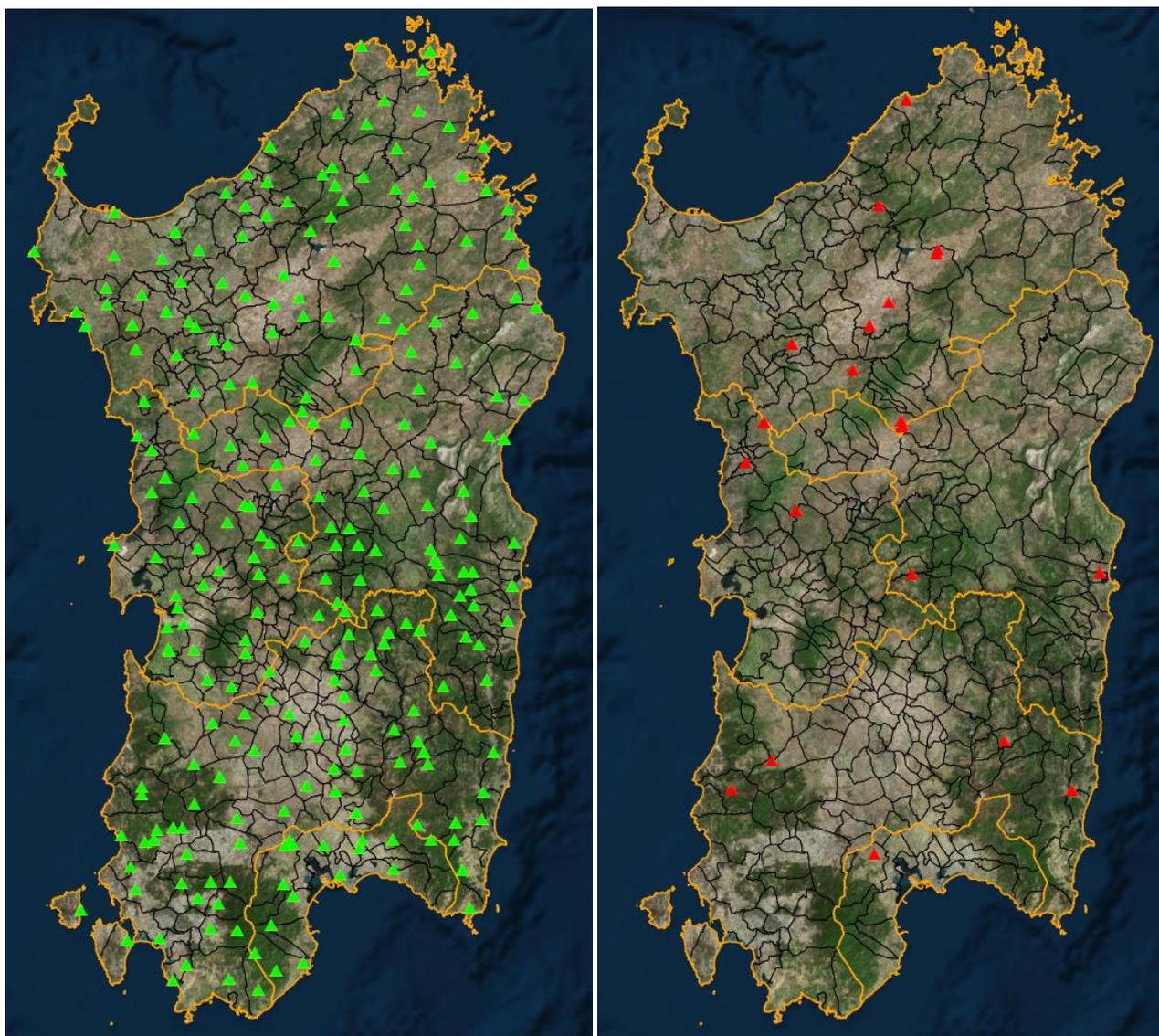


Figura 1: Localizzazione delle stazioni di misura termo-pluviometriche (in verde) e delle stazioni idrometriche (in rosso)

Tabella 2: Conteggio delle stazioni termo-pluviometriche ed idrometriche ufficiali presenti in Sardegna

Numero di stazioni ufficiali della Regione Sardegna		
Provincia	Numero di stazioni termo-pluviometriche	Numero di stazioni idrometriche
Città metropolitana di Cagliari	16	1
Nuoro	57	2
Oristano	36	2
Sassari	78	12
Sud Sardegna	75	4
<b>REGIONE SARDEGNA</b>	<b>262</b>	<b>21</b>

Oltre ai dati della rete idrografica ufficiale sono stati considerati gli annali idrologici, soprattutto per la caratterizzazione del clima intorno agli anni '30. In quel periodo sono presenti delle misure di portata relative a stazioni che riguardano la zona oggetto di studio e che non sono più in uso attualmente.

### 3.2 DATI CARTOGRAFICI E TERRITORIALI

Il punto di riferimento principale per le informazioni cartografiche e territoriali è il Geoportale della Regione Sardegna, dal quale è possibile ottenere i seguenti elementi informativi fondamentali:

- CTR al 10"000;
- DTM dell'intero territorio regionale a passo 10 m;
- DSM e DTM di una porzione di territorio regionale a passo 5 m e 1 m;
- Idrografia superficiale e invasi;
- Mappa dell'uso del suolo e della litologia.

Il sistema di riferimento adottato per le analisi è il Monte Mario/Italy zone 1 (EPSG: 3003) anche se diversi strati informativi sono nel sistema WGS84/UTM zone 32N (EPSG: 32623), per i quali si è adottata una riproiezione.

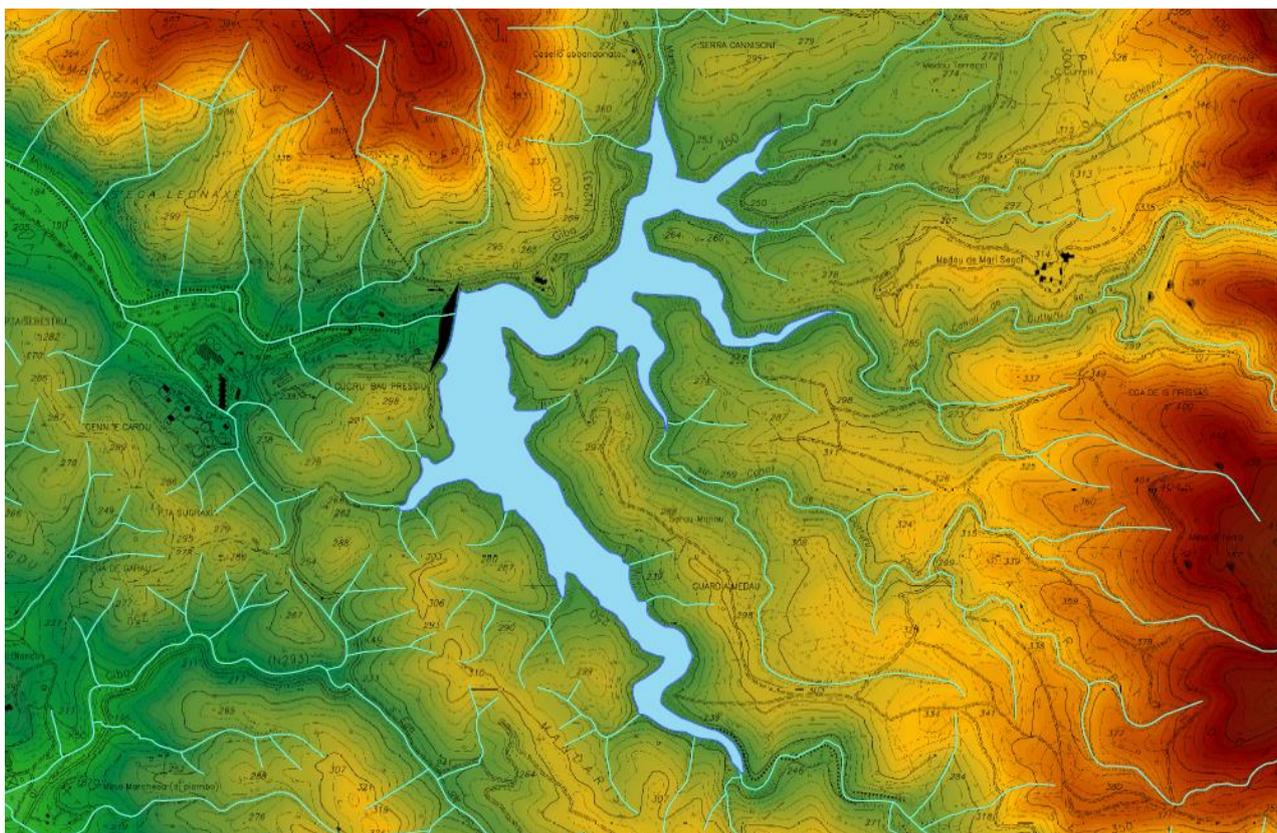


Figura 2: Esempio di sovrapposizione degli strati informativi territoriali (idrografia ufficiale, CTR e DTM a 10 m)

### 3.3 DATI SUI PARAMETRI FISICO-CHIMICO-BIOLOGICI DEGLI INVASI E DEGLI AFFERENTI CORSI D'ACQUA

Per quanto riguarda le misure inerenti alla qualità dei corpi idrici si è fatto riferimento alle misure del CEDOC (centro documentazione bacini idrografici).

I dati sono raggruppati a seconda del bacino idrografico, del tipo di corpo idrico e dalla stazione di misura. Per quanto riguarda la tipologia di certificato analitico si fa riferimento alla presenza di sostanze pericolose (stato ambientale del lago), ai parametri legati alla potabilizzazione, ai parametri del biota e allo stato ambientale dei sedimenti.

Le grandezze fondamentali che sono direttamente coinvolte nello studio sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3: Lista dei principali parametri di qualità dell'acqua

Tipologia	Parametro	Unità di misura
Fisici	Temperatura	°C
Chimico-fisici	pH	-
	Conducibilità a 20°C	µS/cm
Chimici	Fosforo totale	µg/l
	Azoto totale	mg/l
	Alcalinità	µg/l CaCO <sub>3</sub> meq/l
Biologici	Clorofilla "a"	µg/l

Altri dati sulla qualità degli invasi sono stati forniti dai rapporti di prova derivanti dai campionamenti effettuati da ENAS-SQAE dal 2016 al 2018. I parametri principali analizzati sono i medesimi della Tabella 3

Un ulteriore elaborato essenziale da tenere in considerazione è il PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE della Regione Sardegna. Una parte degli elaborati grafici di tale Piano consentono di stimare su base comunale la massa annua di fosforo e di azoto, suddivisa in provenienza zootecnica o agricola. Per ogni elaborato è presente una classificazione di tipo quantitativo e qualitativo dei costituenti secondo delle scale a gradazione da verde a rosso, come riportato in Tabella 4.

Oltre alla classificazione dei carichi di fosforo e azoto, il PTA fornisce una tavola grafica con sintetizzato lo stato ecologico dei corpi idrici superficiali, secondo la classificazione dello stato ecologico (SECA) in base alla Tabella 8 dell'Allegato 1 al D. Lgs. n. 152/1999 e dello stato ambientale (SACA) secondo la Tabella 9 di suddetto allegato (Tabella 4).

Le concentrazioni di nutrienti di origine zootecnica sono mediate su superficie comunale, mentre quelli di origine agricola sono mediate per ogni comune sulla SAU (superficie agricola utilizzata), la quale comprende seminativi, coltivazioni legnose agrarie, orti familiari, prati permanenti e pascoli.

Tabella 4: Legende delle tavole grafiche del PTA relative ai carichi di fosforo e azoto

Legende delle tavole grafiche allegata al PTA della Regione Sardegna		
<p><b>Densità di fosforo di origine zootecnica</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Unità Idrografiche Omogenee</li> <li><span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Acque di Transizione</li> <li><span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Laghi, Invasi</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 1 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 2 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua di ordine minore</li> </ul> <p><b>Densità di P di origine zootecnica rapportato alla superficie comunale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: #d9ead3; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0 - 0.18 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #c4e1a1; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0.19 - 0.35 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #f0e68c; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0.36 - 0.63 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #ffc000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0.64 - 1.43 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #d9534f; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 1.44 - 2.67 (t/anno/Kmq)</li> </ul> </div>	<p><b>Densità di azoto di origine zootecnica</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Unità Idrografiche Omogenee</li> <li><span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Acque di Transizione</li> <li><span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Laghi, Invasi</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 1 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 2 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua di ordine minore</li> </ul> <p><b>Densità di N totale di origine zootecnica rapportato alla superficie comunale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: #d9ead3; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0 - 1.01 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #c4e1a1; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 1.02 - 1.89 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #f0e68c; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 1.90 - 3.27 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #ffc000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 3.28 - 5.5 (t/anno/Kmq)</li> <li><span style="background-color: #d9534f; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 5.51 - 19.64 (t/anno/Kmq)</li> </ul> </div>	<p><b>Stato trofico dei corpi idrici</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Unità Idrografiche Omogenee</li> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Bacini Idrografici</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Limiti Comunali</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'acqua</li> <li><span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Laghi, invasi</li> <li><span style="background-color: #5bc0de; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Acque di transizione</li> </ul> <p><b>Stato Ecologico dei Laghi</b></p> <p><b>Classe Stato Ecologico, Stato Trofico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: #add8e6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 1, ULTRAOLIGOTROFIA</li> <li><span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 2, OLIGOTROFIA</li> <li><span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 3, MESOTROFIA</li> <li><span style="background-color: #ffa500; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 4, EUTROFIA</li> <li><span style="background-color: #ff0000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 5, IPERTROFIA</li> </ul> <p><b>Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua</b></p> <p><b>SECA - Stato Ecologico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: gray;">○</span> Non definito</li> <li><span style="color: blue;">●</span> Classe 1 - Elevato</li> <li><span style="color: green;">●</span> Classe 2 - Buono</li> <li><span style="color: yellow;">●</span> Classe 3 - Sufficiente</li> <li><span style="color: orange;">●</span> Classe 4 - Scadente</li> <li><span style="color: red;">●</span> Classe 5 - Pessimo</li> </ul> <p><small>Nota: per convenzione grafica (aspositiva) la classe SECA della stazione è stata attribuita alla porzione del corso d'acqua a monte di essa.</small></p> </div>
<p><b>Densità di fosforo di origine agricola</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Unità Idrografiche Omogenee</li> <li><span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Acque di Transizione</li> <li><span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Laghi, Invasi</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 1 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 2 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua di ordine minore</li> </ul> <p><b>Densità di Fosforo di origine agricola rapportato, per ogni comune, alla S.A.U. (Kg/ha/anno)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: #008000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 0.00000000 - 16.00000000</li> <li><span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 16.00000001 - 20.00000000</li> <li><span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 20.00000001 - 25.00000000</li> <li><span style="background-color: #ffa500; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 25.00000001 - 30.00000000</li> <li><span style="background-color: #d9534f; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 30.00000001 - 40.00000000</li> </ul> </div>	<p><b>Densità di azoto di origine agricola</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Unità Idrografiche Omogenee</li> <li><span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Acque di Transizione</li> <li><span style="background-color: lightblue; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Laghi, Invasi</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 1 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua del 2 ordine</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; margin-right: 5px;"></span> Corsi d'Acqua di ordine minore</li> </ul> <p><b>Densità di Azoto totale di origine agricola rapportato, per ogni comune, alla S.A.U. (kg/ha/anno)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: #008000; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 1.00000000 - 20.00000000</li> <li><span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 20.00000001 - 40.00000000</li> <li><span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 40.00000001 - 60.00000000</li> <li><span style="background-color: #ffa500; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 60.00000001 - 80.00000000</li> <li><span style="background-color: #d9534f; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> 80.00000001 - 110.00000000</li> </ul> </div>	

Per quanto riguarda gli invasi veri e propri, il PTA definisce il livello di qualità ambientale sulla base dei quattro livelli di criticità per i parametri di Trasparenza, Ossigeno Ipolimnico, Clorofilla “a” e Fosforo Totale.

Tabella 5: Livelli di criticità dei laghi secondo il PTA

Livello	Colore	Descrizione
A	ROSSO	Classe 5 della Tab.11, All.1 D.Lgs. 152/99, così come modificata dal D.M n.391/2003.
B	ARANCIO	Classe 4 della Tab.11, All.1 D.Lgs. 152/99, così come modificata dal D.M. n.391/2003.
C	GIALLO	Classe 3 della Tab.11, All.1 D.Lgs. 152/99, così come modificata dal D.M. n.391/2003.
D	--	Classi 1-2 della Tab.11, All.1 D.Lgs. 152/99, così come modificata dal D.M. n.391/2003.

Una volta definiti i livelli di criticità, il PTA utilizza l'indice morfoedafico MEI (rapporto tra l'alcalinità e la profondità media, o tra la conducibilità e la profondità media) per stimare la concentrazione di fosforo totale in microgrammi su litro secondo le equazioni di seguito riportate.

$$\log(P) = 1.48 + 0.33 (\pm 0.09) \log(MEI_{alcal})$$

$$\log(P) = 0.75 + 0.27 (\pm 0.11) \log(MEI_{cond})$$

Dalla concentrazione si classifica lo stato trofico dei laghi secondo la seguente tabella.

Tabella 6: Soglie per la determinazione dello stato trofico dei laghi adottata dal PTA

Stato	Ultraoligotrofico	Oligotrofico	Mesotrofico	Eutrofico	Iperotrofico
Conc P (µg/l)	<10	10-25	25-50	50-100	>100

### 3.4 DATI SULLE CARATTERISTICHE SPECIFICHE DEGLI INVASI

Le caratteristiche degli invasi riguardano la planimetria generale, la curva dei volumi e delle superfici e l'andamento del livello idrico. Questi dati sono stati forniti da ENAS e per una completa elaborazione si rimanda al Capitolo 4.

## 4 CARATTERISTICHE DEGLI INVASI

Nel presente capitolo si riportano le principali caratteristiche fisiche, idrologiche e qualitative degli invasi oggetto di studio.

Per l'analisi delle serie temporali relative alla qualità dei corpi idrici le fonti considerate sono:

- 1) Dati presenti nel sito web ufficiale del Sardegna CEDOC dal 2002 al 2012;
- 2) Rapporti di prova effettuati da ENAS-SQAE dal 2016 al 2018.

Si riporta per completezza di analisi le risultanze del PTA, con le classificazioni e le stime del Fosforo totale e dell'Azoto totale afferenti dei territori relativi ai corrispettivi bacini idrografici.

### 4.1 INVASO DI BAU PRESSIU

La diga di Bau Pressiu è uno sbarramento artificiale alto 59 m posto sul Riu Mannu di Narcao, inaugurato nel 1972 e collaudato nel 2006, di tipo murario a gravità a speroni a vani interni. Il serbatoio si trova tra i comuni di Siliqua, Nuxis e Narcao e nelle condizioni di massimo invaso possiede un volume di 10.2 milioni di m<sup>3</sup> ed una quota di 251.8 m s.l.m.

Immediatamente a valle dello sbarramento è presente l'impianto di potabilizzazione, ubicato a quota 204 m s.l.m, che rappresenta una fonte di approvvigionamento idrico potabile fondamentale.

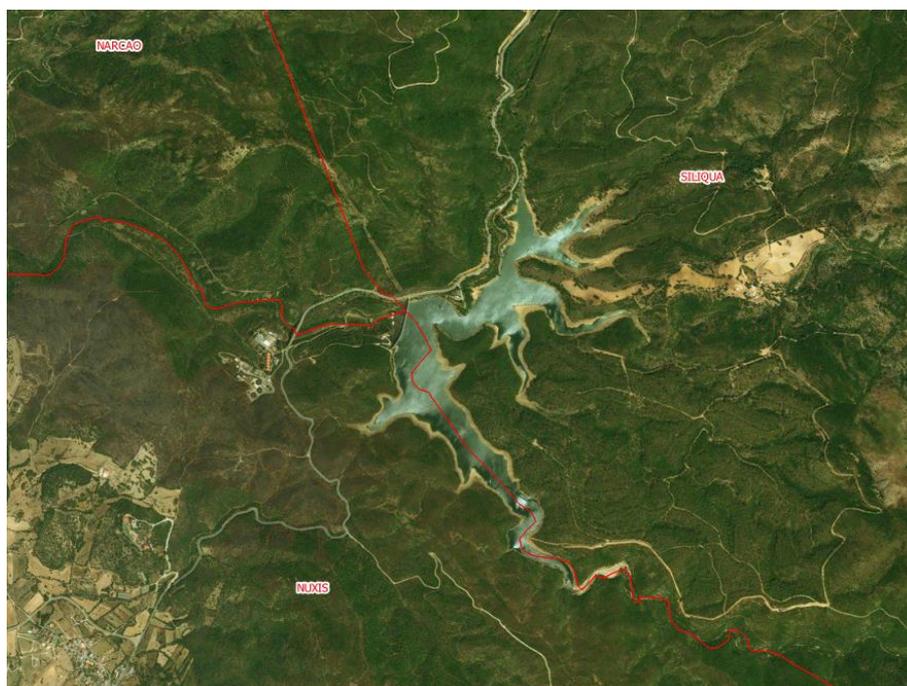


Figura 3: Ortofoto e fotografia della diga Bau Pressiu

#### 4.1.1 Caratteristiche dell'invaso e dello sbarramento

Le caratteristiche principali dell'invaso e del corpo diga sono ricavate dal sito dell'ENAS e riportate nella seguente tabella. Sempre dall'ENAS è stata fornita la curva dei volumi e delle superfici.

Tabella 7: Bau Pressiu, dati della diga e del serbatoio (fonte ENAS)

Dati caratteristici delle opere di ritenuta	
Altezza della diga (altezza tra quota coronamento e punto più basso del piano di fondazione)	59.00 m
Quota coronamento	252.86 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	256.00 m
Volume del corpo diga	153'000 m <sup>3</sup>
Classifica	Diga muraria a gravità a speroni a vani interni (A.a.2)
Dati caratteristici dell'invaso	
Quota di massimo invaso	251.80 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido alla quota di massimo invaso	0.690 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso	10.20 Mm <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	8.250 Mm <sup>3</sup>
Volume di laminazione	1.70 Mm <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero (direttamente sotteso)	28.25 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	610.00 m <sup>3</sup> s

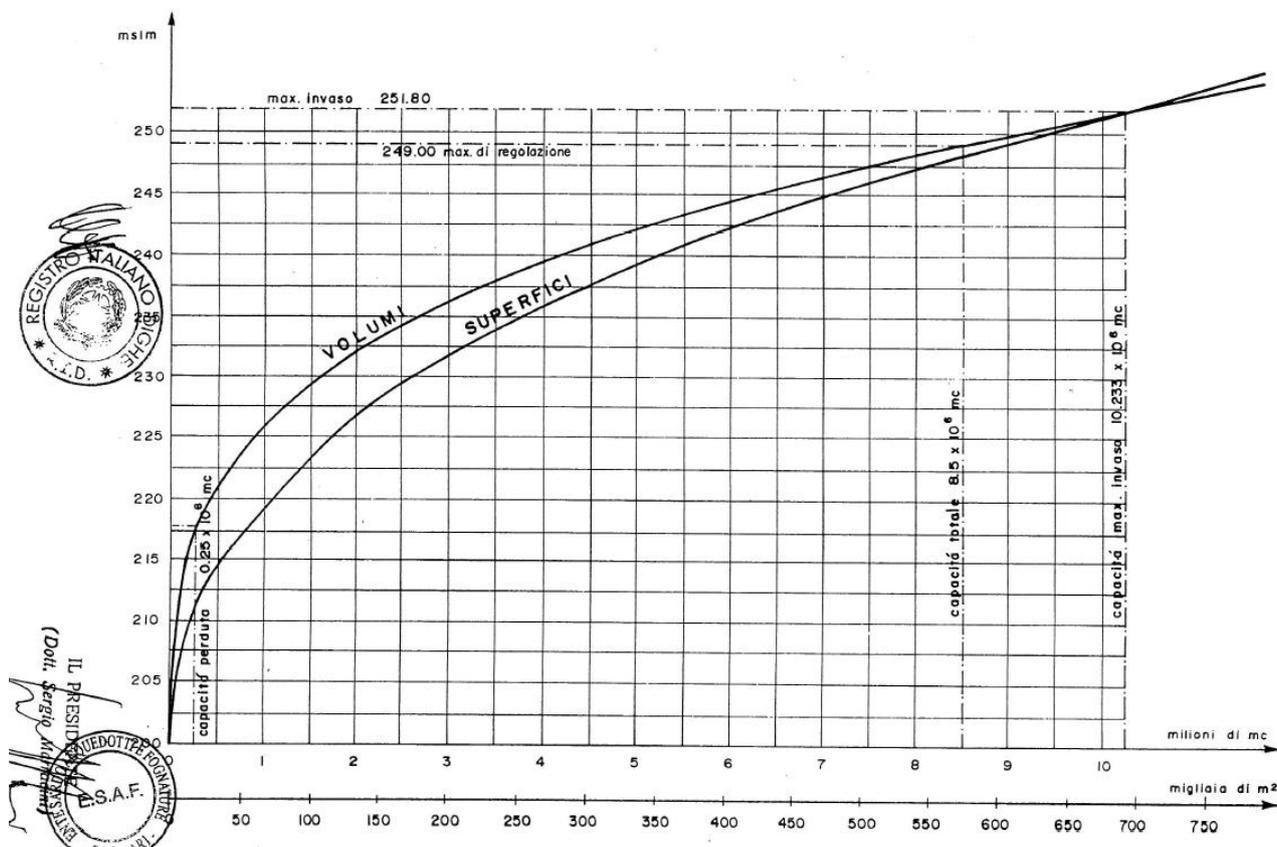


Figura 4: Invaso Bau Pressiu – Curva dei volumi e delle aree

#### 4.1.2 Idrografia e bacino idrografico

Il principale corso d'acqua afferente al serbatoio Bau Pressiu è il Riu Mannu il quale possiede una lunghezza a monte dell'invaso pari a circa 10.5 km. Gli altri corsi d'acqua rilevanti che alimentano il serbatoio sono: Canalis De Murteras, Canali De Su Carioppu Stresciaia, Canali De Gutturu Perda e Canali Gutturu Paus.

Tabella 8: Bau Pressiu - Dati geomorfologici del bacino idrografico

<b>Area</b>	km <sup>2</sup>	28.730
<b>Perimetro</b>	km	26.355
<b>Quota max</b>	m s.l.m.	1109.5
<b>Quota media</b>	m s.l.m.	567.9
<b>Quota sezione chiusura</b>	m s.l.m.	239.5
<b>Pendenza media versanti</b>	%	48.61
<b>Lunghezza idrologica asta principale</b>	km	10.45
<b>Pendenza media asta principale</b>	%	5.40
<b>Pendenza media reticolo</b>	%	22.85
<b>Densità di drenaggio</b>	km/km <sup>2</sup>	5.30

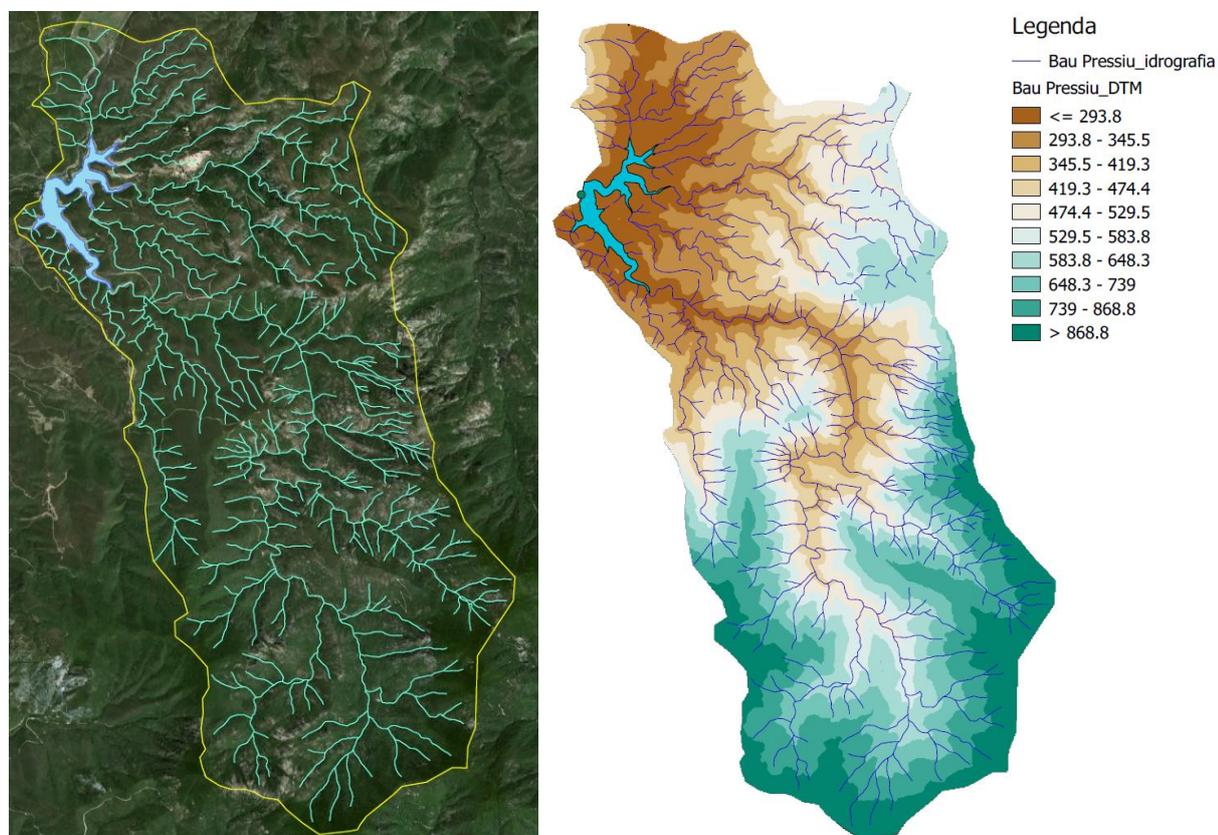


Figura 5: Reticolo idrografico ufficiale afferente al serbatoio Bau Pressiu, relativo bacino idrografico e DTM

#### 4.1.3 Regime termo-pluviometrico del bacino

##### 4.1.3.1 Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature

L'elaborazione delle precipitazioni relative al bacino del Bau Pressiu è stata effettuata mediante una statistica dei valori di pioggia cumulata mensile ottenuta dai dati di pioggia relativamente agli anni 2002-2012.

Le stazioni di misura individuate che interessano il bacino idrografico sono riportate in Tabella 9 e rappresentate spazialmente in Tabella 9.

Per quanto riguarda la quantificazione dell'incidenza delle misurazioni di pioggia rispetto all'intero bacino si è applicato il metodo dei topoi, invece l'andamento della temperatura media mensile è ottenuta mediante l'applicazione di un fattore di scala rispetto all'andamento calcolato per il Bacino del Palmas a Monte Pranu (di cui il Bau Pressiu ne è un sottobacino). Questa metodologia è stata adottata in quanto non è presente una stazione termopluviometrica afferente avente quota simile alla quota media del bacino del Bau Pressiu (pari a 567.9 m s.l.m.).

Il fattore di scala è ottenuto imponendo l'uguaglianza tra la temperatura media annua valutata come media dei singoli mesi e la temperatura media annua ottenuta tramite la correlazione quota-temperatura costruita per il Bacino del Palmas a Monte Pranu, riportata in Figura 6.

Nel caso specifico tale fattore è pari a 0.92; in altri termini la temperatura media annua nel bacino del Bau Pressiu è pari al 92% della temperatura media annua del bacino principale Palmas a Monte Pranu (la cui quota media è pari a 293 m s.l.m.).

Gli andamenti mensili dei parametri di precipitazione, cumulata e temperatura per ogni stazione tempo-pluviometrica analizzata sono riportati nell' Allegato 1.

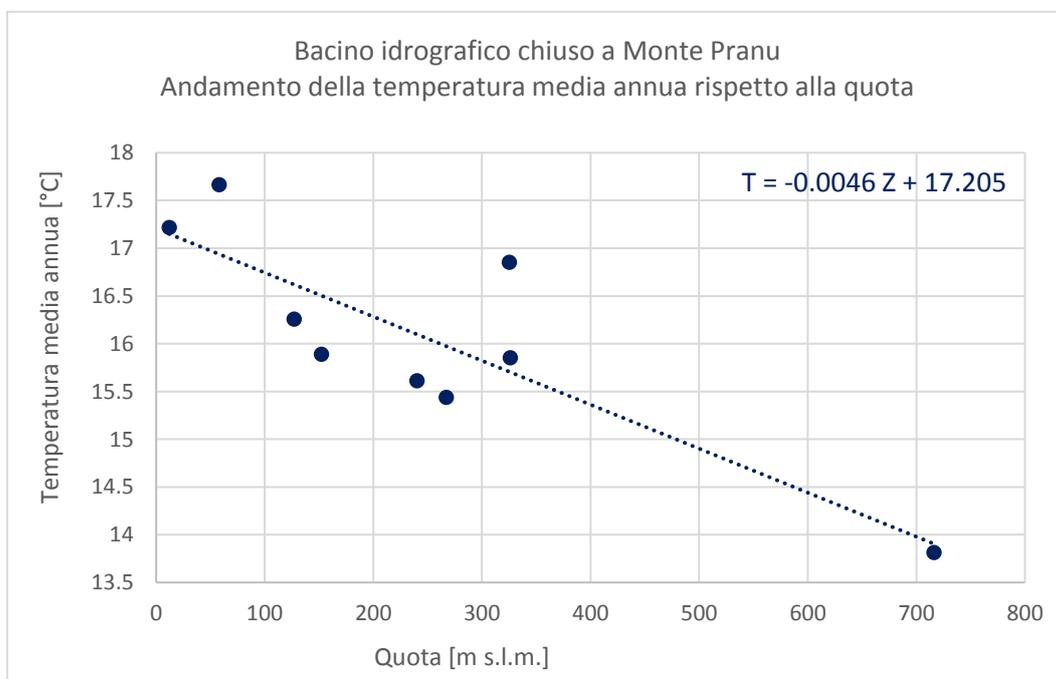


Figura 6: Relazione tra la quota e la temperatura media annuale per il bacino idrografico del Palmas chiuso a Monte Pranu

Tabella 9: Bau Pressiu – Stazioni di misura termopluviometriche analizzate e posizione planimetrica delle stazioni utilizzate per il bacino del Bau Pressiu

<b>Codice</b>	55	430	370	
<b>Nome</b>	Campanasissa	Nuxis	Pantaleo	
<b>LONG</b>	1480620	1477500	1482550	
<b>LAT</b>	4339860	4334000	4326820	
<b>Quota</b>	220	152	240	
<b>Dati pluviometrici</b>	SI	SI	SI	
<b>Percentuale di incidenza sul bacino</b>	48.9	31.2	19.9	
<b>Dati termometrici</b>	NO	SI	SI	

#### 4.1.3.2 Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino

Dall'analisi statistica effettuata risulta quanto riportato in Figura 7. La precipitazione media annuale si attesta intorno ai 50 mm, con il massimo picco in dicembre (circa 120 mm) e minimo valore a luglio (poco più di 6 mm). La precipitazione annua cumulata è pari a circa 630 mm che corrispondono ad un volume medio annuo precipitato pari a 17.5 Mm<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino si osserva un picco di 23°C a luglio ed un valore minimo pari a 7.5°C a gennaio. Il valore medio annuale si attesta intorno ai 14.5°C.

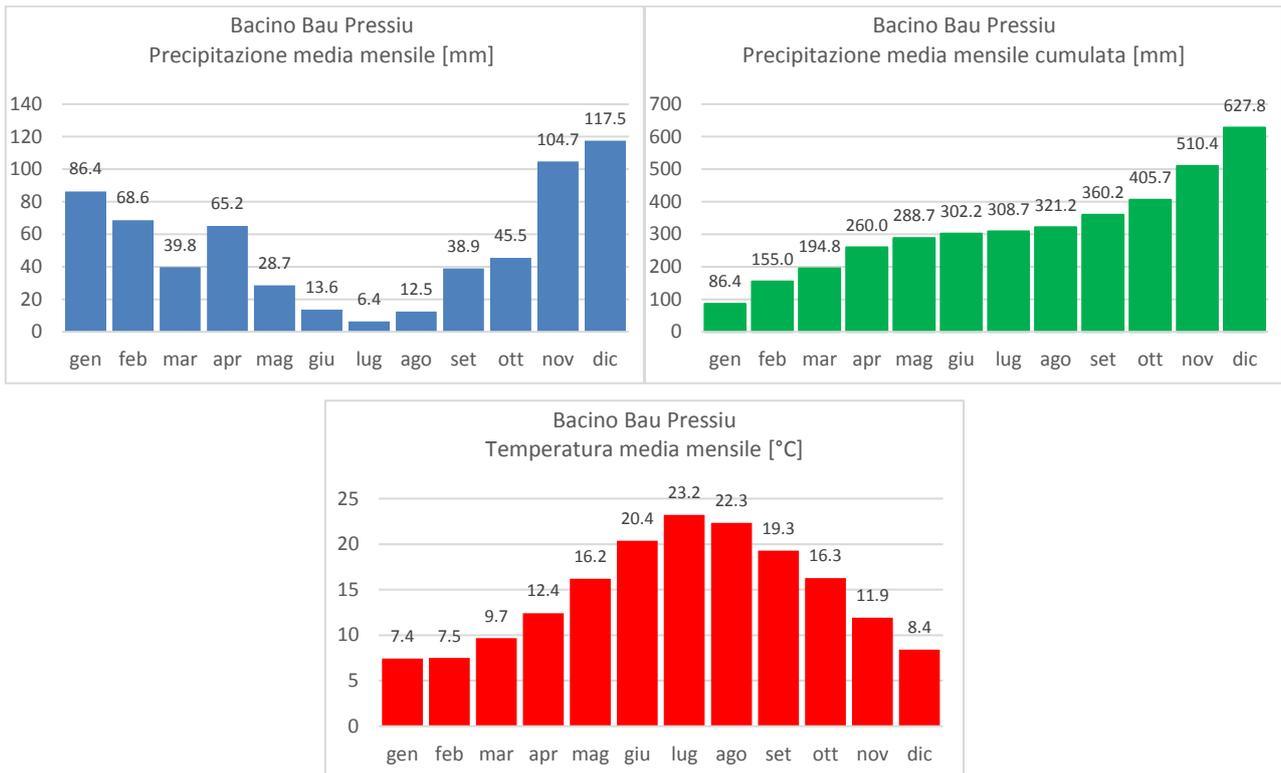


Figura 7: Caratteristiche termopluviometriche del Bacino Bau Pressiu

#### 4.1.4 Bilancio idrico e stima degli apporti meteorici all'invaso

La stima degli apporti meteorici all'invaso del Bau Pressiu è stata effettuata utilizzando lo schema di calcolo già sopra illustrato e le serie di precipitazioni e temperature precedentemente analizzate. I parametri idrologici caratteristici adottati nella stima sono quelli già calibrati per l'intero bacino del Riu Palmas a Monte Pranu (si veda il capitolo 4.3.4).

Tabella 10: Parametri idrologici caratteristici per il bacino del Bau Pressiu

Parametri idrologici caratteristici del bacino Bau Pressiu	
BFI	50%
K	0.40

Tabella 11: Analisi idrologica del bacino del Bau Pressiu

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Caratteristiche idrologiche										
	P [mm]	T [°C]	Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]	Φ
gen	86.4	7.4	-	42.2	64.2	22.2	11.1	11.1	25.5	10.2	21.3	0.2	8.1	0.25
feb	68.6	7.5	-	42.4	53.8	14.8	7.4	7.4	26.4	10.6	18.0	0.2	6.8	0.26
mar	39.8	9.7	-	48.9	36.1	3.7	1.8	1.8	23.3	9.3	11.1	0.1	4.2	0.28
apr	65.2	12.4	-	58.9	55.7	9.5	4.7	4.7	15.8	6.3	11.0	0.1	4.2	0.17
mag	28.7	16.2	-	76.4	28.4	0.3	0.1	0.1	14.2	5.7	5.8	0.1	2.2	0.20
giu	13.6	20.4	-	102.6	13.6	0.0	0.0	0.0	8.7	3.5	3.5	0.0	1.3	0.25
lug	6.4	23.2	-	125.5	6.4	0.0	0.0	0.0	5.2	2.1	2.1	0.0	0.8	0.32
ago	12.5	22.3	-	118.0	12.5	0.0	0.0	0.0	3.1	1.2	1.2	0.0	0.5	0.10
set	38.9	19.3	-	95.0	38.4	0.6	0.3	0.3	1.9	0.7	1.0	0.0	0.4	0.03
ott	45.5	16.3	-	76.8	43.3	2.2	1.1	1.1	1.4	0.6	1.7	0.0	0.6	0.04
nov	104.7	11.9	-	56.9	79.7	25.0	12.5	12.5	2.0	0.8	13.3	0.1	5.0	0.13

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Caratteristiche idrologiche										
	P [mm]	T [°C]	Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]	Φ
dic	117.5	8.4	-	45.0	82.8	34.7	17.3	17.3	13.7	5.5	22.8	0.2	8.7	0.19

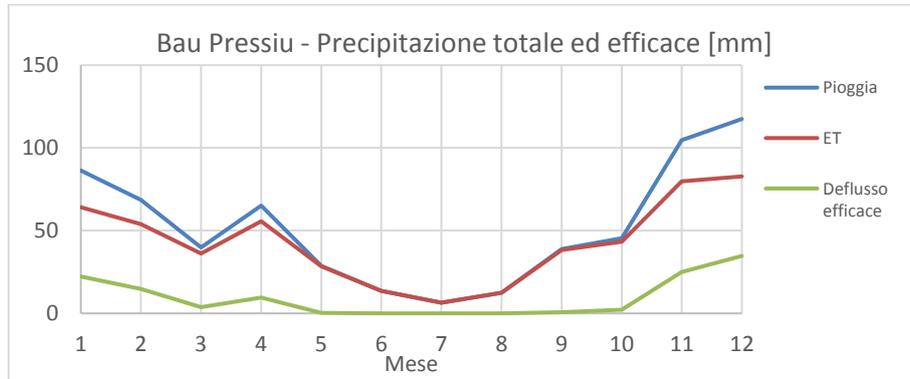


Figura 8: Bau Pressiu – Precipitazione totale ed efficace

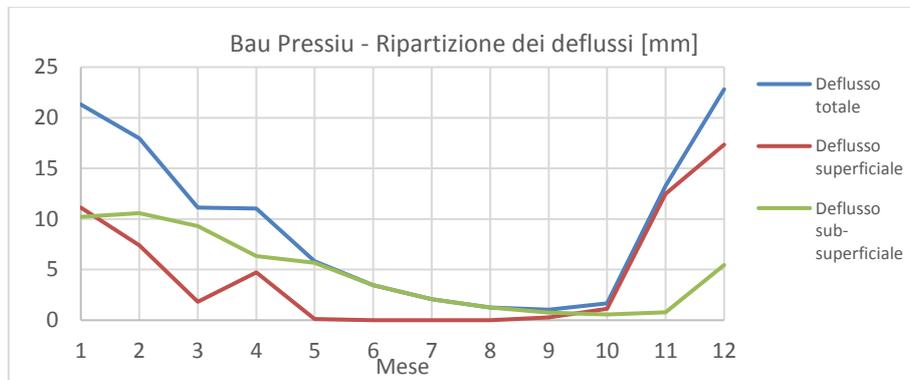


Figura 9: Bau Pressiu – Ripartizione dei deflussi

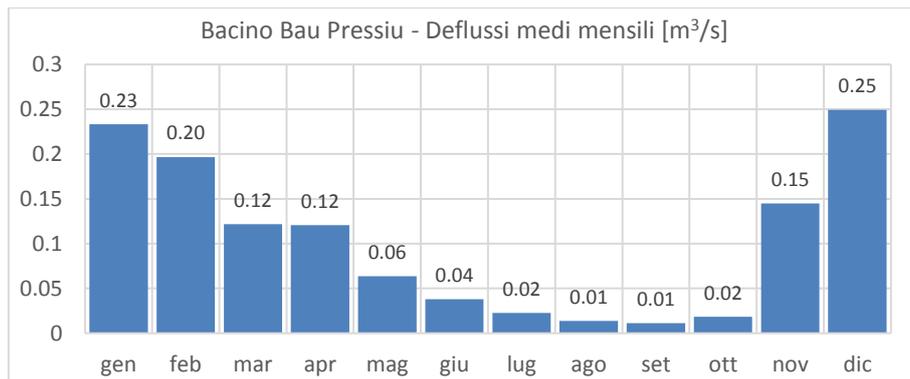


Figura 10: Bau Pressiu – Deflussi medi mensili modellati espressi in m³/s

#### 4.1.5 Qualità delle acque

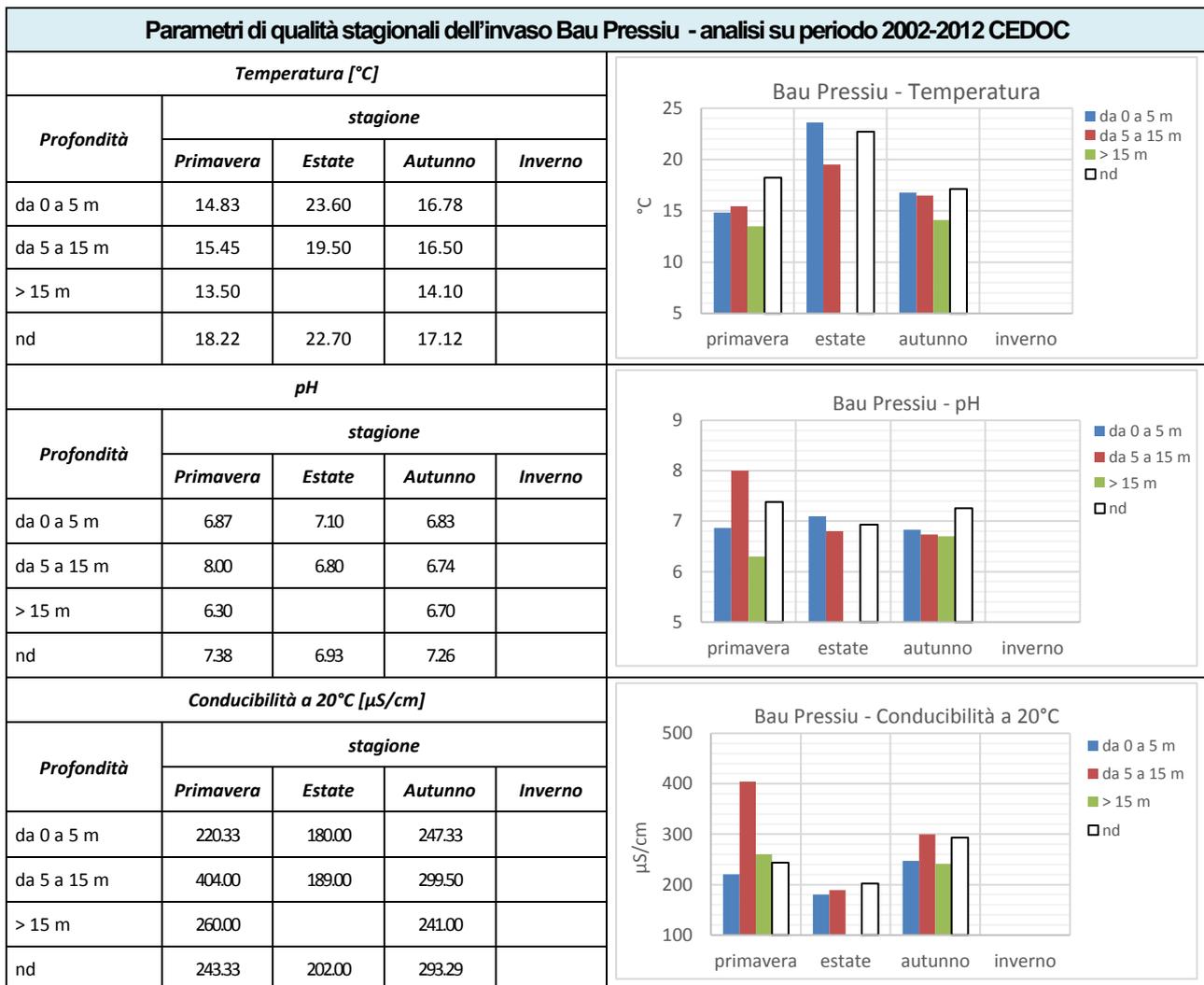
##### Invaso di Bau Pressiu – dati misure cedoc e rapporti di prova di ENAS-Sgae

La qualità delle acque dell'invaso Bau Pressiu è stata valutata mediante un'elaborazione statistica su base stagionale delle serie storiche dal 2002 al 2012 fornite dal CEDOC e dai rapporti di prova 2016-2018 forniti da ENAS-SQAE. I parametri analizzati sono:

- Temperatura e pH;
- Conducibilità a 20°C;
- Fosforo totale;
- Azoto totale;
- Clorofilla "a".
- Alcalinità (solo per il periodo 2016-2018)

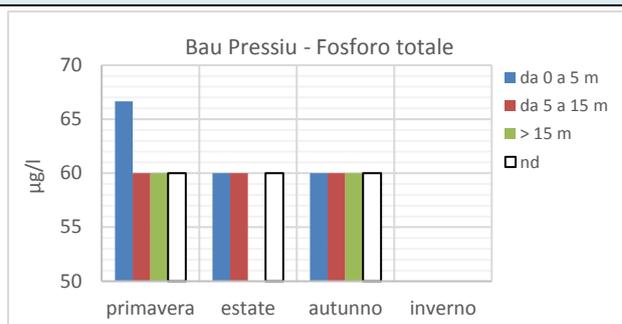
Poiché nella stessa sessione di misure a volte sono stati effettuati campionamenti a diverse profondità si è deciso in sede di elaborazioni statistiche di raggruppare le profondità di campionamento secondo tre fasce: da 0 a 5 m, da 5 a 15 m e maggiore di 15 m. I dati per i quali l'informazione circa la profondità di campionamento non è riportata, sono stati raggruppati in una separata categoria indicata con la sigla n.d.(non disponibile).

Tabella 12: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Bau Pressiu - dati CEDOC

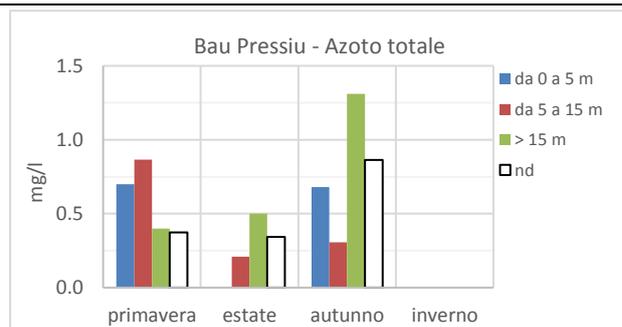


**Parametri di qualità stagionali dell'invaso Bau Pressiu - analisi su periodo 2002-2012 CEDOC**

<i>Fosforo totale [µg/l]</i>				
<i>Profondità</i>	<i>stagione</i>			
	<i>Primavera</i>	<i>Estate</i>	<i>Autunno</i>	<i>Inverno</i>
da 0 a 5 m	<66.67	<60.00	<60.00	
da 5 a 15 m	<60.00	<60.00	<60.00	
> 15 m	<60.00		<60.00	
nd	<60.00	<60.00	<60.00	



<i>Azoto totale [mg/l]</i>				
<i>Profondità</i>	<i>stagione</i>			
	<i>Primavera</i>	<i>Estate</i>	<i>Autunno</i>	<i>Inverno</i>
da 0 a 5 m	0.70		0.68	
da 5 a 15 m	0.87	0.21	0.31	
> 15 m	0.40	0.50	1.31	
nd	0.37	0.34	0.86	



<i>Clorofilla "a" [µg/l]</i>				
<i>Profondità</i>	<i>stagione</i>			
	<i>Primavera</i>	<i>Estate</i>	<i>Autunno</i>	<i>Inverno</i>
da 0 a 5 m	2.40		4.64	
da 5 a 15 m	36.40		14.87	
> 15 m				
nd	1.79	2.68	5.52	

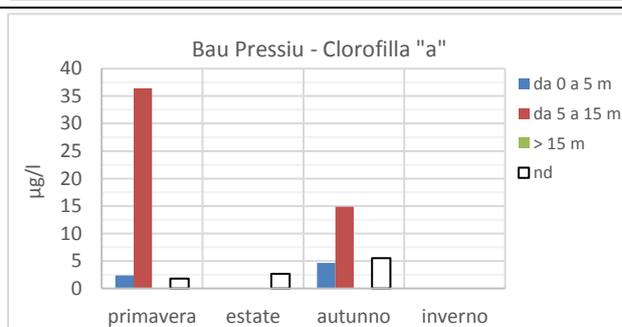
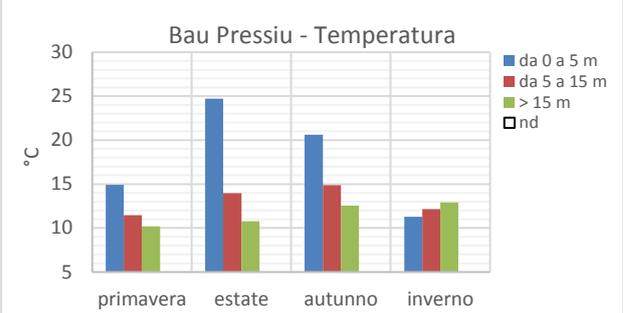
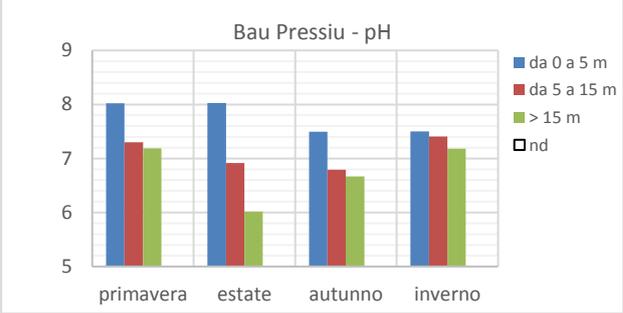


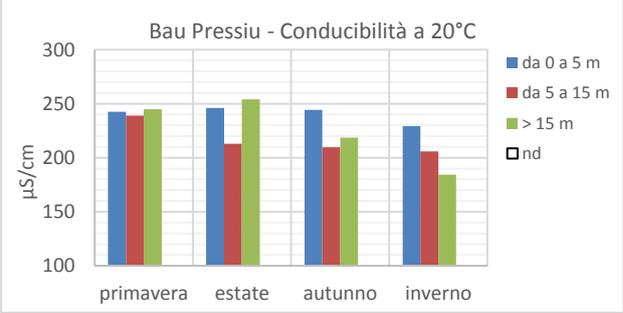
Tabella 13: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Bau Pressiu - dati ENAS-SQEA

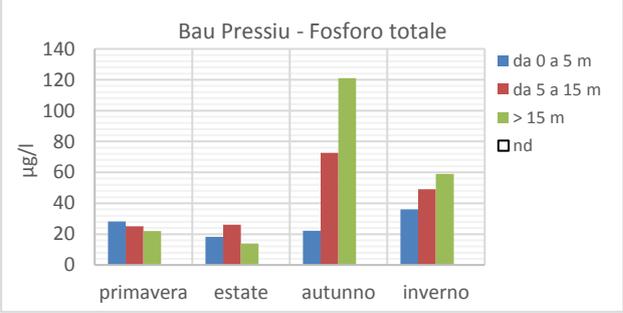
Parametri di qualità stagionali dell'invaso Bau Pressiu - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA				
<b>Temperatura [°C]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	14.93	24.72	20.60	11.29
da 5 a 15 m	11.45	13.96	14.88	12.17
> 15 m	10.20	10.78	12.55	12.90
<b>pH</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	8.02	8.03	7.49	7.50
da 5 a 15 m	7.30	6.92	6.80	7.41
> 15 m	7.19	6.02	6.67	7.18
<b>Conducibilità a 20°C [µS/cm]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	242.50	246.00	244.25	229.13
da 5 a 15 m	239.00	213.00	209.75	205.75
> 15 m	245.00	254.00	218.50	184.33
<b>Fosforo totale [µg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	28.25	18.25	22.25	36.13
da 5 a 15 m	25.00	26.13	72.75	49.00
> 15 m	22.00	13.80	121.00	59.00
<b>Azoto totale [mg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	0.29	0.40	0.38	0.89
da 5 a 15 m	0.47	0.52	0.81	0.83
> 15 m	0.48	0.61	1.59	0.84

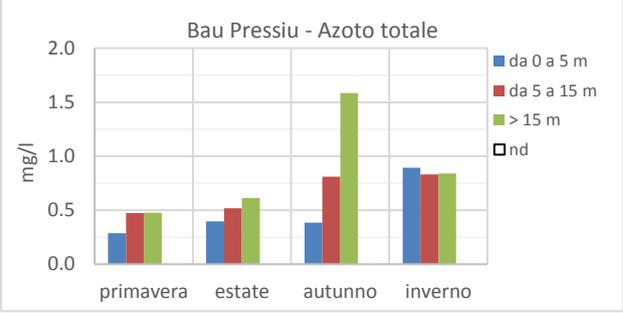
  

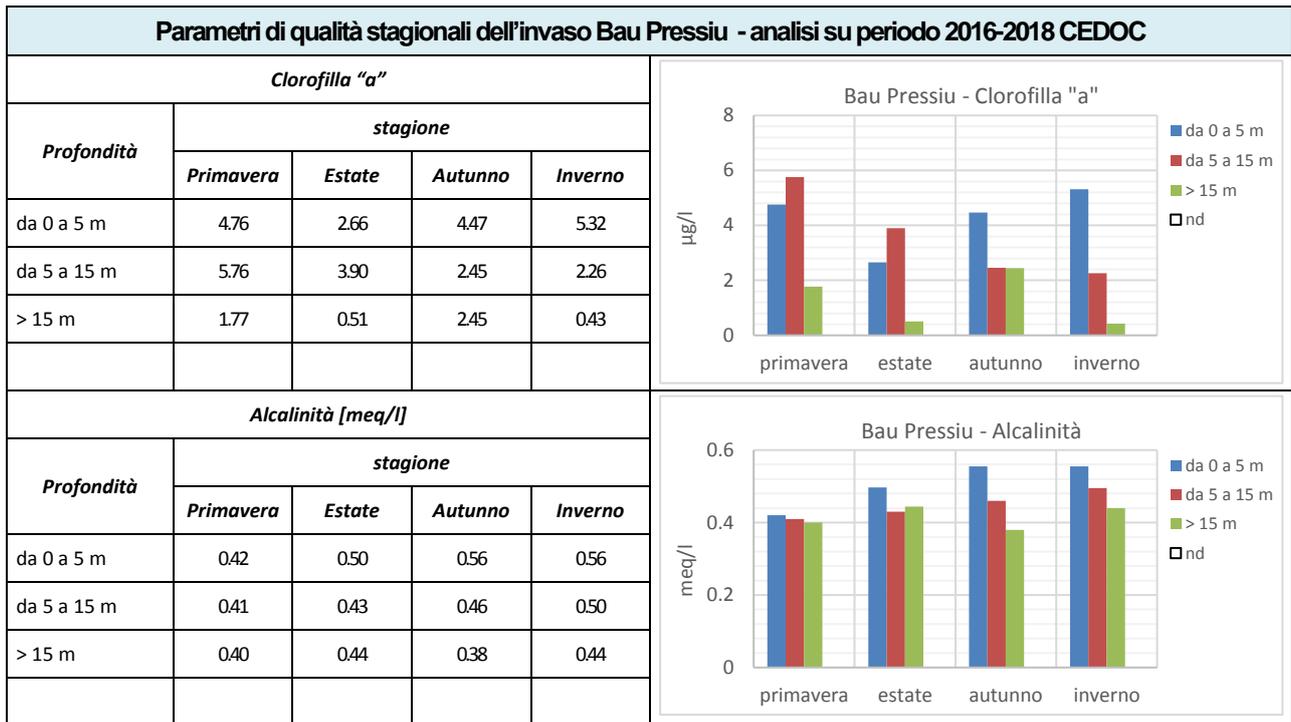












### Invaso di Bau Pressiu – elaborazioni del PTA

Considerando le tavole del PTA relative al bacino del Bau Pressiu si osserva un carico di fosforo e azoto di tipo basso per quanto riguarda la componente zootecnica, mentre è di tipo medio-alto per quanto riguarda la componente agricola. La superficie SAU all'interno del bacino idrografico è pari a 22.71 ha così ripartiti:

- 0.81 ha aree a pascolo naturale;
- 21.89 ha seminativi in aree non irrigue.

Il fosforo annuo totale è pari 4.75 t mentre l'azoto totale è pari a 26.01 t.

L'invaso del Bau Pressiu è classificato dal PTA come EUTROFICO (si veda per completezza la Tabella 4), con un livello di criticità di fosforo etichettato con A.

Tabella 14: Criticità, carico effettivo di P afferente, concentrazione di P "naturale" stimata con l'indice MEI e stato trofico del Bau Pressiu (estratti dal PTA)

N° U.I.O.	Nome U.I.O.	Id_Bacino	Descrizione	Id_Corpo Idrico	Nome Corpo Idrico	Id_Stazione	SE	LIVELLI DI CRITICITA'				Carico effettivo di P (%)			
								Trasparenza	Ossigeno	Clorofilla	Fosforo	P civile	P industriale	P agricolo	P zootecnico
2	Palmas	0256	Riu Palmas	LA4034	Mannu a Bau Pressiu	02560705	4	C	D	B	A	0,0%	0,0%	66,5%	33,5%
				LA4035	Rio Palmas a Monti Pranu	02560704	5	A	D	A	A	0,8%	0,2%	65,3%	33,8%
Codice lago	Nome lago					Conc P (µg/l) Alcal.	Stato trofico Alcal.				Stato trofico attuale				
LA4034	Mannu a Bau Pressiu					44,38	MESOTROFI A				EUTROFIA				

Tabella 15: Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Bau Pressiu secondo gli elaborati del PTA

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Bau Pressiu secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
TAV 12c_carichi diffusi P zootecnico	Fosforo zootecnico	10.90 km <sup>2</sup> con valori da 0.19 a 0.35 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 2.94 t/anno	
		17.83 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 0.18 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 1.60 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 4.55 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N zootecnico	Azoto zootecnico	10.90 km <sup>2</sup> con valori da 1.02 a 1.89 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 15.86 t/anno	
		17.83 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 1.01 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 9.00 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 24.86 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi P agricolo	Fosforo agricolo	21.89 ha con valori da 0 a 16 kg/ha/anno; Valore medio: 0.18 t/anno	
		0.81 ha con valori da 25 a 30 kg/ha/anno; Valore medio: 0.02 t/anno	
		<b>SAU totale: 22.71 ha</b> <b>Valore medio totale: 0.20 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N agricolo	Azoto agricolo	21.89 ha con valori da 40 a 60 kg/ha/anno; Valore medio: 1.09 t/anno	
		0.81 ha con valori da 60 a 80 kg/ha/anno; Valore medio: 0.06 t/anno	
		<b>SAU totale: 22.71 ha</b> <b>Valore medio totale: 1.15 t/anno</b>	
TAV 14_Classificazione corpi idrici	Classificazione ecologica	L'invaso Bau Pressiu è classificato come EUTROFICO Il corso d'acqua principale Riu Mannu ha uno stato ecologico di CLASSE 3 - SUFFICIENTE	

## 4.2 INVASO MEDAU ZIRIMILIS

La diga di Medau Zirimilis è uno sbarramento sul Riu de su Casteddu situato nel territorio di Siliqua. Edificato tra il 1981 ed il 1990 è costituita da materiali sciolti con manto di tenuta di materiali artificiali. Nelle condizioni di massimo invaso la quota della superficie libera è pari a 146.70 m s.l.m. che corrisponde ad un volume di 18.6 milioni di m<sup>3</sup>. L'altezza totale della diga è pari a 53 m.



Figura 11: Ortofoto e fotografia della diga Medau Zirimilis

#### 4.2.1 Caratteristiche dell'invaso

Le caratteristiche principali dell'invaso e del corpo diga sono ricavate dal sito dell'ENAS e riportate nella seguente tabella. Sempre dall'ENAS è stata fornita la curva dei volumi e delle superfici.

Tabella 16: Medau Zirimitis dati della diga e del serbatoio (fonte ENAS)

Dati caratteristici delle opere di ritenuta	
Altezza della diga (altezza tra quota coronamento e punto più basso del piano di fondazione)	53.00 m
Quota coronamento	151.00 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	456.10 m
Volume del corpo diga	1.3 Mm <sup>3</sup>
Classifica	Diga in materiali sciolti di terra permeabile o pietrame, con manto di tenuta di materiali artificiali (B.c.)
Dati caratteristici dell'invaso	
Quota di massimo invaso	146.7 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido alla quota di massimo invaso	1.385 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso	18.60 Mm <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	16.700 Mm <sup>3</sup>
Volume di laminazione	1.4 Mm <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero (direttamente sotteso)	29.50 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	725 m <sup>3</sup> /s

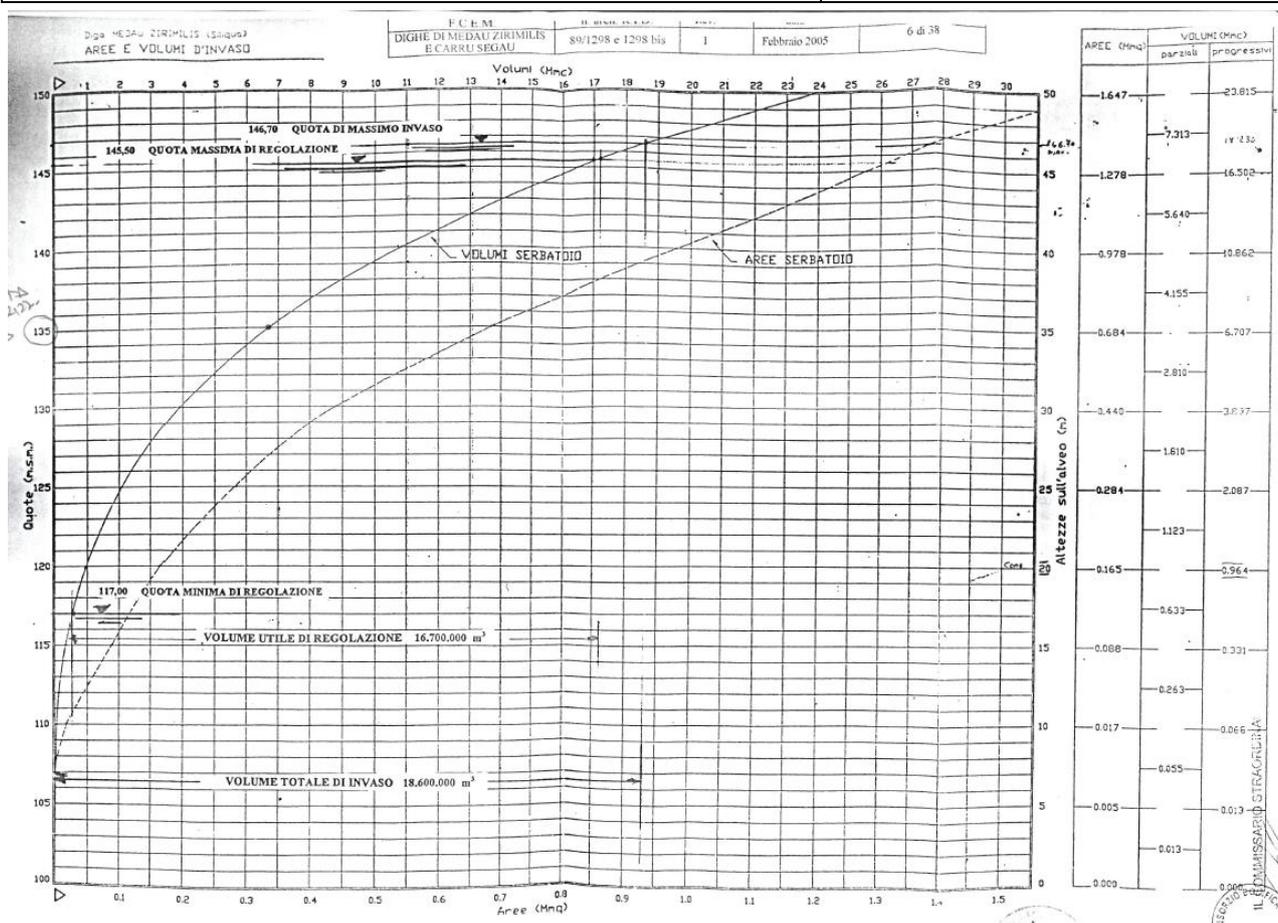


Figura 12: Invaso Madau Zirimitis – Curva dei volumi e delle aree

#### 4.2.2 Idrografia e bacino idrografico

I principali corsi d'acqua che alimentano il serbatoio Medau Zirimilis sono il Riu Camboni da sud di lunghezza pari a 11 km, ed il Canale s'Ortu Cauli da sud-est di lunghezza pari a 3.2 km, mentre il corso d'acqua a valle della diga è denominato Riu de su Casteddu. I due rii sono alimentati da numerosi corsi d'acqua naturali i cui principali sono: Riu de is Abius, Riu Marroccu de Siliqua ed il Riu Perdoriu.

Tabella 17: Medau Zirimilis - Dati geomorfologici del bacino idrografico

<b>Area</b>	km <sup>2</sup>	29.694
<b>Perimetro</b>	km	25.988
<b>Quota max</b>	m s.l.m.	1111.1
<b>Quota media</b>	m s.l.m.	419.7
<b>Quota sezione chiusura</b>	m s.l.m.	130.0
<b>Pendenza media versanti</b>	%	41.41
<b>Lunghezza idrologica asta principale</b>	km	11.58
<b>Pendenza media asta principale</b>	%	4.87
<b>Pendenza media reticolo</b>	%	29.14
<b>Densità di drenaggio</b>	km/km <sup>2</sup>	5.73

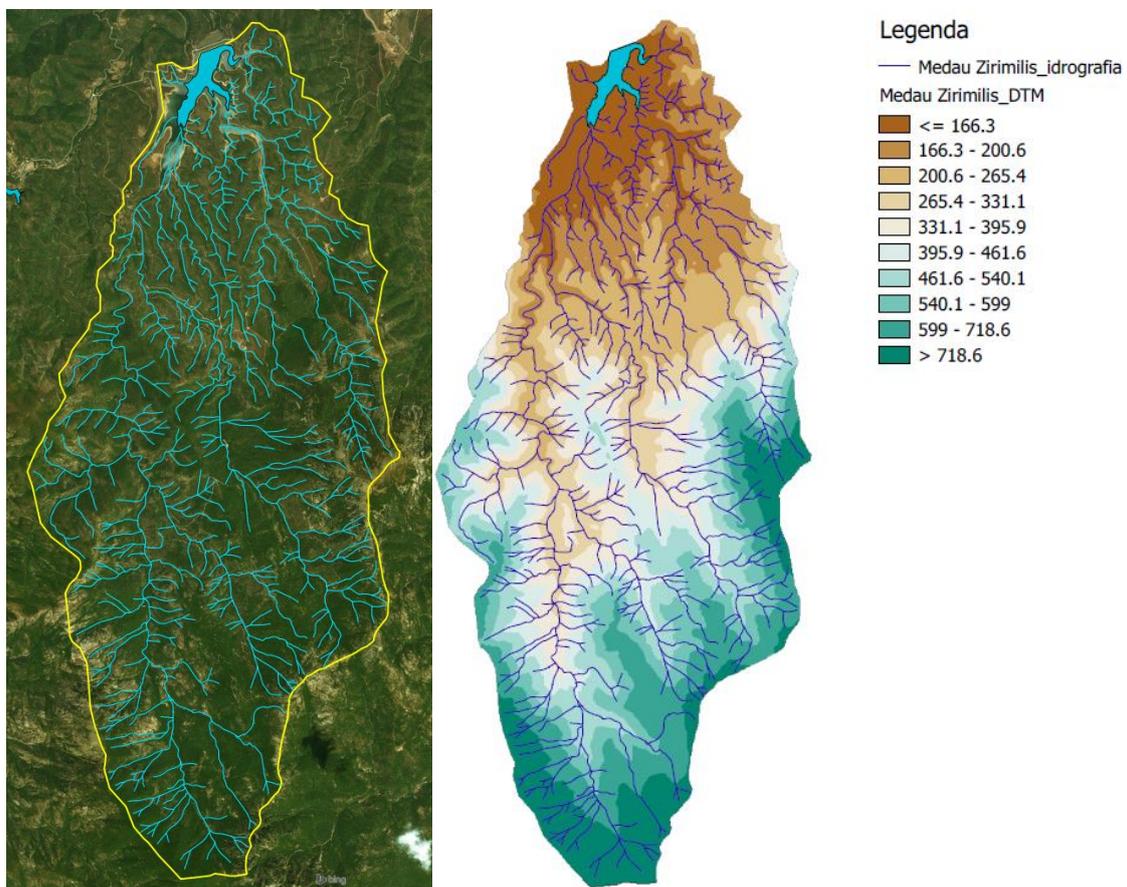


Figura 13: Reticolo idrografico ufficiale afferente al serbatoio Medau Zirimilis, relativo bacino idrografico e DTM

#### 4.2.3 Regime termo-pluviometrico del bacino

##### 4.2.3.1 Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature

L'elaborazione delle precipitazioni relative al bacino del Medau Zirimilis è stata effettuata mediante una statistica dei valori di pioggia cumulata mensile ottenuta dai dati di pioggia relativamente agli anni 2002-2012.

Le stazioni di misura individuate che interessano il bacino idrografico sono riportate in Tabella 18 e rappresentate spazialmente in Figura 16. Per quanto riguarda la quantificazione dell'incidenza delle misurazioni di pioggia rispetto all'intero bacino si è applicato il metodo dei topoi, invece l'andamento della temperatura media mensile è ottenuta mediante l'applicazione di un fattore di scala rispetto all'andamento calcolato per il Bacino del Cixerri a Genna Is Abis (di cui il Medau Zirimilis ne è un sottobacino). Questa metodologia è stata adottata in quanto non è presente una stazione termopluviometrica afferente avente quota simile alla quota media del bacino del Medau Zirimilis (pari a 419.7 m s.l.m.).

Il fattore di scala è ottenuto imponendo l'uguaglianza tra la temperatura media annua valutata come media dei singoli mesi e la temperatura media annua ottenuta tramite la correlazione quota-temperatura costruita per il Bacino del Cixerri a Genna Is Abis, riportata in Figura 14.

Nel caso specifico tale fattore è pari a 0.95; in altri termini la temperatura media annua nel bacino del Bau Pressiu è pari al 95% della temperatura media annua del bacino principale Cixerri a Genna Is Abis (la cui quota media è pari a 252 m s.l.m.).

Gli andamenti mensili dei parametri di precipitazione, cumulata e temperatura per ogni stazione tempo-pluviometrica analizzata sono riportati in Allegato 1.

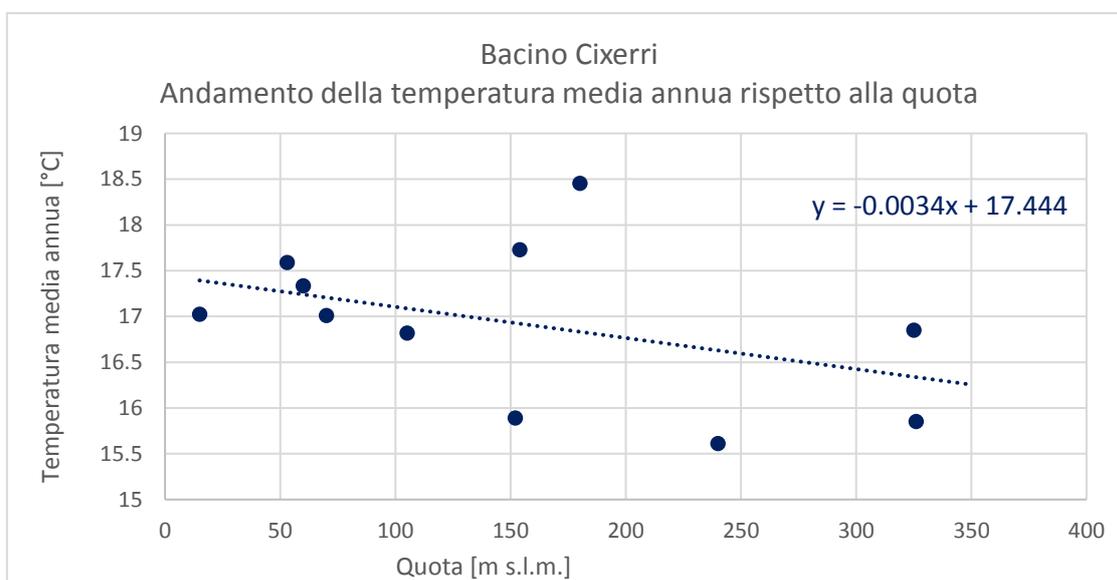


Figura 14: Relazione tra la quota e la temperatura media annuale per il bacino idrografico del Cixerri chiuso a Genna Is Abis

Tabella 18: Medau Zirimilis – Stazioni di misura termopluviometriche analizzate

Codice	Nome	LONG	LAT	Quota	Dati pluviometrici	Percentuale di incidenza sul bacino	Dati termometrici
55	Campanasissa	1480620	4339860	220	SI	48.9	NO
430	Nuxis	1477500	4334000	152	SI	31.2	SI
370	Pantaleo	1482550	4326820	240	SI	19.9	SI

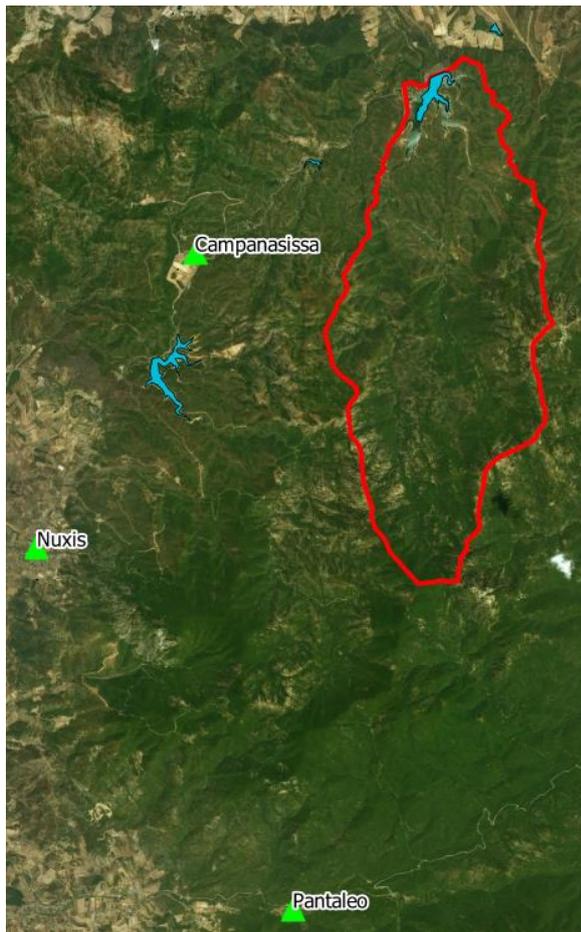


Figura 15: Posizione delle stazioni utilizzate per il bacino del Medau Zirimilis

#### 4.2.3.2 Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino

Dall'analisi statistica effettuata risulta quanto riportato in Figura 16. La precipitazione media annuale si attesta intorno ai 46 mm, con il massimo picco in dicembre (circa 123 mm) e minimo valore a luglio (poco meno di 7 mm). La precipitazione annua cumulata è pari a circa 557 mm che corrispondono ad un volume medio annuo precipitato pari a 16.5 Mm<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino si osserva un picco di 25°C a luglio ed un valore minimo pari a 8,6°C a gennaio. Il valore medio annuale si attesta intorno ai 16°C.

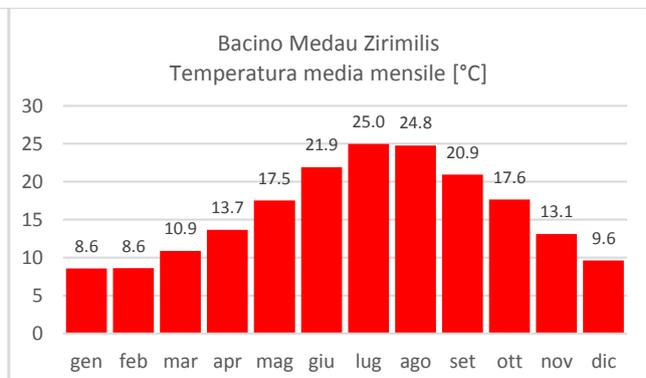
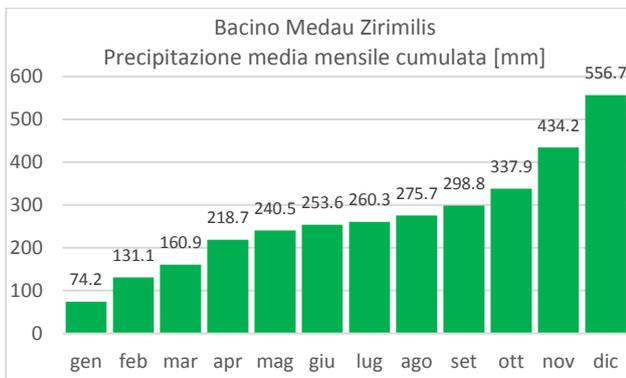
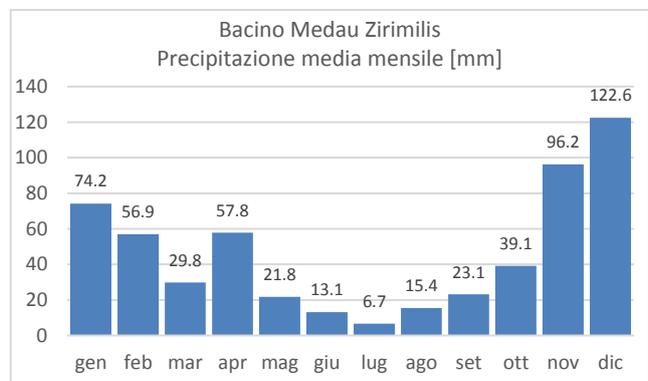


Figura 16: Caratteristiche termopluviometriche del Bacino Medau Zirimilis

#### 4.2.4 Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso

La stima degli apporti meteorici all'invaso del Medau Zirimillis è stata effettuata utilizzando lo schema di calcolo già sopra illustrato e le serie di precipitazioni e temperature precedentemente analizzate. I parametri idrologici caratteristici adottati nella stima sono quelli già calibrati per l'intero bacino per l'intero bacino del Cixerri a Genna Is Abis.

Tabella 19: Parametri idrologici caratteristici per il bacino del Medau Zirimilis

Parametri idrologici caratteristici del bacino del Medau Z.	
BFI	60%
K	0.45

Tabella 20: Analisi idrologica del bacino del Medau Zirimilis

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m <sup>3</sup> /s]	q [l/(s km <sup>2</sup> )]
gen	74.2	8.6	-	45.5	62.7	11.5	6.9	4.6	20.2	9.1	13.7	0.2	5.2	0.18
feb	56.9	8.6	-	45.6	50.1	6.8	4.1	2.7	18.0	8.1	10.8	0.1	4.1	0.19
mar	29.8	10.9	-	53.0	28.9	0.9	0.6	0.4	14.0	6.3	6.7	0.1	2.5	0.22
apr	57.8	13.7	-	64.1	53.3	4.5	2.7	1.8	8.2	3.7	5.5	0.1	2.1	0.10
mag	21.8	17.5	-	84.0	21.8	0.0	0.0	0.0	7.2	3.3	3.3	0.04	1.2	0.15
giu	13.1	21.9	-	114.5	13.1	0.0	0.0	0.0	4.0	1.8	1.8	0.02	0.7	0.14
lug	6.7	25.0	-	142.1	6.7	0.0	0.0	0.0	2.2	1.0	1.0	0.01	0.3	0.15
ago	15.4	24.9	-	140.0	15.4	0.0	0.0	0.0	1.2	0.5	0.5	0.01	0.2	0.04
set	23.1	20.9	-	106.7	23.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.3	0.00	0.1	0.01
ott	39.1	17.6	-	84.6	38.5	0.7	0.4	0.3	0.4	0.2	0.4	0.00	0.2	0.01
nov	96.2	13.1	-	61.7	81.9	14.4	8.6	5.7	0.6	0.3	6.0	0.07	2.3	0.06
dic	122.6	9.6	-	48.7	97.2	25.4	15.2	10.2	9.0	4.0	14.2	0.2	5.4	0.12

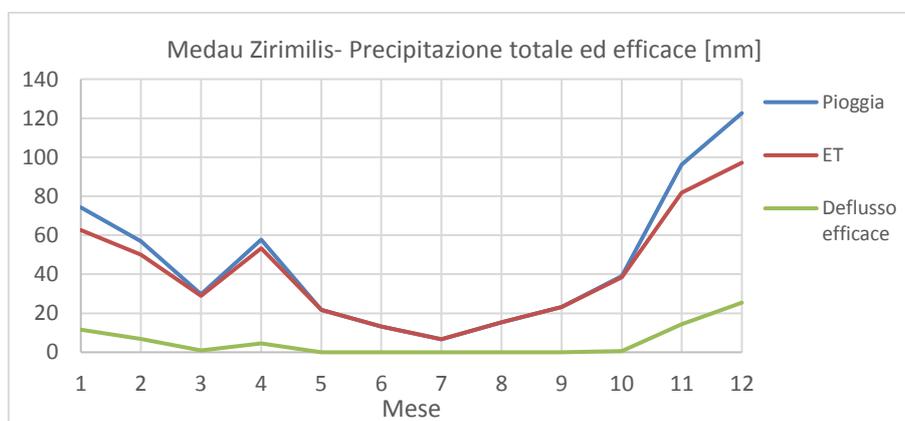


Figura 17: Medau Zirimilis – Precipitazione totale ed efficace

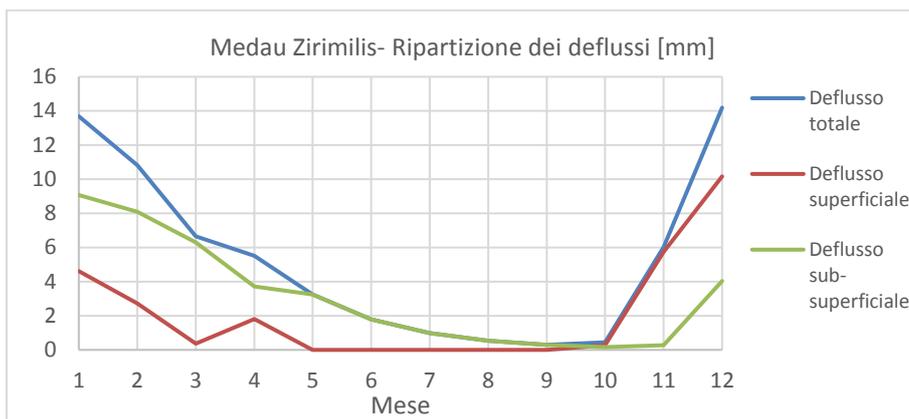


Figura 18: Medau Zirimilis – Ripartizione dei deflussi

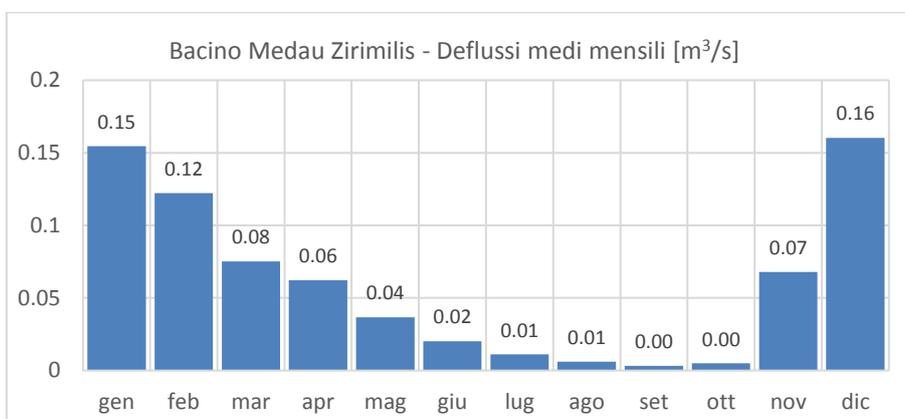


Figura 19: Medau Zirimilis– Deflussi medi mensili modellati espressi in m³/s

## 4.2.5 Qualità delle acque

### 4.2.5.1 MEDAU ZIRIMILIS – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE

La qualità delle acque dell'invaso Bau Pressiu è stata valutata dai rapporti di prova 2016-2018 forniti da ENAS-SQAE, mentre il CEDOC non fornisce per questo invaso alcun dato.

I parametri analizzati sono:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità a 20°C;
- Fosforo totale;
- Azoto totale;
- Clorofilla "a".
- Alcalinità (solo per il periodo 2016-2018)

Poiché nella stessa sessione di misure a volte sono stati effettuati campionamenti a diverse profondità si è deciso in sede di elaborazioni statistiche di raggruppare le profondità di campionamento secondo tre fasce: da 0 a 5 m, da 5 a 10 m e maggiore di 10 m.

Tabella 21: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Medau Zirimilis - dati ENAS-SQEA

Parametri di qualità stagionali dell'invaso Medau Zirimilis - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA				
<b>Temperatura [°C]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	17.73	27.11	19.89	11.679167
da 5 a 10 m	14.24	20.20	18.80	11.4725
> 10 m	12.14	14.63	16.18	12.16
<b>pH</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	8.02	8.42	7.19	8.09
da 5 a 10 m	7.84	7.54	6.87	7.95
> 10 m	7.53	6.96	6.91	7.66

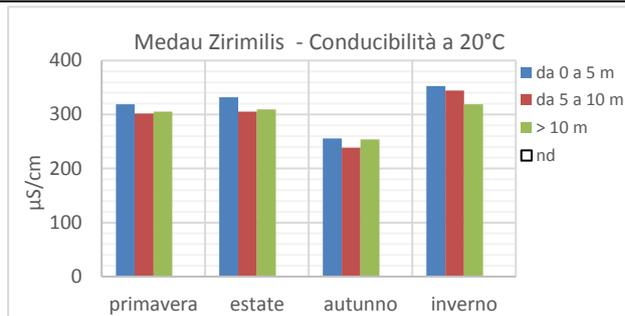
Stagione	da 0 a 5 m	da 5 a 10 m	> 10 m
primavera	17.73	14.24	12.14
estate	27.11	20.20	14.63
autunno	19.89	18.80	16.18
inverno	11.679167	11.4725	12.16

Stagione	da 0 a 5 m	da 5 a 10 m	> 10 m
primavera	8.02	7.84	7.53
estate	8.42	7.54	6.96
autunno	7.19	6.87	6.91
inverno	8.09	7.95	7.66

### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Medau Zirimilis - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA

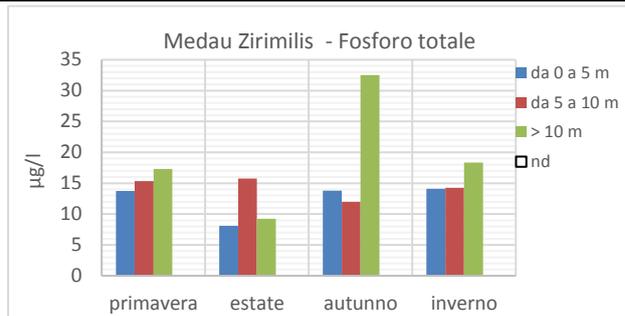
#### Conducibilità a 20°C [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	318.90	332.00	255.75	352.50
da 5 a 10 m	302.00	305.25	238.50	344.50
> 10 m	305.13	309.75	253.75	319.00



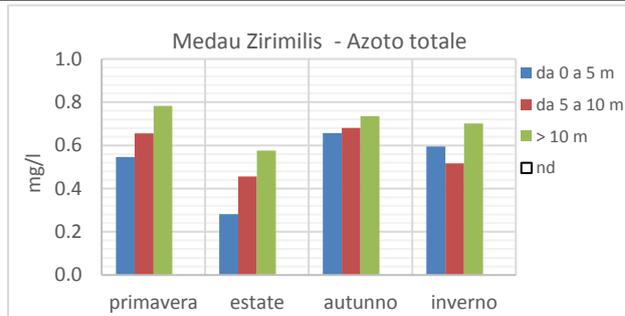
#### Fosforo totale [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]

Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	13.75	8.13	13.80	14.08
da 5 a 10 m	15.33	15.75	12.00	14.25
> 10 m	17.29	9.25	32.50	18.33



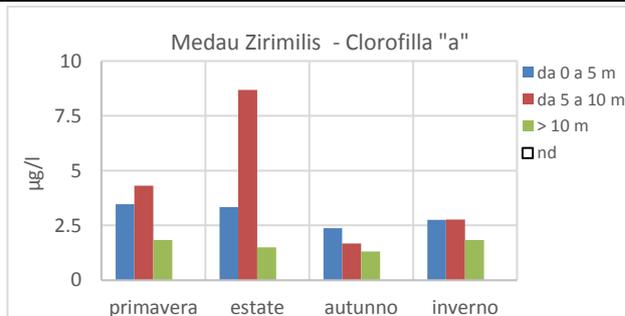
#### Azoto totale [ $\text{mg}/\text{l}$ ]

Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	0.55	0.28	0.66	0.60
da 5 a 10 m	0.66	0.46	0.68	0.52
> 10 m	0.78	0.58	0.74	0.70



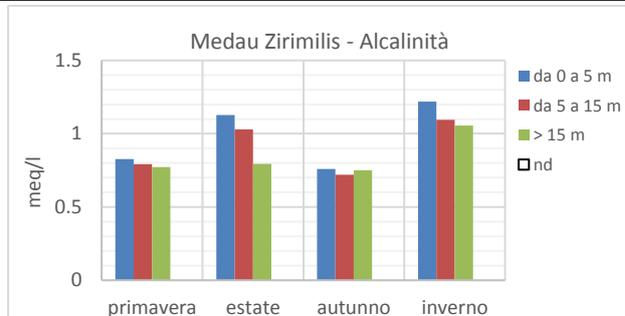
#### Clorofilla "a"

Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	3.47	3.34	2.38	2.75
da 5 a 10 m	4.31	8.68	1.68	2.77
> 10 m	1.83	1.50	1.31	1.84



#### Alcalinità [ $\text{meq}/\text{l}$ ]

Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	0.83	1.13	0.76	1.22
da 5 a 10 m	0.79	1.03	0.72	1.10
> 10 m	0.77	0.80	0.75	1.06



#### 4.2.5.2 MEDAU ZIRIMILIS – ELABORAZIONI DEL PTA

Considerando le tavole del PTA relative al bacino del Medau Zirimilis si osserva un carico di fosforo e azoto di tipo basso per quanto riguarda la componente zootecnica, mentre è di tipo medio-basso per quanto riguarda la componente agricola. La superficie SAU all'interno del bacino idrografico è pari a 41.22 ha così ripartiti:

- 11.02 ha aree ad arboricoltura con essenze forestali di conifere;
- 22.99 ha aree a pascolo naturale;
- 5.66 ha a prati artificiali;
- 1.56 ha seminativi in aree non irrigue.

Il fosforo annuo totale è pari 8.76 t mentre l'azoto totale è pari a 45.26 t.

L'invaso del Medau Zirimilis non è stato analizzato dal PTA e non possiede una classificazione ecologica.

Tabella 22: Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Medau Zirimilis secondo gli elaborati del PTA

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Medau Zirimilis secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
TAV 12c_carichi diffusi P zootecnico	Fosforo zootecnico	29.69 km <sup>2</sup> con valori da 0.19 a 0.35 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 8.02 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 8.02 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N zootecnico	Azoto zootecnico	29.69 km <sup>2</sup> con valori da 1.02 a 1.89 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 43.20 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 43.20 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi P agricolo	Fosforo agricolo	41.22 ha con valori da 16 a 20 kg/ha/anno; Valore medio: 0.74 t/anno	
		<b>SAU totale: 41.21 ha</b> <b>Valore medio totale: 0.74 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N agricolo	Azoto agricolo	41.22 ha con valori da 40 a 60 kg/ha/anno; Valore medio: 2.06 t/anno	

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Medau Zirimitis secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
		<p><b>SAU totale: 41.22 ha</b>  <b>Valore medio totale: 2.06 t/anno</b></p>	
TAV 14_Classificazione corpi idrici	Classificazione ecologica	L'invaso Medau Zirimitis non possiede una classificazione ecologica.	

### 4.3 INVASO DI MONTE PRANU

La diga Monte Pranu è uno sbarramento murario a gravità del Riu Palmas, posizionato nel comune di Tratalias ed in prossimità dei comuni di Giba, San Giovanni Suergiu e Villaperuccio. È stata edificata tra il 1947 ed il 1951 ed è la principale di un sistema di altre cinque che formano in serbatoio principale. Nelle condizioni di massimo invaso la quota della superficie libera è pari a 45.5 m s.l.m. ed un volume totale di 63 milioni di m<sup>3</sup>.

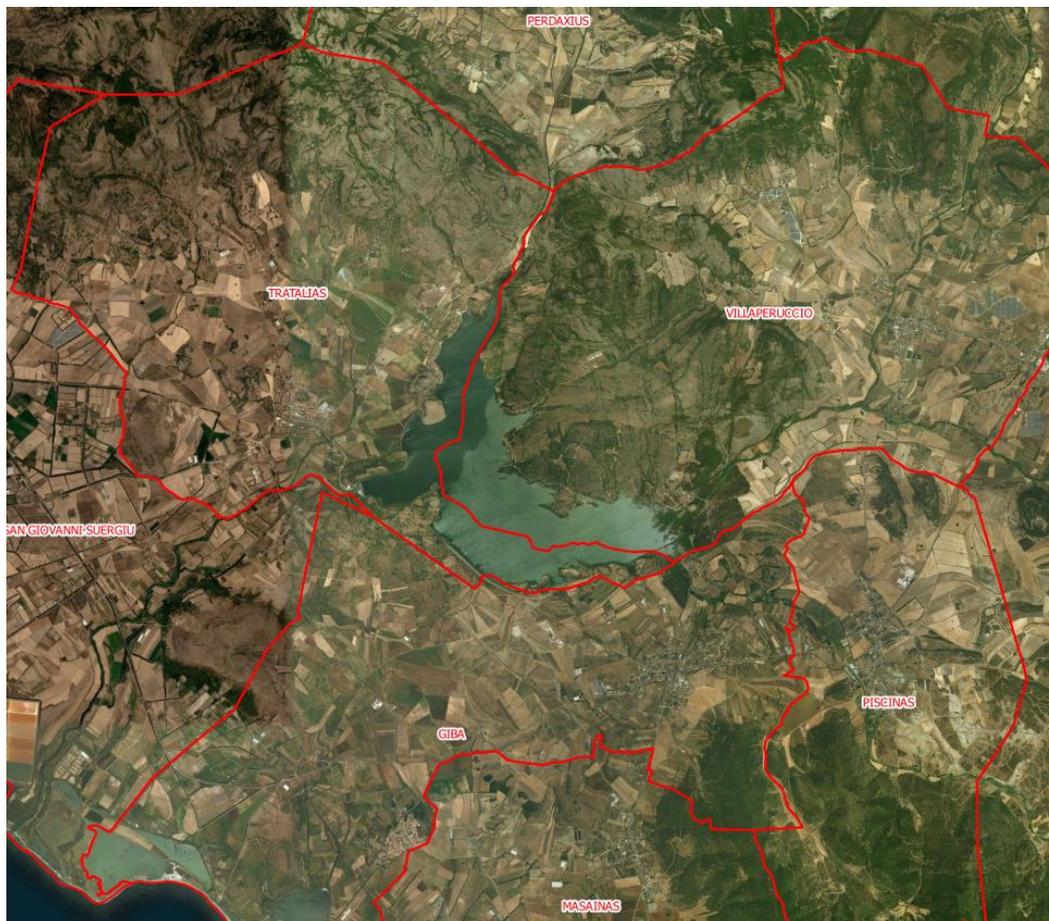


Figura 20: Ortofoto e fotografia della diga Monte Pranu (fonte ENAS)

#### 4.3.1 Caratteristiche dell'invaso

Le caratteristiche principali dell'invaso e del corpo diga sono ricavate dal sito dell'ENAS e riportate nella seguente tabella. Sempre dall'ENAS è stata fornita la curva dei volumi e delle superfici.

Tabella 23: Monte Pranu dati della diga e del serbatoio (fonte ENAS)

Dati caratteristici delle opere di ritenuta	
Altezza della diga (altezza tra quota coronamento e punto più basso del piano di fondazione)	34.50 m
Quota coronamento	46.50 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	215.90 m
Volume del corpo diga	42200 m <sup>3</sup>
Classifica	Diga muraria a gravità ordinaria (A.a.1)
Dati principali del serbatoio	
Quota di massimo invaso	45.90 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido alla quota di massimo invaso	6.980 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso	63.00 Mm <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	49.30 Mm <sup>3</sup>
Volume di laminazione	13.00 Mm <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero (direttamente sotteso)	436.00 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto – portata di picco	1280 m <sup>3</sup> /s
Portata di massima piena di progetto – portata laminata	450m <sup>3</sup> /s

#### 4.3.2 Idrografia e bacino idrografico

La rete idrografica a monte della diga Monte Pranu è estremamente articolata e le aste che direttamente alimentano l'invaso sono: Riu Gutturu Ponti da nord (lunghezza idrologica pari a 15.1 km), il Riu Mannu da est (lunghezza idrologica pari a 30.5 km) ed il Riu Palmas (lunghezza idrologica pari a 25.7 km). Altri corsi d'acqua fondamentali sono: Riu Bau Nieddu, Riu Mannu di Santadi, Riu di Monte Orri e Riu Cambodu.

Tabella 24: Monte Pranu - Dati geomorfologici del bacino idrografico

<b>Area</b>	km <sup>2</sup>	435.53
<b>Perimetro</b>	km	103.02
<b>Quota max</b>	m s.l.m.	1109.52
<b>Quota media</b>	m s.l.m.	292.60
<b>Quota sezione chiusura</b>	m s.l.m.	39.70
<b>Pendenza media versanti</b>	%	27.85
<b>Lunghezza idrologica asta principale</b>	km	25.51
<b>Pendenza media asta principale</b>	%	1.40
<b>Pendenza media reticolo</b>	%	4.59
<b>Densità di drenaggio</b>	km/km <sup>2</sup>	3.92

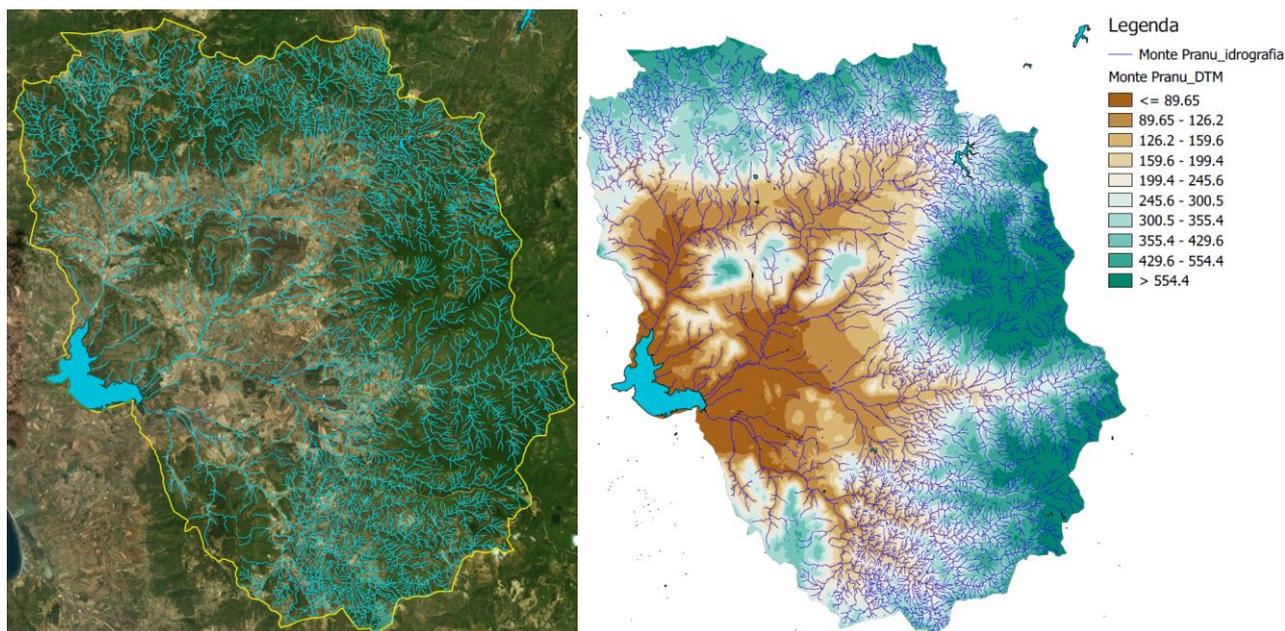


Figura 21: Reticolo idrografico ufficiale afferente al serbatoio Monte Pranu, relativo bacino idrografico e DTM

### 4.3.3 Regime termo-pluviometrico del bacino

#### 4.3.3.1 Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature

L'elaborazione delle precipitazioni relative al bacino del Monte Pranu è stata effettuata mediante una statistica dei valori di pioggia cumulata mensile ottenuta dai dati di pioggia relativamente agli anni 2002-2012.

Le stazioni di misura individuate che interessano il bacino idrografico sono riportate in Tabella 25 e rappresentate spazialmente in Figura 22.

Per quanto riguarda la quantificazione dell'incidenza delle misurazioni di pioggia rispetto all'intero bacino si è applicato il metodo dei topoi, invece l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino è ottenuto ponendolo pari a quello relativo alla stazione posizionata ad una quota più vicino possibile a quella media del bacino; nel caso specifico la stazione individuata è quella di Rosas.

Gli andamenti mensili dei parametri di precipitazione, cumulata e temperatura per ogni stazione tempo-pluviometrica analizzata sono riportati in Allegato 1.

Tabella 25: Monte Pranu – Stazioni di misura termopluviometriche analizzate

Codice	Nome	LONG	LAT	Quota	Dati pluviometrici	Percentuale di incidenza sul bacino	Dati termometrici
55	Campanasissa	1480620	4339860	220	SI	5.14	NO
290	Is Cannoneris	1487300	4320690	716	SI	2.54	SI
330	M. Nieddu	1491700	4328100	267	SI	0.00	SI
420	Narcao	1472000	4335550	127	SI	13.66	SI
430	Nuxis	1477500	4334000	152	SI	11.56	SI
370	Pantaleo	1482550	4326820	240	SI	15.72	SI
400	Rosas	1475480	4339810	326	SI	6.19	SI

<b>Codice</b>	<b>Nome</b>	<b>LONG</b>	<b>LAT</b>	<b>Quota</b>	<b>Dati pluviometrici</b>	<b>Percentuale di incidenza sul bacino</b>	<b>Dati termometrici</b>
345	S. Anna Arresi	1468930	4317440	58	SI	4.60	SI
440	S. G. Suergiu	1461780	4324540	12	SI	2.84	SI
380	Santadi	1475450	4327200	135	SI	21.14	NO
410	Terraseu	1467690	4339510	325	SI	12.19	SI
350	Teulada	1480350	4313450	50	SI	4.43	NO



Figura 22: Posizione planimetrica delle stazioni utilizzate per il bacino del Monte Pranu

#### 4.3.3.2 Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino

Dall'analisi statistica effettuata risulta quanto riportato in Figura 23. La precipitazione media annuale si attesta intorno ai 60 mm, con il massimo picco in novembre (circa 113 mm) e minimo valore a luglio (poco più di 5 mm). La precipitazione annua cumulata è pari a circa 687 mm che corrispondono ad un volume medio annuo precipitato pari a circa 300 Mm<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino si osserva un picco di 25°C a luglio ed un valore minimo pari a 8°C a gennaio. Il valore medio annuale si attesta intorno ai 15.9°C.

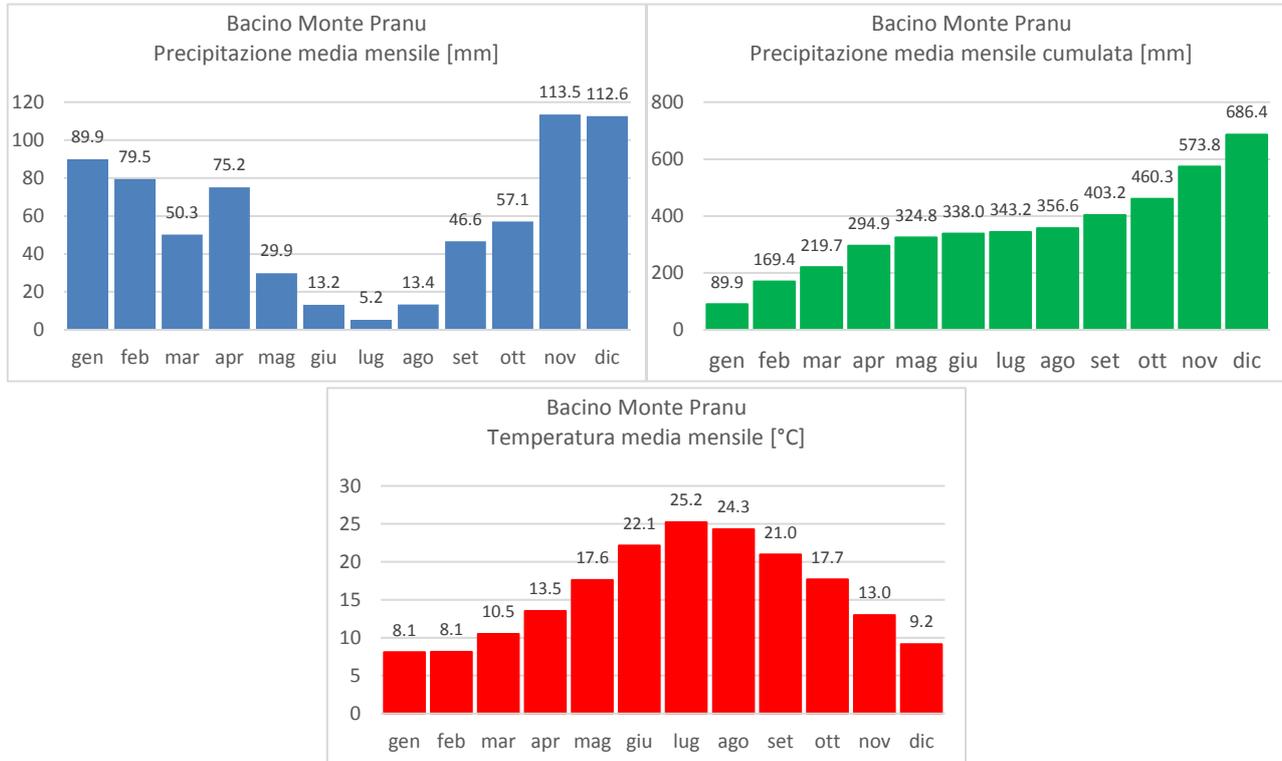


Figura 23: Caratteristiche temopluviometriche del Bacino Monte Pranu

#### 4.3.4 Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso

Il modello idrologico è stato applicato sul bacino del Monte Pranu secondo le precipitazioni e le temperature precedentemente determinate.

Il modello è stato innanzitutto calibrato secondo i dati di precipitazioni e portata relativo all'anno medio sulle misurazioni effettuate tra gli anni 1931 e 1938. Come visibile dal confronto tra il deflusso misurato ed il deflusso calcolato riportato in Figura 26 la calibrazione ha consentito di ottenere una buona rispondenza, essendo il coefficiente della retta di regressione pari a 1.092.

Successivamente i parametri del modello calibrato sono stati applicati per il modello idrologico relativo al periodo oggetto di studio.

Tabella 26: Parametri idrologici caratteristici del bacino del Monte Pranu

Parametri idrologici caratteristici del bacino del Monte Pranu	
BFI	50%
K	0.40

Tabella 27: Caratterizzazione idrologica del bacino del Monte Pranu sui dati 1931-1938

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – CALIBRAZIONE dati 1931-1938										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
gen	79.6	7.7	29.0	42.9	59.3	20.3	10.1	10.1	39.1	15.7	25.8	4.3	9.8	0.32
feb	83.9	7.8	26.7	43.2	61.8	22.1	11.1	11.1	33.6	13.5	24.5	4.1	9.3	0.29
mar	86.8	10.8	28.7	52.8	66.6	20.1	10.1	10.1	31.2	12.5	22.6	3.7	8.6	0.26
apr	51.3	13.8	15.5	64.8	46.5	4.8	2.4	2.4	28.8	11.5	13.9	2.3	5.3	0.27
mag	54.4	17.3	8.0	82.9	50.8	3.5	1.8	1.8	19.7	7.9	9.7	1.6	3.7	0.18
giu	12.7	22.1	3.2	116.0	13.0	0.0	0.0	0.0	13.6	5.4	5.4	0.9	2.1	0.43
lug	5.0	25.4	0.9	145.8	5.1	0.0	0.0	0.0	8.2	3.3	3.3	0.5	1.2	0.66
ago	10.2	25.7	0.3	149.7	10.4	0.0	0.0	0.0	4.9	2.0	2.0	0.3	0.7	0.19
set	35.3	22.3	0.4	117.4	35.4	0.0	0.0	0.0	2.9	1.2	1.2	0.2	0.4	0.03
ott	69.9	18.8	1.9	92.1	63.8	6.1	3.0	3.0	1.8	0.7	3.7	0.6	1.4	0.05
nov	148.4	13.6	24.2	63.8	104.6	43.8	21.9	21.9	4.1	1.6	23.6	3.9	8.9	0.16
dic	147.6	8.9	31.0	46.6	97.1	50.6	25.3	25.3	24.4	9.7	35.0	5.8	13.3	0.24

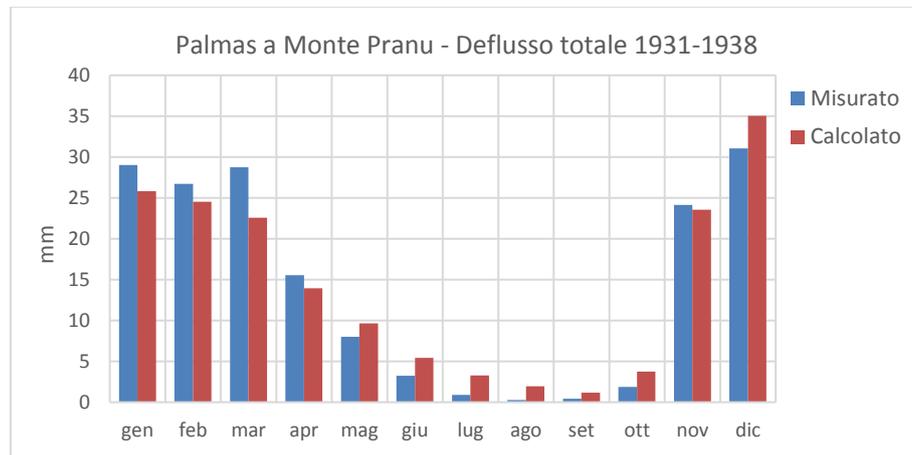
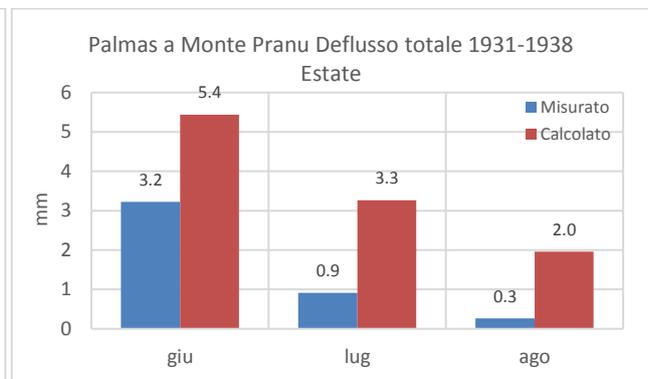
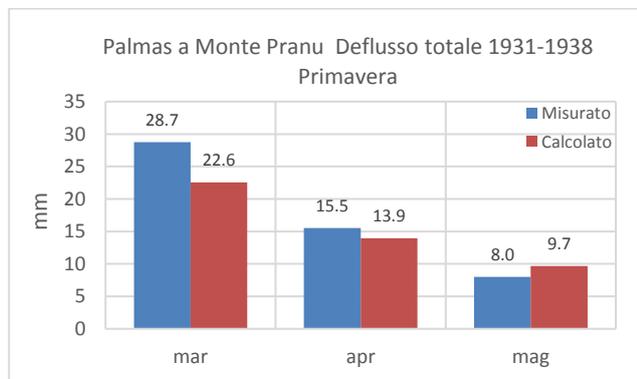


Figura 24: Invaso del Monte Pranu – Confronto tra deflussi calcolati e misurati



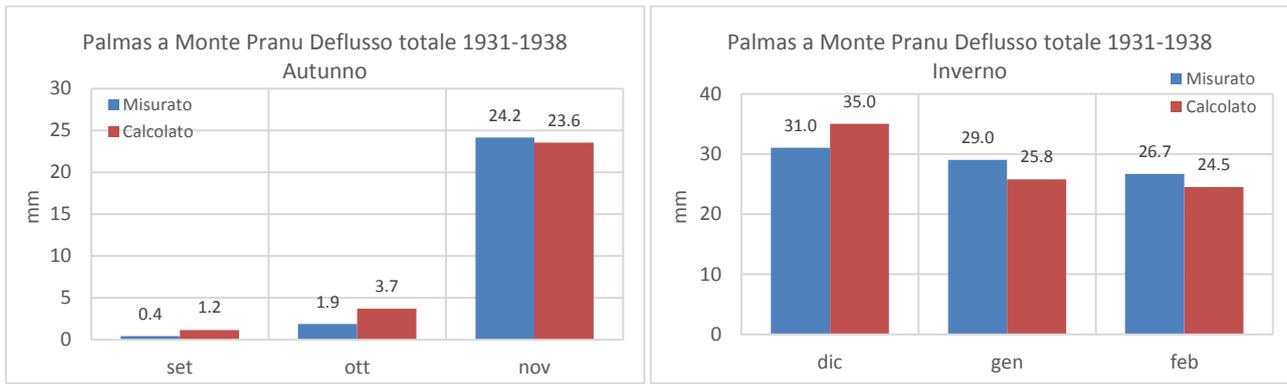


Figura 25: Invaso del Monte Pranu – Confronto tra deflussi calcolati e misurati diviso per stagione

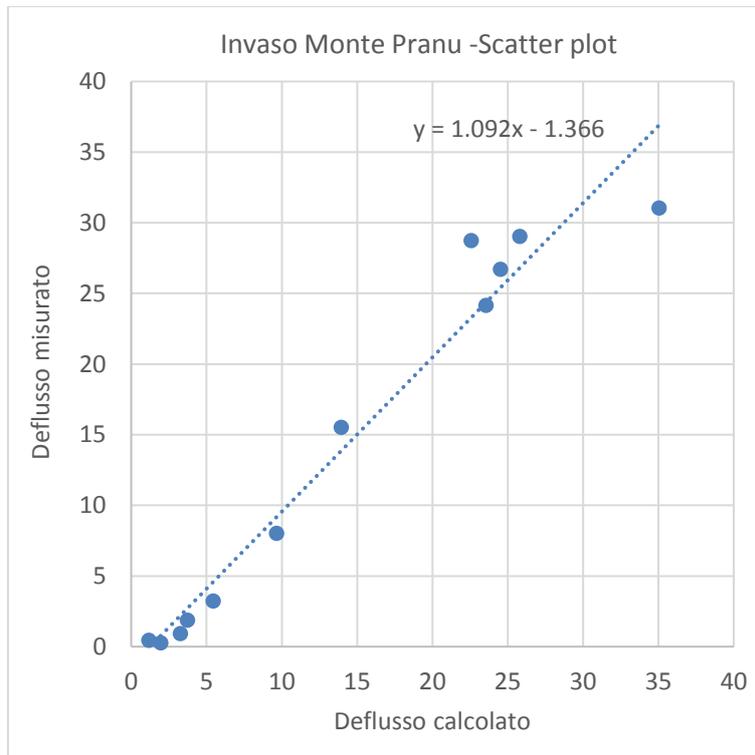


Figura 26: Invaso del Monte Pranu – Confronto tra deflusso misurato e calcolato

Tabella 28: Analisi idrologica del bacino del Monte Pranu sui dati 2002-2012

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – dati 2002-2012										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
gen	89.9	8.1	-	44.0	66.8	23.1	11.5	11.5	25.1	10.0	21.6	3.6	8.2	0.24
feb	79.5	8.1	-	44.2	60.9	18.7	9.3	9.3	26.6	10.6	20.0	3.3	7.6	0.25
mar	50.3	10.5	-	51.7	44.1	6.1	3.1	3.1	25.3	10.1	13.2	2.2	5.0	0.26
apr	75.2	13.5	-	63.4	63.3	11.9	5.9	5.9	18.2	7.3	13.2	2.2	5.0	0.18
mag	29.9	17.6	-	84.4	29.7	0.2	0.1	0.1	16.9	6.8	6.8	1.1	2.6	0.23
giu	13.2	22.1	-	116.3	13.2	0.0	0.0	0.0	10.2	4.1	4.1	0.7	1.6	0.31
lug	5.2	25.2	-	144.5	5.2	0.0	0.0	0.0	6.1	2.5	2.5	0.4	0.9	0.47

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – dati 2002-2012										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
ago	13.4	24.3	-	135.3	13.4	0.0	0.0	0.0	3.7	1.5	1.5	0.2	0.6	0.11
set	46.6	21.0	-	107.0	45.7	0.9	0.5	0.5	2.2	0.9	1.3	0.2	0.5	0.03
ott	57.1	17.7	-	84.8	53.4	3.7	1.8	1.8	1.8	0.7	2.6	0.4	1.0	0.04
nov	113.5	13.0	-	61.1	86.2	27.3	13.7	13.7	2.9	1.2	14.8	2.5	5.6	0.13
dic	112.6	9.2	-	47.3	80.9	31.7	15.9	15.9	15.4	6.2	22.0	3.7	8.4	0.20

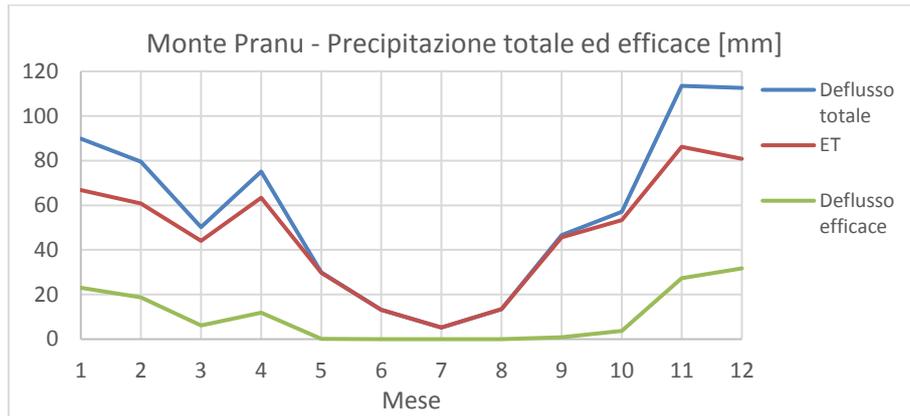


Figura 27: Monte Pranu – Precipitazione totale ed efficace

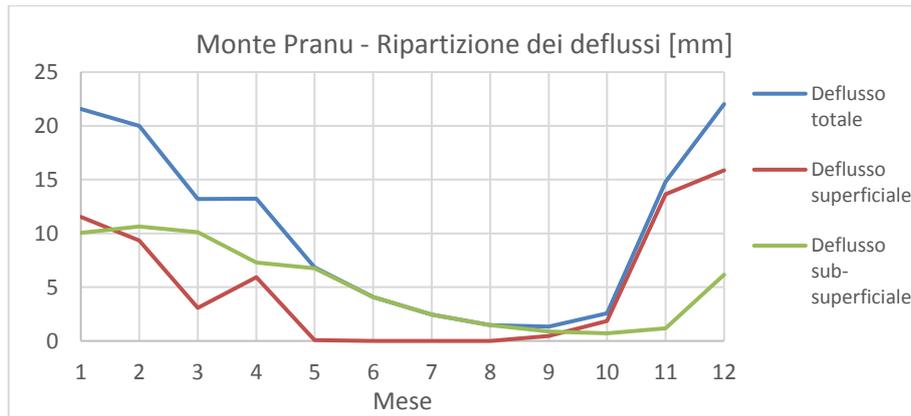


Figura 28: Monte Pranu – Ripartizione dei deflussi

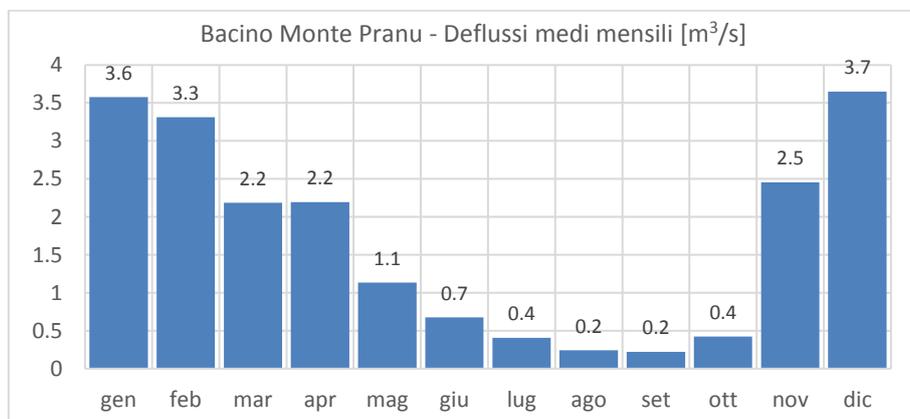


Figura 29: Monte Pranu – Deflussi medi mensili modellati espressi in m³/s

#### 4.3.5 *Qualità delle acque*

##### 4.3.5.1 *Misure Cedoc e rapporti di prova ENAS Sqae*

La qualità delle acque dell'invaso Monte Pranu è stata valutata mediante un'elaborazione statistica su base stagionale delle serie storiche dal 2002 al 2012 fornite dal CEDOC e dai rapporti di prova 2016-2018 forniti da ENAS-SQAE. I parametri analizzati sono:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità a 20°C;
- Fosforo totale;
- Azoto totale;
- BOD5 (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua)
- COD (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua)
- Cloruri (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua)
- Clorofilla "a" (solo per le misurazioni negli invasi)
- Alcalinità (solo per le misurazioni negli invasi e per i dati 2016-2018)

Poiché nella stessa sessione di misure a volte sono stati effettuati campionamenti nell'invaso a diverse profondità in sede di elaborazioni statistiche si sono raggruppate le profondità di campionamento secondo tre fasce: da 0 a 5 m, da 5 a 15 m e maggiore di 15 m. L'analisi secondo differenti intervalli di profondità (definiti in relazione al campo di profondità massima) può consentire di identificare i possibili effetti della presenza del termocline.

Oltre all'analisi sull'invaso (riportata nel capitolo 4.3.5.1.1), sono state considerate per il periodo 2002-2012 anche le misurazioni di qualità effettuate sui principali corsi d'acqua afferenti, in particolare si tratta delle seguenti stazioni di misura:

- 1) Riu Manni di Santadi (a monte dell'invaso)
- 2) Riu Manni di Villaperuccio (a monte dell'invaso),
- 3) Riu Palmas di San Giovanni Suergiu (a valle dell'invaso).

L'analisi delle suddette stazioni è riportata nei capitoli 4.3.5.1.2, 4.3.5.1.3 e 4.3.5.1.4. Per completezza di analisi, l'elaborazione dei dati di qualità sui corsi d'acqua è stata effettuata sia su scala stagionale che su scala mensile, con indicazione dei parametri medi e massimi

#### 4.3.5.1.1 Parametri di qualità dell'invaso Monte Pranu

Tabella 29: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Bau Pressiu - dati CEDOC

Parametri di qualità stagionali dell'invaso Monte Pranu - analisi su periodo 2002-2012 CEDOC				
<b>Temperatura [°C]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	19.65	-	18.35	-
da 5 a 15 m	17.83	-	19.97	-
> 15 m	20.40	19.30	18.90	-
nd	18.40	22.27	19.23	-
<b>pH</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	7.90	-	7.29	-
da 5 a 15 m	7.93	-	8.17	-
> 15 m	7.90	7.30	7.30	-
nd	8.10	8.10	8.13	-
<b>Conducibilità a 20°C [µS/cm]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	713.00	-	823.00	-
da 5 a 15 m	793.00	-	814.00	-
> 15 m	638.00	671.00	755.00	-
nd	773.20	645.67	892.83	-
<b>Fosforo totale [µg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	<60.00	-	<120.00	-
da 5 a 15 m	<100.00	-	<110.00	-
> 15 m	<60.00	<60.00	<60.00	-
nd	<67.40	<70.00	<81.67	-
<b>Azoto totale [mg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	2.20	-	2.18	-
da 5 a 15 m	0.88	-	0.75	-
> 15 m	0.96	0.61	0.67	-
nd	0.46	0.53	1.50	-

### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Monte Pranu - analisi su periodo 2002-2012

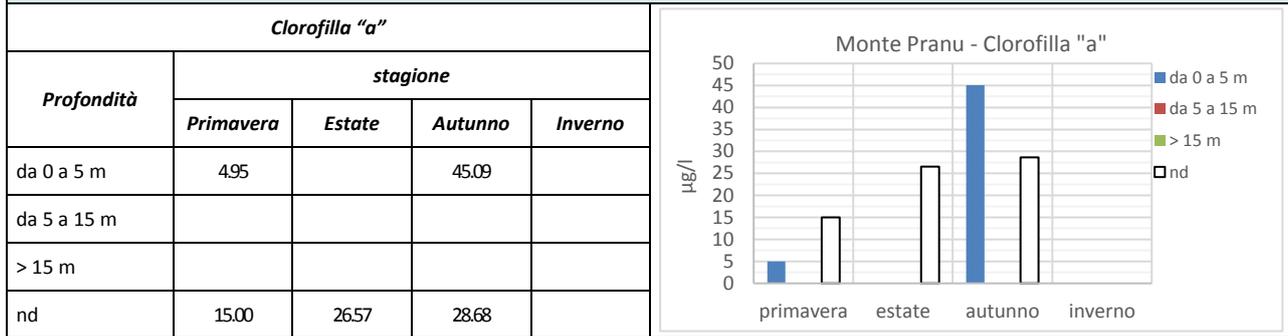
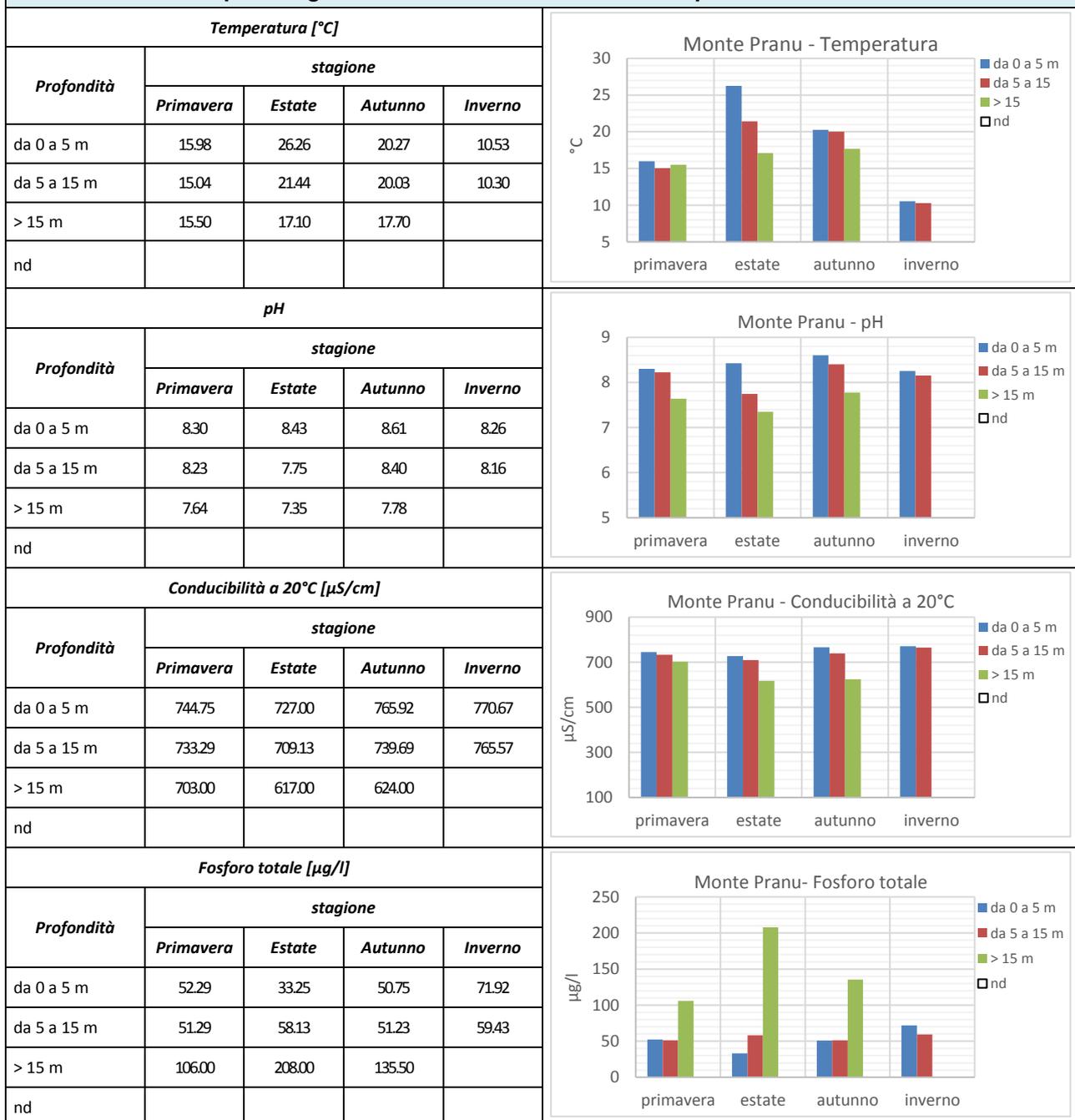


Tabella 30: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Monte Pranu - dati ENAS-SQEA

### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Monte Pranu - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA



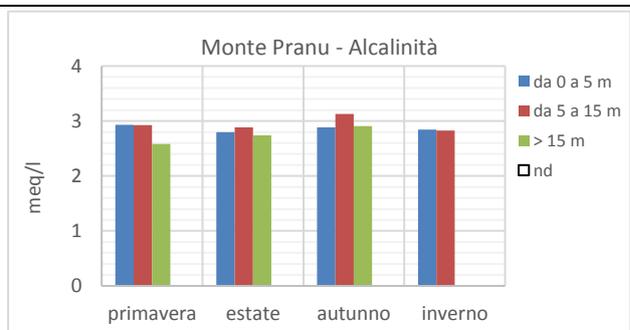
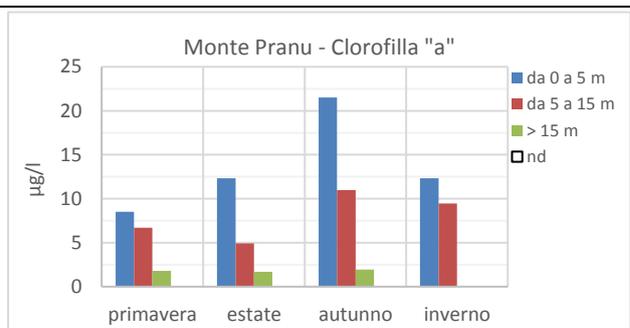
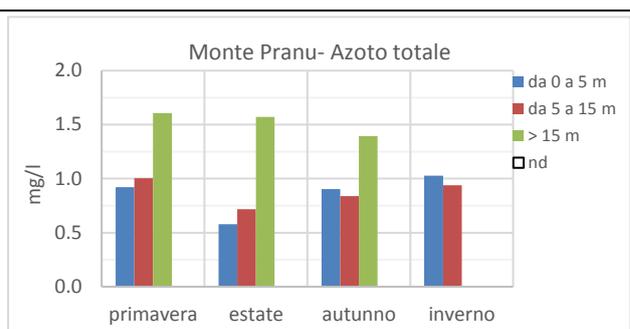
<b>Azoto totale [mg/l]</b>				
<b>Profondità</b>	<b>stagione</b>			
	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>
da 0 a 5 m	092	058	090	103
da 5 a 15 m	101	072	084	094
> 15 m	161	157	139	
nd				

<b>Clorofilla "a" [µg/l]</b>				
<b>Profondità</b>	<b>stagione</b>			
	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>
da 0 a 5 m	851	1232	2153	1232
da 5 a 15 m	671	493	1099	945
> 15 m	181	170	195	
nd				

<b>Alcalinità [meq/l]</b>				
<b>Profondità</b>	<b>stagione</b>			
	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>
da 0 a 5 m	293	280	289	284
da 5 a 15 m	292	288	313	283
> 15 m	258	274	291	
nd				



#### 4.3.5.1.2 Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Manni di Santadi

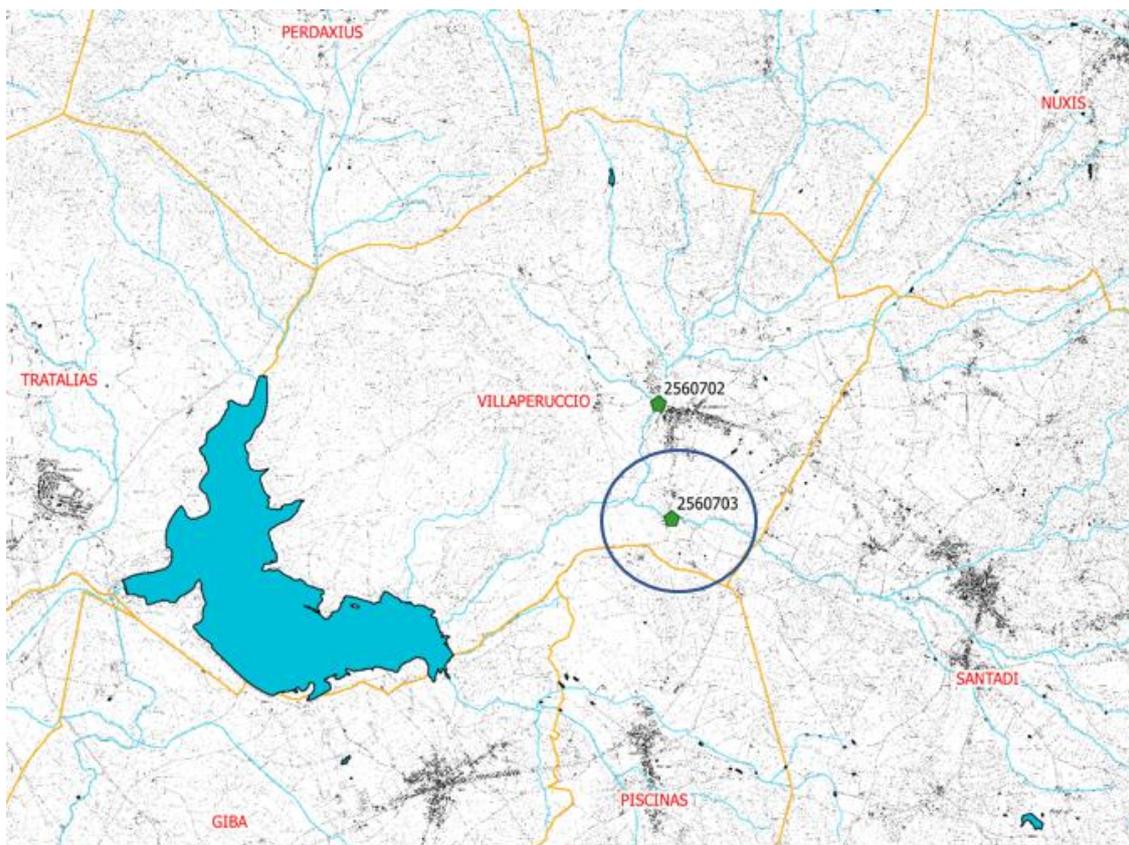


Figura 30: Monte Pranu – Ubicazione della stazione di misura della qualità del corso d'acqua Riu Mannu di Santadi

Temperatura [°C]					
mese	T media	T max	stagione	T media	T max
gen.	12.15	13.10	primavera	14.60	19.00
feb.	11.69	13.40	estate	22.31	27.40
mar.	12.99	15.80	autunno	19.33	24.80
apr.	13.70	17.00	inverno	12.47	14.40
mag.	17.10	19.00			
giu.	19.74	22.00			
lug.	24.07	27.40			
ago.	23.36	27.40			
set.	22.36	24.80			
ott.	18.78	20.20			
nov.	16.17	18.00			
dic.	13.48	14.40			

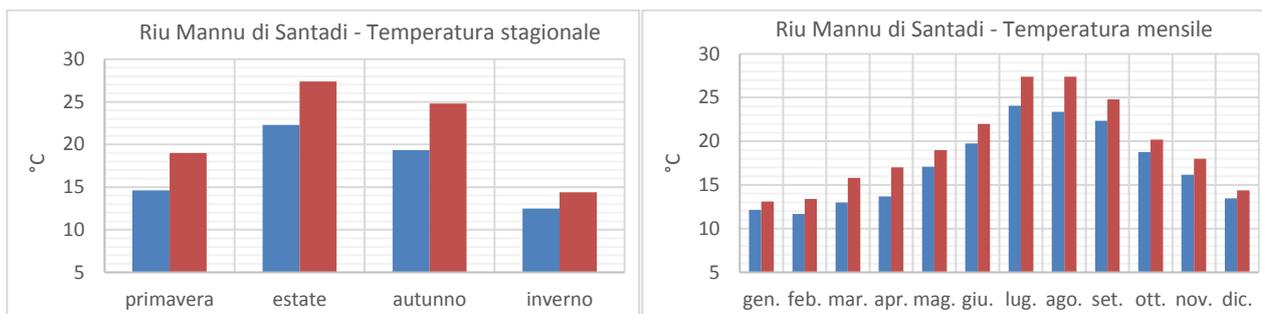


Figura 31: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Santadi – Andamento delle temperature (blu medie e rosso massimi)

pH e Conducibilità a 20°C [µS/cm]									
mese	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max	stagione	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max
gen.	7.68	8.20	839.75	1264.00	primavera	7.66	8.30	795.42	1198.00
feb.	7.56	8.00	812.00	1124.00	estate	7.66	8.10	1042.39	1530.00
mar.	7.70	8.22	854.25	1198.00	autunno	7.48	8.00	1111.17	1430.00
apr.	7.63	8.13	748.63	1106.00	inverno	7.62	8.20	817.87	1264.00
mag.	7.66	8.30	783.38	1058.00					
giu.	7.72	8.10	928.38	1193.00					
lug.	7.67	7.95	1014.00	1289.00					
ago.	7.59	7.90	1181.25	1530.00					
set.	7.54	8.00	1127.14	1350.00					
ott.	7.46	7.70	1093.80	1224.00					
nov.	7.42	7.90	1107.00	1430.00					
dic.	7.62	8.10	801.13	1054.00					

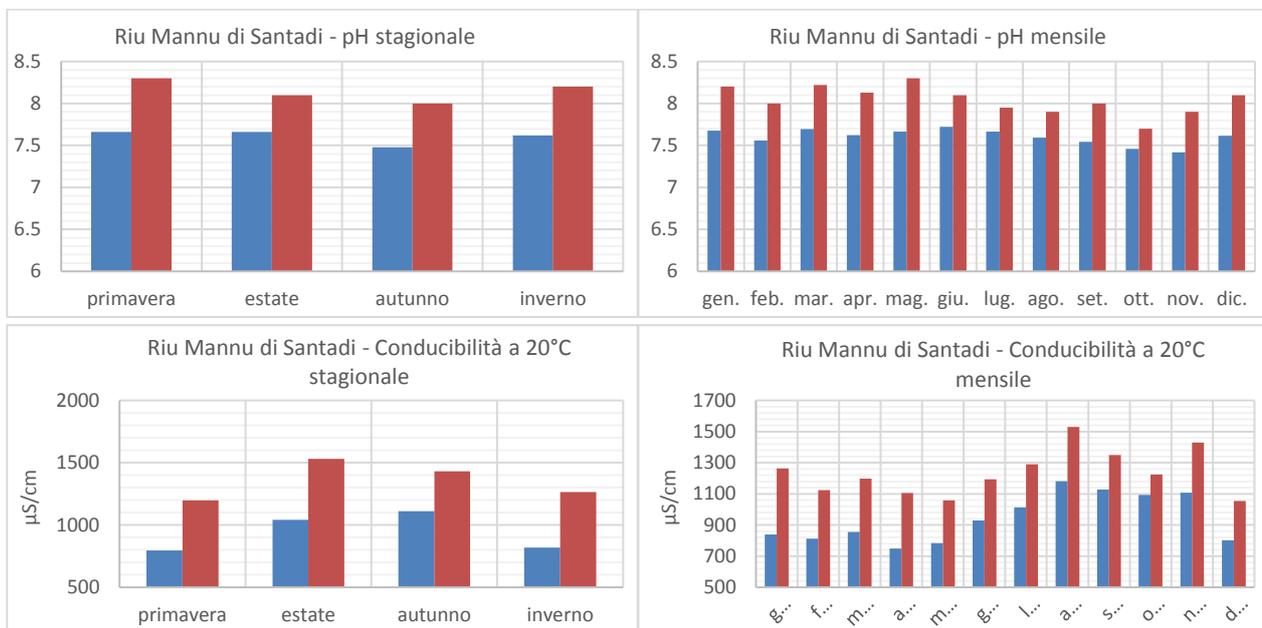


Figura 32: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Santadi – Andamento del pH e della conducibilità a 20°C (blu medie e rosso massimi)

BOD e COD [mg/l O <sub>2</sub> ]									
mese	BOD media	BOD max	COD media	COD max	stagione	BOD media	BOD max	COD media	COD max
gen.	3.25	9.00	15.63	38.00	primavera	422	15.00	11.85	36.00
feb.	4.00	6.00	18.29	40.00	estate	4.74	16.00	19.75	70.00
mar.	2.86	5.00	12.63	36.00	autunno	6.49	27.00	23.89	89.00
apr.	4.35	12.00	10.43	21.00	inverno	3.61	9.00	18.00	40.00
mag.	5.45	15.00	12.50	30.00					
giu.	3.43	12.00	12.43	41.00					
lug.	4.80	9.00	15.50	32.00					
ago.	6.01	16.00	30.71	70.00					
set.	6.06	13.00	23.57	42.00					
ott.	5.00	8.00	11.40	17.00					
nov.	8.60	27.00	34.67	89.00					
dic.	3.63	8.00	20.13	32.00					

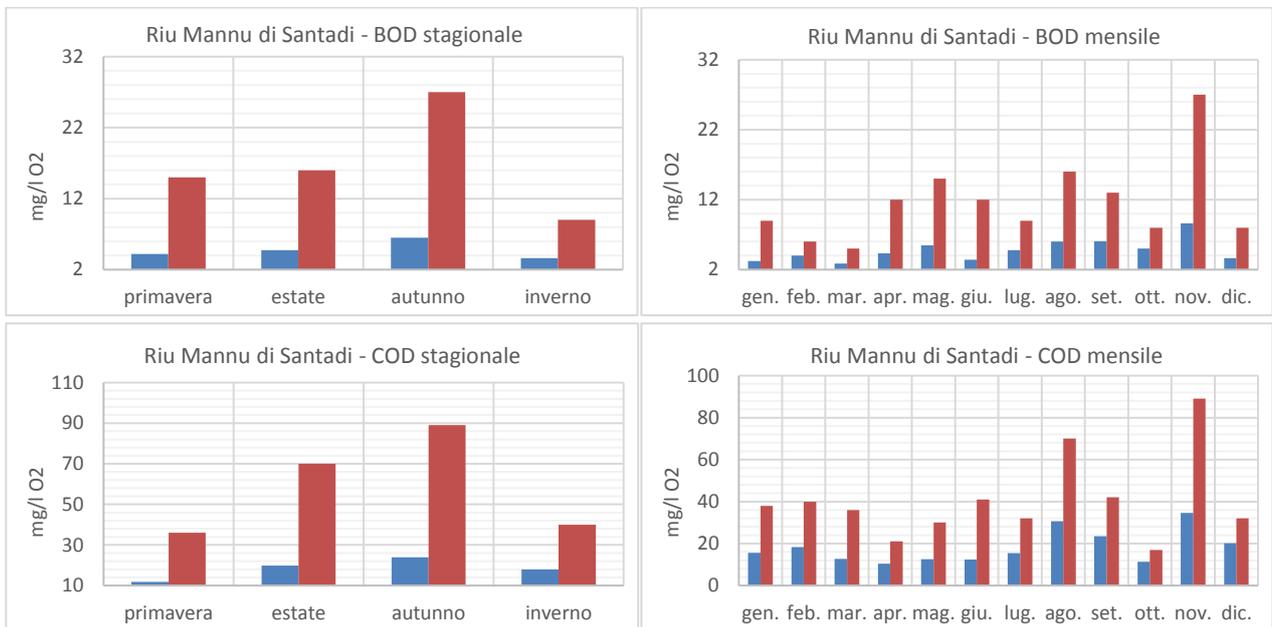


Figura 33: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Santadi – Andamento del BOD e del COD (blu medie e rosso massimi)

Cloruri [mg/l Cl]					
mese	Cl. media	Cl. max	stagione	Cl. media	Cl. max
gen.	123.25	153.00	primavera	133.21	207.00
feb.	133.29	156.00	estate	199.30	306.00
mar.	137.00	207.00	autunno	194.94	284.00
apr.	122.25	176.00	inverno	133.09	195.00
mag.	140.38	203.00			
giu.	175.13	258.00			
lug.	209.14	284.00			
ago.	214.88	306.00			
set.	216.00	284.00			
ott.	183.00	205.00			
nov.	180.33	226.00			
dic.	142.75	195.00			

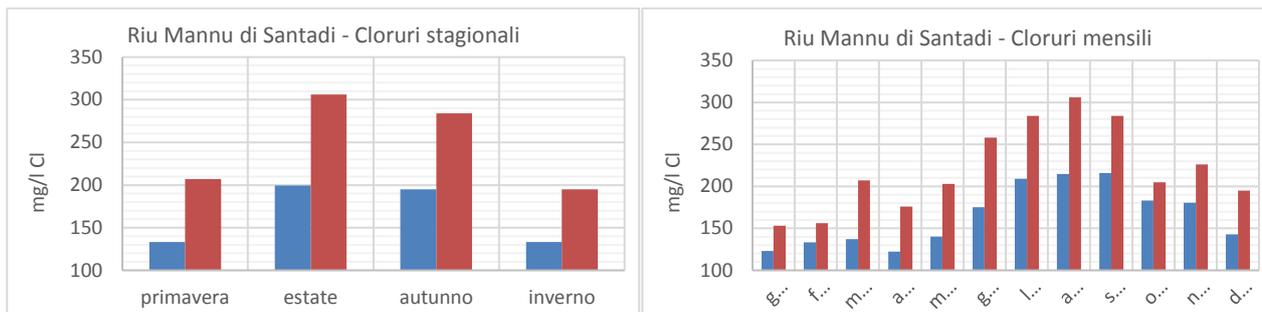


Figura 34: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Santadi – Andamento dei cloruri (blu medie e rosso massimi)

Fosforo totale e Azoto totale [mg/l]									
mese	P media	P max	N media	N max	stagione	P media	P max	N media	N max
gen.	0.92	2.40	3.47	4.40	primavera	0.66	4.90	3.12	7.66
feb.	0.55	1.30	3.24	5.00	estate	1.58	5.68	5.46	15.85
mar.	1.07	4.90	3.53	6.43	autunno	2.46	6.21	5.98	16.44
apr.	0.33	1.00	2.93	7.66	inverno	0.95	4.00	4.11	16.34
mag.	0.60	1.84	2.85	5.24					
giu.	0.89	3.84	3.44	6.60					
lug.	2.00	5.68	4.82	11.47					
ago.	1.91	4.40	7.71	15.85					
set.	2.98	6.21	5.36	9.00					
ott.	1.94	3.40	4.38	9.20					
nov.	2.28	4.20	8.03	16.44					
dic.	1.32	4.00	5.43	16.34					

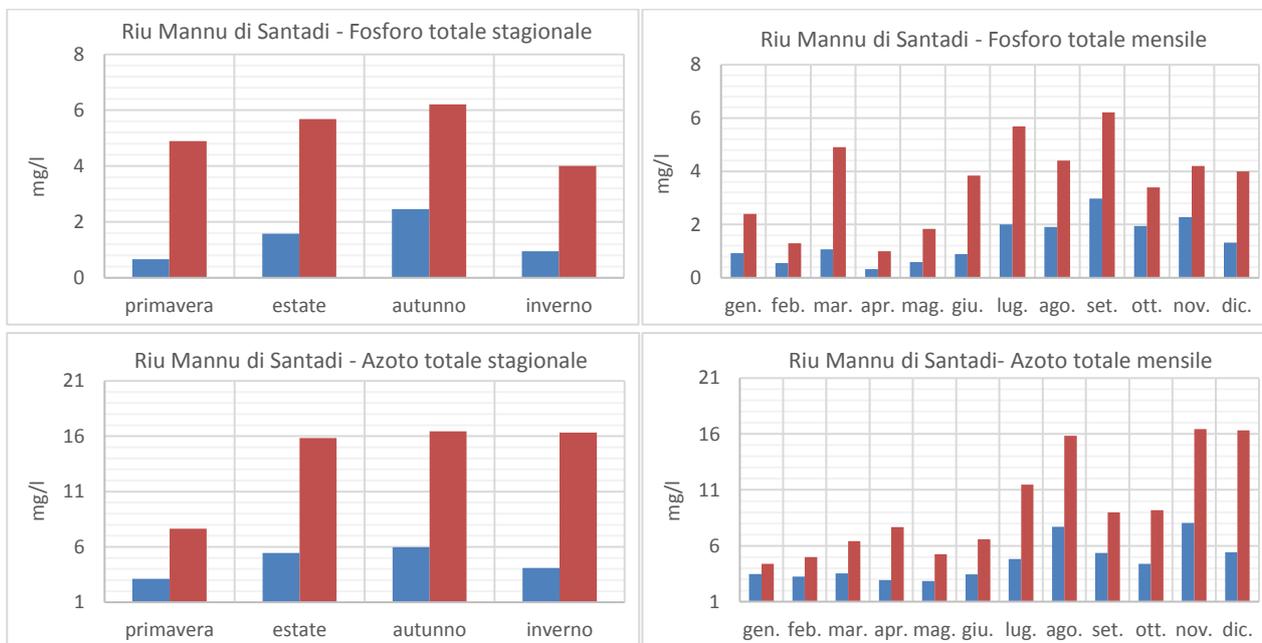


Figura 35: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Santadi – Andamento del fosforo totale e dell'azoto totale (blu medie e rosso massimi)

#### 4.3.5.1.3 Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Mannu di Villaperuccio

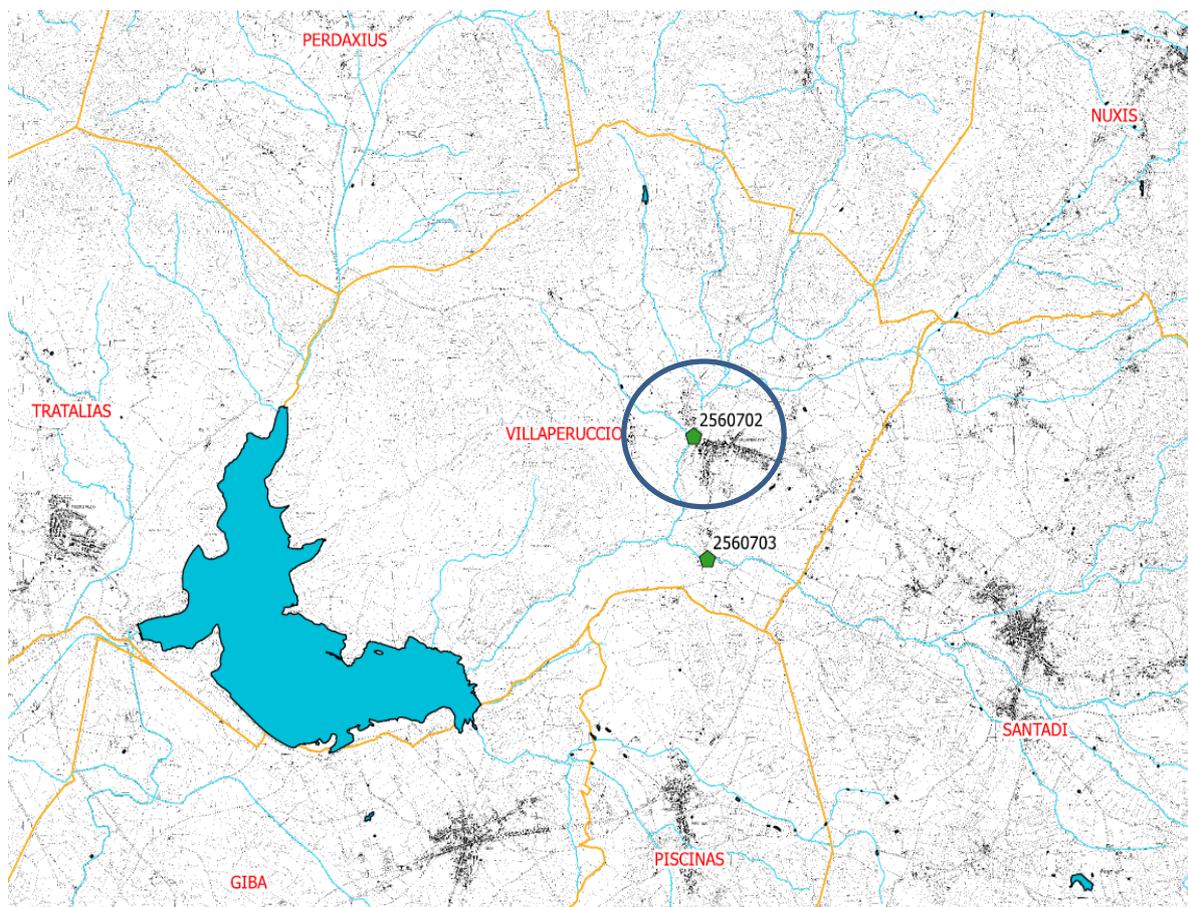


Figura 36: Monte Pranu – Ubicazione della stazione di misura della qualità del corso d'acqua Riu Mannu di Villaperuccio

Temperatura [°C]					
mese	T media	T max	stagione	T media	T max
gen.	11.90	13.10	primavera	14.38	19.50
feb.	11.10	13.80	estate	22.25	28.00
mar.	12.14	15.20	autunno	18.14	24.40
apr.	13.44	15.90	inverno	12.11	14.70
mag.	17.55	19.50			
giu.	20.37	22.00			
lug.	24.50	28.00			
ago.	22.25	24.20			
set.	22.10	24.40			
ott.	18.04	19.60			
nov.	15.96	17.40			
dic.	13.20	14.70			

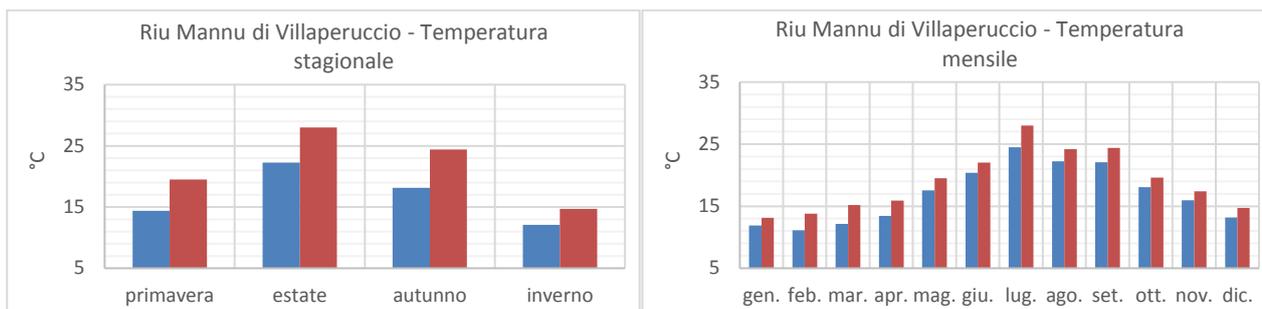


Figura 37: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Villaperuccio – Andamento delle temperature (blu medie e rosso massimi)

pH e Conducibilità a 20°C [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]									
mese	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max	stagione	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max
gen.	7.79	8.40	950.63	1353.00	primavera	7.70	8.40	930.46	1251.00
feb.	7.83	8.00	936.29	1132.00	estate	7.93	8.26	1088.50	1630.00
mar.	7.84	8.13	994.38	1251.00	autunno	7.81	8.40	1140.25	1560.00
apr.	7.40	8.30	888.75	1241.00	inverno	7.78	8.40	903.39	1353.00
mag.	7.85	8.40	908.25	1061.00					
giu.	7.93	8.26	992.71	1143.00					
lug.	7.90	8.02	1145.00	1630.00					
ago.	7.95	8.20	1154.80	1435.00					
set.	7.93	8.20	1192.50	1560.00					
ott.	7.75	8.10	1161.40	1310.00					
nov.	7.79	8.40	1095.29	1350.00					
dic.	7.74	8.03	827.38	1222.00					

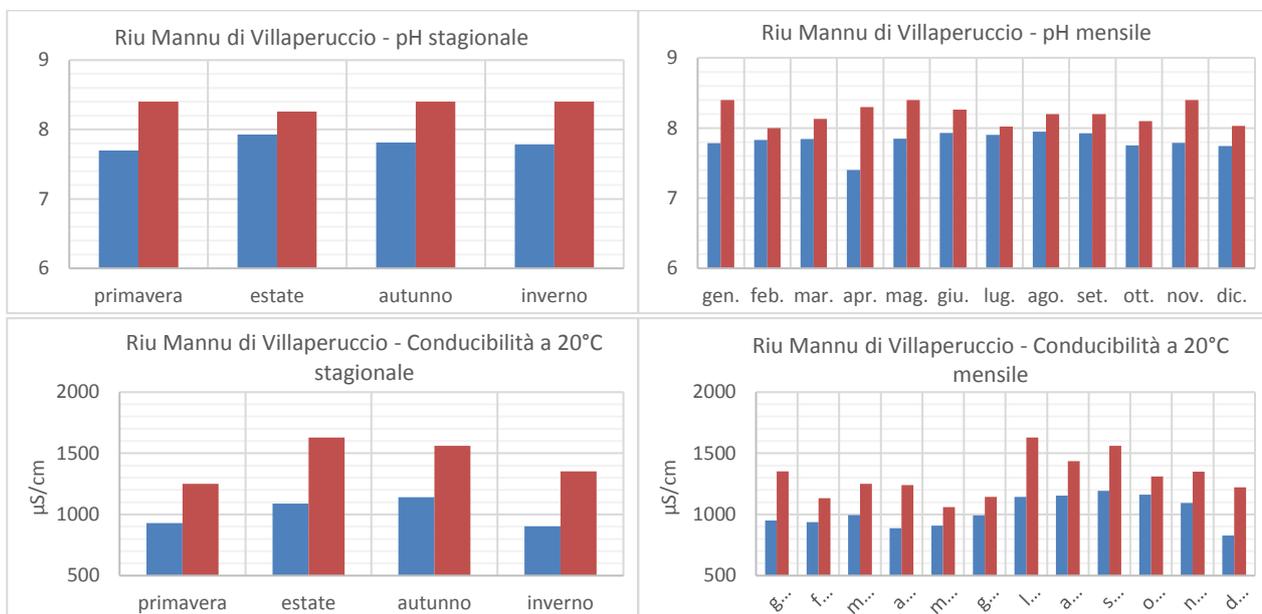


Figura 38: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Villaperuccio – Andamento del pH e della conducibilità a 20°C (blu medie e rosso massimi)

BOD e COD [mg/l O <sub>2</sub> ]									
mese	BOD media	BOD max	COD media	COD max	stagione	BOD media	BOD max	COD media	COD max
gen.	1.99	5.00	11.13	26.00	primavera	2.28	7.00	10.13	27.00
feb.	3.12	5.00	9.83	18.00	estate	3.18	10.00	9.19	19.00
mar.	1.85	3.00	9.38	18.00	autunno	2.93	8.00	9.19	24.00
apr.	2.61	7.00	10.88	27.00	inverno	3.03	7.00	13.55	32.00
mag.	2.42	5.00	10.13	14.00					
giu.	2.26	6.00	9.86	19.00					
lug.	4.50	10.00	5.80	7.00					
ago.	2.90	7.00	12.25	17.00					
set.	3.00	4.00	12.50	22.00					
ott.	3.60	8.00	5.40	10.00					
nov.	2.33	5.00	10.00	24.00					
dic.	4.00	7.00	18.75	32.00					

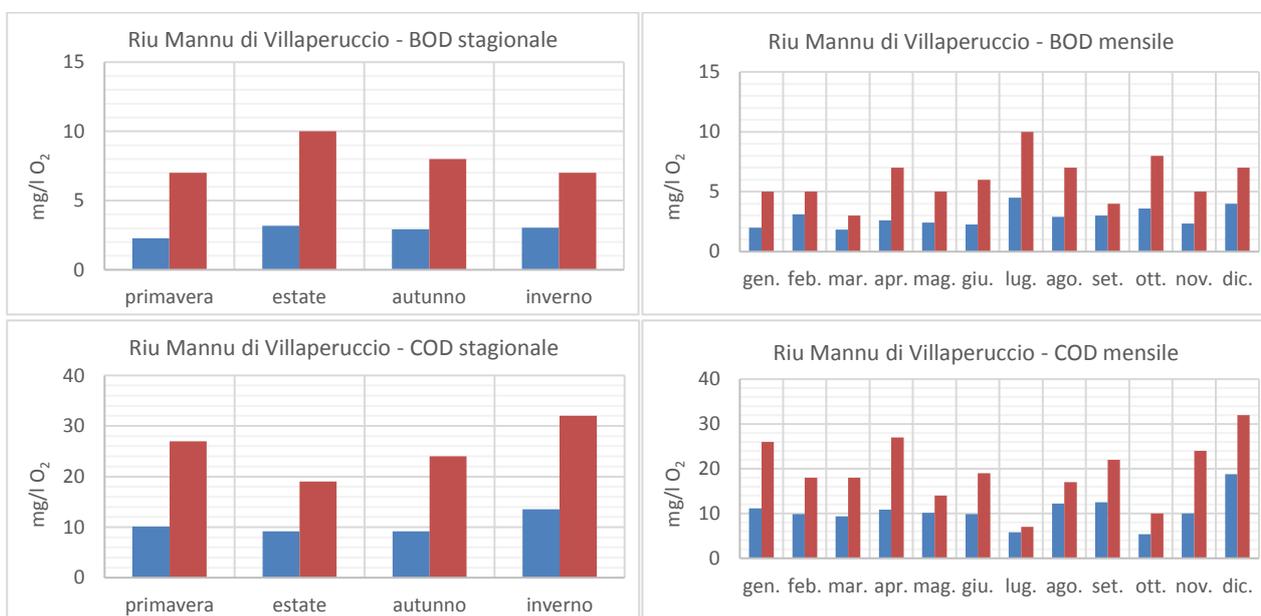


Figura 39: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Villaperuccio– Andamento del BOD e del COD (blu medie e rosso massimi)

Cloruri [mg/l Cl <sup>-</sup> ]					
mese	Cl. media	Cl. max	stagione	Cl. media	Cl. max
gen.	142.00	166.00	primavera	147.79	196.00
feb.	150.29	205.00	estate	182.64	298.00
mar.	154.00	193.00	autunno	181.44	398.00
apr.	136.75	196.00	inverno	140.74	205.00
mag.	152.63	195.00			
giu.	168.94	211.58			
lug.	197.50	298.00			
ago.	184.00	284.00			
set.	230.25	398.00			
ott.	148.00	220.00			
nov.	177.43	227.00			
dic.	131.13	184.00			

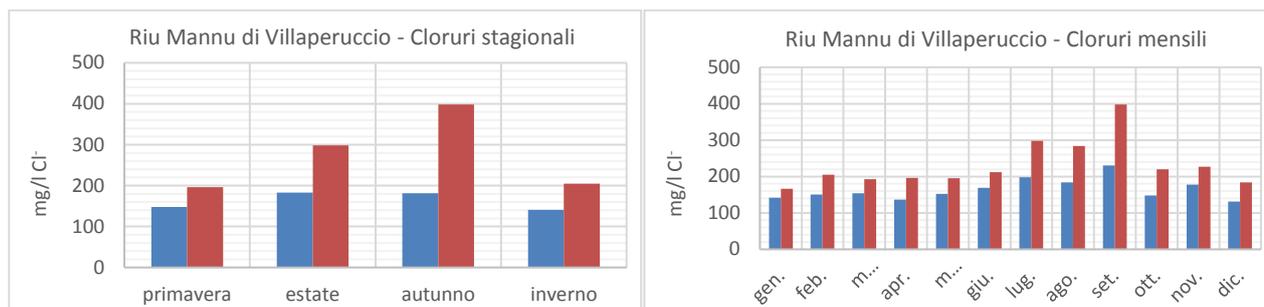


Figura 40: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Villaperuccio – Andamento dei cloruri (blu medie e rosso massimi)

Fosforo totale e Azoto totale [mg/l]									
mes	P media	P max	N media	N max	stagione	P media	P max	N media	N max
gen.	0.37	1.11	2.23	4.72	primavera	0.18	0.54	1.48	2.70
feb.	0.19	0.30	1.98	2.69	estate	0.15	0.31	1.16	2.37
mar.	0.19	0.40	1.82	2.70	autunno	0.39	1.00	1.19	3.01
apr.	0.23	0.54	1.40	2.50	inverno	0.23	1.11	2.19	6.30
mag.	0.13	0.29	1.22	1.80					
giu.	0.11	0.18	1.24	2.25					
lug.	0.16	0.31	0.93	1.29					
ago.	0.18	0.28	1.34	2.37					
set.	0.15	0.30	1.24	1.90					
ott.	0.50	1.00	1.06	2.36					
nov.	0.44	1.00	1.24	3.01					
dic.	0.14	0.27	2.33	6.30					

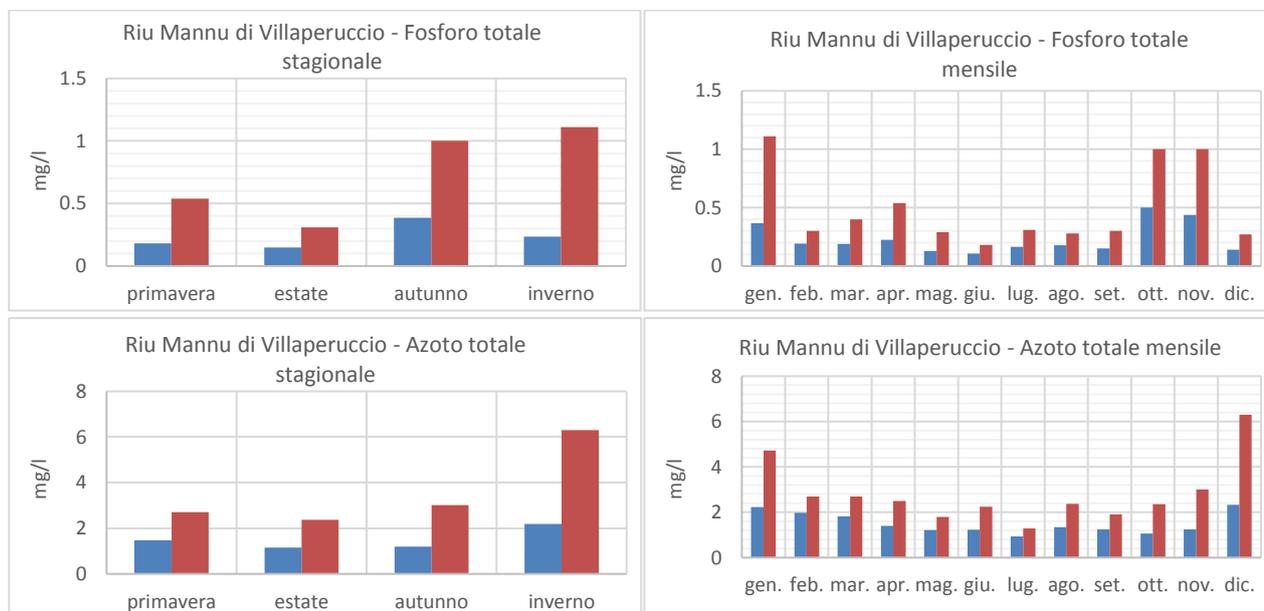


Figura 41: Monte Pranu, stazione di Riu Mannu di Villaperuccio – Andamento del fosforo totale e dell'azoto totale (blu medie e rosso massimi)

#### 4.3.5.1.4 Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Palmas di San Giovanni Suergiu

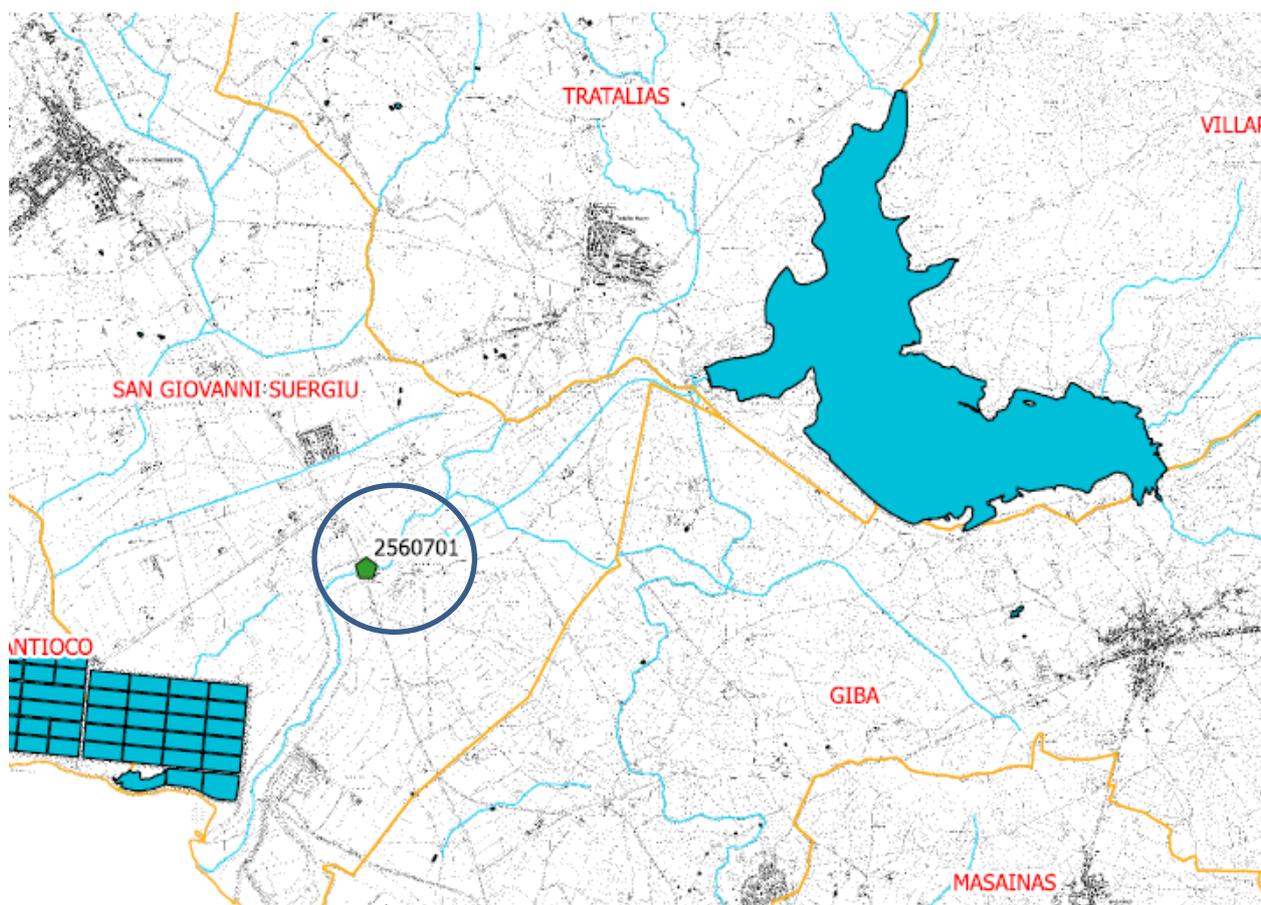


Figura 42: Monte Pranu – Ubicazione della stazione di misura della qualità del corso d'acqua Riu Palmas a San Giovanni Suergiu

Temperatura [°C]					
mese	T media	T max	stagione	T media	T max
gen.	11.73	14.00	primavera	16.15	20.30
feb.	11.20	15.00	estate	23.75	27.30
mar.	13.33	18.00	autunno	19.65	24.90
apr.	16.40	19.00	inverno	12.29	16.30
mag.	18.71	20.30			
giu.	21.43	24.70			
lug.	24.33	26.00			
ago.	25.26	27.30			
set.	22.65	24.90			
ott.	19.31	23.00			
nov.	17.73	19.00			
dic.	13.77	16.30			

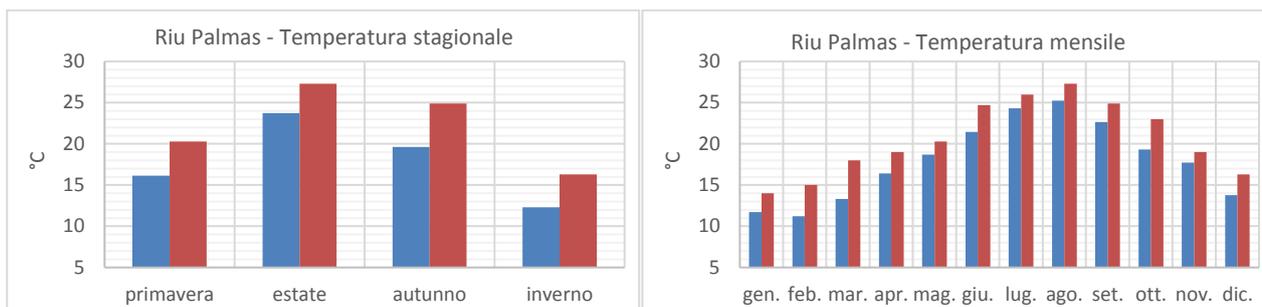


Figura 43: Monte Pranu, stazione di Riu Palmas a San Giovanni Suergiu – Andamento delle temperature (blu medie e rosso massimi)

pH e Conducibilità a 20°C [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]									
mese	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max	stagione	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max
gen.	7.71	8.20	1776.00	2460.00	primavera	7.64	8.60	1438.54	2580.00
feb.	7.54	7.80	1463.67	1960.00	estate	7.74	8.70	1324.95	1853.00
mar.	7.67	7.80	1718.38	2580.00	autunno	7.62	8.30	1430.55	2315.00
apr.	7.55	8.10	1376.50	2110.00	inverno	7.60	8.20	1534.70	2460.00
mag.	7.71	8.60	1220.75	1530.00					
giu.	7.76	8.70	1292.00	1520.00					
lug.	7.66	7.90	1327.29	1490.00					
ago.	7.79	8.32	1351.75	1853.00					
set.	7.70	8.30	1416.17	1906.00					
ott.	7.53	7.80	1540.00	2315.00					
nov.	7.64	8.10	1331.88	1913.00					
dic.	7.54	7.90	1354.29	1750.00					

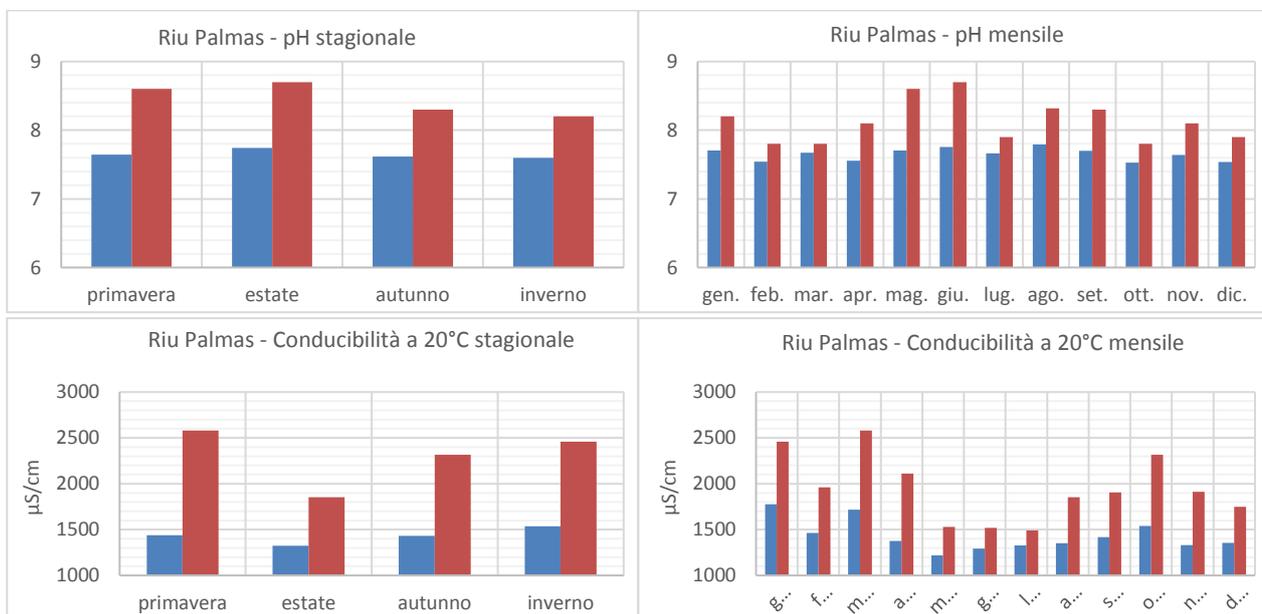


Figura 44: Monte Pranu, stazione di Riu Palmas a San Giovanni Suergiu – Andamento del pH e della conducibilità a 20°C (blu medie e rosso massimi)

BOD e COD [mg/l O <sub>2</sub> ]									
mese	BOD media	BOD max	COD media	COD max	stagione	BOD media	BOD max	COD media	COD max
gen.	3.13	7.00	21.29	38.00	primavera	3.09	7.00	18.54	38.00
feb.	5.24	13.00	28.00	54.00	estate	5.83	13.00	22.56	40.00
mar.	3.20	7.00	21.71	38.00	autunno	4.97	12.00	17.95	50.00
apr.	2.96	5.00	16.06	29.00	inverno	4.71	13.00	25.30	54.00
mag.	3.09	6.00	18.25	28.00					
giu.	6.22	13.00	20.67	40.00					
lug.	5.60	9.00	23.20	40.00					
ago.	5.74	9.00	23.71	38.00					
set.	3.67	5.00	15.50	24.00					
ott.	4.80	12.00	15.63	39.00					
nov.	6.29	12.00	22.13	50.00					
dic.	5.84	12.00	27.00	43.00					

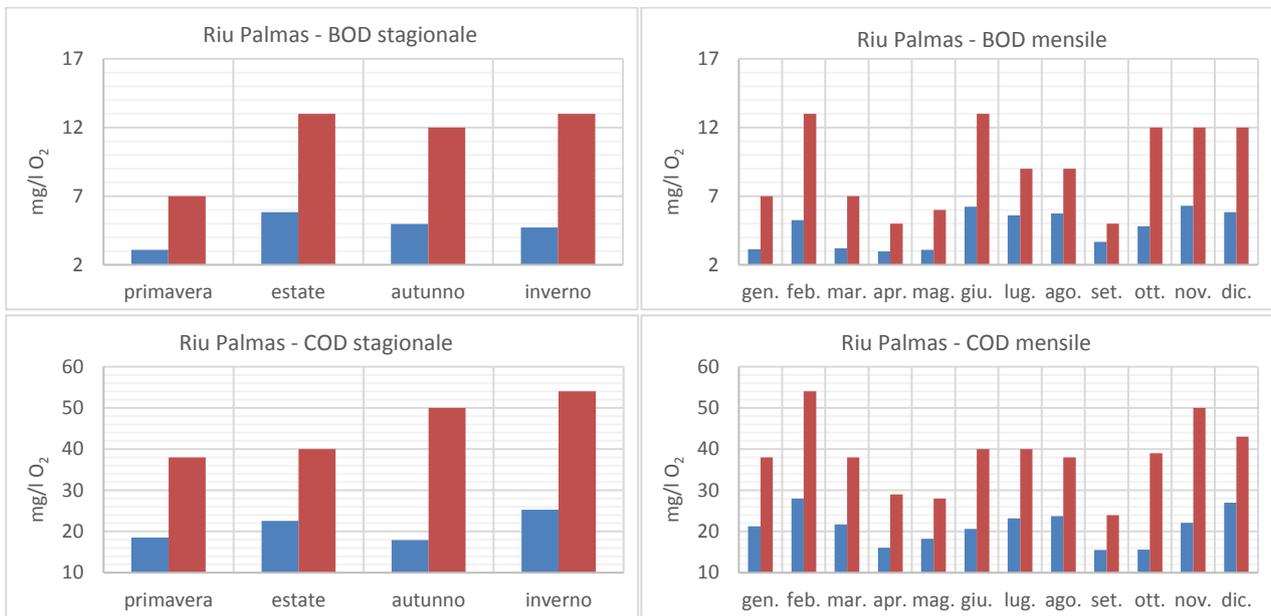


Figura 45: Monte Pranu, stazione di Riu Palmas a San Giovanni Suergiu – Andamento del BOD e del COD (blu medie e rosso massimi)

Cloruri [mg/l Cl <sup>-</sup> ]					
mese	Cl. media	Cl. max	stagione	Cl. media	Cl. max
gen.	357.29	473.00	primavera	304.42	514.00
feb.	322.50	563.00	estate	294.95	382.00
mar.	342.50	512.00	autunno	291.23	371.00
apr.	305.63	514.00	inverno	327.55	563.00
mag.	265.13	384.00			
giu.	304.43	382.00			
lug.	288.57	347.00			
ago.	292.25	342.00			
set.	302.17	361.00			
ott.	301.50	337.00			
nov.	272.75	371.00			
dic.	302.14	448.00			

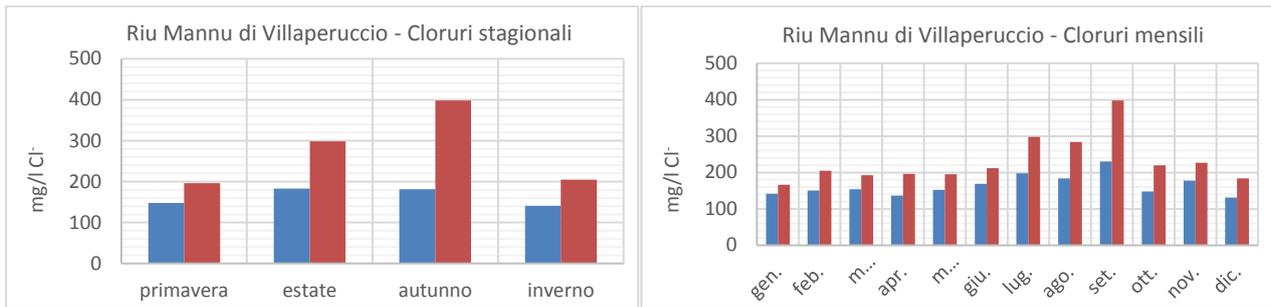


Figura 46: Monte Pranu, stazione di Riu Palmas a San Giovanni Suergiu – Andamento dei cloruri (blu medie e rosso massimi)

Fosforo totale e Azoto totale [mg/l]									
mes	P media	P max	N media	N max	stagione	P media	P max	N media	N max
gen.	0.47	0.70	3.32	4.69	primavera	0.71	3.52	2.26	5.24
feb.	0.44	0.76	2.74	4.91	estate	0.77	1.76	1.63	5.56
mar.	0.98	3.52	2.55	3.76	autunno	0.92	3.70	1.87	3.44
apr.	0.63	1.80	2.08	2.73	inverno	0.52	0.84	2.90	5.25
mag.	0.53	1.30	2.16	5.24					
giu.	0.76	1.76	1.51	1.76					
lug.	0.82	1.36	1.97	5.56					
ago.	0.72	1.11	1.43	2.91					
set.	0.92	2.98	1.58	2.18					
ott.	0.68	1.54	1.75	3.44					
nov.	1.14	3.70	2.17	2.92					
dic.	0.63	0.84	2.67	5.25					

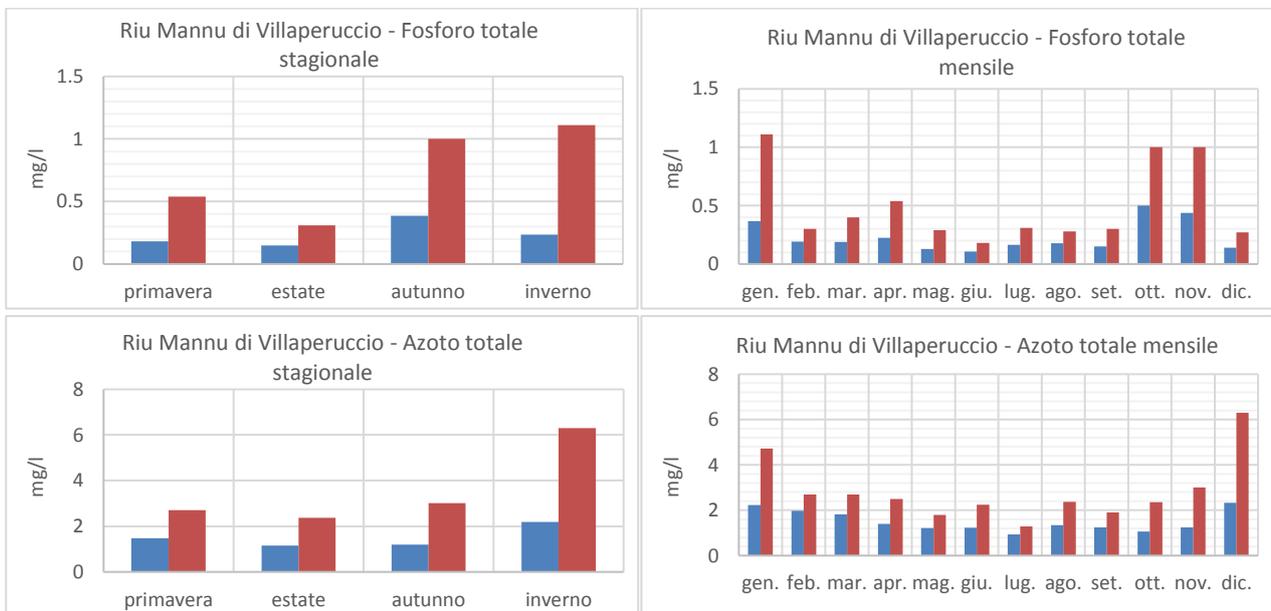


Figura 47: Monte Pranu, stazione di Riu Palmas a San Giovanni Suergiu – Andamento del fosforo totale e dell'azoto totale (blu medie e rosso massimi)

#### 4.3.5.2 MONTE PRANU – ELABORAZIONI DEL PTA

Considerando le tavole del PTA relativi al bacino del Monte Pranu si osserva un carico di fosforo e azoto di tipo basso per quanto riguarda la componente zootecnica, mentre è di tipo medio per quanto riguarda la componente agricola. La superficie SAU all'interno del bacino idrografico è pari a 140.1 km<sup>2</sup> così ripartiti:

- 0.85 km<sup>2</sup> arboricoltura con essenze forestali di conifere;
- 13.13 km<sup>2</sup> aree a pascolo naturale;
- 3.28 km<sup>2</sup> aree agroforestali;
- 6.69 km<sup>2</sup> aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 0.22 km<sup>2</sup> colture in serra;
- 1.37 km<sup>2</sup> colture temporanee associate ad altre colture permanenti;
- 2.13 km<sup>2</sup> colture temporanee associate all'olivo;
- 0.58 km<sup>2</sup> frutteti e frutti minori;
- 3.57 km<sup>2</sup> oliveti;
- 15.13 km<sup>2</sup> prati artificiali;
- 83.09 km<sup>2</sup> seminativi in aree non irrigue;
- 0.07 km<sup>2</sup> seminativi semplice e colture orticole a pieno campo;
- 4.07 km<sup>2</sup> sistemi colturali e particellari complessi;
- 0.52 km<sup>2</sup> sugherete;
- 5.42 km<sup>2</sup> vigneti.

Il fosforo annuo totale è pari 320.9 t mentre l'azoto totale è pari a 989.0 t.

L'invaso del Monte Pranu è classificato dal PTA come IPERTROFICO (si veda per completezza la Tabella 4), con un livello di criticità di fosforo, clorofilla e trasparenza etichettato con A.

Tabella 31: Criticità, carico effettivo di P afferente, concentrazione di P "naturale" stimata con l'indice MEI e stato trofico del Monte Pranu (estratti dal PTA)

N° U.I.O.	Nome U.I.O.	Id_Bacino	Descrizione	Id_Corpo Idrico	Nome Corpo Idrico	Id_Stazione	SE	LIVELLI DI CRITICITA'				Carico effettivo di P (%)			
								Trasparenza	Ossigeno	Clorofilla	Fosforo	P civile	P industriale	P agricolo	P zootecnico
2	Palmas	0256	Riu Palmas	LA4034	Mannu a Bau Pressiu	02560705	4	C	D	B	A	0,0%	0,0%	66,5%	33,5%
				LA4035	Rio Palmas a Monti Pranu	02560704	5	A	D	A	A	0,8%	0,2%	65,3%	33,8%
Codice lago	Nome lago					Conc P (µg/l) Alcal.	Stato trofico Alcal.		Stato trofico attuale						
LA4035	Rio Palmas a Monti Pranu					100,72	IPERTROFIA		IPERTROFIA						

Tabella 32: Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Monte Pranu secondo gli elaborati del PTA

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Monte Pranu secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
TAV 12c_carichi diffusi P zootecnico	Fosforo zootecnico	414.29 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 0.18 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 1.60 t/anno	
		21.23 km <sup>2</sup> con valori da 0.19 a 0.35 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 5.73 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 43.02 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N zootecnico	Azoto zootecnico	384.44 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 1.01 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 194.14 t/anno	
		44.21 km <sup>2</sup> con valori da 1.02 a 1.89 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 64.32 t/anno	
		6.87 km <sup>2</sup> con valori da 1.9 a 3.27 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 17.77 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 276.24 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi P agricolo	Fosforo agricolo	28.61 km <sup>2</sup> con valori da 0 a 16 kg/ha/anno; Valore medio: 22.89 t/anno	
		19.59 km <sup>2</sup> con valori da 16 a 20 kg/ha/anno; Valore medio: 35.26 t/anno	
		65.94 km <sup>2</sup> con valori da 20 a 25 kg/ha/anno; Valore medio: 148.37 t/anno	
		25.96 km <sup>2</sup> con valori da 25 a 30 kg/ha/anno; Valore medio: 71.39 t/anno	
		<b>SAU totale: 140.10 km<sup>2</sup></b> <b>Valore medio totale: 277.91 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N agricolo	Azoto agricolo	10.88 km <sup>2</sup> con valori da 20 a 40 kg/ha/anno; Valore medio: 32.64 t/anno	
		112.19 km <sup>2</sup> con valori da 40 a 60 kg/ha/anno; Valore medio: 560.95 t/anno	
		17.03 km <sup>2</sup> con valori da 60 a 80 kg/ha/anno; Valore medio: 119.21 t/anno	
		<b>SAU totale: 140.10 km<sup>2</sup></b> <b>Valore medio totale: 712.8 t/anno</b>	
TAV 14_Classificazione corpi idrici	Classificazione ecologica	<p>L'invaso Monte Pranu è classificato come IPERTROFICO</p> <p>Il corso d'acqua principale Riu Mannu di Santadi ha uno stato ecologico di CLASSE 4 – SCADENTE</p> <p>Il corso d'acqua principale Riu Mannu di Villaperuccio ha uno stato ecologico di CLASSE 3 - SUFFICIENTE</p>	

#### 4.4 INVASO CIXERRI

La diga Cixerri è uno sbarramento sull'omonimo corso d'acqua in località Genna Is Abis, tra i comuni di Uta e Villaspeciosa. Il lago artificiale è formato dalla diga principale muraria a gravità e da due argini in materiali sciolti. I lavori di costruzione iniziarono nel 1980 e terminarono nel 1992, mentre il collaudo è datato 2002. Nelle condizioni di massimo invaso la quota della superficie libera è pari 40.5 m s.l.m. ed il relativo volume invasato è pari a 32 milioni di m<sup>3</sup>.

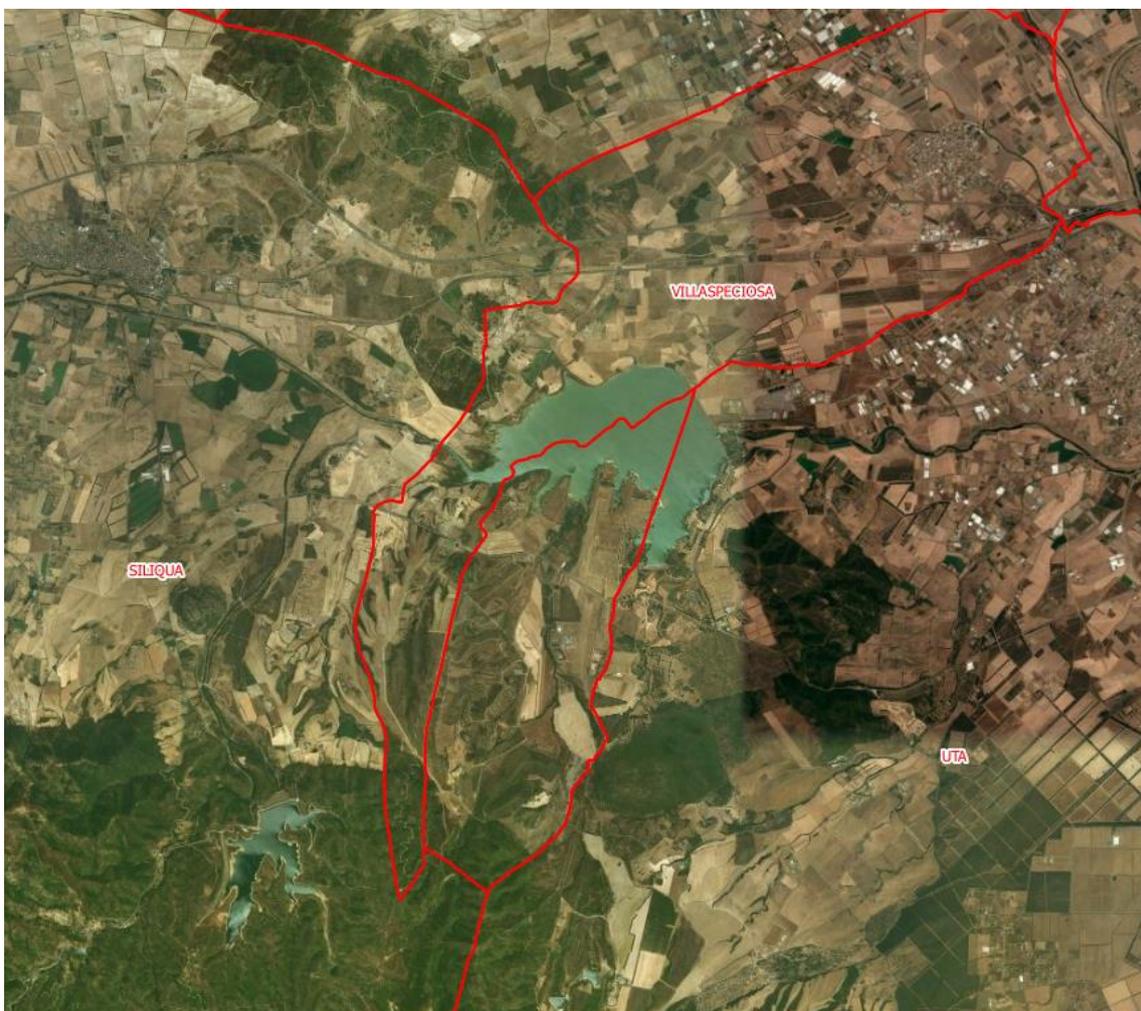


Figura 48: Ortofoto e fotografia della diga Monte Pranu (fonte Wikipedia)

#### 4.4.1 Caratteristiche dell'invaso

Le caratteristiche principali dell'invaso e del corpo diga sono ricavate dal sito dell'ENAS e riportate nella seguente tabella. Sempre dall'ENAS è stata fornita la curva dei volumi e delle superfici.

Tabella 33: Cixerri dati della diga e del serbatoio (fonte ENAS)

Dati caratteristici delle opere di ritenuta	
Altezza della diga (altezza tra quota coronamento e punto più basso del piano di fondazione)	26.00 m
Quota coronamento	42.00 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	1299.00 m
Volume del corpo diga	304'000 m <sup>3</sup>
Classifica	Diga muraria a gravità ordinaria (A.a.1)
Dati principali dell'invaso	
Quota di massimo invaso	40.50 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido alla quota di massimo invaso	5.000 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso	32.00 Mm <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	24.00 Mm <sup>3</sup>
Volume di laminazione	6.60 Mm <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero (direttamente sotteso)	425.00 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	3365 m <sup>3</sup> s

#### 4.4.2 Idrografia

Il corso d'acqua principale che alimenta il lago artificiale in direzione ovest-est è il Riu Cixerri, con una lunghezza idrologica di circa 32 km. Gli altri corsi d'acqua che alimentano direttamente il serbatoio, di entità decisamente minore, sono: Riu Salamida, Riu Bega Deretta e la Gora sa Terredda.

Tabella 34: Cixerri - Dati geomorfologici del bacino idrografico

<b>Area</b>	km <sup>2</sup>	499.347
<b>Perimetro</b>	km	134.173
<b>Quota max</b>	m s.l.m.	1020.04
<b>Quota media</b>	m s.l.m.	251.83
<b>Quota sezione chiusura</b>	m s.l.m.	24.89
<b>Pendenza media versanti</b>	%	24.68
<b>Lunghezza idrologica asta principale</b>	km	31.95
<b>Pendenza media asta principale</b>	%	0.46
<b>Pendenza media reticolo</b>	%	6.83
<b>Densità di drenaggio</b>	km/km <sup>2</sup>	3.04

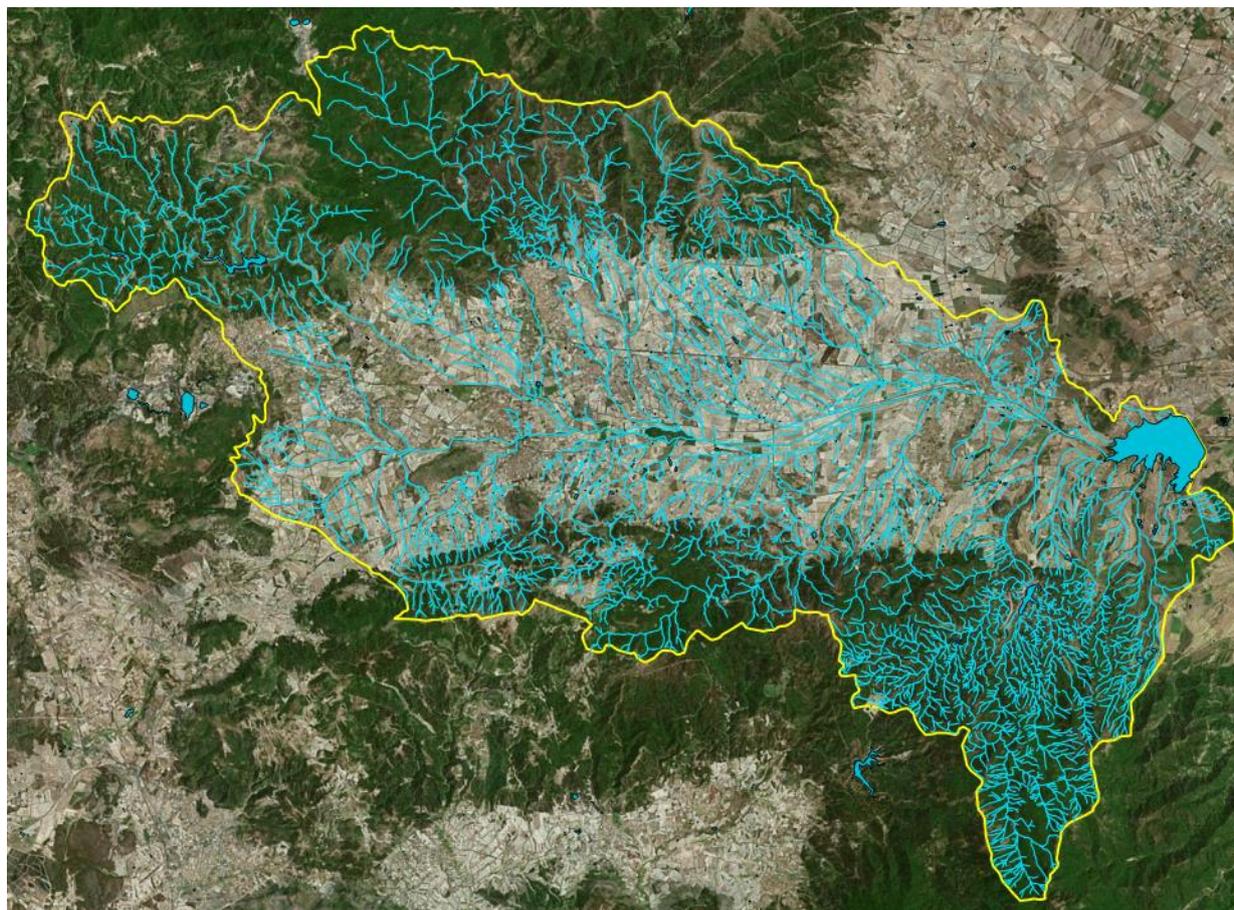
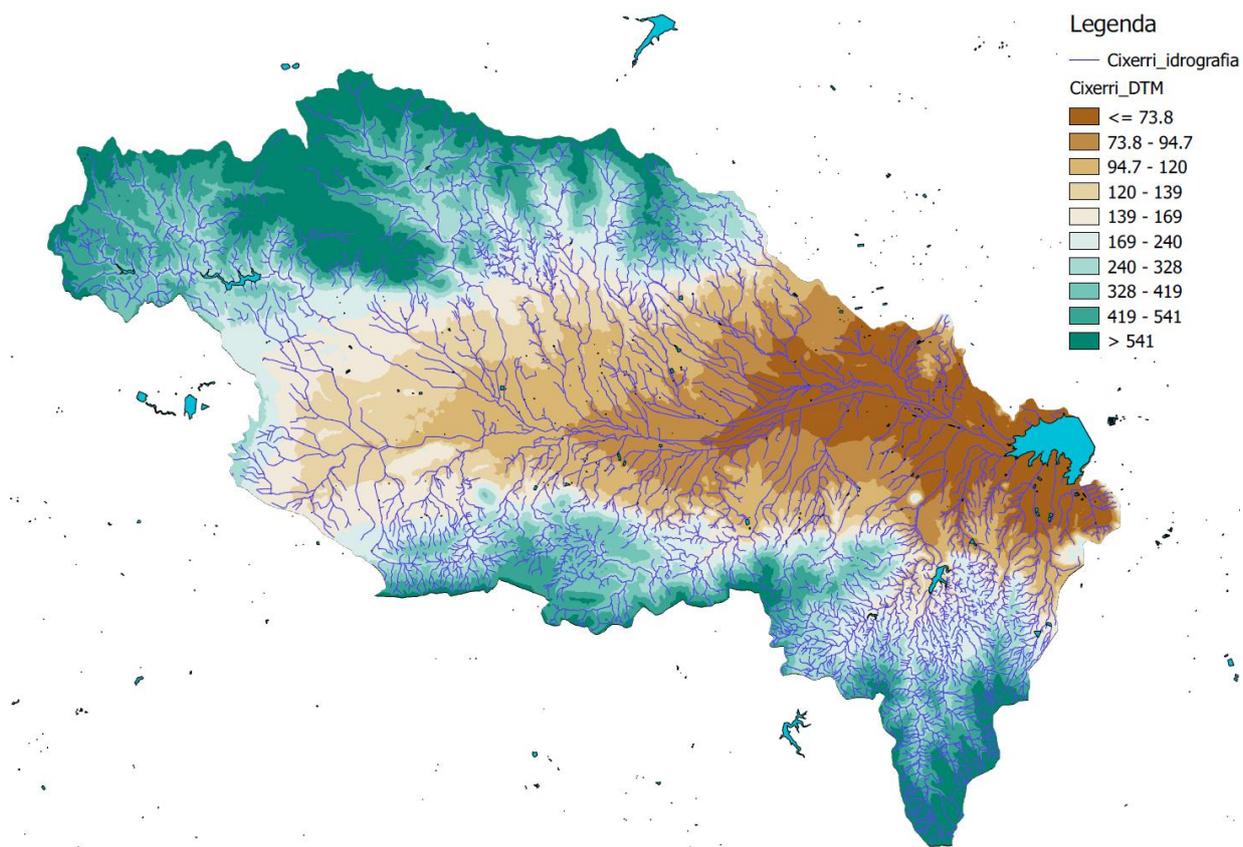


Figura 49: Reticolo idrografico ufficiale afferente al serbatoio Cixerri, relativo bacino idrografico e DTM

#### 4.4.3 Regime termo-pluviometrico del bacino

##### 4.4.3.1 Elaborazione delle precipitazioni e delle temperature

L'elaborazione delle precipitazioni relative al bacino del Cixerri è stata effettuata mediante una statistica dei valori di pioggia cumulata mensile ottenuta dai dati di pioggia relativamente agli anni 2002-2012.

Le stazioni di misura individuate che interessano il bacino idrografico sono riportate in Tabella 35 e rappresentate spazialmente in Figura 70.

Per quanto riguarda la quantificazione dell'incidenza delle misurazioni di pioggia rispetto all'intero bacino si è applicato il metodo dei topoi, invece l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino è ottenuto ponendolo pari a quello relativo alla stazione posizionata ad una quota più vicino possibile a quella media del bacino; nel caso specifico la stazione individuata è quella di Terrasu. Gli andamenti mensili dei parametri di precipitazione, cumulata e temperatura per ogni stazione tempo-pluviometrica analizzata sono riportati in Allegato 1.

Tabella 35: Cixerri – Stazioni di misura termopluviometriche analizzate

<b>Codice</b>	<b>Nome</b>	<b>LONG</b>	<b>LAT</b>	<b>Quota</b>	<b>Dati pluviometrici</b>	<b>Percentuale di incidenza sul bacino</b>	<b>Dati termometrici</b>
470	Bacu Abis	1454000	4343800	60	SI	0.51	SI
55	Campanasissa	1480620	4339860	220	SI	15.03	NO
260	Decimomannu Vivaio	1497500	4349950	15	SI	0.73	SI
70	Montimannu	1471070	4360720	350	SI	13.58	NO
490	Nebida	1451500	4352300	180	SI	5.46	SI
430	Nuxis	1477500	4334000	152	SI	0.01	SI
370	Pantaleo	1482550	4326820	240	SI	0.12	SI
400	Rosas	1475480	4339810	326	SI	5.03	SI
50	Siliqua	1483390	4350230	53	SI	20.03	SI
500	Su Zurfuru	1456970	4363490	105	SI	4.99	SI
410	Terraseu	1467690	4339510	325	SI	1.40	SI
60	Vallermosa	1482420	4357110	70	SI	3.17	SI
40	Villamassargia	1468980	4347460	154	SI	29.95	SI

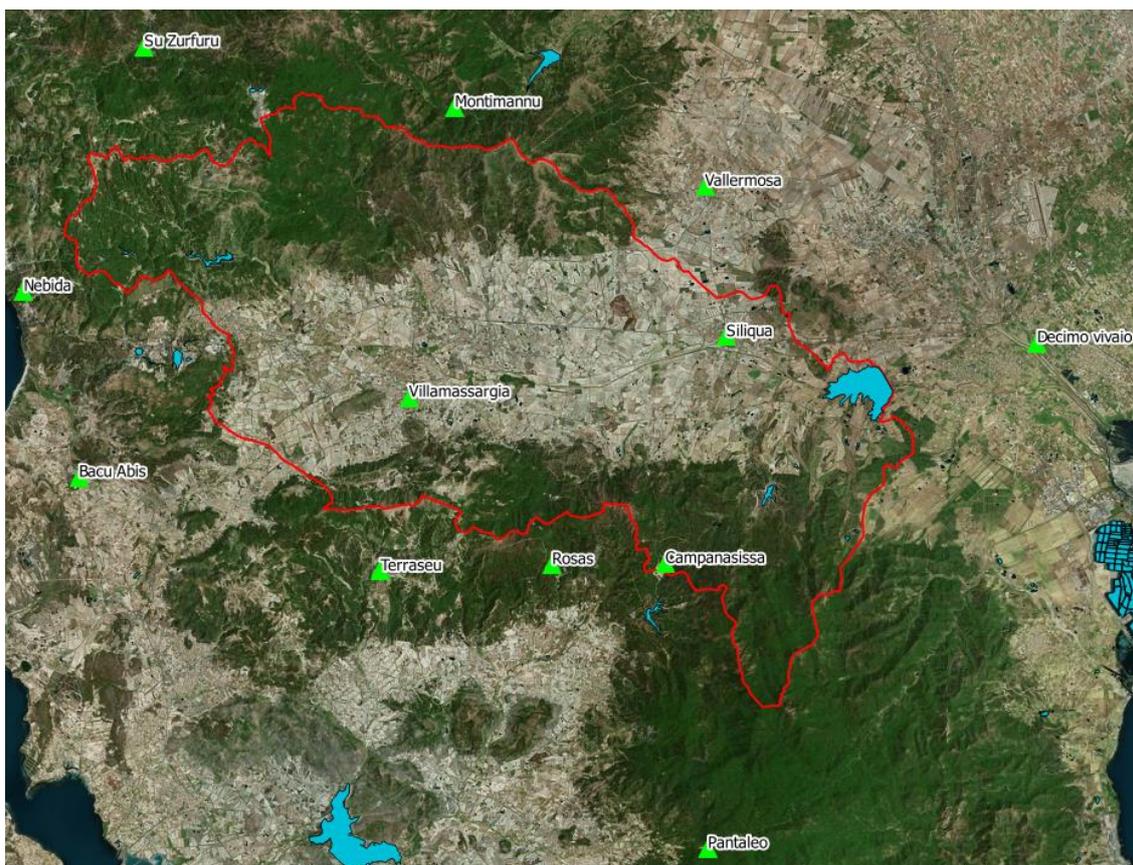
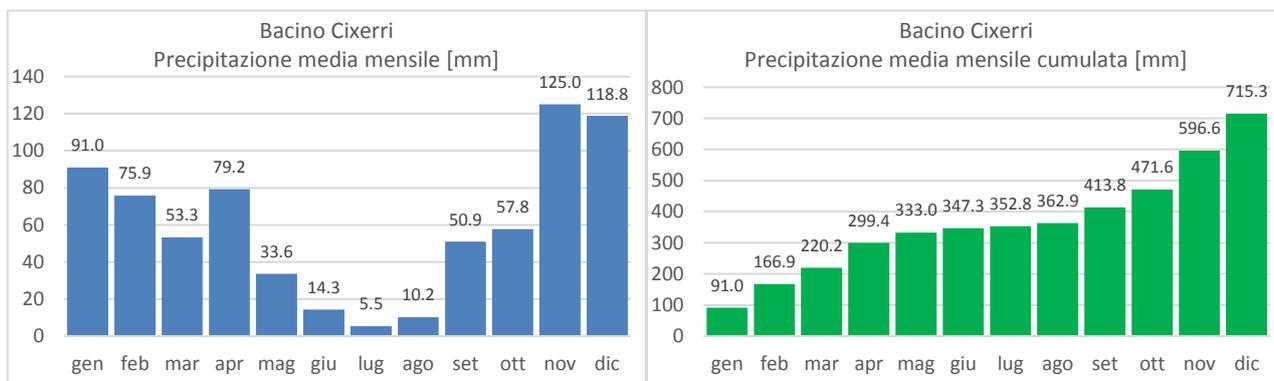


Figura 50: Posizione planimetrica delle stazioni utilizzate per il bacino del Cixerri

#### 4.4.3.2 Caratteristiche termo-pluviometriche del bacino

Dall'analisi statistica effettuata risulta quanto riportato in Figura 51. La precipitazione media annuale si attesta intorno ai 60 mm, con il massimo picco in novembre (circa 124 mm) e minimo valore a luglio (poco più di 5 mm). La precipitazione annua cumulata è pari a circa 715 mm che corrispondono ad un volume medio annuo precipitato pari a circa 357 Mm<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda l'andamento della temperatura media mensile a scala di bacino si osserva un picco di 26°C a luglio ed un valore minimo pari a 9°C a gennaio. Il valore medio annuale si attesta intorno ai 16.9°C.



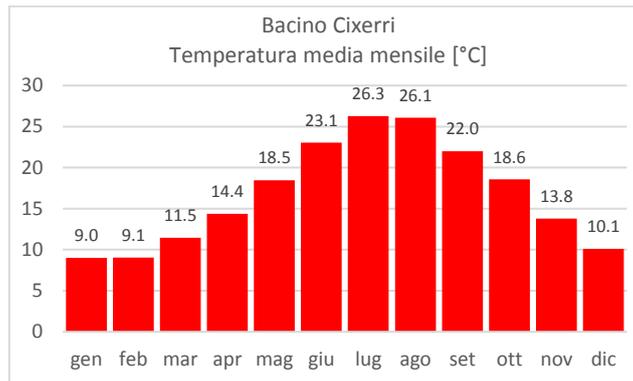


Figura 51: Caratteristiche termopluviometriche del Bacino Cixerri

#### 4.4.4 Bilancio idrico e stima dei degli apporti meteorici all'invaso

Il modello idrologico è stato applicato sul bacino del Cixerri secondo le precipitazioni e le temperature precedentemente determinate. Il modello è stato innanzitutto calibrato secondo i dati di precipitazioni e portata relativo all'anno medio sulle misurazioni effettuate tra gli anni 1933 e 1935. Come visibile dal confronto tra il deflusso misurato ed il deflusso calcolato riportato in Figura 54 la calibrazione ha consentito di ottenere una buona rispondenza, essendo il coefficiente della retta di regressione pari a 1.079. Successivamente i parametri del modello calibrato sono stati applicati per il modello idrologico relativo al periodo oggetto di studio.

Tabella 36: Valori dei parametri del modello idrologico del bacino del Cixerri

BAU PRESSIU - PARAMETRI MODELLO IDROLOGICO		
Volume serbatoio sub-superficiale al tempo 0 [mm]	58.36 valore dati 1933-1935	29.94 valore dati 2002-2012
BFI	60%	
K	0.45	

Tabella 37: Analisi idrologica del bacino del Cixerri sui dati 1933-1935

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – CALIBRAZIONE dati 1933-1935										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
gen	127.3	7.4	44.7	42.1	82.8	44.5	26.7	17.8	58.4	26.3	44.1	9.1	16.7	0.35
feb	76.6	8.7	34.2	46.0	57.9	18.7	11.2	7.5	58.8	26.5	33.9	7.0	12.9	0.44
mar	93.3	11.4	32.6	54.9	70.2	23.2	13.9	9.3	43.6	19.6	28.9	6.0	11.0	0.31
apr	63.4	15.7	22.6	74.0	56.4	7.1	4.2	2.8	37.9	17.0	19.9	4.1	7.5	0.31
mag	58.1	17.8	8.9	85.8	53.9	4.2	2.5	1.7	25.1	11.3	13.0	2.7	4.9	0.22
giu	10.8	21.8	3.6	113.6	11.0	0.0	0.0	0.0	16.3	7.3	7.3	1.5	2.8	0.68
lug	14.4	25.9	0.2	151.3	14.8	0.0	0.0	0.0	9.0	4.0	4.0	0.8	1.5	0.28
ago	11.2	25.5		146.9	11.5	0.0	0.0	0.0	4.9	2.2	2.2	0.5	0.8	0.20
set	27.4	22.6	4.6	120.5	27.8	0.0	0.0	0.0	2.7	1.2	1.2	0.3	0.5	0.04
ott	48.4	18.0		86.6	46.1	2.3	1.4	0.9	1.5	0.7	1.6	0.3	0.6	0.03

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – CALIBRAZIONE dati 1933-1935										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
nov	194.3	13.4	31.0	629	125.8	68.5	41.1	27.4	22	1.0	28.4	5.9	10.8	0.15
dic	169.0	10.7	44.0	524	108.4	60.6	36.4	24.3	42.3	19.0	43.3	9.0	16.4	0.26

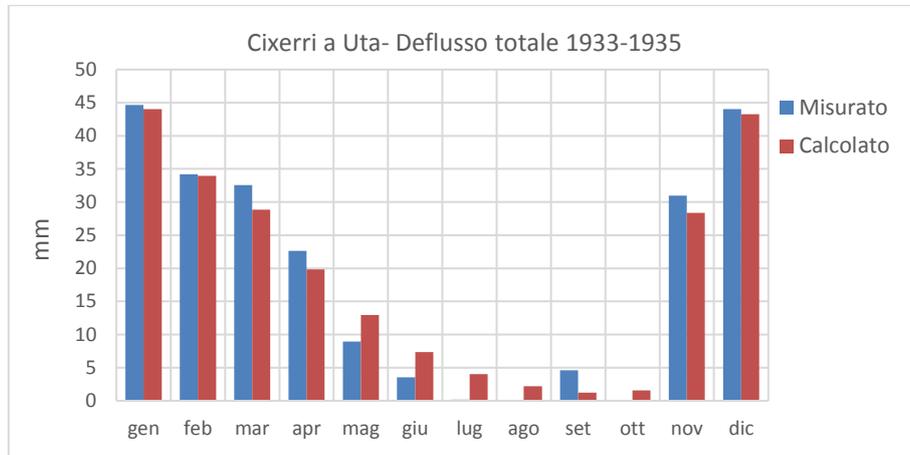


Figura 52: Invaso del Cixerri – Confronto tra deflussi calcolati e misurati

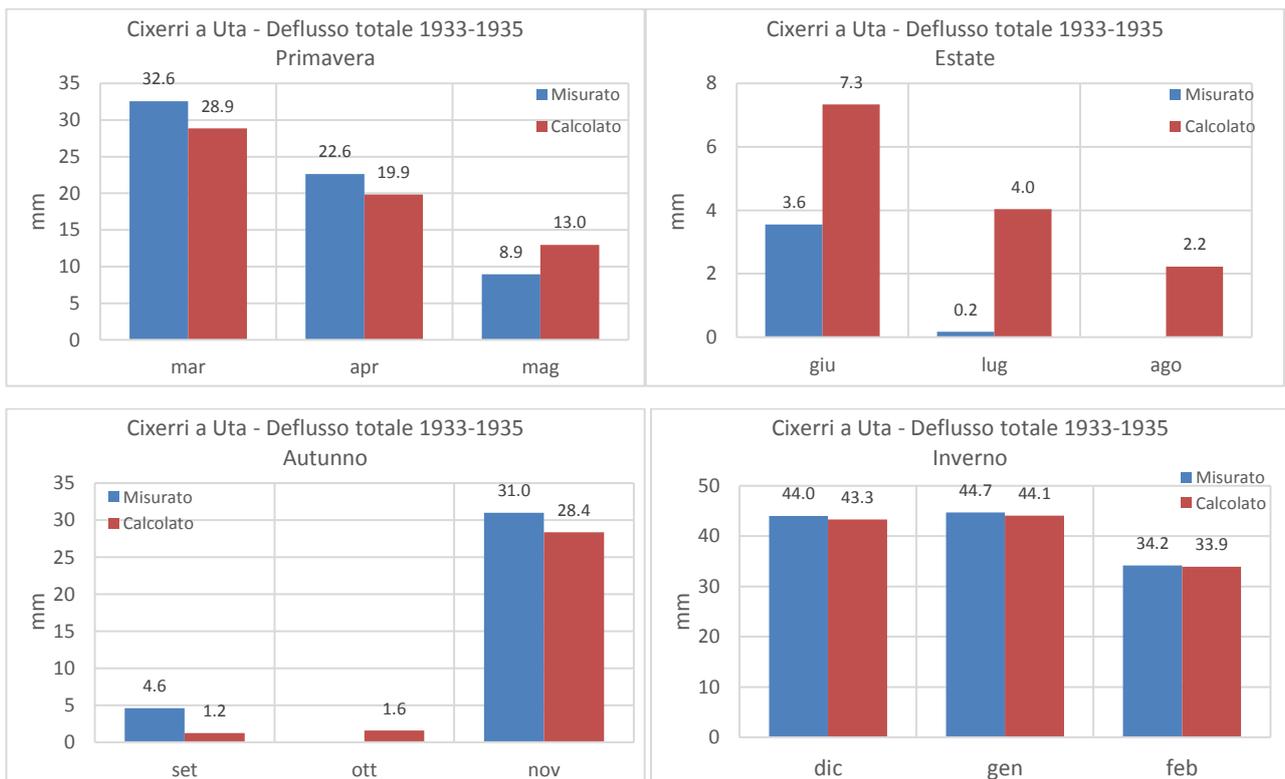


Figura 53: Invaso del Cixerri – Confronto tra deflussi calcolati e misurati diviso per stagione

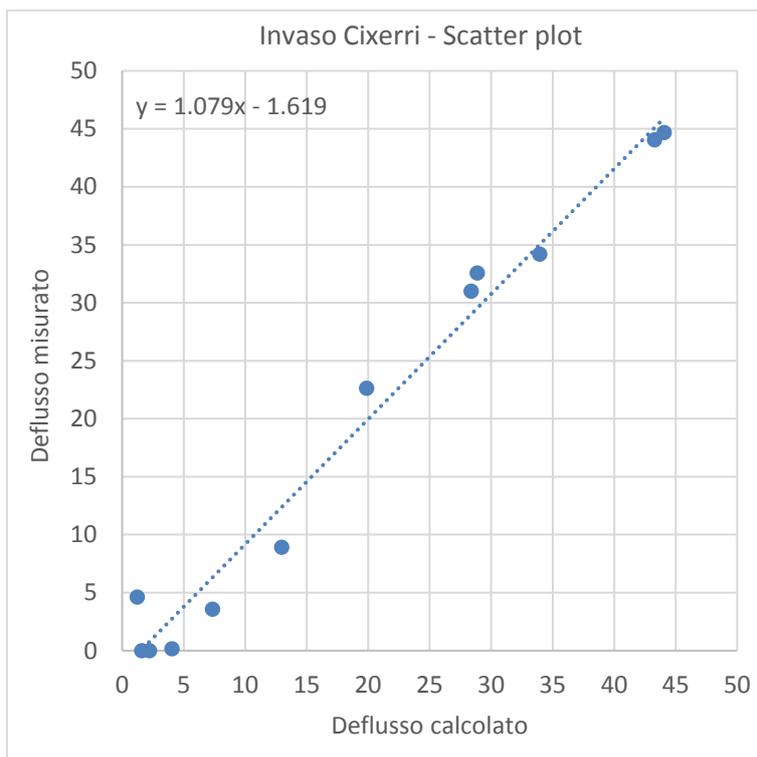


Figura 54: Invaso del Cixerri – Confronto tra deflusso misurato e calcolato

Tabella 38: Analisi idrologica del bacino del Cixerri sui dati 2002-2012

Mese	Dati climatici		Dati misurati	Modello idrologico – dati 2002-2012										
	P [mm]	T [°C]		Qtot [mm]	L	AET [mm]	Qeff [mm]	Qinf [mm]	Qs [mm]	Vsub [mm]	Qsub [mm]	Qtot [mm]	Qtot [m³/s]	q [l/(s km²)]
gen	91.0	9.0	-	46.8	692	21.8	13.1	8.7	29.9	13.5	222	4.2	8.4	0.24
feb	75.9	9.1	-	46.9	60.1	15.8	9.5	6.3	29.6	13.3	19.6	3.7	7.5	0.26
mar	53.3	11.5	-	55.1	47.0	6.2	3.7	2.5	25.7	11.6	14.1	2.7	5.3	0.26
apr	79.2	14.4	-	67.3	67.3	12.0	7.2	4.8	17.9	8.0	12.8	2.4	4.9	0.16
mag	33.6	18.5	-	89.6	33.3	0.3	0.2	0.1	17.0	7.7	7.8	1.5	3.0	0.23
giu	14.3	23.1	-	124.1	14.3	0.0	0.0	0.0	9.5	4.3	4.3	0.8	1.6	0.30
lug	5.5	26.3	-	155.5	5.5	0.0	0.0	0.0	5.2	2.4	2.4	0.4	0.9	0.43
ago	10.2	26.1	-	153.1	10.2	0.0	0.0	0.0	2.9	1.3	1.3	0.2	0.5	0.13
set	50.9	22.0	-	115.3	49.9	1.0	0.6	0.4	1.6	0.7	1.1	0.2	0.4	0.02
ott	57.8	18.6	-	90.3	54.5	3.2	1.9	1.3	1.5	0.7	2.0	0.4	0.7	0.03
nov	125.0	13.8	-	64.7	95.1	29.8	17.9	11.9	2.8	1.2	13.2	2.5	5.0	0.11
dic	118.8	10.1	-	50.4	86.7	32.1	19.3	12.8	19.4	8.7	21.6	4.1	8.2	0.18

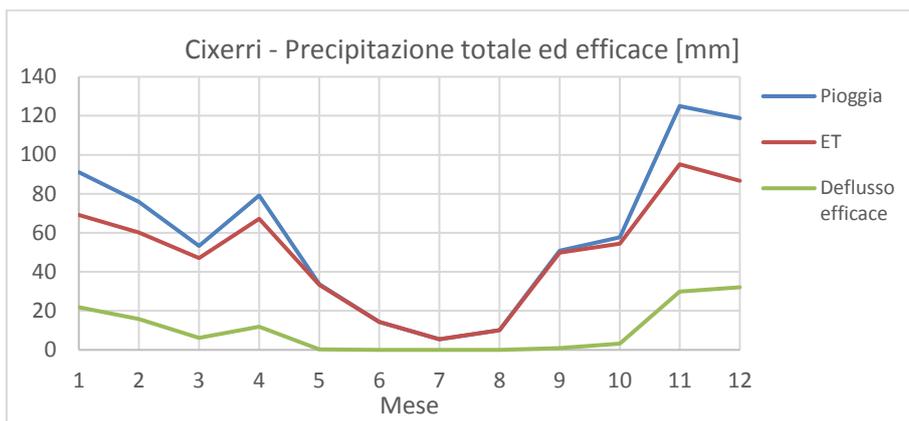


Figura 55: Cixerri – Precipitazione totale ed efficace

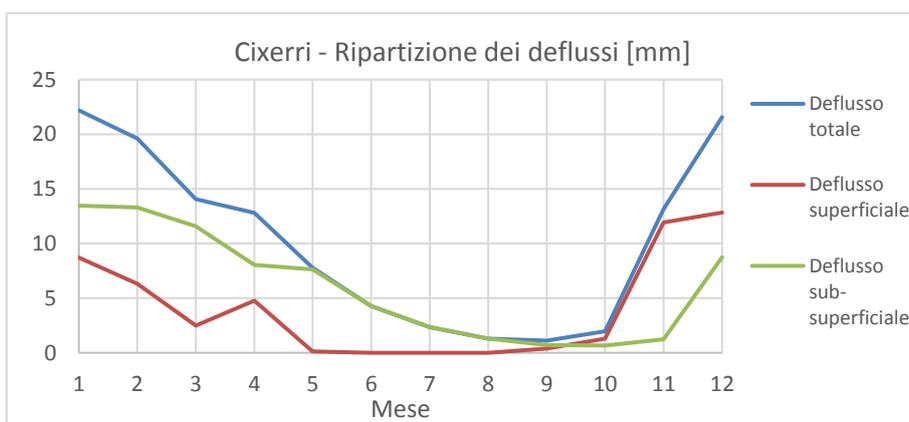


Figura 56: Cixerri – Ripartizione dei deflussi

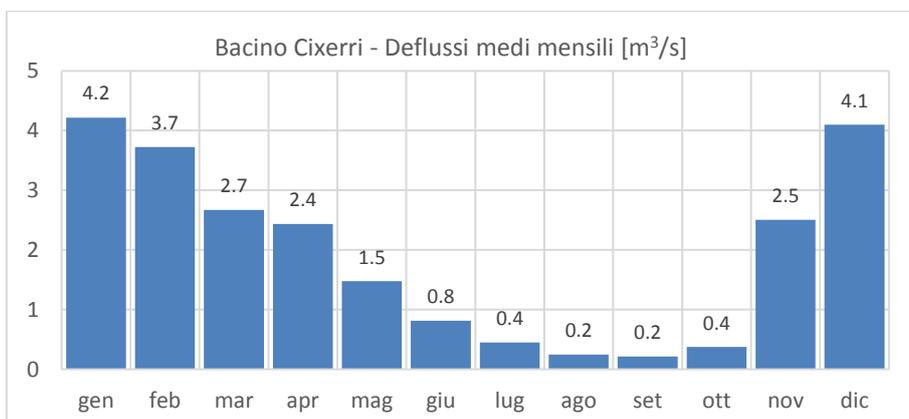


Figura 57: Cixerri – Deflussi medi mensili modellati espressi in m³/s

#### 4.4.5 *Qualità delle acque*

##### 4.4.5.1 *CIXERRI – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE*

La qualità delle acque dell'invaso Cixerri è stata valutata mediante un'elaborazione statistica su base stagionale delle serie storiche dal 2002 al 2012 fornite dal CEDOC e dai rapporti di prova 2016-2018 forniti da ENAS-SQAE. I parametri analizzati sono:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità a 20°C;
- Fosforo totale;
- Azoto totale;
- BOD5 (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua);
- COD (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua);
- Cloruri (solo per le misurazioni nei corsi d'acqua);
- Clorofilla "a" (solo per le misurazioni negli invasi);
- Alcalinità (solo per le misurazioni negli invasi e per i dati 2016-2018).

Poiché nella stessa sessione di misure a volte sono stati effettuati campionamenti nell'invaso a diverse profondità si è deciso in sede di elaborazioni statistiche di raggruppare le profondità di campionamento secondo tre fasce: da 0 a 5 m, da 5 a 10 m e maggiore di 10 m.

Oltre all'analisi sull'invaso (riportata al capitolo 4.4.5.1.1) sono state considerate per il medesimo periodo anche le misurazioni di qualità effettuate sui principali corsi d'acqua afferenti, in particolare si tratta delle seguenti stazioni di misura:

- 1) Riu Cixerri a Siliqua (a monte dell'invaso)
- 2) Riu Cixerri a Uta (a valle dell'invaso).

L'analisi delle suddette stazioni è riportata nei capitoli 4.4.5.1.2 e 4.4.5.1.3. Per completezza di analisi, l'elaborazione dei dati di qualità sui corsi d'acqua è stata effettuata sia su scala stagionale che su scala mensile, con indicazione dei parametri medi e massimi

#### 4.4.5.1.1 Parametri di qualità dell'invaso Cixerri

Tabella 39: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Cixerri - dati CEDOC

Parametri di qualità stagionali dell'invaso Cixerri - analisi su periodo 2002-2012 CEDOC				
<b>Temperatura [°C]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	15.70	23.43	20.42	13.1
da 5 a 10 m	16.98	25.90	21.20	12.1
> 10 m		22.75		8.4
nd		22.05		12.60
<b>pH</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	8.21	8.38	8.01	8.29
da 5 a 10 m	8.39	9.04	7.79	8.14
> 10 m		7.99		7.70
nd		8.15		8.46
<b>Conducibilità a 20°C [µS/cm]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	699.50	536.64	710.00	714.33
da 5 a 10 m	738.20	686.00	675.00	708.50
> 10 m		803.00		700.00
nd		729.00		768.00
<b>Fosforo totale [µg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	84.25	93.33	57.80	117.67
da 5 a 10 m	55.80	73.00	7.00	155.00
> 10 m		133.00		140.00
nd		96.50		44.33
<b>Azoto totale [mg/l]</b>				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	2.92	1.17	0.83	2.32
da 5 a 10 m	2.46	0.49	1.47	2.28
> 10 m		1.38		2.11
nd		1.08		0.90

**Cixerri - Temperatura**

Profondità	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	15.70	23.43	20.42	13.1
da 5 a 10 m	16.98	25.90	21.20	12.1
> 10 m		22.75		8.4
nd		22.05		12.60

**Cixerri - pH**

Profondità	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	8.21	8.38	8.01	8.29
da 5 a 10 m	8.39	9.04	7.79	8.14
> 10 m		7.99		7.70
nd		8.15		8.46

**Cixerri - Conducibilità a 20°C**

Profondità	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	699.50	536.64	710.00	714.33
da 5 a 10 m	738.20	686.00	675.00	708.50
> 10 m		803.00		700.00
nd		729.00		768.00

**Cixerri - Fosforo totale**

Profondità	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	84.25	93.33	57.80	117.67
da 5 a 10 m	55.80	73.00	7.00	155.00
> 10 m		133.00		140.00
nd		96.50		44.33

**Cixerri - Azoto totale**

Profondità	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	2.92	1.17	0.83	2.32
da 5 a 10 m	2.46	0.49	1.47	2.28
> 10 m		1.38		2.11
nd		1.08		0.90

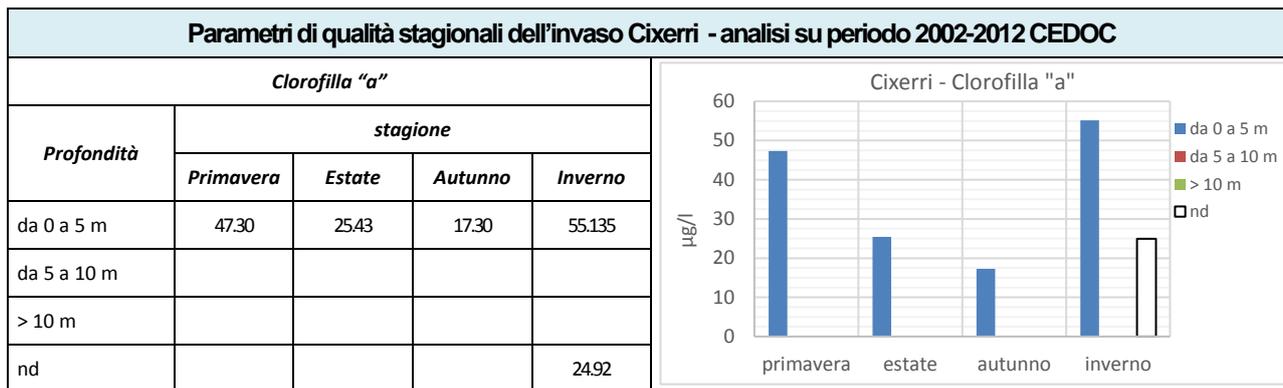
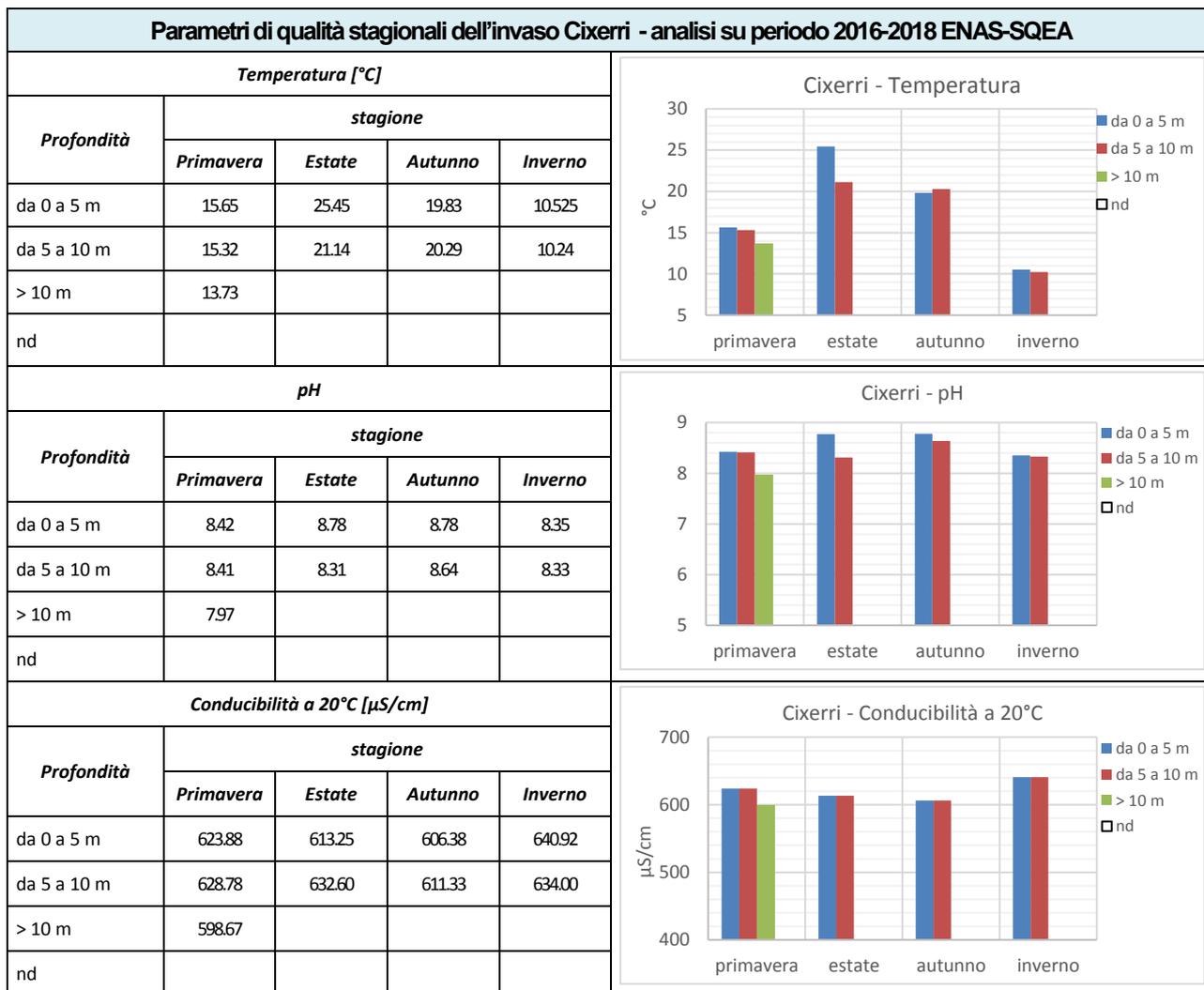
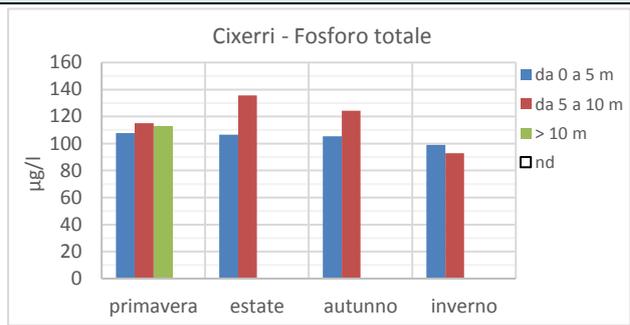


Tabella 40: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Cixerri - dati ENAS-SQEA

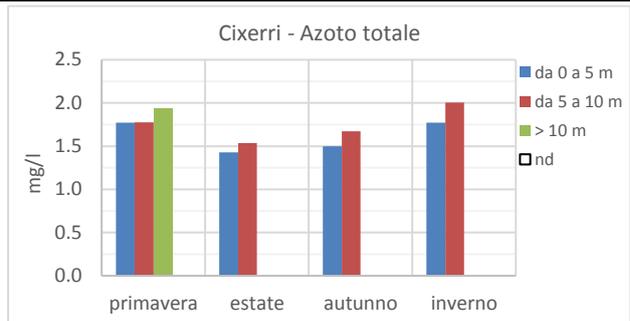


### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Cixerri - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA

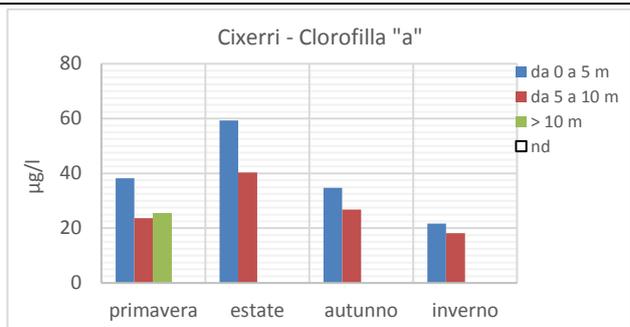
Fosforo totale [ $\mu\text{g/l}$ ]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	107.71	106.50	105.33	99.00
da 5 a 10 m	115.00	135.60	124.22	92.80
> 10 m	112.67			



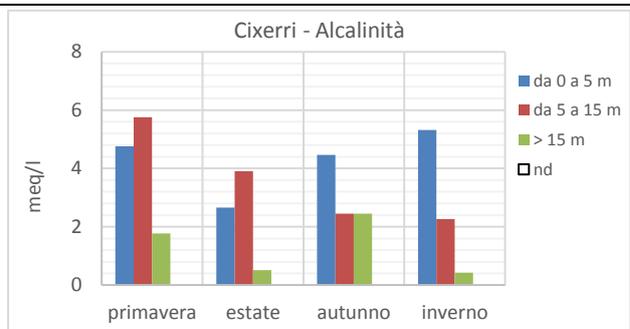
Azoto totale [mg/l]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	1.77	1.43	1.50	1.77
da 5 a 10 m	1.78	1.54	1.67	2.00
> 10 m	1.94			



Clorofilla "a" [ $\mu\text{g/l}$ ]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	38.25	59.30	34.74	21.71
da 5 a 10 m	23.71	40.27	26.85	18.14
> 10 m	25.52			



Alcalinità [meq/l]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 5 m	2.60	2.24	2.27	2.53
da 5 a 10 m	2.66	2.40	2.27	2.524
> 10 m	2.49			



#### 4.4.5.1.2 Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Siliqua

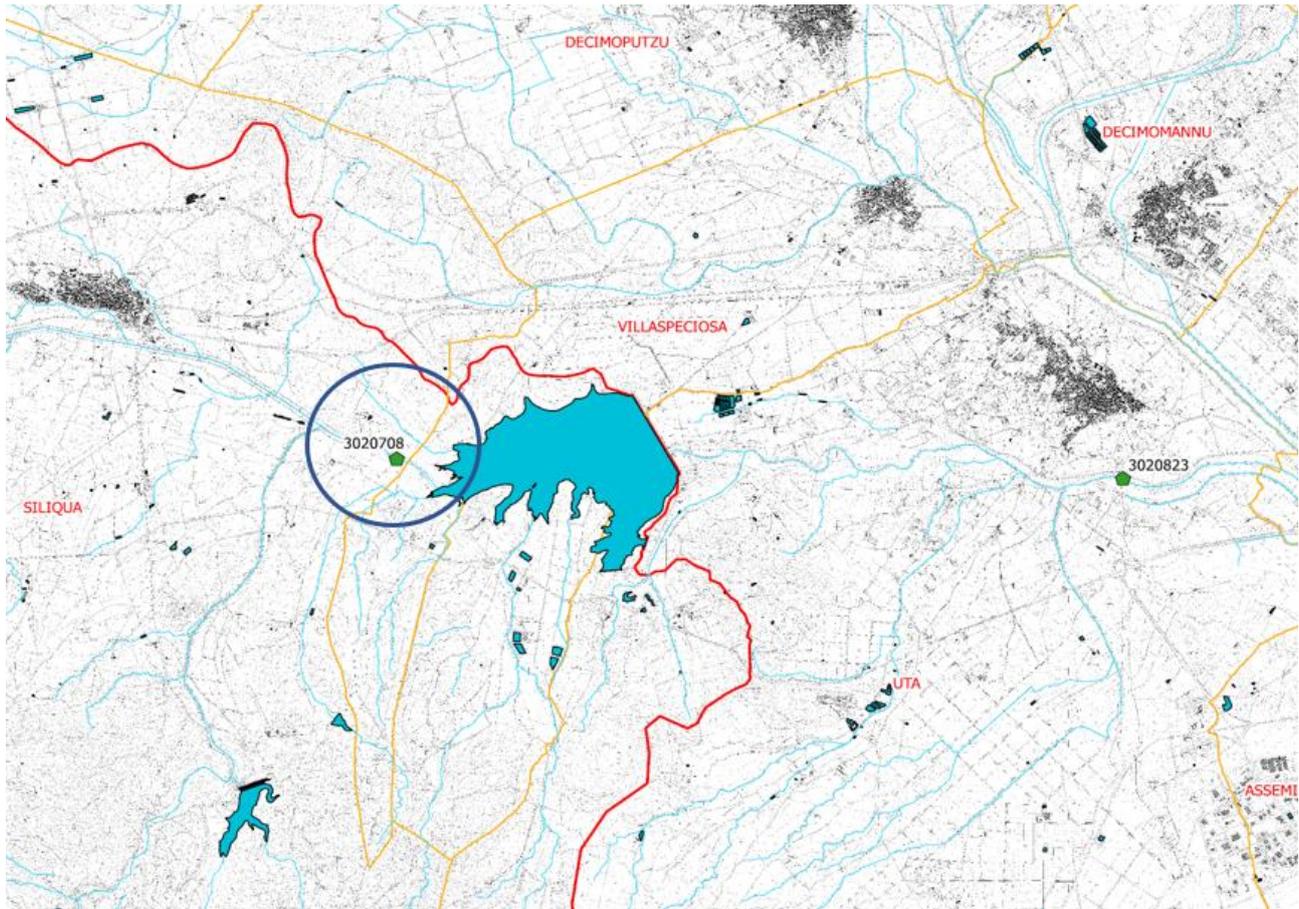


Figura 58: Cixerri – Ubicazione della stazione di misura della qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Siliqua

Temperatura [°C]					
mese	T media	T max	stagione	T media	T max
gen.	11.70	13.00	primavera	15.12	19.20
feb.	11.43	13.10	estate	24.44	28.10
mar.	12.42	14.40	autunno	19.19	27.80
apr.	14.80	19.00	inverno	11.66	14.00
mag.	18.13	19.20			
giu.	22.99	26.90			
lug.	25.37	28.10			
ago.	24.97	27.30			
set.	23.46	27.80			
ott.	18.50	20.70			
nov.	15.51	18.00			
dic.	11.83	14.00			

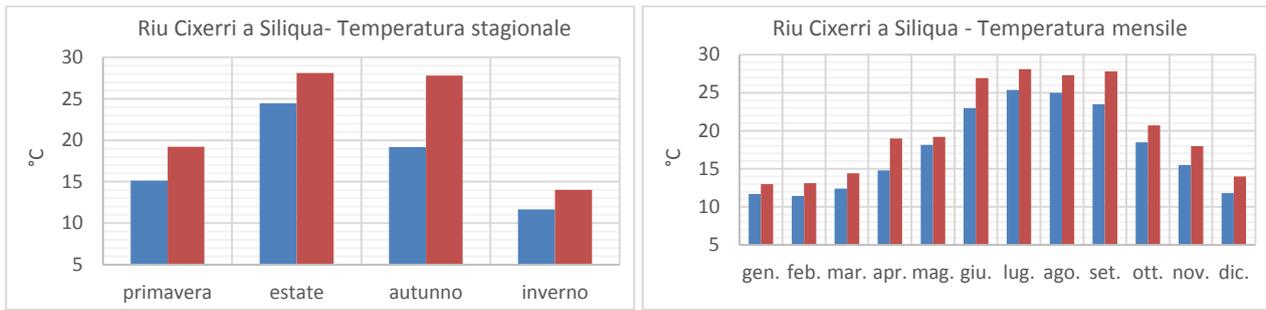


Figura 59: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Siliqua – Andamento delle temperature (blu medie e rosso massimi)

pH e Conducibilità a 20°C [µS/cm]									
mes	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max	stagione	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max
gen.	7.72	8.10	868.00	1116.00	primavera	7.62	8.24	856.94	1113.00
feb.	7.66	8.05	876.00	1100.00	estate	7.74	8.54	856.17	1155.00
mar.	7.59	8.22	870.83	1113.00	autunno	7.63	8.30	828.42	992.00
apr.	7.60	8.00	846.17	1016.00	inverno	7.59	8.10	846.76	1116.00
mag.	7.67	8.24	853.83	922.00					
giu.	7.53	8.00	860.63	966.00					
lug.	7.85	8.54	844.13	989.00					
ago.	7.83	8.20	863.75	1155.00					
set.	7.67	8.20	824.13	947.00					
ott.	7.64	8.10	823.75	992.00					
nov.	7.57	8.30	837.38	986.00					
dic.	7.37	7.80	797.43	998.00					

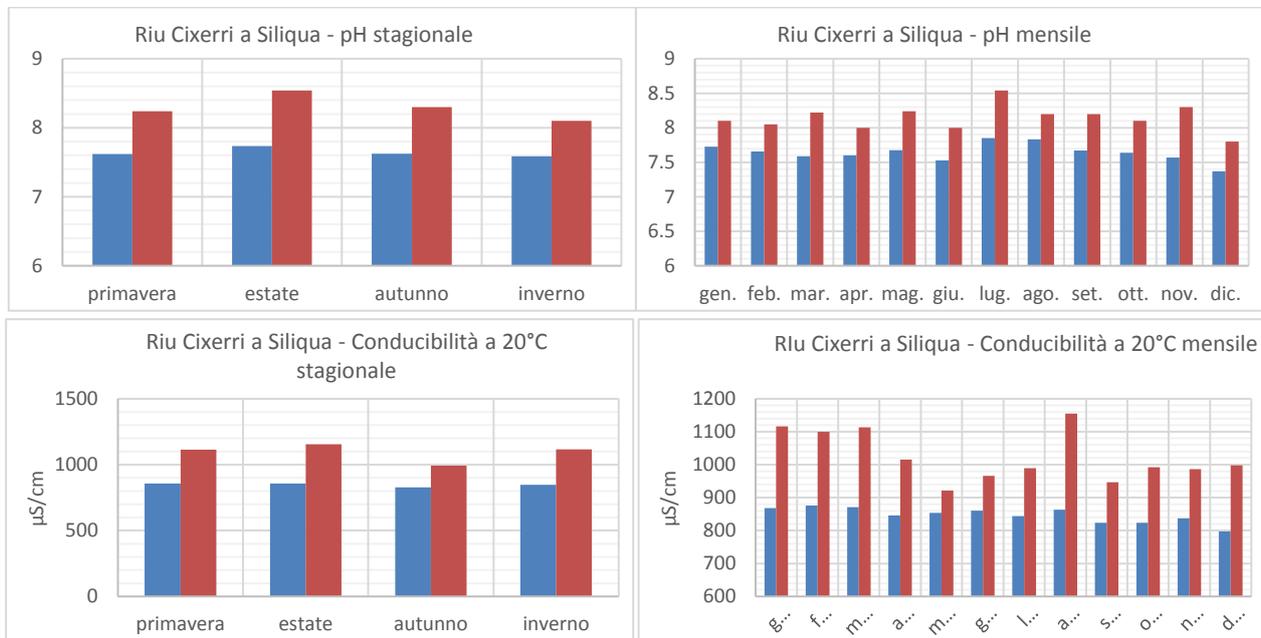


Figura 60: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Siliqua – Andamento del pH e della conducibilità a 20°C (blu medie e rosso massimi)

BOD e COD [mg/l O <sub>2</sub> ]									
mese	BOD media	BOD max	COD media	COD max	stagione	BOD media	BOD max	COD media	COD max
gen.	4.81	7.50	20.50	45.00	primavera	3.21	11.00	14.72	27.00
feb.	3.38	5.00	26.50	54.00	estate	4.64	11.00	16.21	36.00
mar.	3.00	4.00	15.50	26.00	autunno	3.77	11.00	14.96	39.00
apr.	2.78	5.00	14.50	24.00	inverno	4.54	13.00	22.90	54.00
mag.	3.83	11.00	14.17	27.00					
giu.	4.44	9.00	14.57	31.00					
lug.	4.51	9.00	16.75	36.00					
ago.	4.96	11.00	17.25	25.00					
set.	4.33	8.00	16.88	28.00					
ott.	3.25	5.00	11.13	15.00					
nov.	3.71	11.00	16.88	39.00					
dic.	5.33	13.00	22.57	40.00					

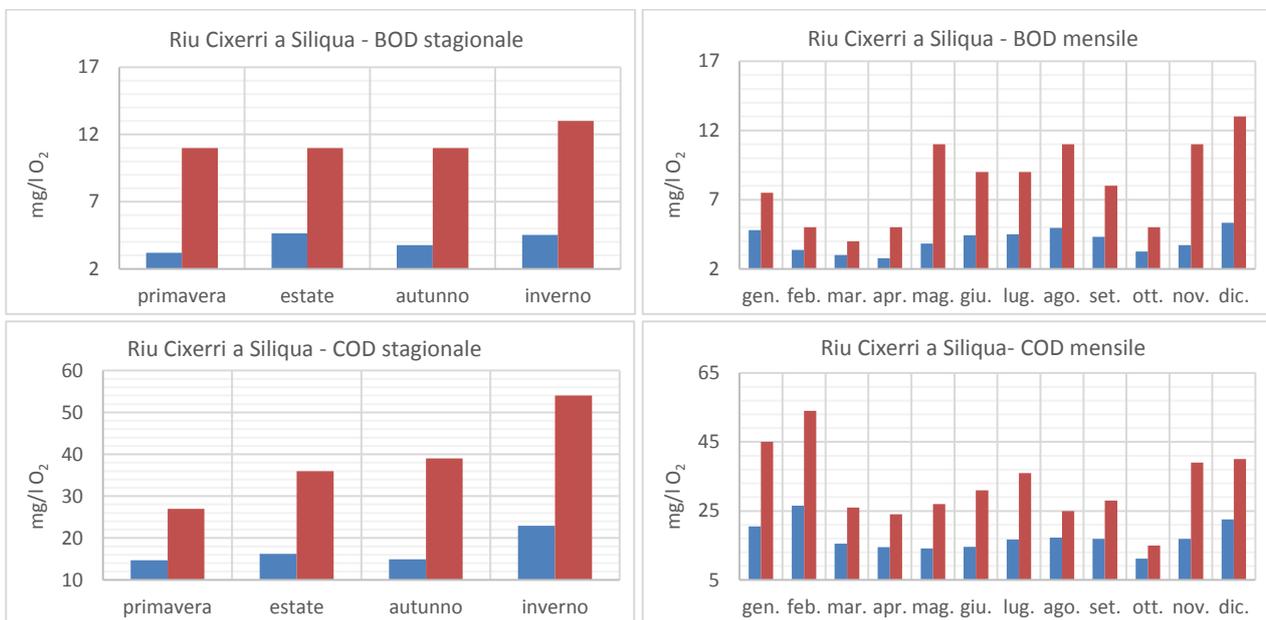


Figura 61: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Siliqua – Andamento del BOD e del COD (blu medie e rosso massimi)

Cloruri [mg/l Cl]					
mese	Cl. media	Cl. max	stagione	Cl. media	Cl. max
gen.	142.88	206.00	primavera	141.06	203.00
feb.	145.33	199.00	estate	135.17	177.00
mar.	144.00	203.00	autunno	134.83	217.00
apr.	141.33	185.00	inverno	139.05	206.00
mag.	137.83	167.00			
giu.	130.38	148.00			
lug.	135.25	167.00			
ago.	139.88	177.00			
set.	146.50	217.00			
ott.	125.38	156.00			
nov.	132.63	170.00			
dic.	129.29	185.00			

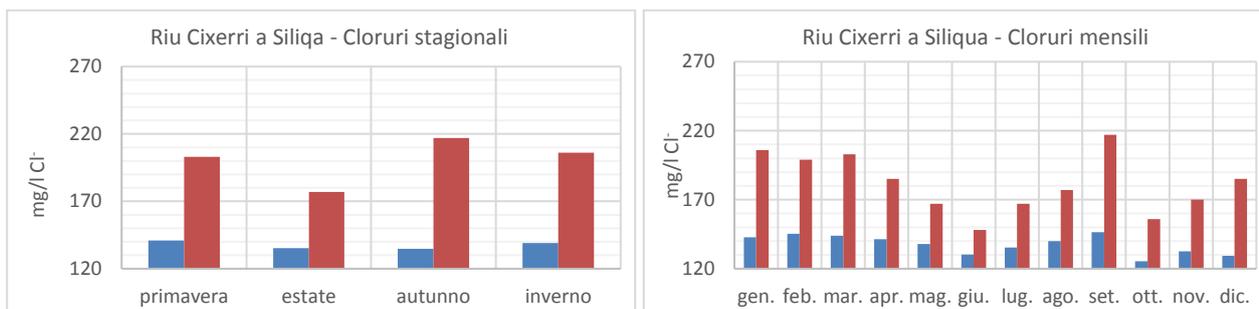


Figura 62: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Siliqua – Andamento dei cloruri (blu medie e rosso massimi)

Fosforo totale e Azoto totale [mg/l]									
mese	P media	P max	N media	N max	stagione	P media	P max	N media	N max
gen.	0.72	1.90	5.02	6.90	primavera	0.46	0.93	3.48	5.40
feb.	0.37	0.65	4.24	6.00	estate	0.67	1.32	2.99	7.10
mar.	0.41	0.80	3.33	5.00	autunno	0.81	1.90	4.19	6.94
apr.	0.40	0.60	3.70	5.40	inverno	0.56	1.90	4.53	6.90
mag.	0.58	0.93	3.47	4.60					
giu.	0.65	1.32	2.84	3.84					
lug.	0.62	1.21	2.92	4.29					
ago.	0.74	1.30	3.19	7.10					
set.	0.86	1.90	3.64	6.66					
ott.	0.79	1.66	3.93	6.42					
nov.	0.76	1.70	4.97	6.94					
dic.	0.54	0.98	4.23	6.02					

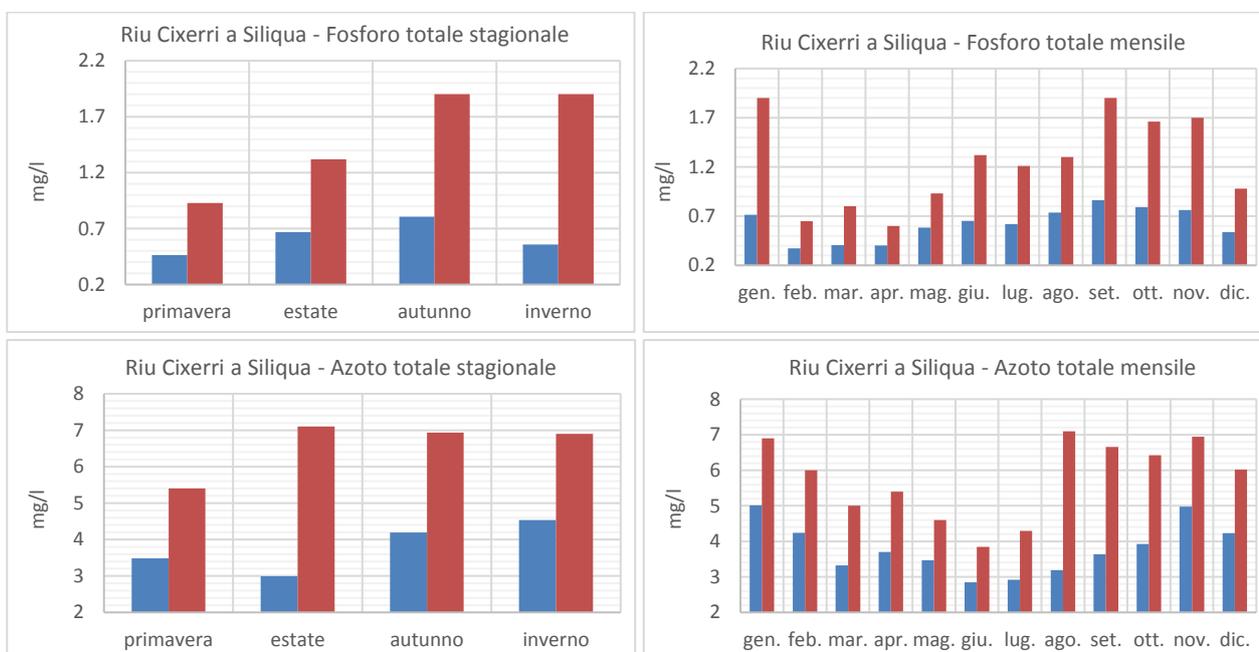


Figura 63: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Siliqua – Andamento del fosforo totale e dell'azoto totale (blu medie e rosso massimi)

#### 4.4.5.1.3 Parametri di qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Uta

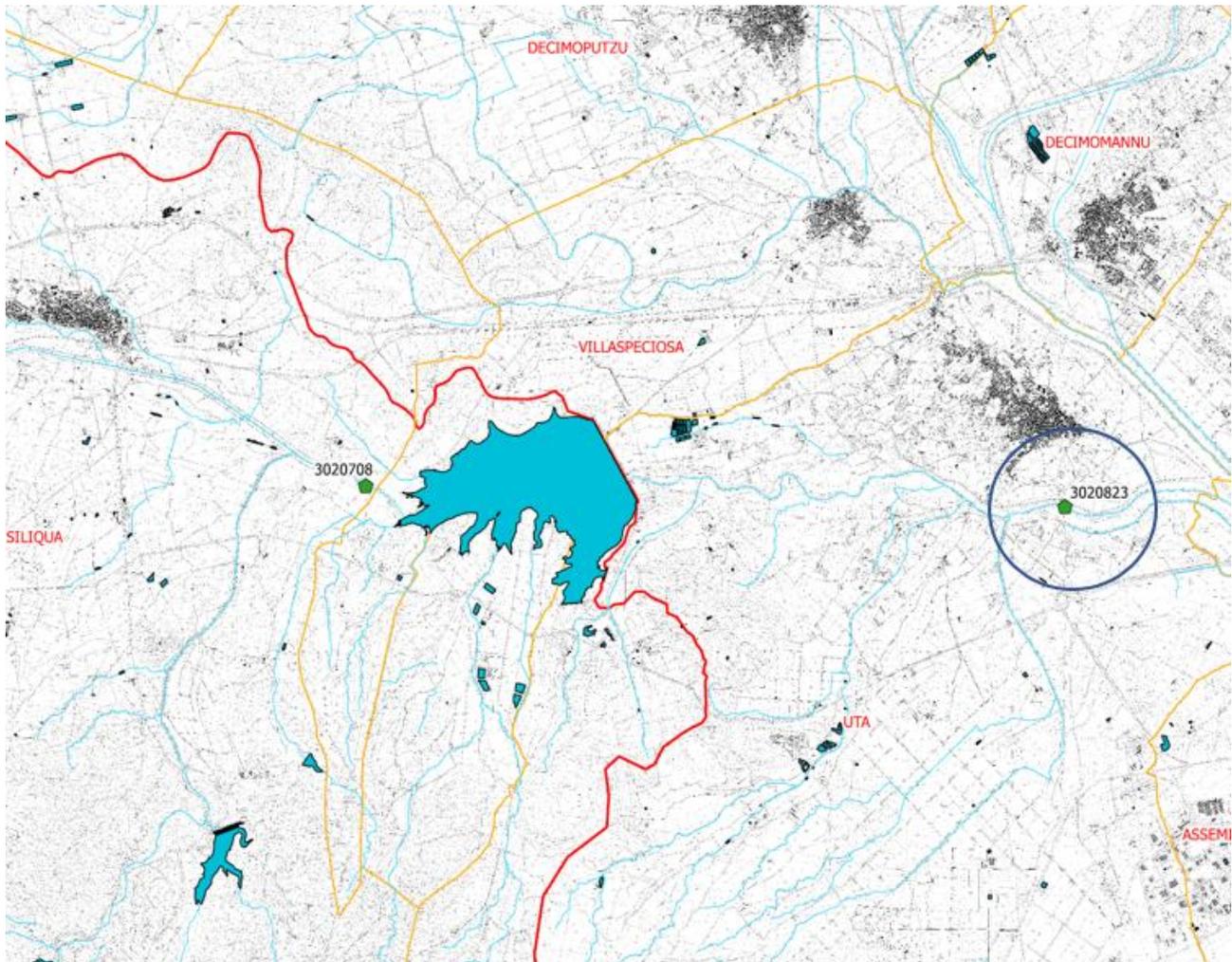


Figura 64: Cixerri – Ubicazione della stazione di misura della qualità del corso d'acqua Riu Cixerri a Uta

Temperatura [°C]					
mese	T media	T max	stagione	T media	T max
gen.	8.80	9.00	primavera	15.23	20.30
feb.	10.00	11.50	estate	24.00	24.00
mar.	12.84	15.30	autunno	18.63	22.00
apr.	15.12	17.20	inverno	9.80	13.00
mag.	18.35	20.30			
giu.	-	-			
lug.	24.00	24.00			
ago.	24.00	24.00			
set.	-	-			
ott.	19.50	22.00			
nov.	16.00	16.00			
dic.	11.00	13.00			

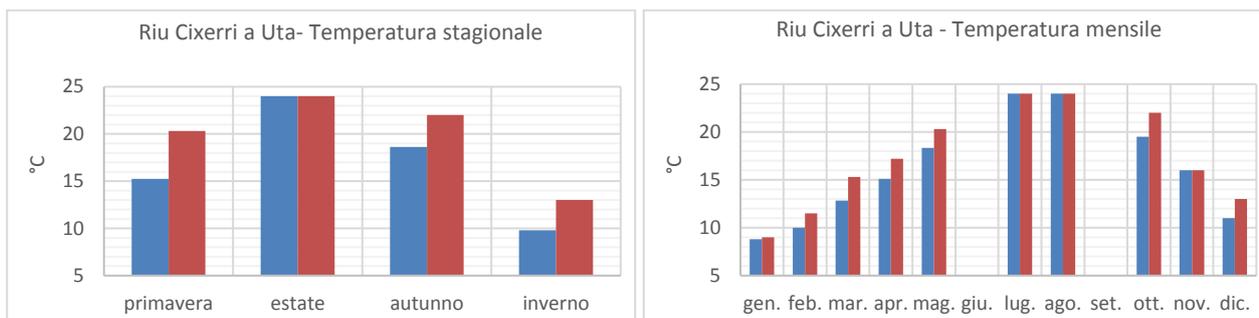


Figura 65: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Uta – Andamento delle temperature (blu medie e rosso massimi)

pH e Conducibilità a 20°C [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]									
mese	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max	stagione	pH media	pH max	Condu. media	Condu. max
gen.	7.87	8.03	708.00	719.00	primavera	8.18	8.80	818.21	1086.00
feb.	8.08	8.47	782.67	835.00	estate	7.95	8.40	652.50	685.00
mar.	8.48	8.80	803.60	963.00	autunno	8.21	8.61	734.50	778.00
apr.	8.11	8.33	855.80	1086.00	inverno	7.91	8.47	744.63	835.00
mag.	7.91	8.60	789.50	987.00					
giu.	-	-	-	-					
lug.	8.40	8.40	685.00	685.00					
ago.	7.50	7.50	620.00	620.00					
set.	-	-	-	-					
ott.	8.18	8.61	739.33	778.00					
nov.	8.28	8.28	720.00	720.00					
dic.	7.73	7.77	742.50	810.00					

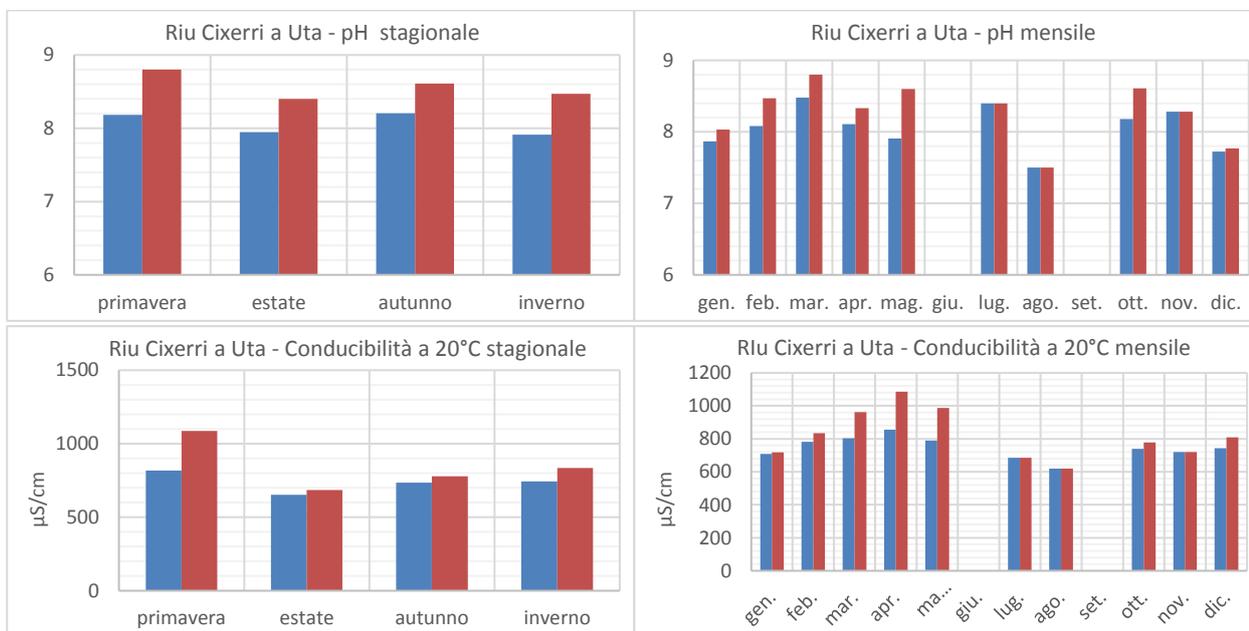


Figura 66: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Uta – Andamento del pH e della conducibilità a 20°C (blu medie e rosso massimi)

BOD e COD [mg/l O <sub>2</sub> ]									
mese	BOD media	BOD max	COD media	COD max	stagione	BOD media	BOD max	COD media	COD max
gen.	2.33	3.00	23.67	35.00	primavera	2.46	4.00	15.00	34.00
feb.	2.67	3.00	14.67	20.00	estate	2.25	2.50	17.00	19.00
mar.	2.40	4.00	18.40	34.00	autunno	2.88	5.00	26.75	35.00
apr.	2.40	3.00	12.80	16.00	inverno	2.31	3.00	18.38	35.00
mag.	2.63	3.00	13.50	20.00					
giu.									
lug.	2.00	2.00	19.00	19.00					
ago.	2.50	2.50	15.00	15.00					
set.									
ott.	2.17	3.00	25.67	35.00					
nov.	5.00	5.00	30.00	30.00					
dic.	1.75	2.00	16.00	18.00					

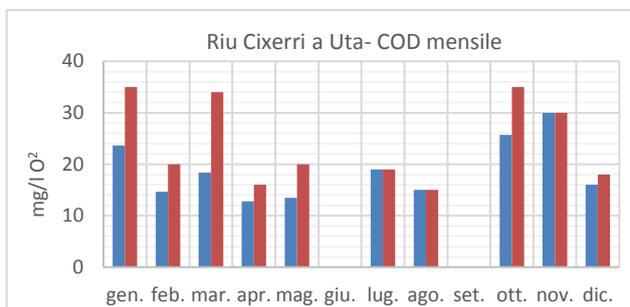
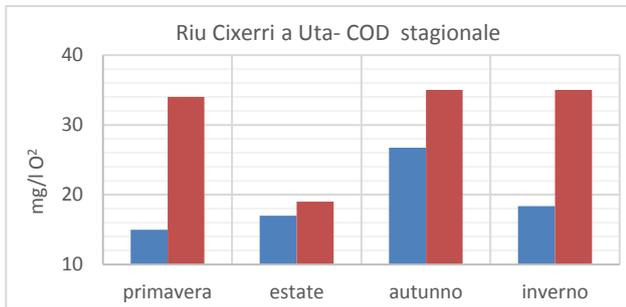
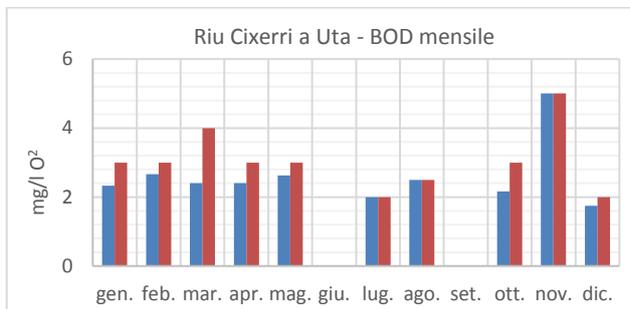
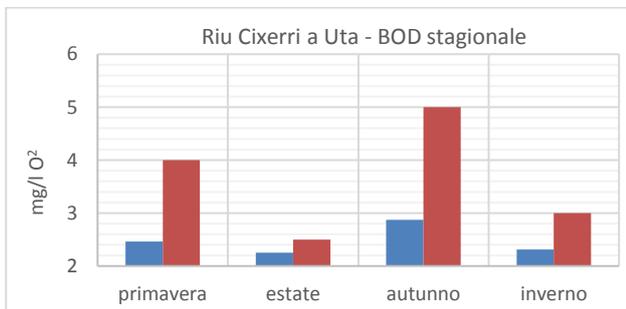


Figura 67: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Uta – Andamento del BOD e del COD (blu medie e rosso massimi)

Cloruri [mg/l Cl <sup>-</sup> ]					
mese	Cl. media	Cl. max	stagione	Cl. media	Cl. max
gen.	127.19	138.03	primavera	156.05	225.24
feb.	146.12	174.06	estate	117.47	119.50
mar.	167.83	195.51	autunno	136.76	147.13
apr.	158.41	225.24	inverno	135.78	174.06
mag.	138.38	166.91			
giu.	-	-			
lug.	119.50	119.50			
ago.	115.43	115.43			
set.	-	-			
ott.	134.47	147.13			
nov.	143.63	143.63			
dic.	133.17	141.55			

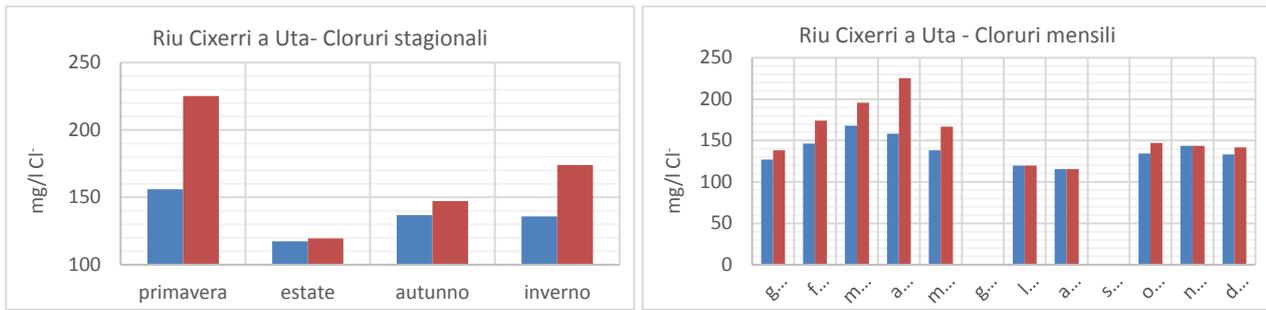


Figura 68: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Uta – Andamento dei cloruri (blu medie e rosso massimi)

Fosforo totale e Azoto totale [mg/l]									
mese	P media	P max	N media	N max	stagione	P media	P max	N media	N max
gen.	0.10	0.11	3.41	3.99	primavera	0.05	0.14	2.67	6.21
feb.	0.06	0.08	4.18	5.98	estate	0.05	0.07	2.01	3.14
mar.	0.04	0.06	3.70	6.21	autunno	0.07	0.08	1.50	2.16
apr.	0.05	0.11	2.46	4.52	inverno	0.08	0.11	4.10	5.99
mag.	0.07	0.14	1.66	1.92					
giu.	-	-	-	-					
lug.	0.07	0.07	0.88	0.88					
ago.	0.03	0.03	3.14	3.14					
set.	-	-	-	-					
ott.	0.07	0.08	1.43	2.16					
nov.	0.06	0.06	1.72	1.72					
dic.	0.08	0.09	5.01	5.99					

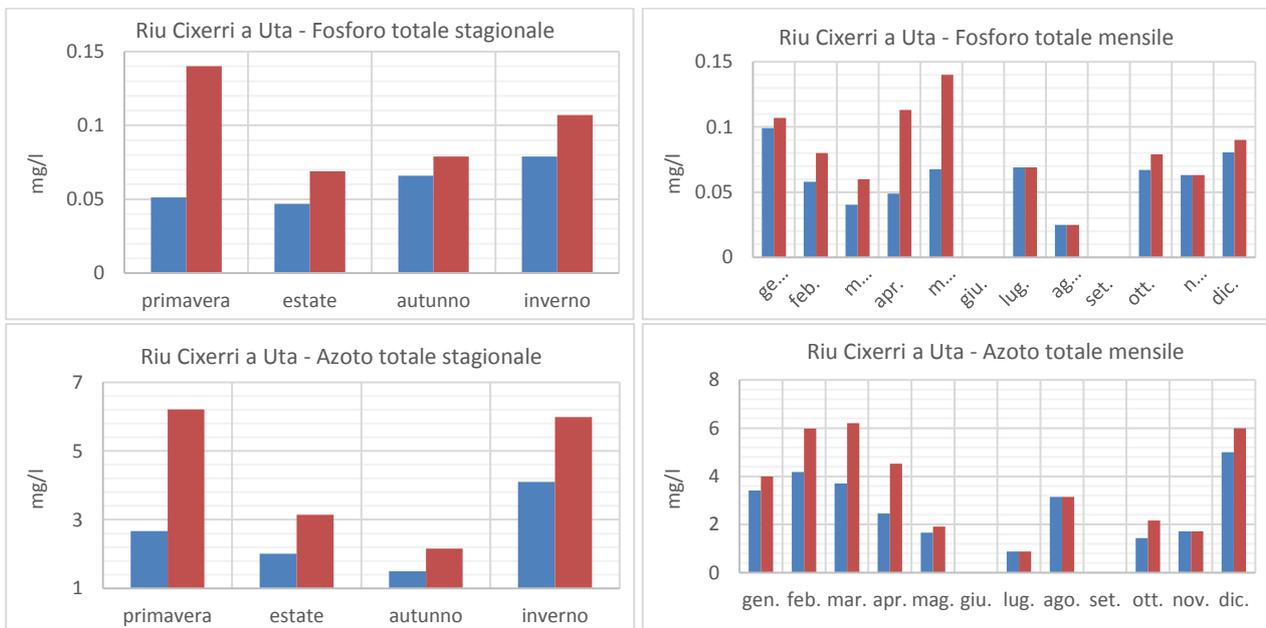


Figura 69: Cixerri, stazione di Riu Cixerri a Uta – Andamento del fosforo totale e dell'azoto totale (blu medie e rosso massimi)

#### 4.4.5.2 CIXERRI – ELABORAZIONI DEL PTA

Considerando le tavole del PTA relativi al bacino del Cixerri si osserva un carico di fosforo e azoto di tipo basso per quanto riguarda la componente zootecnica, mentre è di tipo medio per quanto riguarda la componente agricola. La superficie SAU all'interno del bacino idrografico è pari a 232.48 km<sup>2</sup> così ripartiti:

- 2.23 km<sup>2</sup> arboricoltura con essenze forestali di conifere;
- 12.54 km<sup>2</sup> aree a pascolo naturale;
- 6.81 km<sup>2</sup> aree agroforestali;
- 2.59 km<sup>2</sup> aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 0.26 km<sup>2</sup> colture in serra;
- 3.57 km<sup>2</sup> colture temporanee associate ad altre colture permanenti;
- 0.11 km<sup>2</sup> colture temporanee associate al vigneto;
- 1.65 km<sup>2</sup> colture temporanee associate all'olivo;
- 1.27 km<sup>2</sup> frutteti e frutti minori;
- 3.66 km<sup>2</sup> oliveti;
- 15.59 km<sup>2</sup> prati artificiali;
- 33.33 km<sup>2</sup> seminativi in aree non irrigue;
- 126.17 km<sup>2</sup> seminativi semplice e colture orticole a pieno campo;
- 7.51 km<sup>2</sup> sistemi colturali e particellari complessi;
- 12.25 km<sup>2</sup> sugherete;
- 2.91 km<sup>2</sup> vigneti.

Il fosforo annuo totale è pari 567.57 t mentre l'azoto totale è pari a 1749.85 t.

L'invaso del Monte Pranu è classificato dal PTA come IPERTROFICO (si veda per completezza la Tabella 4), con un livello di criticità di fosforo, clorofilla e trasparenza etichettato con A.

Tabella 41: Criticità, carico effettivo di P afferente, concentrazioni di P "naturale" stimata con l'indice MEI e stato trofico del Cixerri (estratti dal PTA)

N° U.I.O.	Nome U.I.O.	Id_Bacino	Descrizione	Id_Corpo Idrico	Nome Corpo Idrico	Id_Stazione	SE	LIVELLI DI CRITICITA'				Carico effettivo di P (%)			
								Trasparenza	Ossigeno	Clorofilla	Fosforo	P civile	P industriale	P agricolo	P zootecnico
1	Flumini Mannu - Cixerri	0001	Flumini Mannu	LA4001	Rio Leni a Monte Arbus	00010808	2	C	D	D	D	0,0%	0,0%	58,6%	41,4%
				LA4004	Flumini Mannu a Is Barroccus	00010304	4	A	C	C	B	0,0%	0,0%	59,8%	40,2%
		0302	Riu Cixerri	LA4039	Rio Canonica a Punta Gennarta	03020704	4	C	D	B	A	0,0%	0,0%	56,7%	43,3%
				LA4041	Cixerri a Genna is Abis	03020803	5	A	C	A	A	2,7%	1,2%	58,2%	37,9%

Codice lago	Nome lago	Conc P (µg/l) Alcal.	Stato trofico Alcal.	Stato trofico attuale
LA4041	Cixerri a Genna is Abis	92,85	EUTROFIA	IPERTROFIA

Tabella 42: Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Cixerri secondo gli elaborati del PTA

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Cixerri secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
TAV 12c_carichi diffusi P zootecnico	Fosforo zootecnico	208.45 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 0.18 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 18.76 t/anno	
		260.26 km <sup>2</sup> con valori da 0.19 a 0.35 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 70.27 t/anno	
		30.64 km <sup>2</sup> con valori da 0.36 a 0.63 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 15.17 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 104.20 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N zootecnico	Azoto zootecnico	208.45 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 1.01 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 105.27 t/anno	
		175.49 km <sup>2</sup> con valori da 1.02 a 1.89 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 255.36 t/anno	
		115.41 km <sup>2</sup> con valori da 1.9 a 3.27 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 298.33 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 658.96 t/anno</b>	
TAV 12e_carichi diffusi P agricolo	Fosforo agricolo	0.13 km <sup>2</sup> con valori da 0 a 16 kg/ha/anno; Valore medio: 0.11 t/anno	
		27.31 km <sup>2</sup> con valori da 16 a 20 kg/ha/anno; Valore medio: 238.08 t/anno	
		201.47 km <sup>2</sup> con valori da 20 a 25 kg/ha/anno; Valore medio: 225.14 t/anno	
		3.56 km <sup>2</sup> con valori da 25 a 30 kg/ha/anno; Valore medio: 0.04 t/anno	
		<b>SAU totale: 232.48 km<sup>2</sup></b> <b>Valore medio totale: 463.37 t/anno</b>	
TAV 12f_carichi diffusi N agricolo	Azoto agricolo	98.52 km <sup>2</sup> con valori da 20 a 40 kg/ha/anno; Valore medio: 175.23 t/anno	
		110.86 km <sup>2</sup> con valori da 40 a 60 kg/ha/anno; Valore medio: 757.12 t/anno	
		19.53 km <sup>2</sup> con valori da 60 a 80 kg/ha/anno; Valore medio: 158.39 t/anno	
		3.56 km <sup>2</sup> con valori da 80 a 110 kg/ha/anno; Valore medio: 0.15 t/anno	
		<b>SAU totale: 232.48 km<sup>2</sup></b> <b>Valore medio totale: 1090.89 t/anno</b>	
TAV 14_Classificazione corpi idrici	Classificazione ecologica	L'invaso Cixerri a Genna Is Abis è classificato come IPERTROFICO Il corso d'acqua principale Riu Cixerri ha uno stato ecologico NON DEFINITO	

#### 4.5 INVASO MULARGIA

La diga del lago artificiale del Mulargia sbarra l'omonimo corso d'acqua in località Monte Su Rei, tra i comuni di Orrioli e Surgis Donigala. Si tratta di una diga muraria a volta ad arco-gravità i cui lavori iniziarono nel 1951 e terminarono nel 1958. Nelle condizioni di massimo invaso, la quota della superficie libera è pari a 259 m s.l.m. ed il relativo volume è pari a 347 milioni di m<sup>3</sup>.

Il regime degli afflussi al lago è fortemente influenzato dalle portate immesse derivanti dall'interconnessione con altri serbatoi, che risultano predominanti rispetto agli afflussi naturali. Per questo invaso la valutazione delle caratteristiche idrologiche del bacino proprio risulta perciò di scarso interesse.

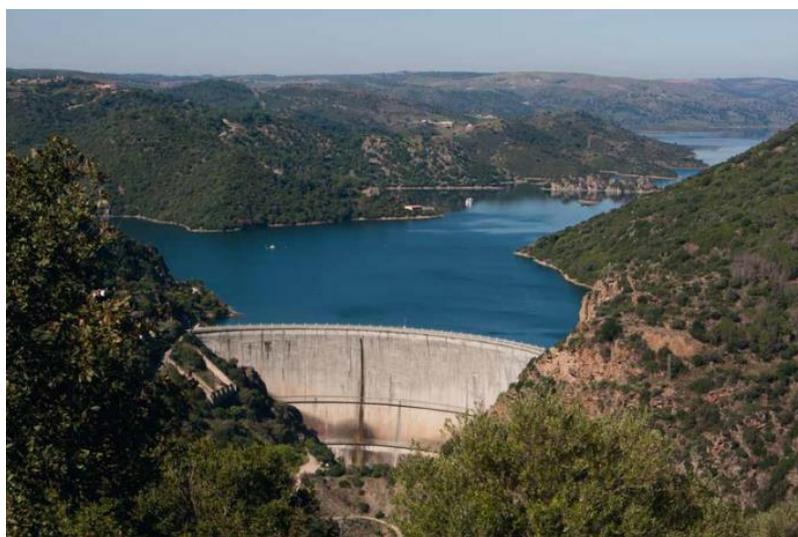


Figura 70: Ortofoto e fotografia della diga Mulargia (fonte ENAS)

#### 4.5.1 Caratteristiche dell'invaso

Le caratteristiche principali dell'invaso e del corpo diga sono ricavate dal sito dell'ENAS e riportate nella seguente tabella. Sempre dall'ENAS è stata fornita la curva dei volumi e delle superfici.

Dati caratteristici delle opere di ritenuta	
Altezza della diga (altezza tra quota coronamento e punto più basso del piano di fondazione)	99.00 m
Quota coronamento	260.00 m s.l.m.
Sviluppo del coronamento	272.00 m
Volume del corpo diga	290'000 m <sup>3</sup>
Classifica	Diga muraria a volta ad arco-gravità (A.b.2)
Dati caratteristici dell'invaso	
Quota di massimo invaso	259.00 m s.l.m.
Superficie dello specchio liquido alla quota di massimo invaso	12'450 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso	347.00 Mm <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	320.00 Mm <sup>3</sup>
Volume di laminazione	15.00 Mm <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero (direttamente sotteso)	172.00 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di progetto	700 m <sup>3</sup> s

Tabella 43: Mulargia dati della diga e del serbatoio (fonte ENAS)

#### 4.5.2 Idrografia

Sono numerosi i corsi d'acqua che afferiscono direttamente all'invaso. Il principale è il Mulargia, che nasce sul monte Guzzini presso Nurri ed ha una lunghezza idrologica a monte della diga pari a 22 km. Gli altri corsi d'acqua significativi sono: Riu Maiori, Riu Uvinu, Riu Corongiu, Riu Norizzi, Riu Umbrarutta e Riu Meriagu.

<b>Area</b>	km <sup>2</sup>	181.830
<b>Perimetro</b>	km	72.227
<b>Quota max</b>	m s.l.m.	726.23
<b>Quota media</b>	m s.l.m.	434.02
<b>Quota sezione chiusura</b>	m s.l.m.	200.87
<b>Pendenza media versanti</b>	%	21.48
<b>Lunghezza idrologica asta principale</b>	km	21.75
<b>Pendenza media asta principale</b>	%	1.29
<b>Pendenza media reticolo</b>	%	6.00
<b>Densità di drenaggio</b>	km/km <sup>2</sup>	1.76

Tabella 44: Mulargia- Dati geomorfologici del bacino idrografico

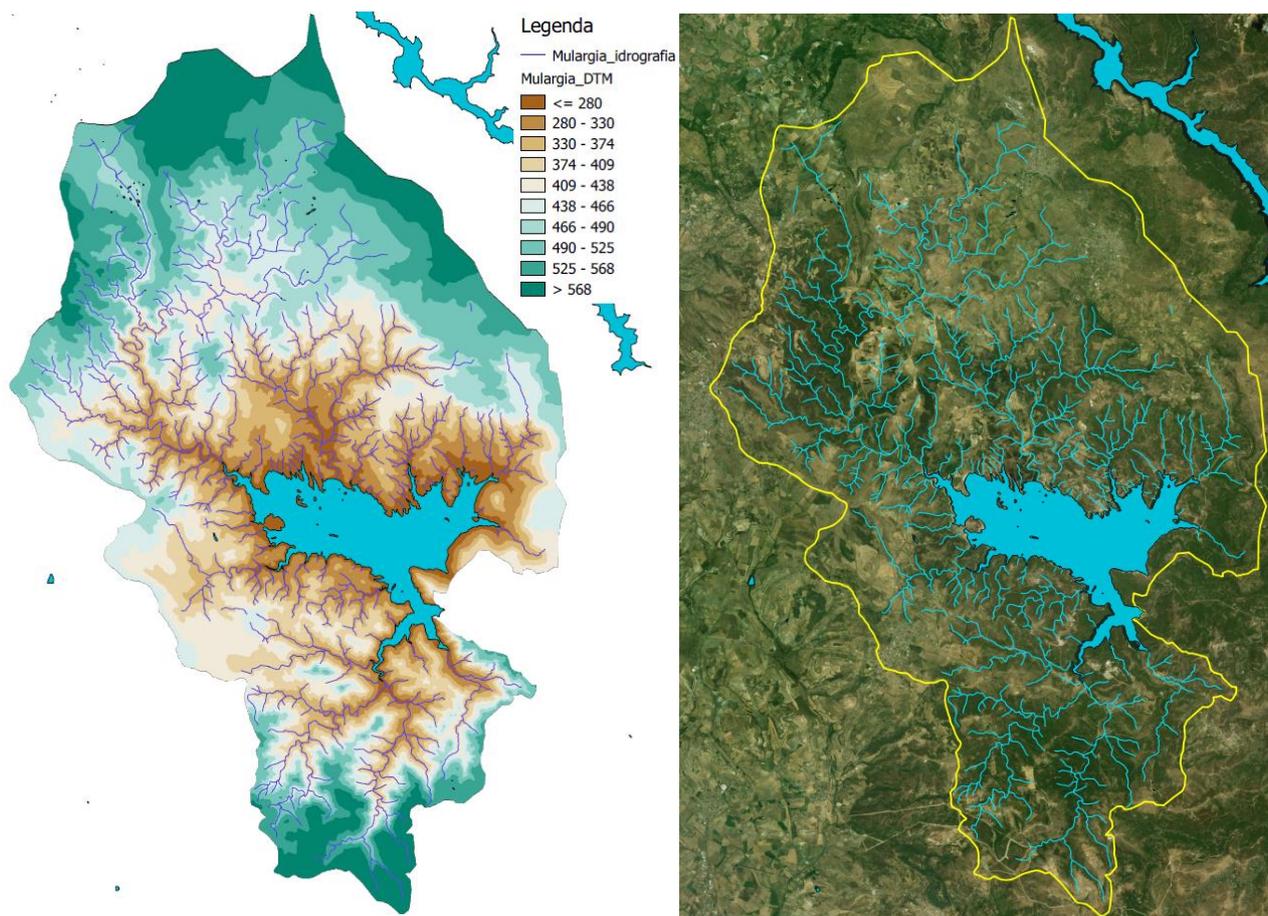


Figura 71: Reticolo idrografico ufficiale afferente al serbatoio Mulargia, relativo bacino idrografico e DTM

#### 4.5.3 Qualità delle acque

#### 4.5.4 BAU PRESSIU – DATI MISURE CEDOC E RAPPORTI DI PROVA DI ENAS-SQAE

La qualità delle acque dell'invaso Mulargia è stata valutata mediante un'elaborazione statistica su base stagionale delle serie storiche dal 2002 al 2012 fornite dal CEDOC e dai rapporti di prova 2016-2018 forniti da ENAS-SQAE. I parametri analizzati sono:

- Temperatura;
- pH;
- Conducibilità a 20°C;
- Fosforo totale;
- Azoto totale;
- Clorofilla "a".
- Alcalinità (solo per il periodo 2016-2018)

Poiché nella stessa sessione di misure a volte sono stati effettuati campionamenti a diverse profondità si è deciso in sede di elaborazioni statistiche di raggruppare le profondità di campionamento secondo quattro fasce: da 0 a 15 m, da 15 a 35 m, da 35 a 55 m e maggiore di 55 m.

Tabella 45: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Mulargia - dati CEDOC

### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Mulargia - analisi su periodo 2002-2012 CEDOC

Temperatura [°C]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 15 m	15.00	23.40	16.70	10.02
da 15 a 35 m	11.63	13.17	13.10	10.19
da 35 a 55 m	10.75	12.30	12.65	9.70
> 55 m	10.35	13.20	12.65	10.44

pH				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 15 m	8.19	7.91	7.99	7.95
da 15 a 35 m	7.76	7.11	7.39	7.78
da 35 a 55 m	7.73	7.01	7.40	7.77
> 55 m	7.65	6.92	7.44	7.70

Conducibilità a 20°C [µS/cm]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 15 m	299.00	311.00	291.50	298.67
da 15 a 35 m	279.00	302.33	259.00	300.67
da 35 a 55 m	291.75	285.50	266.00	297.33
> 55 m	291.75	264.00	276.50	269.50

Fosforo totale [µg/l]				
Profondità	stagione			
	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
da 0 a 15 m	16.84	23.50	5.50	12.00
da 15 a 35 m	12.00	39.00	6.50	13.34
da 35 a 55 m	14.85	33.50	34.00	42.00
> 55 m	22.05	22.00	65.50	17.00

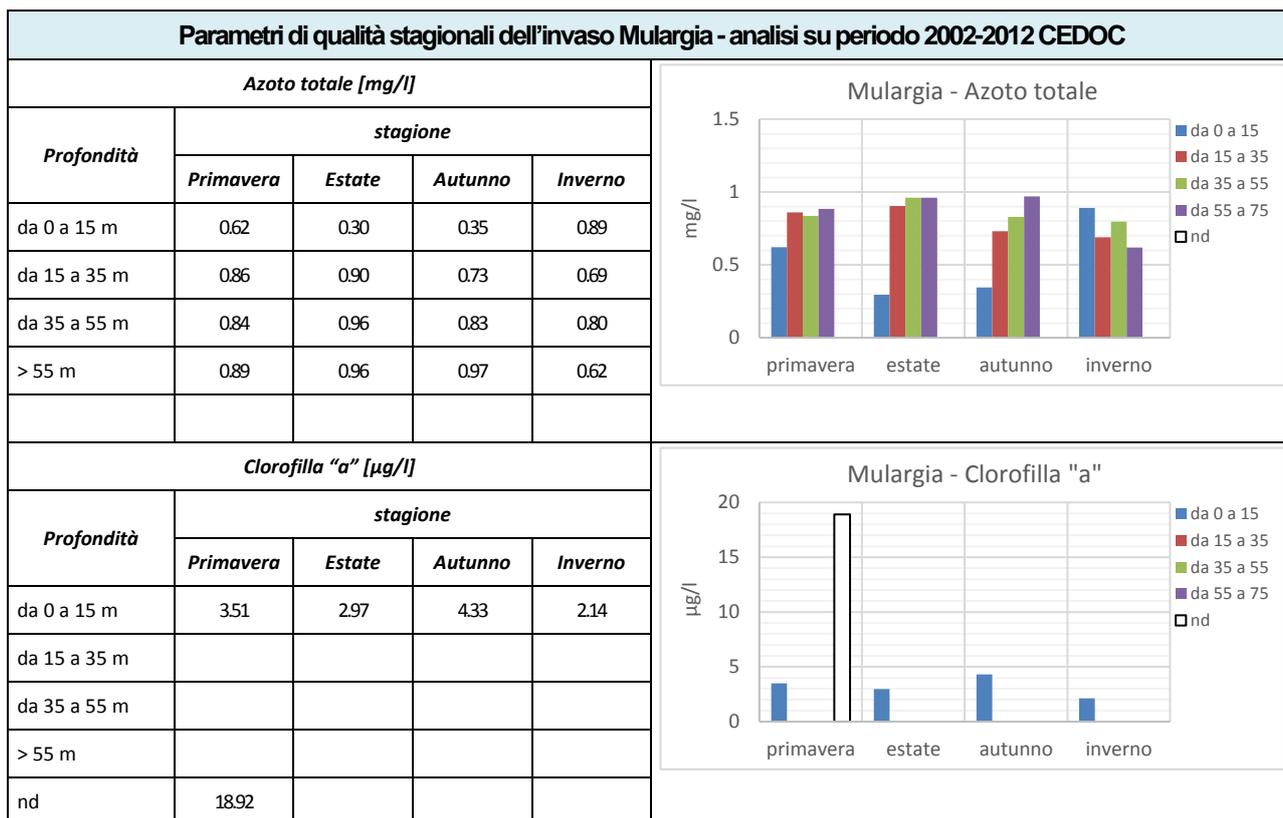
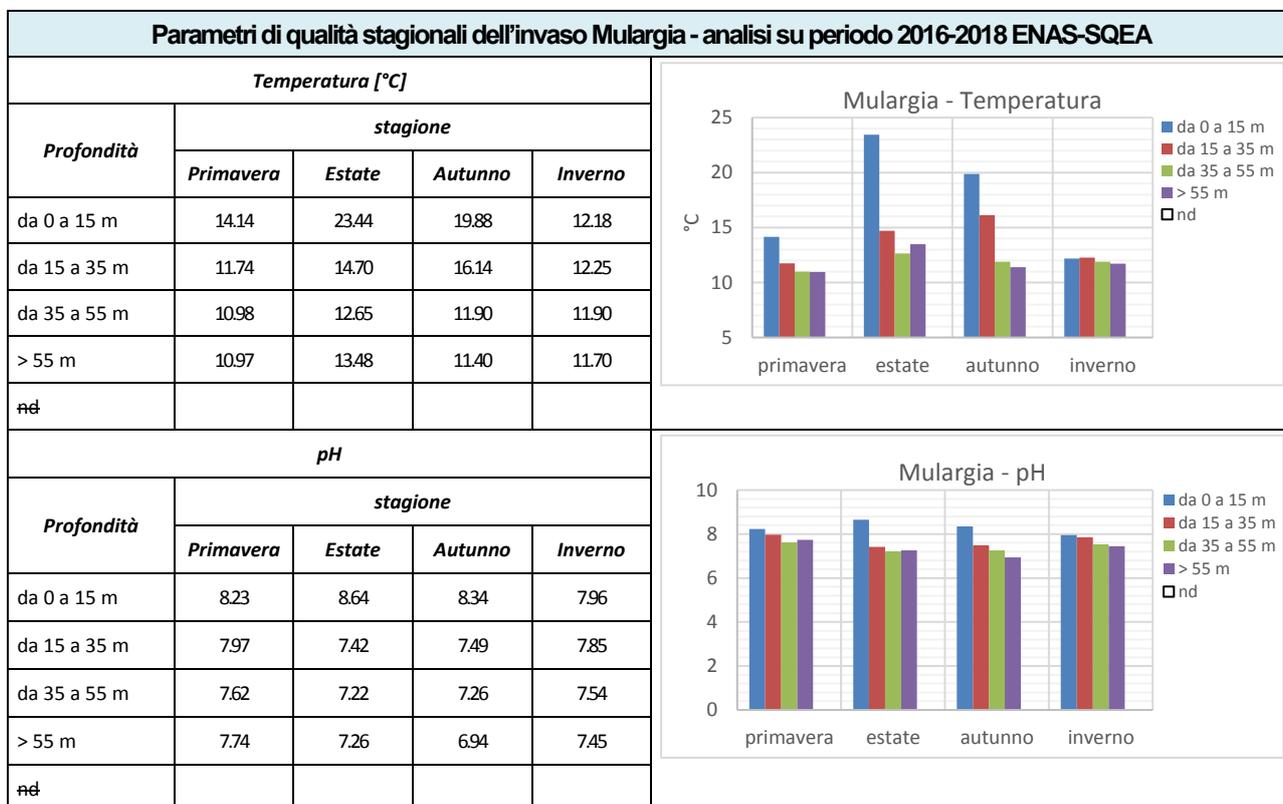
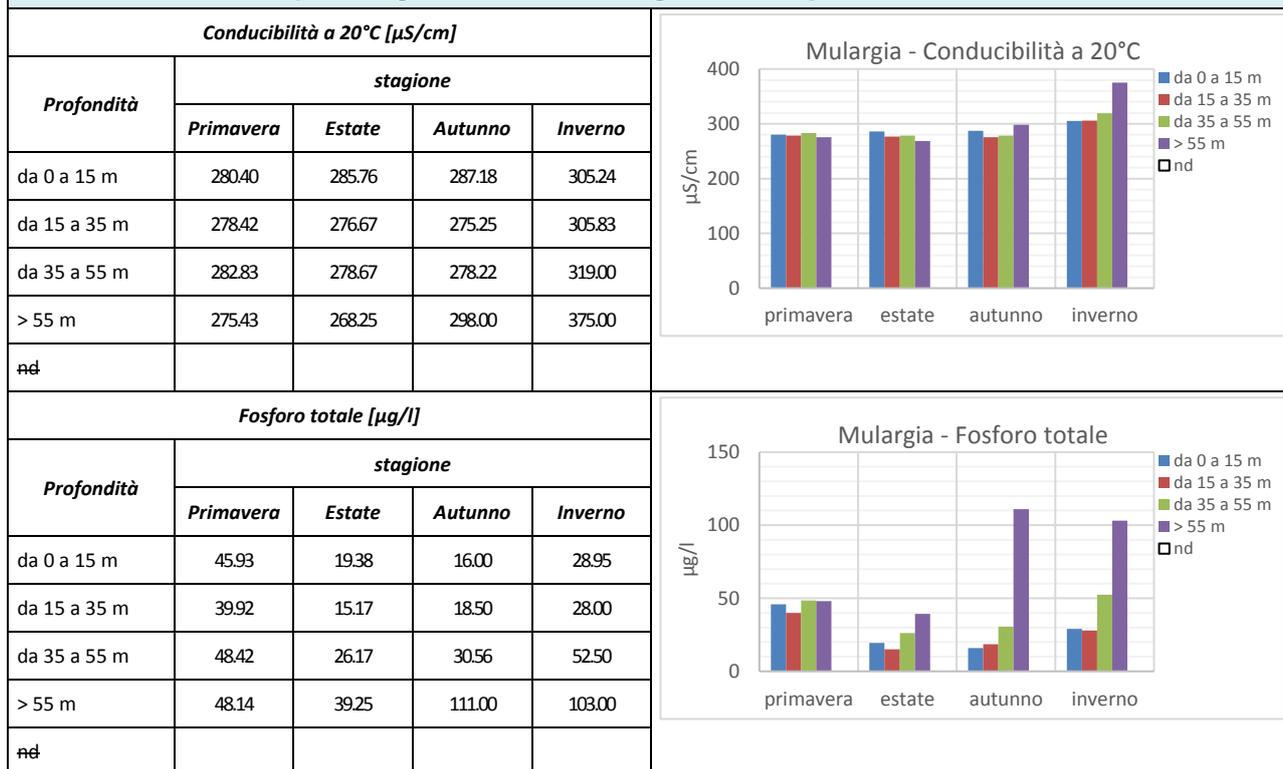


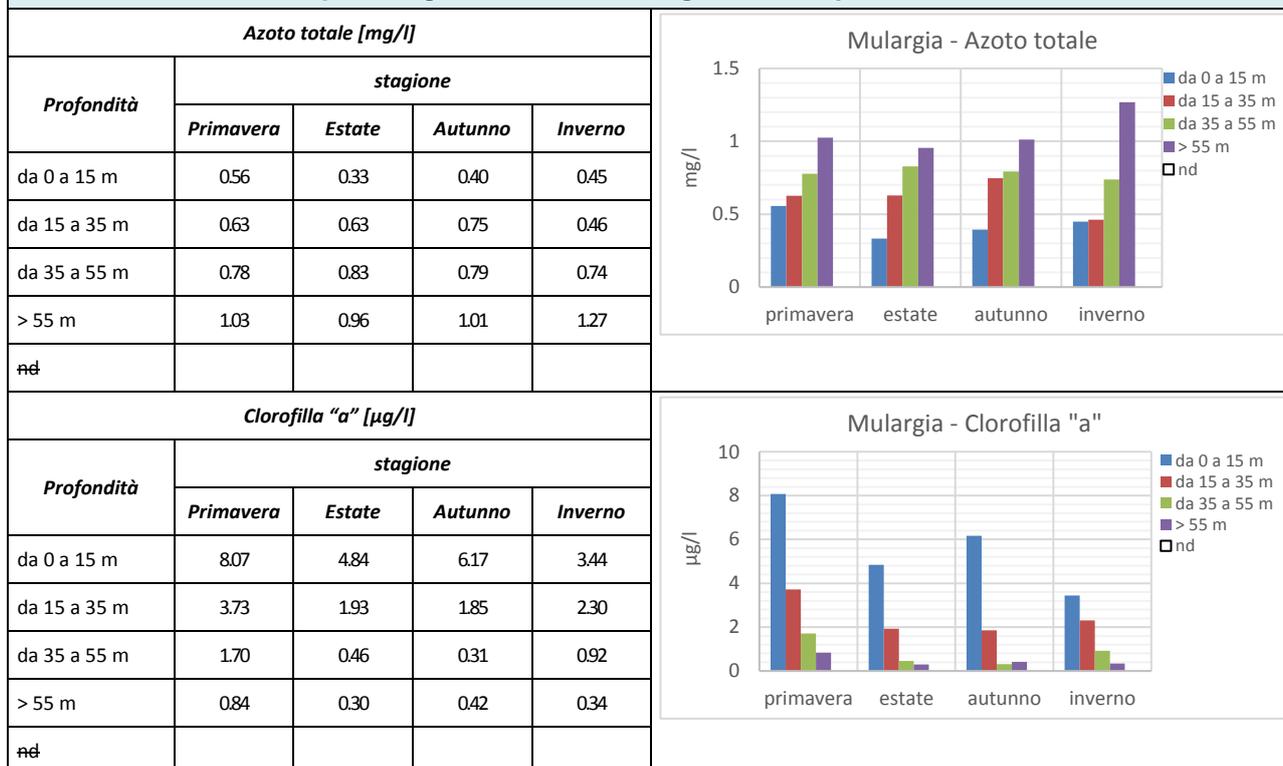
Tabella 46: Parametri di qualità stagionali dell'invaso Mulargia - dati ENAS-SQEA

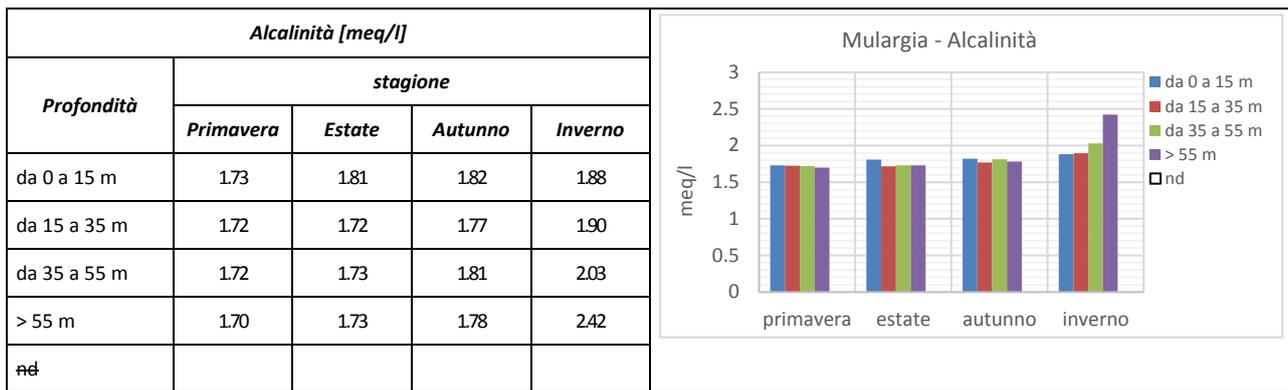


### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Mulargia - analisi su periodo 2016-2018 ENAS-SQEA



### Parametri di qualità stagionali dell'invaso Mulargia - analisi su periodo 2016-2018 CEDOC





#### 4.5.4.1 Mulargia – Elaborazioni del PTA

Considerando le tavole del PTA relativi al bacino del Mulargia si osserva un carico di fosforo e azoto di tipo medio sia per quanto riguarda la componente zootecnica che per quanto riguarda la componente agricola. La superficie SAU all'interno del bacino idrografico è pari a 9771 ha così ripartiti:

- 13 ha arboricoltura con essenze forestali di conifere;
- 1551 ha aree a pascolo naturale;
- 628 ha aree agroforestali;
- 415 ha aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 411 ha colture temporanee associate ad altre colture permanenti;
- 56 ha colture temporanee associate all'olivo;
- 6 ha frutteti e frutti minori;
- 94 ha oliveti;
- 1187 ha prati artificiali;
- 4342 ha seminativi in aree non irrigue;
- 504 ha sistemi colturali e particellari complessi;
- 298 ha sugherete;
- 267 ha vigneti.

Il fosforo annuo totale è pari 181.84 t mentre l'azoto totale è pari a 876.58 t.

L'invaso del Mulargia è classificato dal PTA come MESOTROFICO (si veda per completezza la Tabella 4), con nessun parametro avente livello di criticità A.

Tabella 47: Criticità, carico effettivo di P afferente, concentrazione di P "naturale" stimata con l'indice MEI e stato trofico del Mulargia (estratti dal PTA)

15	Flumendosa	0039	Fiume Flumendosa	LA4007	Lago Mulargia a Monte su Rei	00390805	3	B	C	D	C	1,3%	0,6%	59,4%	38,7%
				LA4008	Flumendosa a Nuraghe Arrubiu (Medio Flumendosa)	00390306	3	C	C	B	D	0,1%	0,0%	64,1%	35,8%
				LA4009	Flumendosa a Bau Muggeris (Alto Flumendosa)	00390307	3	C	C	D	B	0,0%	0,0%	58,6%	41,4%
				LA4042	Diga Flumineddu a Capanna	00390309	3	B	C	D	B	0,0%	0,0%	59,8%	40,2%
Codice lago	Nome lago					Conc P (µg/l) Alcal.	Stato trofico Alcal.				Stato trofico attuale				
LA4007	Lago Mulargia a Monte su Rei					51,24	EUTROFIA				MESOTROFI A				

Tabella 48: Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Mulargia secondo gli elaborati del PTA

Calcolo del fosforo e dell'azoto zootecnico ed agricolo nel bacino del Cixerri secondo gli elaborati del PTA			
Tavola del PTA Regione Sardegna	Parametro	Valori	Mappa
TAV 12c_carichi diffusi P zootecnico	Fosforo zootecnico	14.04 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 0.18 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 1.26 t/anno	
		58.78 km <sup>2</sup> con valori da 0.19 a 0.35 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 15.87 t/anno	
		109.02 km <sup>2</sup> con valori da 0.36 a 0.63 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 53.96 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 71.10 t/anno</b>	
TAV 12d_carichi diffusi N zootecnico	Azoto zootecnico	14.04 km <sup>2</sup> con valori da 0.00 a 1.01 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 7.09 t/anno	
		58.74 km <sup>2</sup> con valori da 1.02 a 1.89 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 85.46 t/anno	
		109.06 km <sup>2</sup> con valori da 1.9 a 3.27 t/anno/km <sup>2</sup> ; Valore medio: 281.91 t/anno	
		<b>Valore medio totale: 374.46 t/anno</b>	
TAV 12e_carichi diffusi P agricolo	Fosforo agricolo	5530 ha con valori da 16 a 20 kg/ha/anno; Valore medio: 99.54 t/anno	
		4200 ha con valori da 20 a 25 kg/ha/anno; Valore medio: 94.51 t/anno	
		3 ha con valori da 25 a 30 kg/ha/anno; Valore medio: 0.09 t/anno	
		37 ha con valori da 30 a 40 kg/ha/anno; Valore medio: 1.30 t/anno	
		<b>SAU totale: 9771 ha</b> <b>Valore medio totale: 195.44 t/anno</b>	
TAV 12f_carichi diffusi N agricolo	Azoto agricolo	196 ha con valori da 20 a 40 kg/ha/anno; Valore medio: 5.87 t/anno	
		8748 ha con valori da 40 a 60 kg/ha/anno; Valore medio: 437.38 t/anno	
		791 ha con valori da 60 a 80 kg/ha/anno; Valore medio: 55.34 t/anno	
		37 ha con valori da 80 a 110 kg/ha/anno; Valore medio: 3.53 t/anno	
		<b>SAU totale: 9971 ha</b> <b>Valore medio totale: 502.12 t/anno</b>	
TAV 14_Classificazione corpi idrici	Classificazione ecologica	L'invaso Mulargia è classificato come MESOTROFICO	

## 5 ANALISI DELLO STATO ATTUALE DEGLI INVASI

### 5.1 METODOLOGIA DI ANALISI

La caratterizzazione delle acque degli invasi è stata effettuata attraverso l'analisi dell'evoluzione mensile dei valori del fosforo totale condotta utilizzando il modello globale di Jensen (Capitolo 2.5) applicato alle condizioni attuali (Scenario 0). Per condizioni attuali si intendono quelle afferenti agli apporti idrici agli invasi derivanti dalle precipitazioni sul bacino proprio con la loro caratterizzazione qualitativa derivante dalle misure storiche di qualità disponibili rilevate dai sistemi di monitoraggio. I parametri dei singoli modelli globali sono stati calibrati sulla base del fosforo totale misurato.

I corsi d'acqua per i quali è disponibile il fosforo totale sono il Riu Mannu di Villaperuccio ed il Riu Mannu di Santadi che alimentano l'invaso di Monte Pranu, ed il Riu Cixerri a Siliqua che alimenta l'omonimo invaso.

Esaminando la correlazione tra il fosforo totale medio mensile misurato e la portata media mensile idrologica (determinata nel Capitolo 4) è possibile ottenere la retta di regressione. Dall'analisi è stato escluso il Riu Mannu di Santadi in quanto avente caratteristiche qualitative diverse dagli altri corsi d'acqua esaminati.

La correlazione, riportata in Figura 72, evidenzia una notevole dispersione nelle portate basse ma la distribuzione tra i valori è equamente ripartita, per cui la retta di regressione ne rappresenta ragionevolmente uno stato medio. Al crescere della portata si nota una lieve convergenza verso valori crescenti di fosforo. La correlazione è fortemente limitata dall'esiguo numero di dati disponibili ma si ritiene comunque accettabile per una valida implementazione dei modelli Jensen.

In assenza di informazioni qualitative e quantitative su ulteriori corsi d'acqua, la regressione è stata adottata anche per gli altri invasi oggetto di studio (Bau Pressiu e Medau Zirimiis).

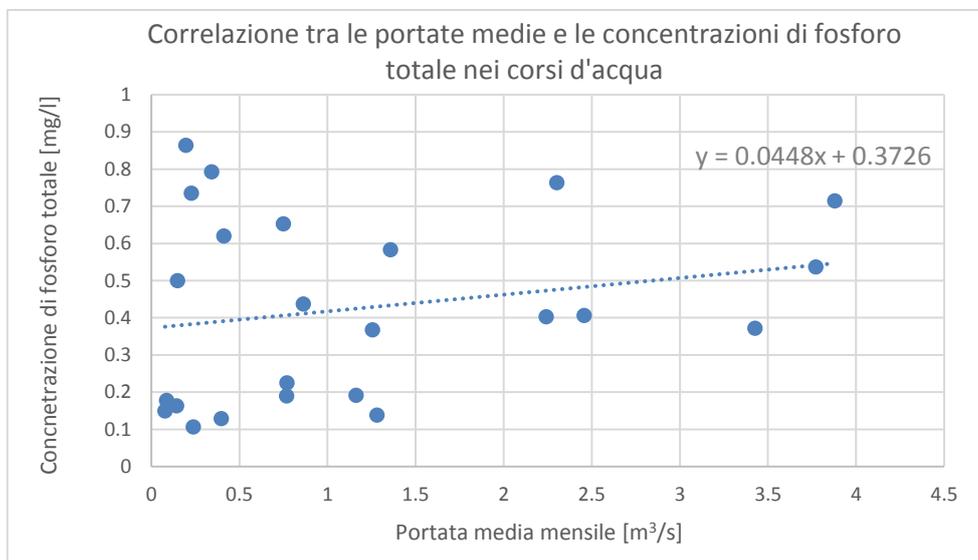


Figura 72: Correlazione tra portata media mensile idrologica e fosforo totale nei corsi d'acqua

Il modello di Jensen è stato applicato agli invasi Bau Pressiu, Medau Zirimiis, Monte Pranu e Cixerri. I dati in ingresso rappresentano gli afflussi medi mensili ed il relativo fosforo totale, la temperatura media mensile e le caratteristiche dell'invaso. Il modello è stato applicato ricorsivamente per diverse volte, al fine di ottenere una condizione di stazionarietà rappresentativa.

Per poter caratterizzare al meglio la variazione spaziale di fosforo totale misurato e di temperatura misurata, si è scelto di attribuire alle diverse fasce di profondità un "peso" correlato al volume d'acqua contenuto nella fascia stessa, sulla base del quale effettuare una

media pesata su scala stagionale. Questo calcolo si è reso necessario in quanto il modello Jensen caratterizza la geometria dell'invaso esclusivamente con un unico valore di volume e di superficie liquida.

I parametri sono stati calibrati al fine di ottenere la miglior rispondenza tra fosforo totale calcolato e misurato su base stagionale.

Per quanto riguarda la qualità degli invasi Mulargia e Casa Fiume, in relazione alla predominanza degli apporti idrici derivanti dalle interconnessioni tra gli invasi, si è fatto riferimento sia alle misure di monitoraggio disponibili che alle valutazioni in merito agli scenari di miscelazione delle acque già elaborati nell'ambito delle precedenti analisi propedeutiche illustrate nei rapporti denominati "D5 - Rapporto preliminare sulla evoluzione della qualità delle acque a seguito della interconnessione tra invasi" (redatto da ENAS nel Febbraio 2016) e "Integrazioni alle considerazioni preliminari, di cui all'allegato D5 dello studio di fattibilità tecnico-economica, sulla possibile evoluzione della qualità delle acque a seguito degli interventi di interconnessione tra invasi", redatto da ENAS nell'ottobre 2017.

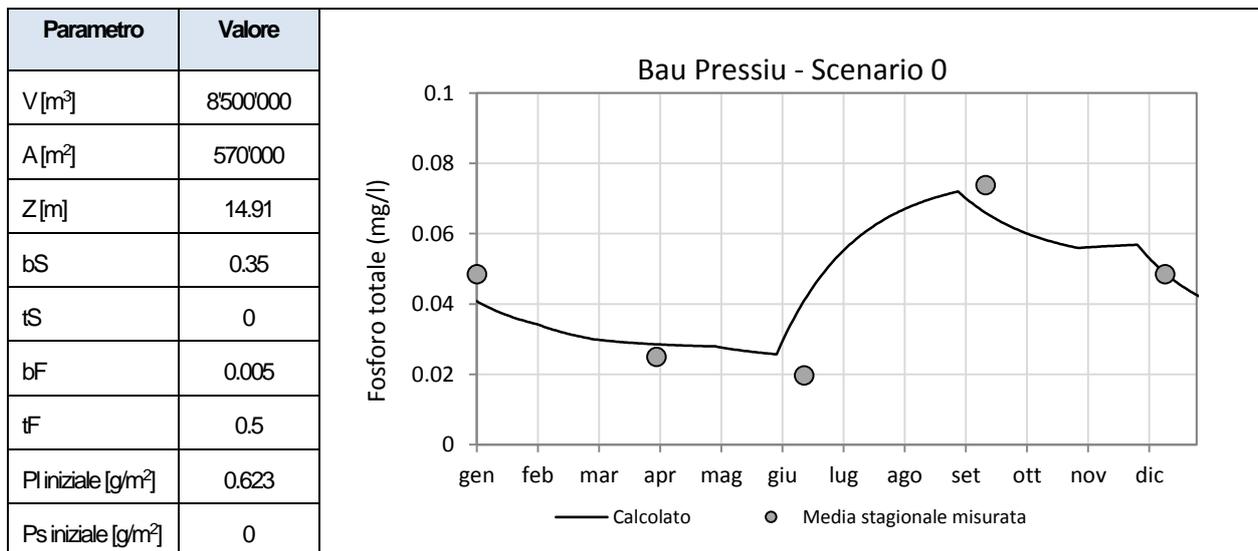
Infine, il capitolo 5.8 riporta i risultati delle elaborazioni dei dati di monitoraggio disponibili relativi alle concentrazioni della biomassa totale e delle biomasse cianobatteriche. In particolare, le elaborazioni hanno avuto lo scopo di evidenziare le possibili correlazioni tra le concentrazioni relative delle biomasse cianobatteriche rispetto al totale del fitoplancton con i principali parametri chimico-fisici indici di qualità degli invasi, quali il fosforo totale, l'azoto totale, il rapporto tra questi due (TN/TP), la profondità e la clorofilla.

## 5.2 INVASO DI BAU PRESSIU

La caratterizzazione della dinamica evolutiva della qualità delle acque dell'invaso di Bau Pressiu nello stato attuale (denominato scenario 0) è stata effettuata sulla base delle precedenti elaborazioni dei dati di monitoraggio disponibili afferenti al parametro di fosforo totale ed utilizzando quale strumento modellazione il modello globale di Jensen.

L'invaso del Bau Pressiu è caratterizzato da un basso valore di fosforo totale medio nei mesi primaverili ed estivi, mentre valori decisamente maggiori si riscontrano in autunno e inverno (in corrispondenza delle maggiori portate). L'escursione di fosforo totale modellato è tra 25 µg/l e 70 µg/l, mentre la portata idrologica spazia tra 0.011 m³/s e 0.25 m³/s.

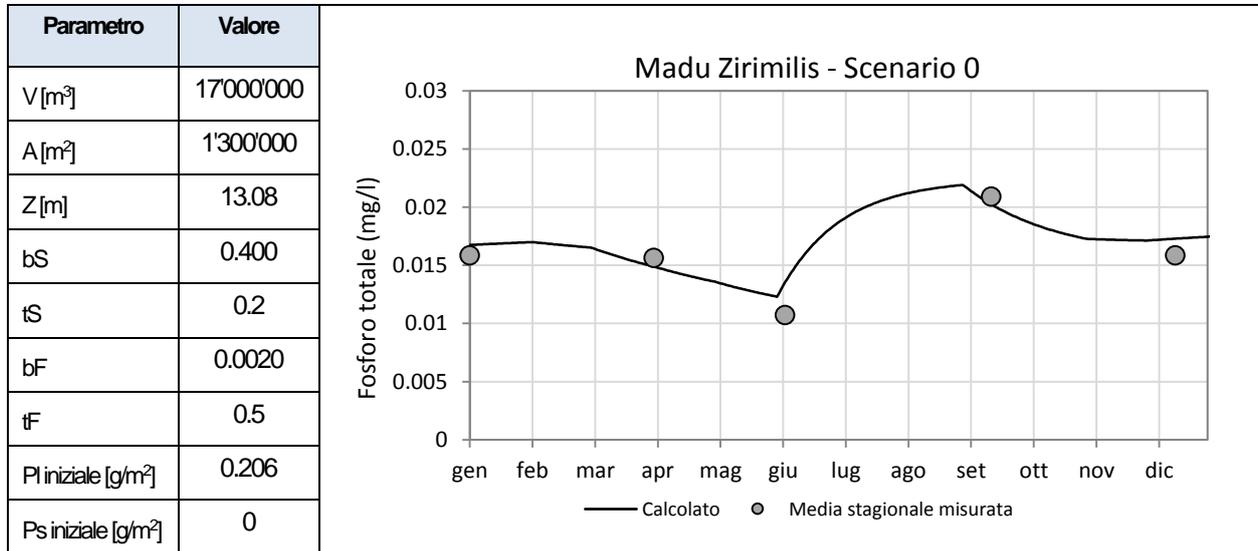
Tabella 49: Bau Pressiu – Scenario 0, parametri del modello Jensen e andamento del fosforo totale



### 5.3 INVASO MEDAU ZIRIMILIS

L'invaso del Medau Zirimilis è caratterizzato da valori di fosforo pressoché costanti durante l'anno. L'escursione di fosforo totale modellato è tra 12 µg/l e 22 µg/l, mentre la portata idrologica spazia tra 0.003 m³/s e 0.16 m³/s.

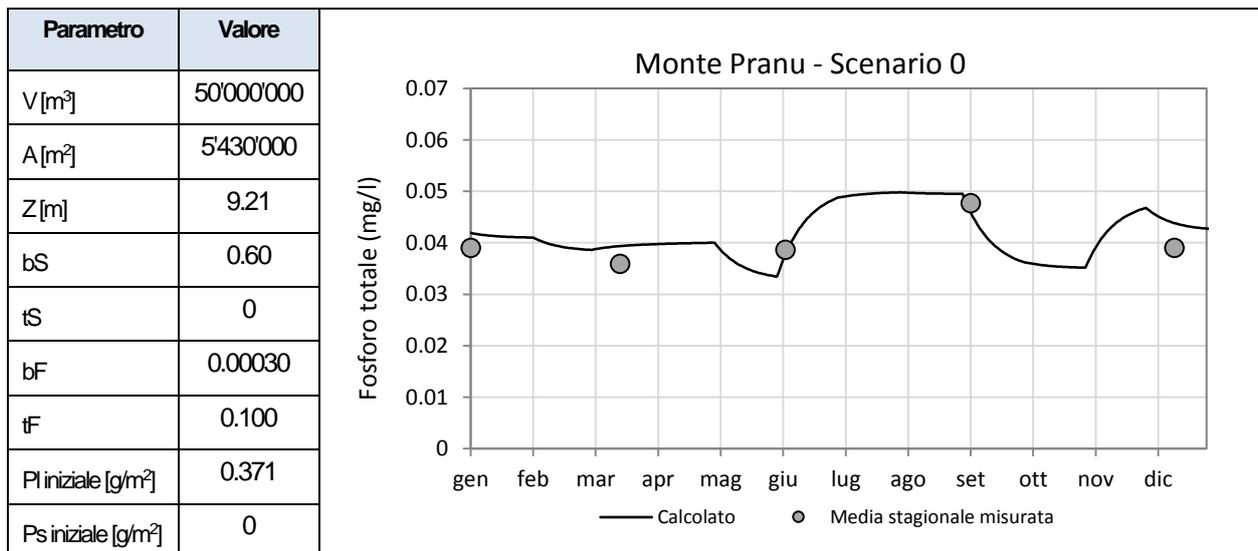
Tabella 50: Medau Zirimilis – Scenario 0, parametri del modello Jensen e andamento del fosforo totale



### 5.4 INVASO DI MONTE PRANU

L'invaso del Monte Pranu è caratterizzato da valori di fosforo pressoché costanti durante l'anno. L'escursione di fosforo totale modellato è tra 33 µg/l e 50 µg/l, mentre la portata idrologica spazia tra 0.22 m³/s e 3.65 m³/s.

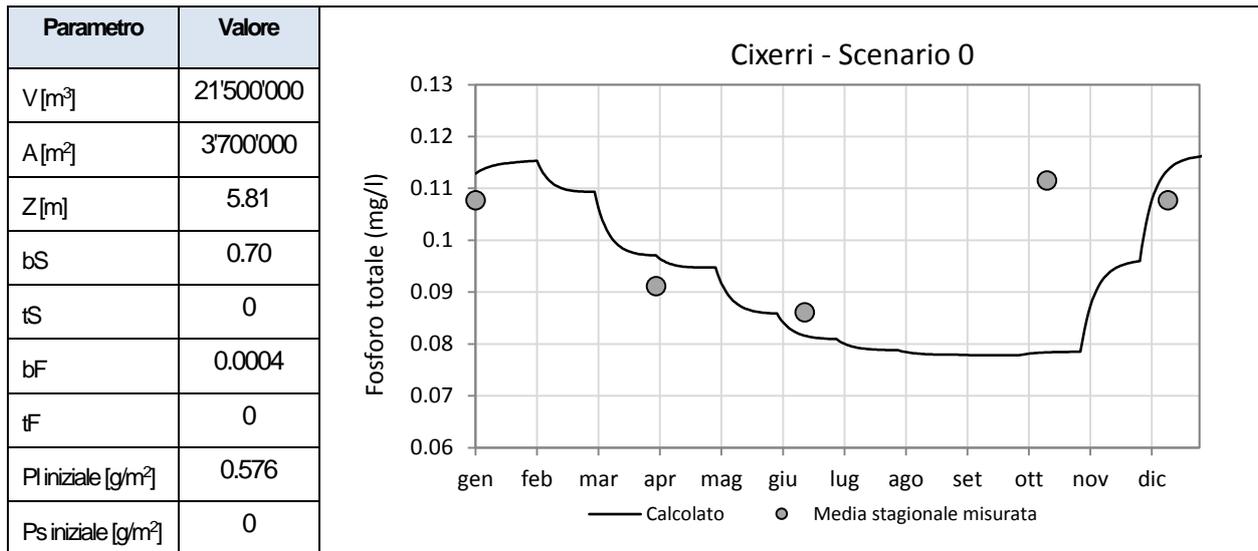
Tabella 51: Monte Pranu – Scenario 0, parametri del modello Jensen e andamento del fosforo totale



## 5.5 INVASO DI CIXERRI

L'invaso del Cixerri è caratterizzato da valori di fosforo più bassi nei mesi primaverili ed estivi e più elevati nel resto dell'anno, specialmente in autunno. In generale si osservano valori significativi di fosforo totale, confermati anche dallo stato ipertrofico con cui l'invaso è classificato dal PTA. L'escursione di fosforo totale modellato è tra 80 µg/l e 115 µg/l, mentre la portata idrologica spazia tra 0.21 m<sup>3</sup>/s e 4.22 m<sup>3</sup>/s.

Tabella 52: Cixerri – Scenario 0, parametri del modello Jensen e andamento del fosforo totale



## 5.6 INVASO MULARGIA

Per quanto riguarda la caratterizzazione dell'invaso Mulargia, in assenza del modello idrologico, si fa riferimento al fosforo totale medio stagionale misurato ottenuto da una media pesata su diverse fasce di profondità. Osservando i valori si nota una certa stazionarietà annuale che si attesta su valori piuttosto bassi, con oscillazioni tra 26 µg/l e 32 µg/l, in linea con la classificazione mesotrofica del PTA.

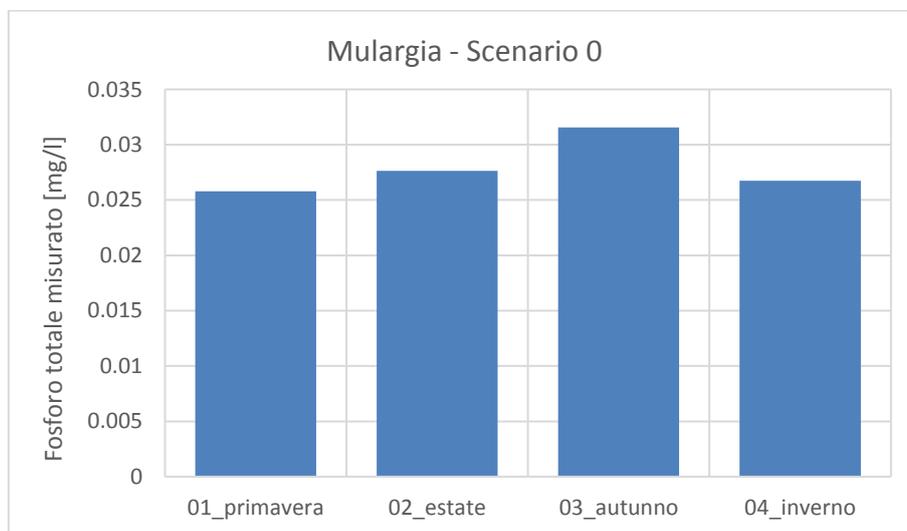


Figura 73: Mulargia – Scenario 0, andamento del fosforo totale medio mensile

## 5.7 INVASO DI CASA FIUME

L'invaso di Casa Fiume non è stato approfondito in questo studio e la sua caratterizzazione di qualità è ottenuta da quanto elaborato nel documento avente titolo: *“Integrazioni alle considerazioni preliminari, di cui all'allegato D5 dello studio di fattibilità tecnico-economica, sulla possibile evoluzione della qualità delle acque a seguito degli interventi di interconnessione tra invasi”*, redatto nell'ottobre 2017 dal Dott. Biol. Paola Buscarinu e dal Dott. Chim. Paola Pin nell'ambito dello SdF per l'“Interconnessione dei sistemi idrici, collegamento Tirso-Flumendosa 4°lotto, collegamento Sulcis-Iglesiente”.

Nel suddetto elaborato è stato ricostruito l'andamento del fosforo totale medio mensile in corrispondenza della traversa di Casa Fiume nelle condizioni attuali (Scenario 0). Osservando il grafico si nota una forte escursione tra i mesi invernali-primaverili ed i mesi estivi-autunnali. Il valore massimo si realizza a gennaio con 143 µg/l, mentre il minimo è luglio (36 µg/l). Dal sopraccitato studio emerge che l'andamento del fosforo totale è strettamente correlato agli apporti del Riu Mannu.

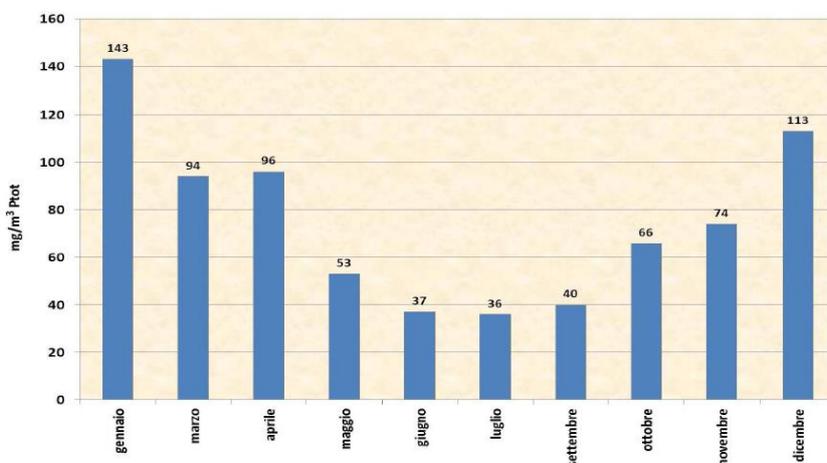


Figura 74: Casa Fiume – Scenario 0, andamento del fosforo totale medio mensile (fonte: *“Integrazioni alle considerazioni preliminari, di cui all'allegato D5 dello studio di fattibilità tecnico-economica, sulla possibile evoluzione della qualità delle acque a seguito degli interventi di interconnessione tra invasi”*, 10/2017)

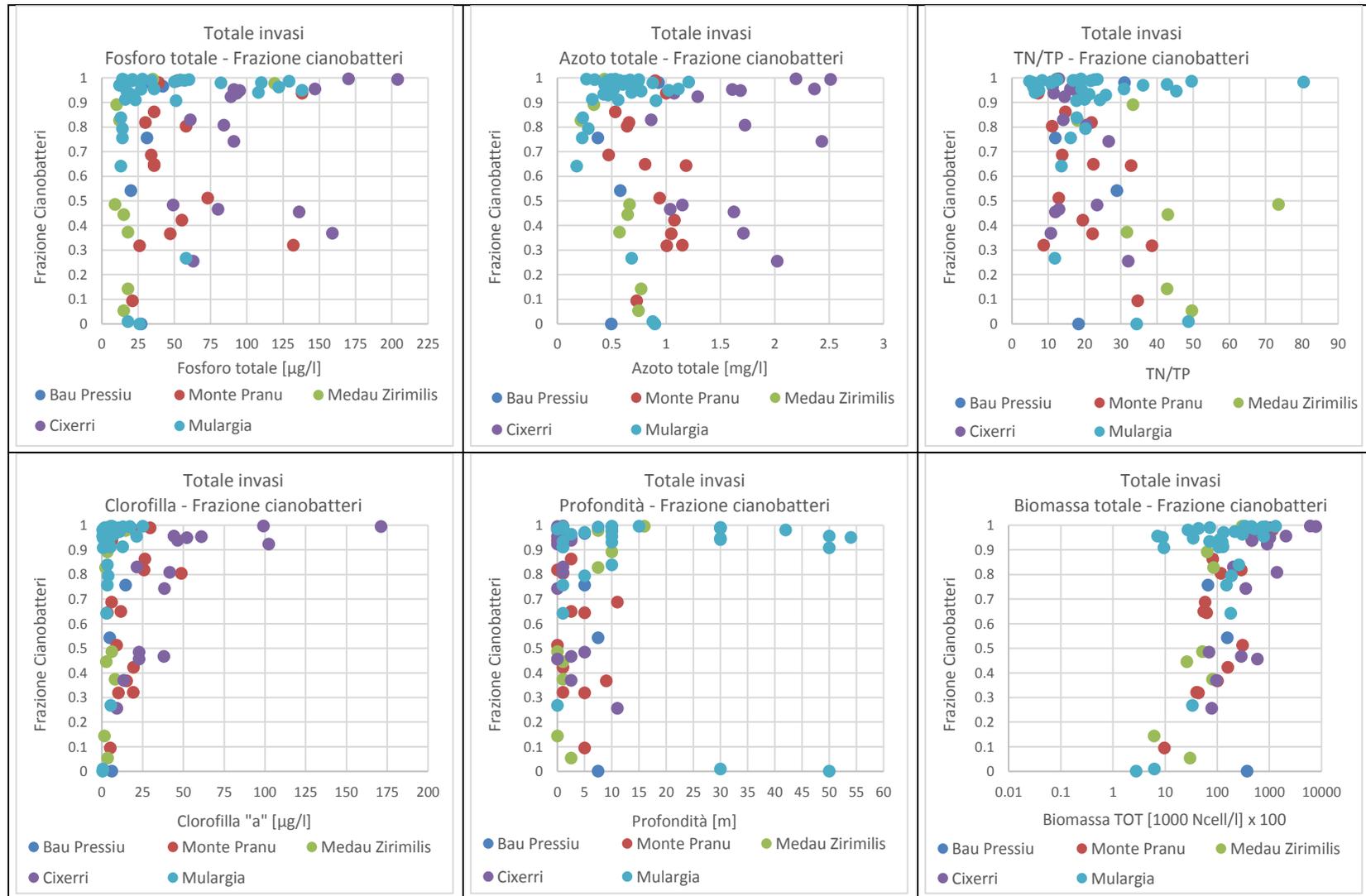
## 5.8 ANALISI DELLE PRESENZE DI BIOMASSE CIANOBATTERICHE

In Tabella 53 sono riportati i grafici di correlazione tra la frazione di cianobatteri (come rapporto tra la biomassa cianobatterica e la biomassa totale) ed i principali parametri chimico-fisico-biologici degli invasi. I dati utilizzati per l'analisi sono relativi alle misure ENAS-SQEA.

Si riportano di seguito le principali osservazioni sulle distribuzioni ottenute.

- Nell'invaso del Mulargia la densità relativa di cianobatteri rispetto alla biomassa totale è o nulla o pressoché totale, a differenza degli altri invasi in cui è stato misurato una maggior variabilità.
- Al netto dell'invaso Mulargia, il rapporto TN/TP evidenzia che a fronte di una sua crescita tende a ridursi la frazione di cianobatteri.
- Valori di clorofilla oltre i 50 µg/l sono associati ad un'elevata presenza di cianobatteri, al di sotto invece la presenza è più “casuale”. Al netto dell'invaso del Mulargia, al crescere della biomassa assoluta cresce anche la presenza di cianobatteri.

Tabella 53: Analisi dei dati relativi alla frazione di cianobatteri in funzione dei principali parametri chimico-fisici degli invasi.



## 6 ANALISI DELL'EVOLUZIONE TROFICA PREVEDIBILE A SEGUITO DEI TRASFERIMENTI IDRICI

L'evoluzione di fosforo totale a seguito del trasferimento tra gli invasi è ottenuta applicando ai modelli Jensen relativi allo Scenario 0 delle nuove condizioni al contorno che riguardano il volume affluito e la relativa concentrazione, mantenendo stabili le variazioni stagionali di temperatura negli invasi.

Alla luce delle evoluzioni di fosforo totale negli stati di progetto è possibile valutare come i trasferimenti modifichino le condizioni di trofia naturali

Gli invasi oggetto di studio sono il Bau Pressiu ed il Medau Zirimilis, mentre gli invasi da cui si preleva l'acqua sono il Monte Pranu, il Mulargia, il Cixerri e Casa Fiume.

Come sarà visibile nei capitoli successivi, volumi d'acqua da trasferire sono assai maggiori dell'apporto naturale: infatti al Bau Pressiu affluisce un volume naturale pari a circa 3,2 Mm<sup>3</sup>, mentre i volumi da trasferire spaziano da circa 6,2 Mm<sup>3</sup> fino a 16 Mm<sup>3</sup>. Stesso discorso vale per il Medau Zirimilis, che possiede un afflusso naturale di circa 1,9 Mm<sup>3</sup> a fronte di 14,8 Mm<sup>3</sup> da trasferire.

### 6.1 SCENARI DI TRASFERIMENTO TRA GLI INVASI

Si riporta nella Tabella 53 un prospetto che evidenzia i possibili trasferimenti tra gli invasi, precisando che le variabili fisiche sono analizzate e ripartite su scala mensile. In assenza di informazioni aggiuntive, il volume trasferito è ripartito in modo uniforme nei mesi adibiti al trasferimento e la portata è considerata costante. La concentrazione mensile di fosforo totale nello stato progetto è data da una media pesata con le rispettive portate.

Gli scenari di trasferimento idrico analizzati sono sintetizzati nella tabella seguente:

Invaso	Codice scenario	Volumi trasferiti
Bau Pressiu	Scenario 1	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto.
Bau Pressiu	Scenario 2A	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.
Bau Pressiu	Scenario 2B	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.
Bau Pressiu	Scenario 2C-1	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.
Bau Pressiu	Scenario 2C-2	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.
Bau Pressiu	Scenario 3A	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.
Bau Pressiu	Scenario 3B	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.
Bau Pressiu	Scenario 3C-1	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.
Medau Zirimilis	Scenario 3C-2	Trasferimento di 6,22 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.

---

Medau Zirimitis	Scenario 1A	Trasferimento di 14,8 Mm3 dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.
Medau Zirimitis	Scenario 1B	Trasferimento di 14,8 Mm3 dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.
Medau Zirimitis	Scenario 1C-1	Trasferimento di 14,8 Mm3 dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.
Medau Zirimitis	Scenario 1C-2	Trasferimento di 14,8 Mm3 dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.

Tabella 54: Sintesi sui trasferimenti tra gli invasi analizzati.

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
BAU PRESSIU	Scenario 1	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto.	Gen	0.233	0.330	0.563	Gen	0.383	0.183
			Feb	0.197	0.276	0.472	Feb	0.381	0.182
			Mar	0.122	0.367	0.488	Mar	0.378	0.124
			Apr	0.121	0.367	0.487	Apr	0.378	0.124
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.000	0.145	Nov	0.379	0.379
			Dic	0.249	0.000	0.249	Dic	0.384	0.384
			BAU PRESSIU	Scenario 2A	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm³ dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.	Gen	0.233	0.940	1.173
Feb	0.197	0.886				1.082	Feb	0.381	0.142
Mar	0.122	0.976				1.098	Mar	0.378	0.110
Apr	0.121	0.976				1.097	Apr	0.378	0.108
Mag	0.064	0.367				0.430	Mag	0.375	0.086
Giu	0.038	0.367				0.405	Giu	0.374	0.074
Lug	0.023	0.224				0.246	Lug	0.374	0.079
Ago	0.014	0.077				0.091	Ago	0.373	0.098
Set	0.011	0.000				0.011	Sett	0.373	0.373
Ott	0.018	0.000				0.018	Ott	0.373	0.373
Nov	0.145	0.610				0.755	Nov	0.379	0.147
Dic	0.249	0.610				0.859	Dic	0.384	0.190

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
BAU PRESSIU	Scenario 2B	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm³ dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	0.940	1.173	Gen	0.383	0.102
			Feb	0.197	0.886	1.082	Feb	0.381	0.094
			Mar	0.122	0.976	1.098	Mar	0.378	0.069
			Apr	0.121	0.976	1.097	Apr	0.378	0.069
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.610	0.755	Nov	0.379	0.098
			Dic	0.249	0.610	0.859	Dic	0.384	0.130
BAU PRESSIU	Scenario 2C-1	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm³ dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	0.940	1.173	Gen	0.383	0.162
			Feb	0.197	0.886	1.082	Feb	0.381	0.146
			Mar	0.122	0.976	1.098	Mar	0.378	0.107
			Apr	0.121	0.976	1.097	Apr	0.378	0.108
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.610	0.755	Nov	0.379	0.133
			Dic	0.249	0.610	0.859	Dic	0.384	0.192

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
BAU PRESSIU	Scenario 2C-2	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 9,8 Mm³ dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	0.330	0.563	Gen	0.383	0.183
			Feb	0.197	0.276	0.472	Feb	0.381	0.182
			Mar	0.122	0.367	0.488	Mar	0.378	0.124
			Apr	0.121	0.367	0.487	Apr	0.378	0.124
			Mag	0.064	0.976	1.040	Mag	0.375	0.067
			Giu	0.038	0.976	1.014	Giu	0.374	0.052
			Lug	0.023	0.833	0.856	Lug	0.374	0.048
			Ago	0.014	0.687	0.701	Ago	0.373	0.046
			Set	0.011	0.610	0.621	Sett	0.373	0.046
			Ott	0.018	0.610	0.628	Ott	0.373	0.075
			Nov	0.145	0.000	0.145	Nov	0.379	0.379
			Dic	0.249	0.000	0.249	Dic	0.384	0.384
BAU PRESSIU	Scenario 3A	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm³ dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	1.326	1.559	Gen	0.383	0.139
			Feb	0.197	1.271	1.468	Feb	0.381	0.134
			Mar	0.122	1.362	1.484	Mar	0.378	0.108
			Apr	0.121	1.362	1.483	Apr	0.378	0.105
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.996	1.141	Nov	0.379	0.128
			Dic	0.249	0.996	1.245	Dic	0.384	0.166

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
BAU PRESSIU	Scenario 3B	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm³ dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	1.326	1.559	Gen	0.383	0.083
			Feb	0.197	1.271	1.468	Feb	0.381	0.077
			Mar	0.122	1.362	1.484	Mar	0.378	0.058
			Apr	0.121	1.362	1.483	Apr	0.378	0.058
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.996	1.141	Nov	0.379	0.076
			Dic	0.249	0.996	1.245	Dic	0.384	0.098
BAU PRESSIU	Scenario 3C-1	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm³ dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	1.326	1.559	Gen	0.383	0.157
			Feb	0.197	1.271	1.468	Feb	0.381	0.139
			Mar	0.122	1.362	1.484	Mar	0.378	0.104
			Apr	0.121	1.362	1.483	Apr	0.378	0.105
			Mag	0.064	0.367	0.430	Mag	0.375	0.086
			Giu	0.038	0.367	0.405	Giu	0.374	0.074
			Lug	0.023	0.224	0.246	Lug	0.374	0.079
			Ago	0.014	0.077	0.091	Ago	0.373	0.098
			Set	0.011	0.000	0.011	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.018	0.000	0.018	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.145	0.996	1.141	Nov	0.379	0.113
			Dic	0.249	0.996	1.245	Dic	0.384	0.167

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Imnessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
BAU PRESSIU	Scenario 3C-2	Trasferimento di 6,22 Mm³ dall'invaso Monte Pranu nel periodo gennaio-agosto e trasferimento di 16 Mm³ dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.	Mese	Scenario 0	Imnessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.233	0.330	0.563	Gen	0.383	0.183
			Feb	0.197	0.276	0.472	Feb	0.381	0.182
			Mar	0.122	0.367	0.488	Mar	0.378	0.124
			Apr	0.121	0.367	0.487	Apr	0.378	0.124
			Mag	0.064	1.362	1.426	Mag	0.375	0.063
			Giu	0.038	1.362	1.400	Giu	0.374	0.048
			Lug	0.023	1.219	1.242	Lug	0.374	0.045
			Ago	0.014	1.073	1.086	Ago	0.373	0.043
			Set	0.011	0.996	1.007	Sett	0.373	0.044
			Ott	0.018	0.996	1.014	Ott	0.373	0.072
			Nov	0.145	0.000	0.145	Nov	0.379	0.379
			Dic	0.249	0.000	0.249	Dic	0.384	0.384
MEDAU ZIRIMILIS	Scenario 1A	Trasferimento di 14,8 Mm³ dall'invaso Cixerri nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Imnessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.155	0.921	1.076	Gen	0.380	0.153
			Feb	0.122	0.921	1.043	Feb	0.378	0.142
			Mar	0.075	0.921	0.996	Mar	0.376	0.121
			Apr	0.062	0.921	0.983	Apr	0.375	0.113
			Mag	0.037	0.000	0.037	Mag	0.374	0.374
			Giu	0.020	0.000	0.020	Giu	0.374	0.374
			Lug	0.011	0.000	0.011	Lug	0.373	0.373
			Ago	0.006	0.000	0.006	Ago	0.373	0.373
			Set	0.003	0.000	0.003	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.005	0.000	0.005	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.068	0.921	0.989	Nov	0.376	0.111
			Dic	0.160	0.921	1.081	Dic	0.380	0.151

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m³/s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
MEDAU ZIRIMILIS	Scenario 1B	Trasferimento di 14,8 Mm³ dall'invaso Mulargia nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.155	0.921	1.076	Gen	0.383	0.077
			Feb	0.122	0.921	1.043	Feb	0.381	0.068
			Mar	0.075	0.921	0.996	Mar	0.378	0.052
			Apr	0.062	0.921	0.983	Apr	0.378	0.048
			Mag	0.037	0.000	0.037	Mag	0.375	0.374
			Giu	0.020	0.000	0.020	Giu	0.374	0.374
			Lug	0.011	0.000	0.011	Lug	0.374	0.373
			Ago	0.006	0.000	0.006	Ago	0.373	0.373
			Set	0.003	0.000	0.003	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.005	0.000	0.005	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.068	0.921	0.989	Nov	0.379	0.055
Dic	0.160	0.921	1.081	Dic	0.384	0.079			
MEDAU ZIRIMILIS	Scenario 1C-1	Trasferimento di 14,8 Mm³ dall'invaso Casa Fiume nel periodo novembre-aprile.	Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
			Gen	0.155	0.921	1.076	Gen	0.380	0.177
			Feb	0.122	0.921	1.043	Feb	0.378	0.149
			Mar	0.075	0.921	0.996	Mar	0.376	0.115
			Apr	0.062	0.921	0.983	Apr	0.375	0.114
			Mag	0.037	0.000	0.037	Mag	0.374	0.374
			Giu	0.020	0.000	0.020	Giu	0.374	0.374
			Lug	0.011	0.000	0.011	Lug	0.373	0.373
			Ago	0.006	0.000	0.006	Ago	0.373	0.373
			Set	0.003	0.000	0.003	Sett	0.373	0.373
			Ott	0.005	0.000	0.005	Ott	0.373	0.373
			Nov	0.068	0.921	0.989	Nov	0.376	0.095
Dic	0.160	0.921	1.081	Dic	0.380	0.153			

Invaso oggetto di studio	Nome dello scenario di progetto	Descrizione dello scenario	Andamento delle portate allo Scenario 0, immesse e totali [m <sup>3</sup> /s]				Andamento della concentrazione di fosforo totale nello Scenario 0 e nello scenario di progetto [mg/l]		
			Mese	Scenario 0	Immessa	TOT	Mese	Scenario 0	Scenario progetto
MEDAU ZIRIMILIS	Scenario 1C-2	Trasferimento di 14,8 Mm <sup>3</sup> dall'invaso Casa Fiume nel periodo maggio-ottobre.	Gen	0.155	0.000	0.155	Gen	0.383	0.380
			Feb	0.122	0.000	0.122	Feb	0.381	0.378
			Mar	0.075	0.000	0.075	Mar	0.378	0.376
			Apr	0.062	0.000	0.062	Apr	0.378	0.375
			Mag	0.037	0.921	0.958	Mag	0.375	0.065
			Giu	0.020	0.921	0.941	Giu	0.374	0.044
			Lug	0.011	0.921	0.932	Lug	0.374	0.040
			Ago	0.006	0.921	0.927	Ago	0.373	0.040
			Set	0.003	0.921	0.924	Sett	0.373	0.041
			Ott	0.005	0.921	0.926	Ott	0.373	0.068
			Nov	0.068	0.000	0.068	Nov	0.379	0.376
			Dic	0.160	0.000	0.160	Dic	0.384	0.380

## 6.2 INVASO DI BAU PRESSIU

Dalle simulazioni effettuate risulta che il trasferimento esclusivo dal Monte Pranu (Scenario 1) produce un generalizzato incremento di fosforo totale, specialmente nel periodo autunnale, ma la crescita massima è limitata a circa 6 µg/l.

Considerando il contemporaneo trasferimento di circa 9.8 Mm<sup>3</sup> dagli altri invasi (Scenari 2), si osserva che il prelievo da Cixerri o da Casa Fiume (periodo novembre-aprile) comportano un significativo peggioramento dello stato trofico del Bau Pressiu, con il raggiungimento di picchi di ipertrofia.

Viceversa, i trasferimenti dal Mulargia e da Casa Fiume (periodo maggio-ottobre), non alterano in modo apprezzabile l'attuale stato di fosforo totale.

Gli Scenari 3, che comportano il trasferimento da Monte Pranu e contemporaneamente 16 Mm<sup>3</sup> dagli altri invasi, si comportano allo stesso modo degli Scenari 2, con la differenza che il trasferimento dal Cixerri e da Casa Fiume (periodo novembre-aprile) peggiora ulteriormente lo stato trofico del Bau Pressiu, raggiungendo picchi di fosforo totale pari a quasi 120 µg/l.

Come specificato in premessa, i volumi da trasferire sono decisamente maggiori degli afflussi naturali e quindi la qualità e quantità di acqua trasferita governa il livello di eutrofia dell'intero invaso recettore.

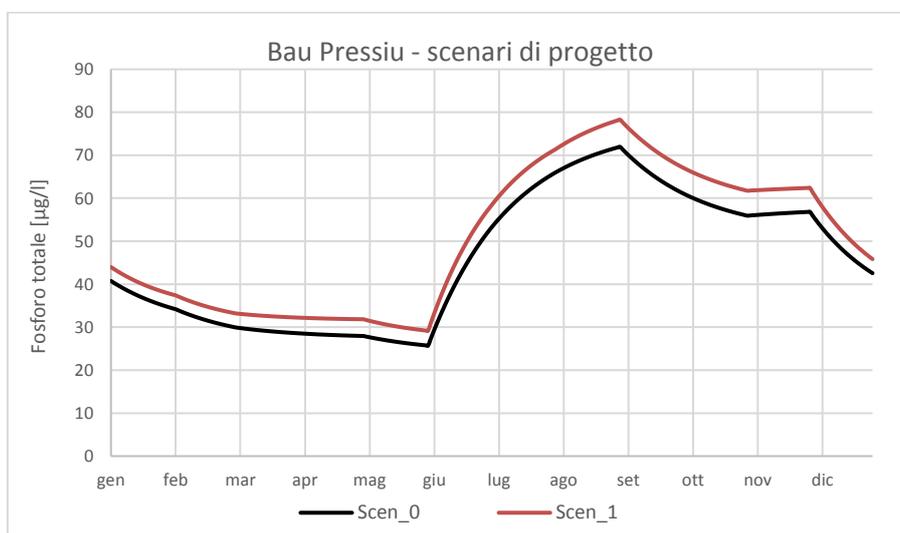


Figura 75: Bau Pressiu – Confronto Scenario 0 e Scenario 1 (trasferimento da Monte Pranu 6.22 Mm<sup>3</sup>)

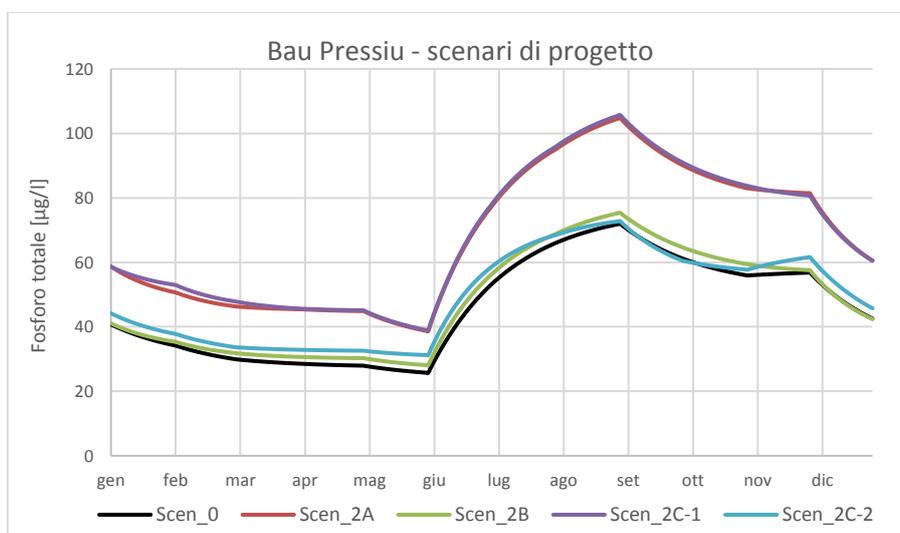


Figura 76: Bau Pressiu – Confronto Scenario 0 e Scenari 2 (trasferimento da Monte Pranu di 6.22 Mm<sup>3</sup> e da altri invasi di 9.8 Mm<sup>3</sup>)

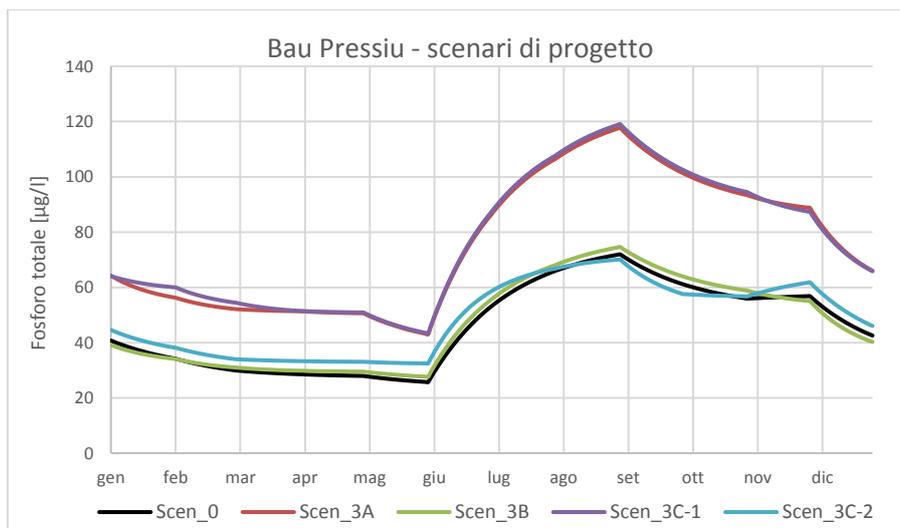


Figura 77: Bau Pressiu – Confronto Scenario 0 e Scenari 3 (trasferimento da Monte Pranu di 622 Mm<sup>3</sup> e da altri invasi di 16 Mm<sup>3</sup>)

### 6.3 INVASO DI MEDAU ZIRIMILLIS

Dalle simulazioni effettuate emerge che gli scenari che comportano un significativo peggioramento dello stato trofico del Medau Zirimillis sono il numero 1A e 1C-1, che corrispondono al prelievo da Cixerri e da Casa Fiume (periodo novembre-aprile). I massimi incrementi di fosforo totale si realizzano in inverno e primavera, con un "salto" di circa 27 µg/l verso marzo.

Gli altri scenari non producono peggioramenti significativi dello stato trofico, anzi il trasferimento dal Mulargia (Scenario 1B) migliora il livello di fosforo totale nel periodo estivo.

Essendo il volume da trasferire costante per tutti i laghi, è evidente che la qualità dell'acqua prelevata ed il periodo di prelievo assumono un'importanza cruciale nell'evoluzione dello stato trofico del corpo recettore.

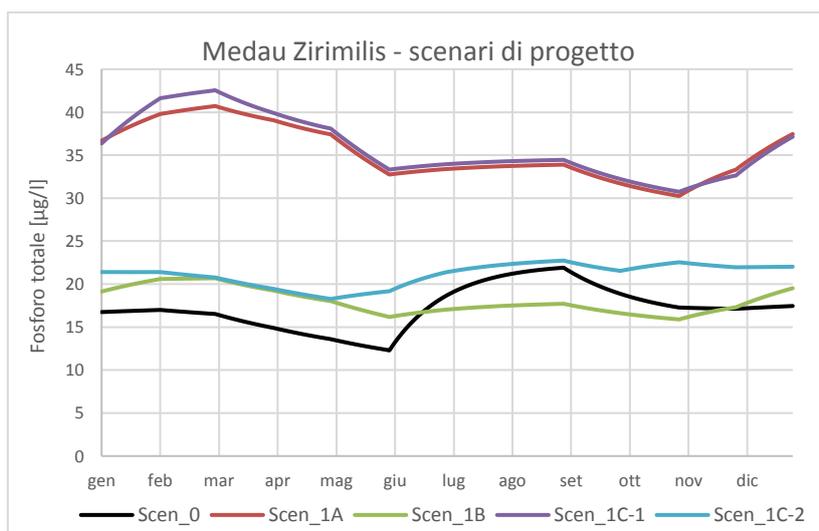


Figura 78: Medau Zirimillis – Confronto Scenario 0 e Scenari 1 (trasferimento da altri invasi pari a 14,8 Mm<sup>3</sup>)

## 7 ANALISI MODELLISTICA DELL'EVOLUZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE DEL BAU PRESSIU

### 7.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO

Per l'invaso del Bau Pressiu, utilizzato anche ai fini di produzione di acqua potabile, si è proceduto ad una valutazione della possibile evoluzione della qualità delle acque utilizzando il modello W2 implementato nel codice di calcolo CE-QUAL-W2. L'analisi di maggior dettaglio è stata condotta allo scopo di valutare la possibile evoluzione dei parametri di qualità delle acque non solo a livello globale (come possibile utilizzando il modello di Jensen) ma anche a livello dei differenti orizzonti limnometrici. Essendo un modello quasi-bidimensionale, il codice di calcolo CE-QUAL-W2 consente infatti di analizzare la distribuzione spazio-temporale della concentrazione di fosforo totale lungo l'asse principale dell'invaso a differenti profondità. In particolare, risulta di interesse il nuovo punto di derivazione dal Bau Pressiu previsto dal Progetto di Fattibilità a monte della diga in sponda sinistra ad una profondità media di circa 5 m rispetto al livello di regolazione.

L'invaso è stato modellato come un unico corpo prismatico composto da 8 segmenti e 19 strati di profondità. Gli spessori dei singoli strati sono stati valutati in modo da rispettare i volumi della curva di invaso. Quali dati di input al modello sono stati utilizzati quelli già elaborati per le simulazioni condotte con il modello globale di Jensen: la portata in ingresso, la rispettiva temperatura e concentrazione di fosforo totale. Inoltre, è stato necessario caratterizzare il clima in termini di temperatura dell'aria e di ventilazione, allo scopo di valutare correttamente gli scambi termici.

Sono stati considerati gli scenari di progetto riportati nel Capitolo 6.1, utilizzando i valori medi ottenuti dallo Scenario 0 del modello Jensen come base per calibrare i coefficienti di abbattimento del fosforo totale nell'invaso, focalizzando l'attenzione nella porzione centrale (lontana quindi da possibili effetti del contorno). A calibrazione effettuata si è ottenuto il risultato riportato in Figura 79.

Nel Capitolo 7.2 sono riportati i risultati del modello, i quali sono commentati nel Capitolo 7.3.

Si precisa che nelle figure successive la legenda fa riferimento alla seguente simbologia:

- Br = Breach, che nel caso in esame è unico;
- Seg = Segment, che rappresenta la porzione planimetrica del modello (con valori da 1 – monte a 7 – valle)
- Lay = Layer, che rappresenta lo strato in profondità (da 1 – superficie a 19 – fondo)

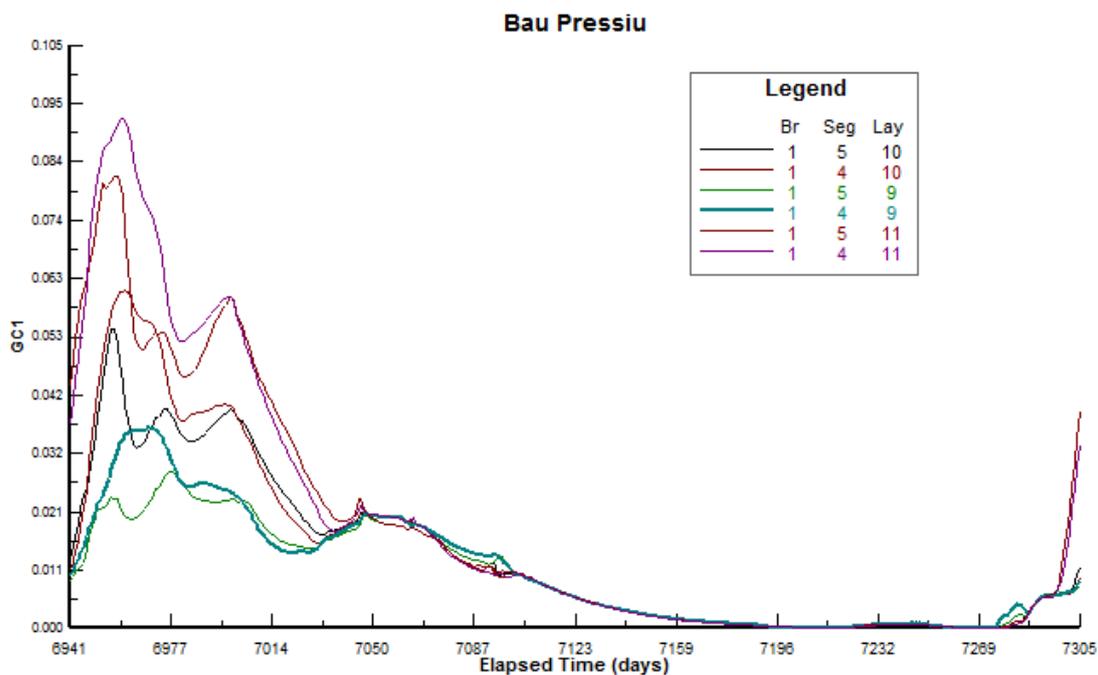
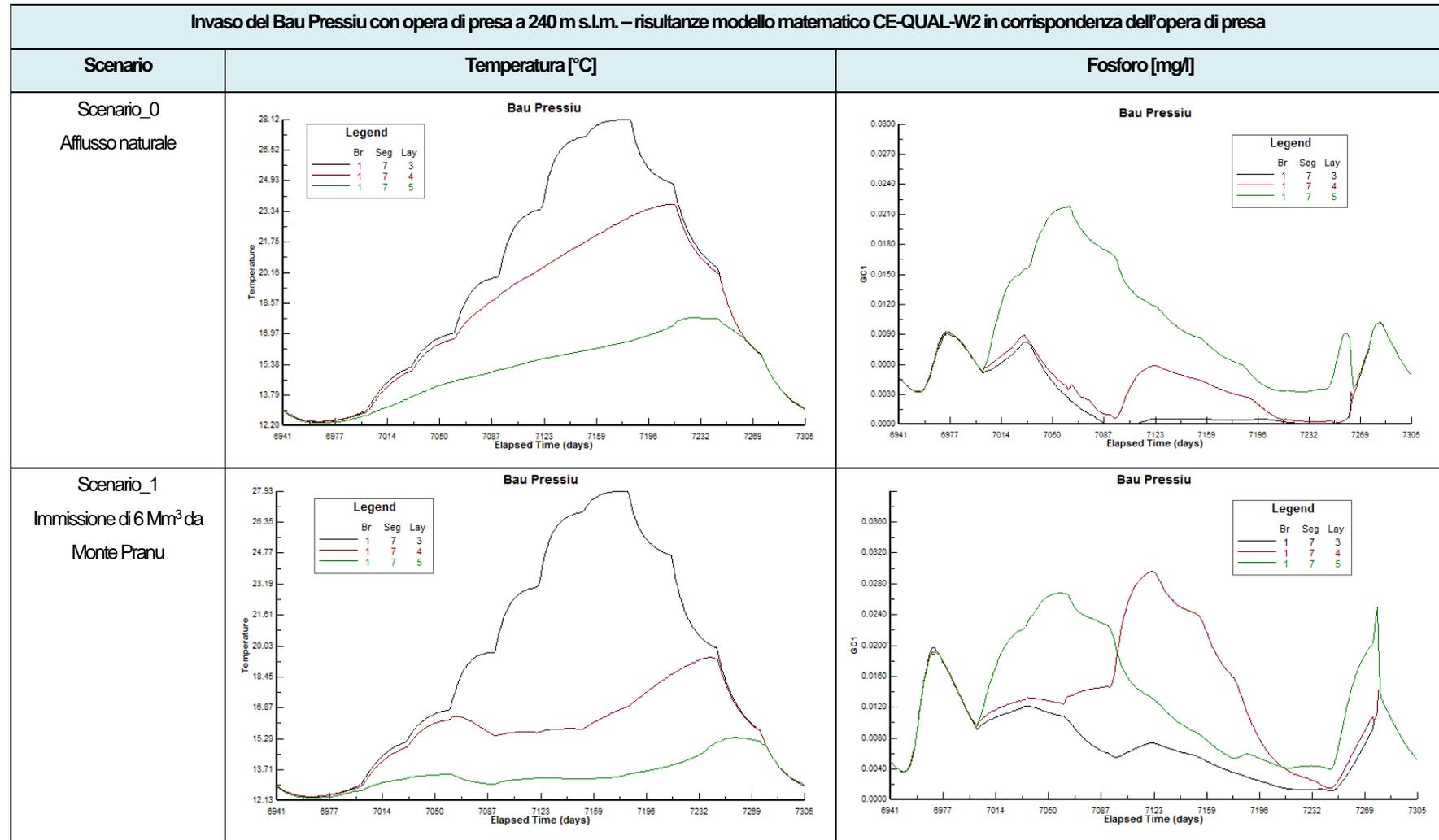
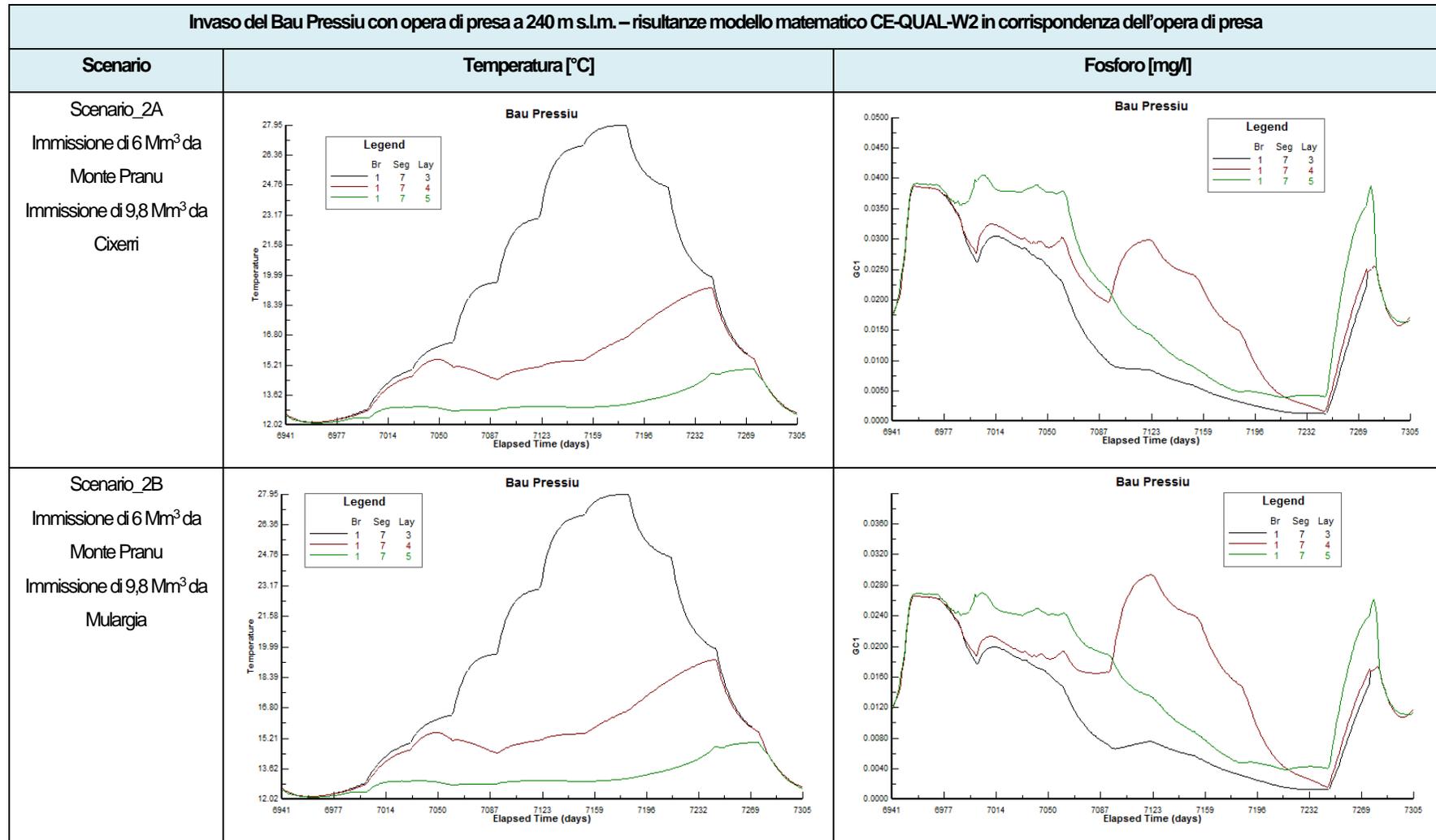


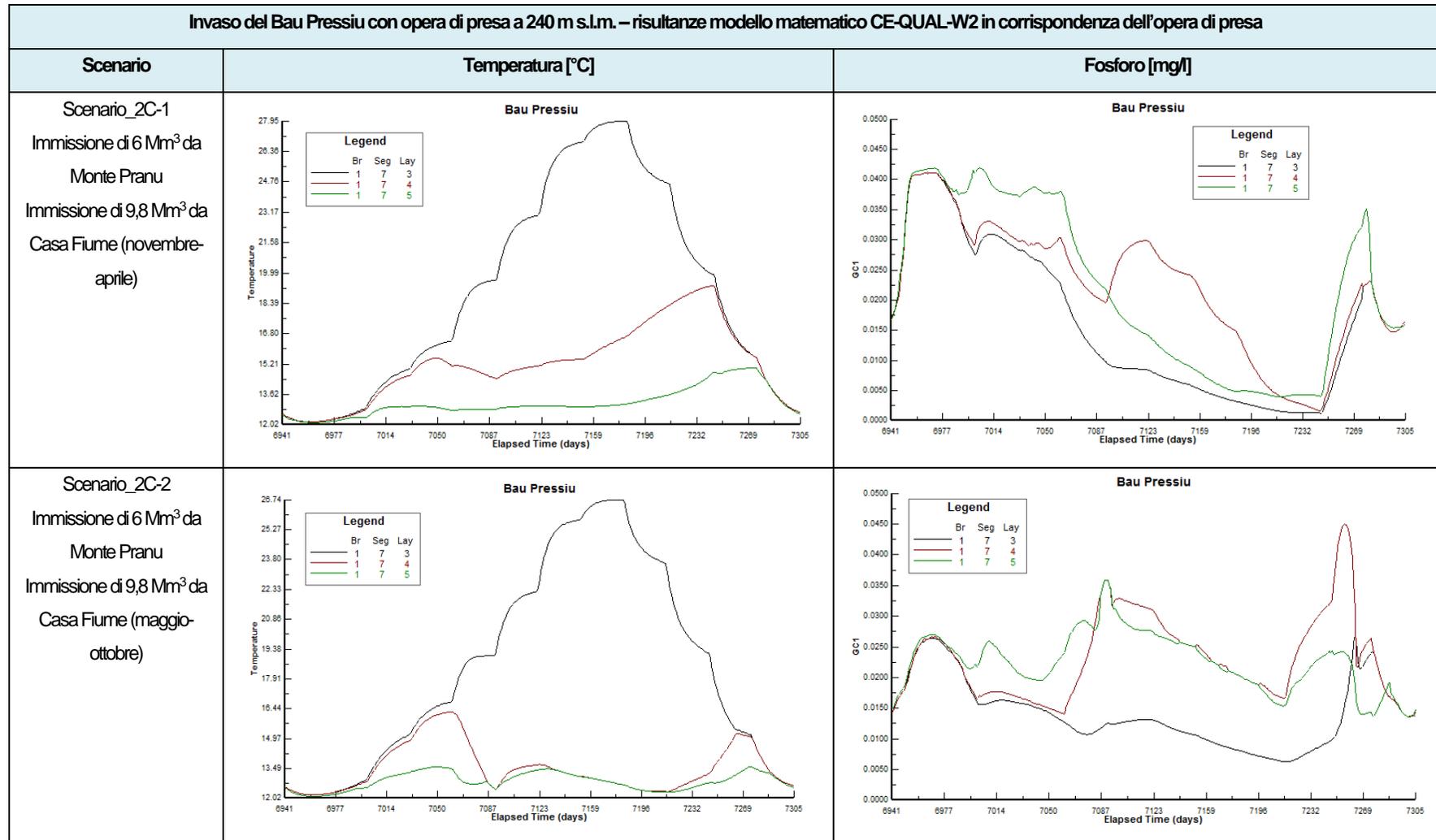
Figura 79: Valori di fosforo totale ottenuti nella zona di calibrazione del modello CE-QUAL-W2.

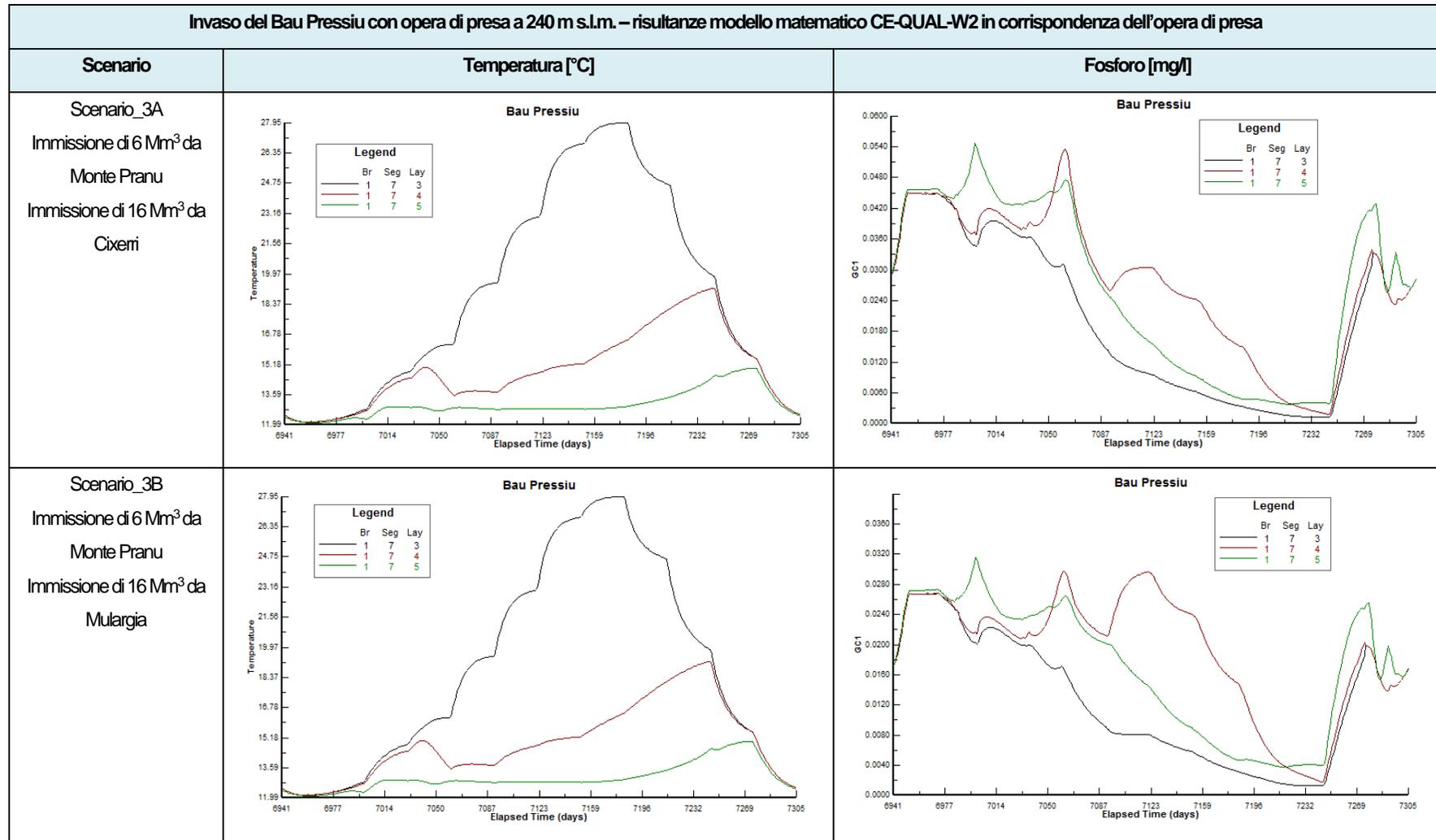
## 7.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

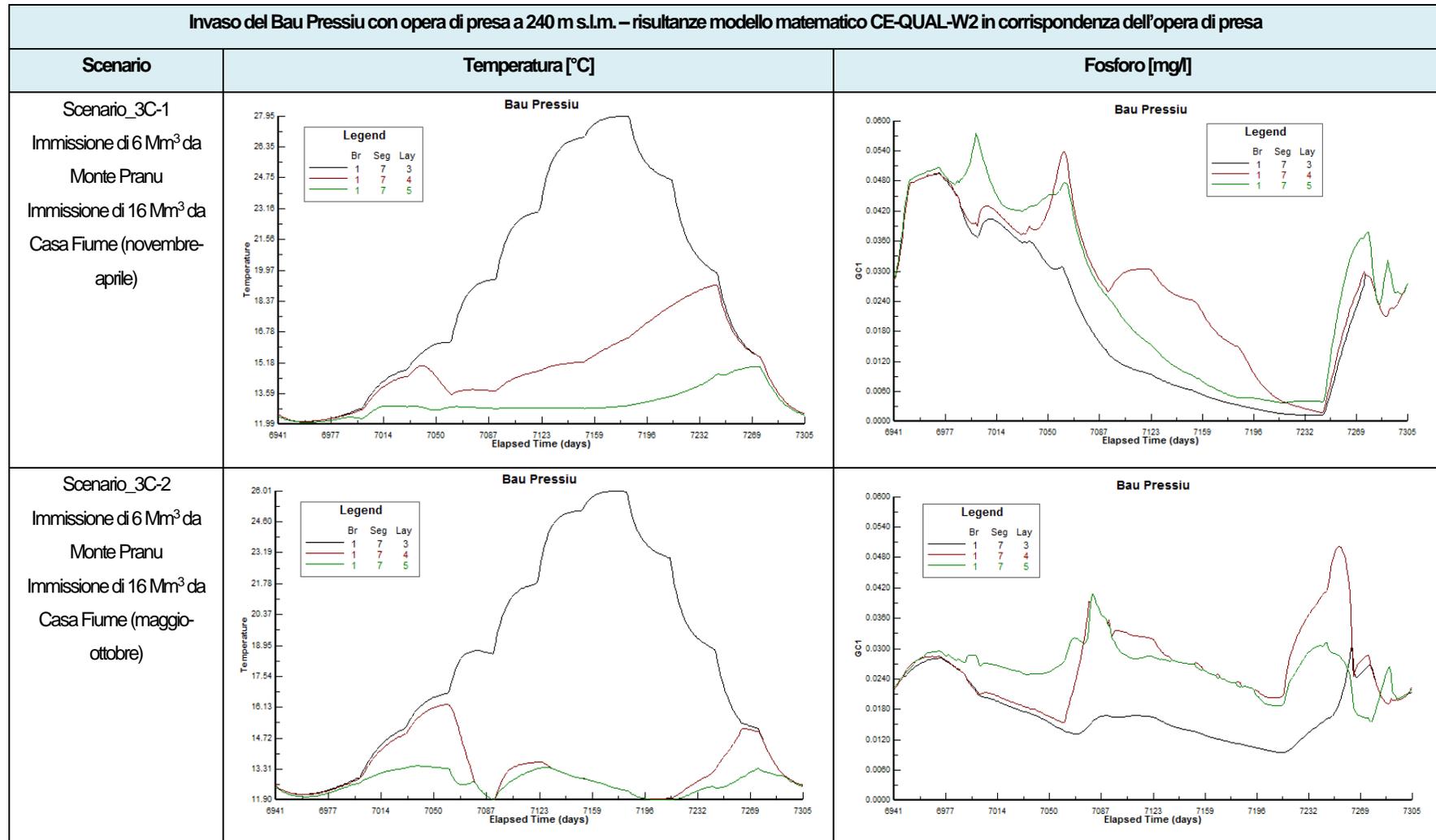
### 7.2.1 Andamento annuale della temperatura e del fosforo totale in corrispondenza dell'opera di presa



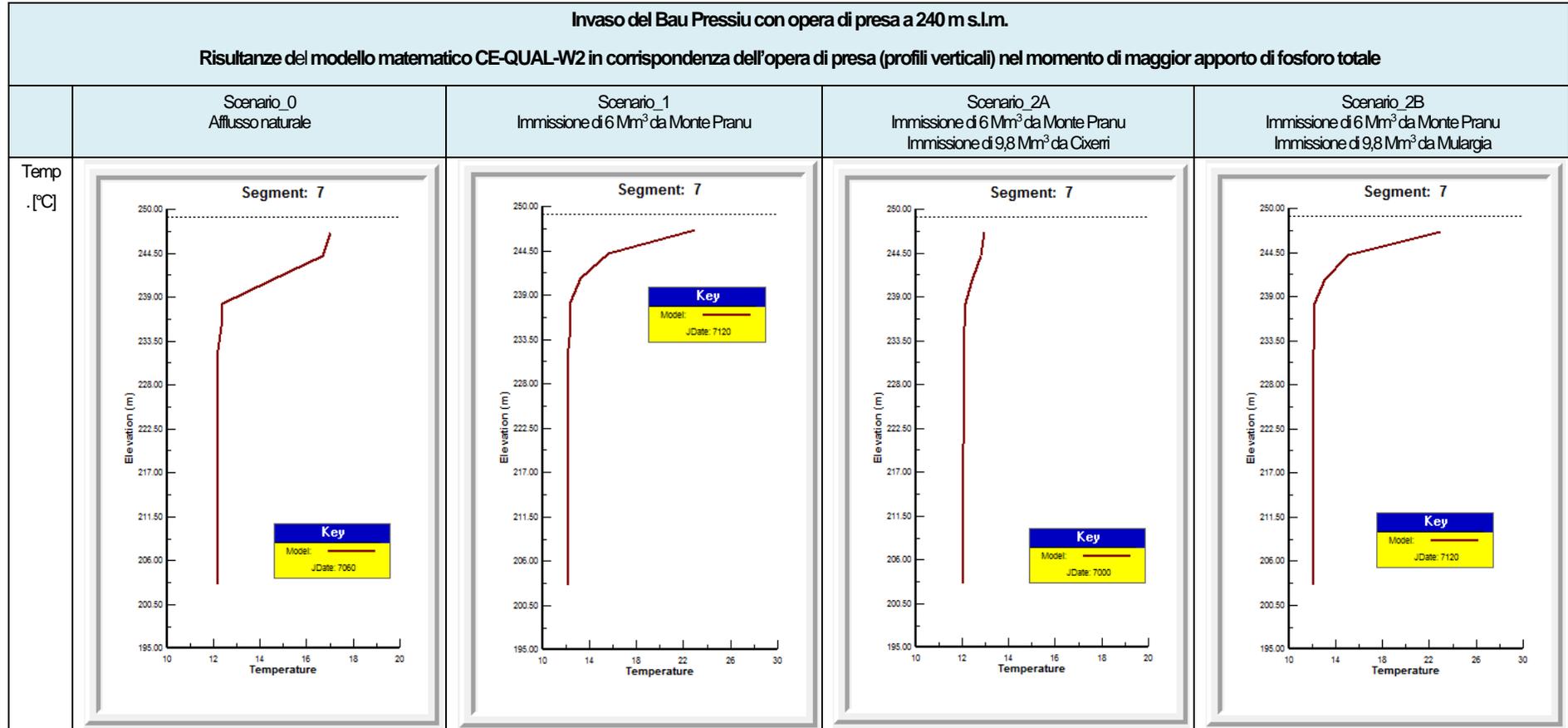






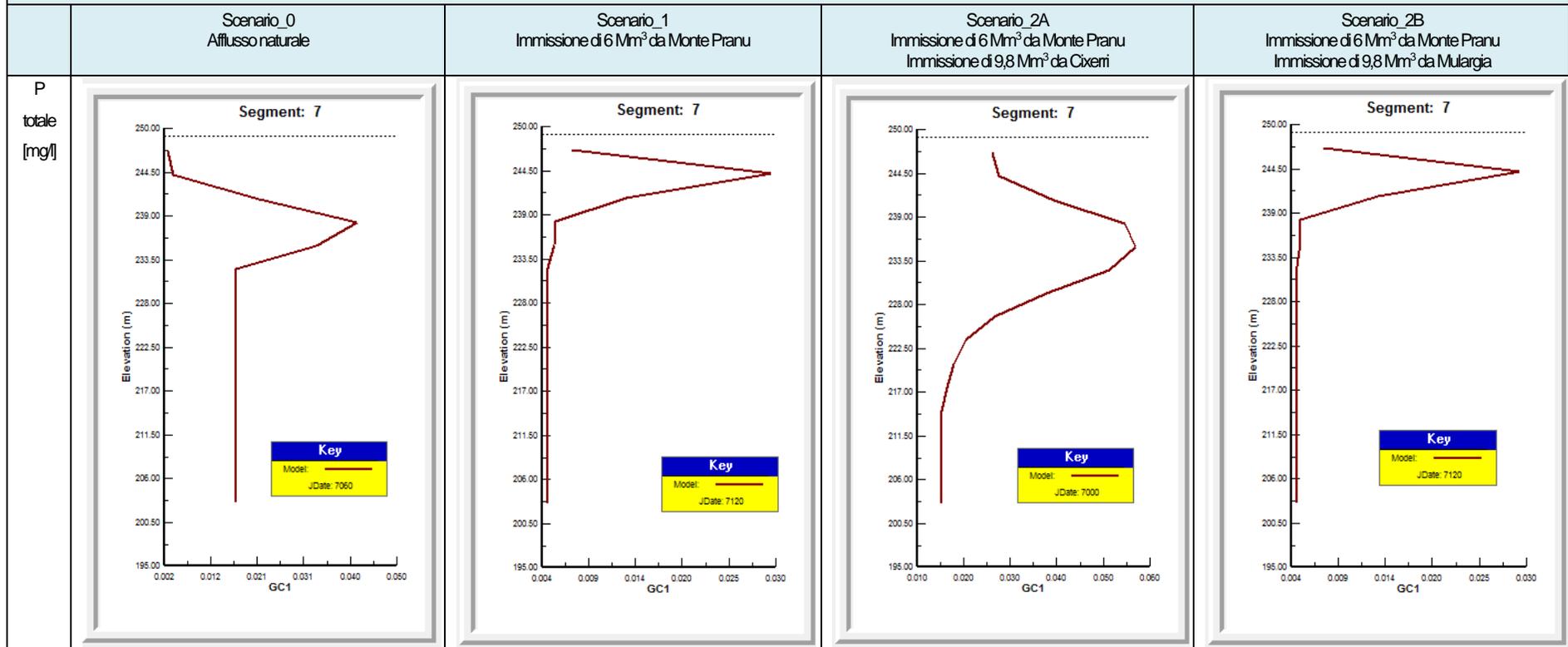


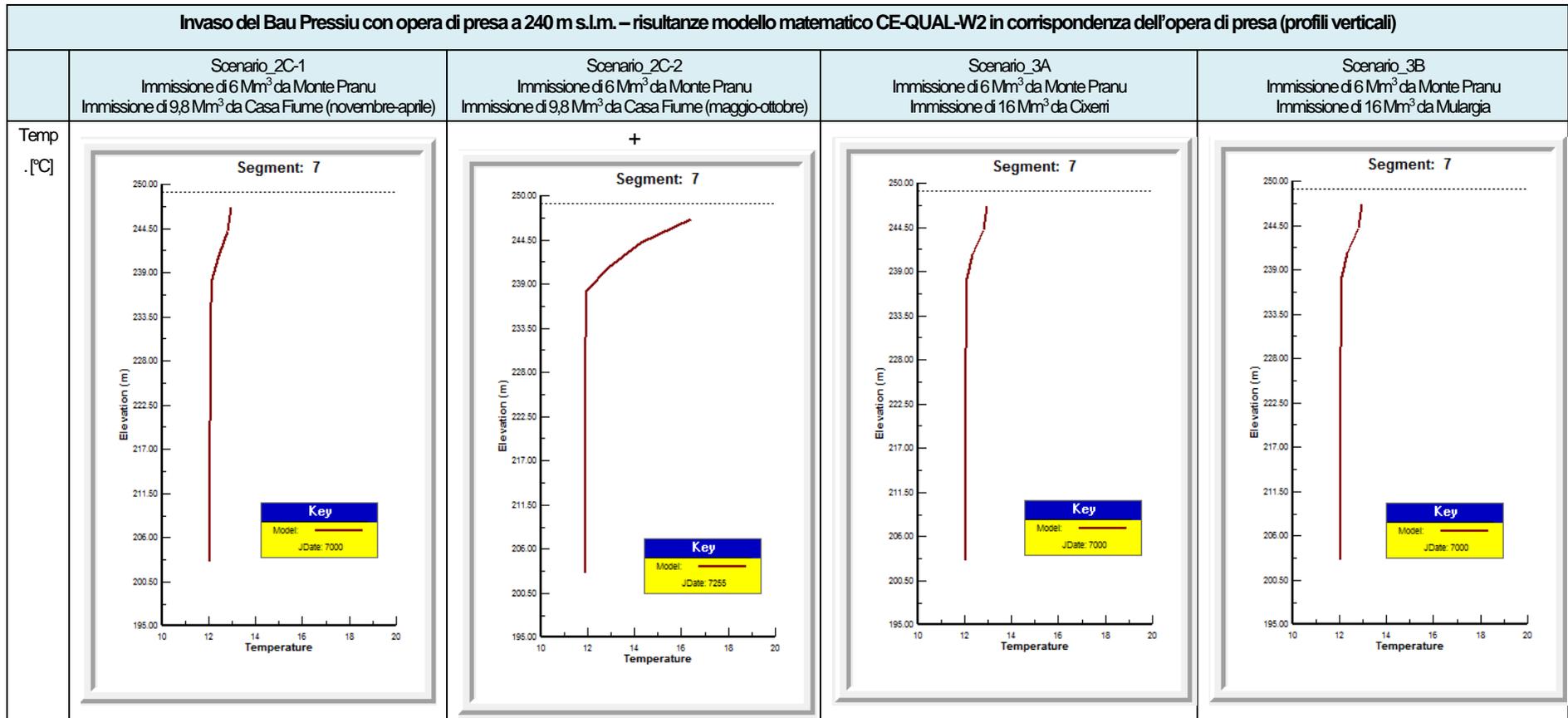
7.2.2 Profilo verticale della temperatura e del fosforo totale in corrispondenza dell'opera di presa.

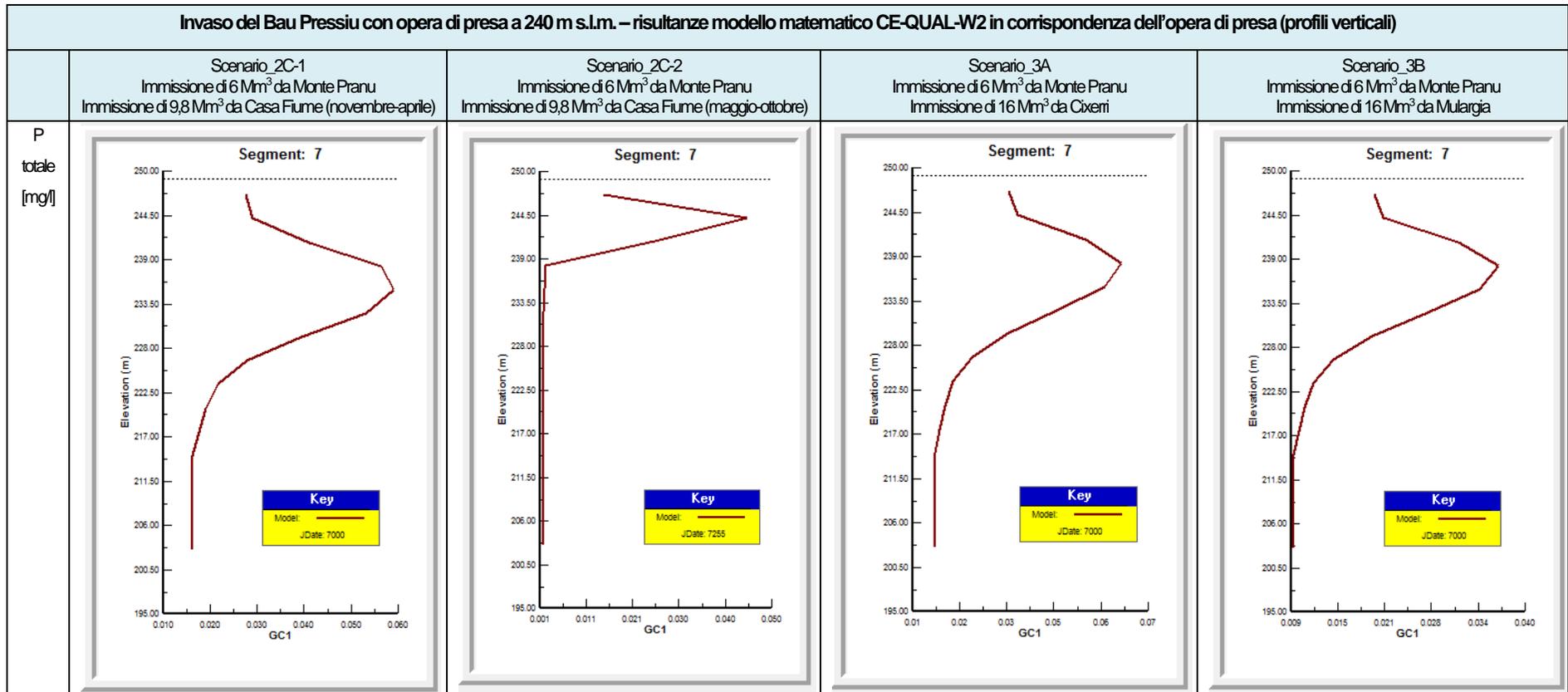


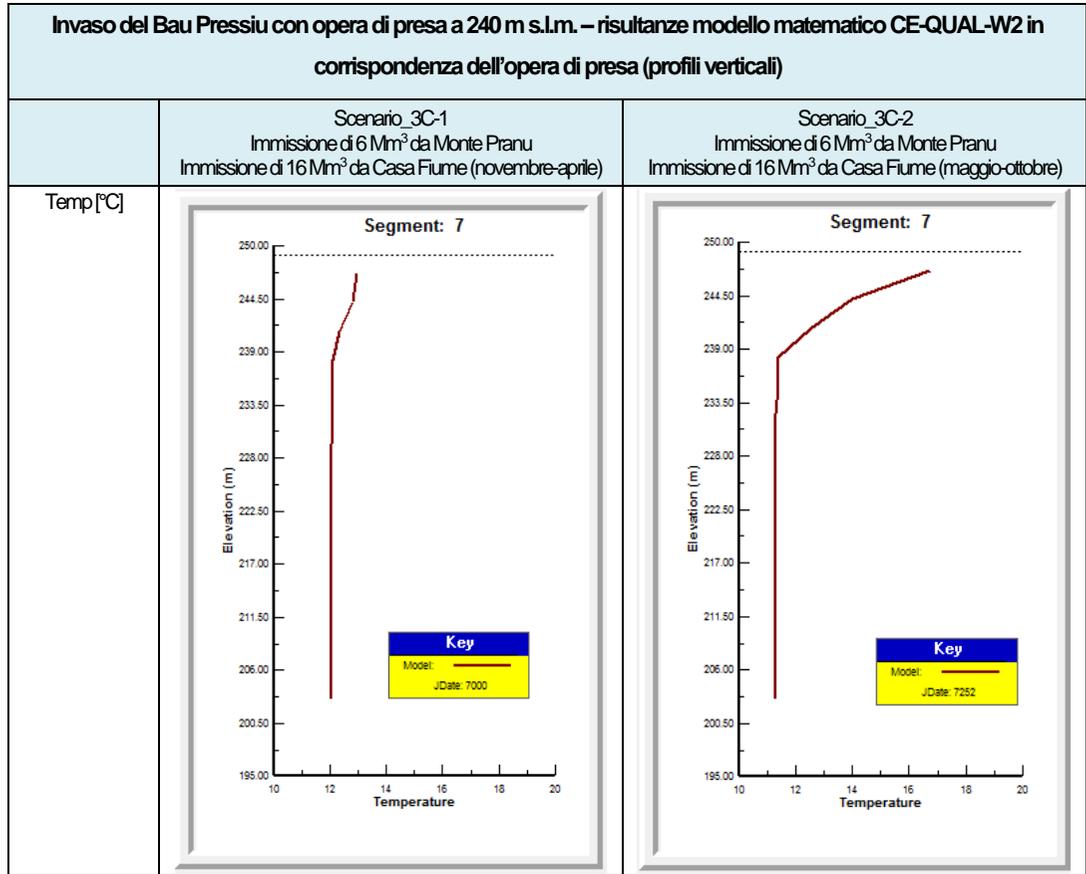
Invaso del Bau Pressiu con opera di presa a 240 m s.l.m.

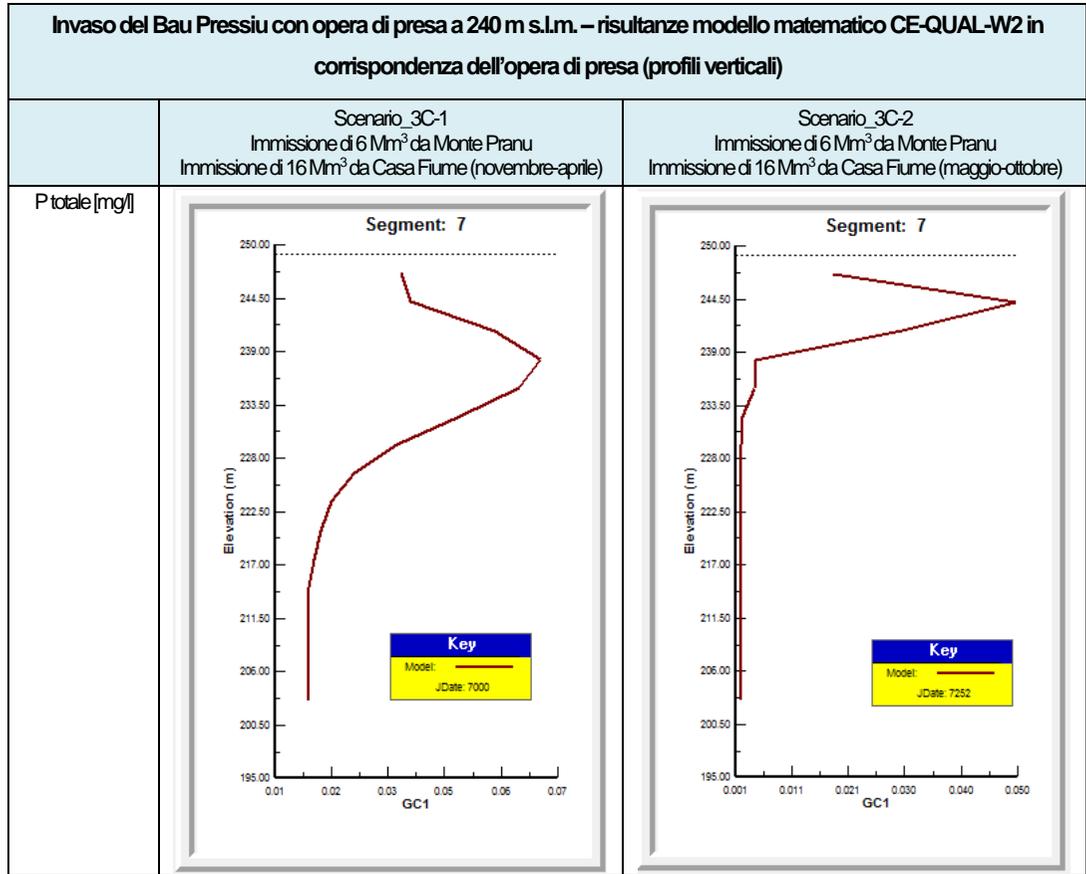
Risultanze del modello matematico CE-QUAL-W2 in corrispondenza dell'opera di presa (profili verticali) nel momento di maggior apporto di fosforo totale











### 7.3 ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI

L'effetto di scambio termico-energetico modellato produce una variazione di temperatura lungo la verticale. In particolare, si osserva che la temperatura nello strato più superficiale è governata dall'interscambio energetico con la superficie più che dalla variazione di temperatura negli strati più profondi. La massima temperatura in superficie è pari a circa 28°C, valore che effettivamente è confermata dai dati di monitoraggio disponibili. Negli strati profondi la temperatura delle acque è in relazione soprattutto alle temperature e portate del corso d'acqua affluente ovvero ai contributi naturali dal bacino imbrifero.

Per quanto riguarda il fosforo totale, le simulazioni condotte con il modello W2 confermano sostanzialmente i risultati già ottenuti nelle simulazioni effettuate con il modello Jensen. In questo caso però il modello W2 ha consentito l'analisi a livello delle specifiche celle relative al previsto punto di prelievo. Si evidenzia che il massimo picco di fosforo può verificarsi nel corso di differenti periodi dell'anno a seconda dello scenario analizzato:

- nello scenario 1 si determina un valore massimo di fosforo totale allo scarico leggermente superiore a quello dello scenario 0, ovvero dello stato attuale;
- gli scenari 2A, 2C-1, 3A e 3C-1 risultano sfavorevoli rispetto alle condizioni attuali, non solo per quanto riguarda il massimo picco di fosforo totale ma anche per un suo maggiore valor medio lungo l'intero anno.
- in generale la concentrazione di fosforo totale presso l'opera di presa risulta inferiore rispetto ai valori ottenuti mediante le simulazioni globali dell'invaso effettuate con il modello di Jensen; l'opposto si rileva per le concentrazioni al fondo.

## 8 VALUTAZIONE DEI RISCHI SULLA QUALITÀ E SUGLI ECOSISTEMI

I processi eutrofici possono peggiorare anche significativamente la qualità delle acque degli invasi, rendendo difficoltoso il loro utilizzo soprattutto per gli usi potabili perché possono contenere sostanze che conferiscono odori e sapori sgradevoli o altre, più o meno dannose per la salute umana, come le tossine presenti nelle cellule algali che, in particolari condizioni, vengono rilasciate nell'ambiente acquatico. L'eutrofizzazione delle acque può avere come effetto l'incremento nella frequenza e portata delle proliferazioni algali associate anche a produzione di tossine e l'estensione dei fenomeni a corpi idrici non interessati in passato da fioriture o sviluppi anomali di biomasse. Gli effetti negativi dell'eutrofizzazione sulle acque degli invasi si possono riassumere in:

- aumento della biomassa complessiva, in particolare del fitoplancton;
- possibile sviluppo di specie tossiche di fitoplancton (generalmente cianobatteri);
- aumento della torbidità e degli odori delle acque;
- diminuzione della quantità di ossigeno disciolto, in particolare negli strati profondi, e morie di pesci;
- diminuzione della diversità biotica e scomparsa di specie ittiche pregiate (i salmonidi).

Sin dagli anni '60 del secolo scorso il fosforo è stato identificato come la causa principale del deterioramento della qualità delle acque e uno dei principali fattori nel controllo dello sviluppo dei cianobatteri. Le fioriture di cianobatteri avvengono spesso in laghi eutrofici, e quindi si presume che le fioriture di cianobatteri siano correlate a concentrazioni elevate di fosforo (P) e di azoto (N). Alte concentrazioni di fosforo possono indirettamente sostenere la crescita dei cianobatteri, aumentando la quantità di biomassa che le risorse di un ecosistema possono sostenere. Tuttavia, fioriture di cianobatteri sono state registrate anche a basse concentrazioni di fosforo disciolto. In relazione a quanto sopra, nel corso degli ultimi anni, ed a seguito della maggiore disponibilità di informazioni ottenute nell'ambito delle numerose ricerche scientifiche condotte a livello internazionale, alcuni dei paradigmi su cui si fondavano le tecniche di recupero e salvaguardia dei corpi lacustri si sono andati rapidamente modificando. Se, da una parte, la riduzione dei carichi di fosforo (e in casi specifici azoto) rimane spesso l'unico intervento utile per favorire la riduzione dei cianobatteri, dall'altra parte è aumentata la consapevolezza circa le notevoli differenze nelle risposte delle singole specie di cianobatteri alle modificazioni nelle concentrazioni di

nutrienti. Mentre alcune specie sono indicative di condizioni di elevata trofia (*Microcystis* spp.), altre specie si ritrovano prevalentemente in laghi oligo-mesotrofici e mesotrofici (*P. rubescens*), caratterizzati da specifiche caratteristiche fisiografiche e climatiche (fonte: Istituto Superiore di Sanità ISTISAN 14/20).

Molti studi condotti nel corso degli ultimi 20 anni hanno analizzato quantitativamente le relazioni tra le concentrazioni di fosforo (P) e la dominanza dei cianobatteri. In particolare, per le zone temperate, gli studi condotti confermano la stretta relazione tra le concentrazioni di P e l'aumento dei cianobatteri e, secondariamente, di diatomee e cloroficee.

Per gli invasi della Sardegna (N. Sechi, in ISTISAN) si può notare che, in generale, ad uno stato eutrofico o ipertrofico corrisponde una dominanza di specie appartenenti alle *Cyanophyceae* mentre ad uno stato mesotrofico od oligotrofico corrisponde una dominanza di specie appartenenti alle *Chlorophyceae* o alle Diatomee.

La funzione dell'azoto (N) nel favorire l'eutrofizzazione e un aumento dei cianobatteri appare più controversa. Il rapporto N/P è stato frequentemente utilizzato per valutare il tipo di nutrienti responsabili della limitazione della crescita delle popolazioni algali e cianobatteriche. Altri numerosi studi hanno indicato il maggior potere predittivo delle concentrazioni assolute di P. In particolare, Downing et al. (2001) hanno proposto una serie di valori soglia di fosforo totale finalizzati alla definizione del rischio di sviluppo di popolazioni cianobatteriche con biomasse > 50% sulla biomassa algale totale. I limiti così definiti forniscono una valutazione sul potenziale grado di dominanza dei cianobatteri rispetto alla comunità fitoplanctonica. Un minore rischio di produzioni cianobatteriche è raggiunto con concentrazioni di TP < 30 µg/L. La tabella seguente evidenzia le percentuali di rischio dei corpi d'acqua di sviluppare comunità fitoplanctoniche dominate da cianobatteri.

Fosforo totale (µg P/L)	Rischio di dominanza di cianobatteri (%)
0-30	0-10
30-70	40
70-100	40-80

*Percentuali di rischio dei corpi d'acqua di sviluppare comunità fitoplanctoniche dominate da cianobatteri - Downing et al. (2001)*  
Fonte: ISS ISTISAN 14/20

Sempre tra i fattori fisici, i cianobatteri sono particolarmente sensibili al regime idrologico e al tempo di ricambio delle acque. Nonostante i maggiori carichi, elevati afflussi di acqua nei bacini idroelettrici o nei laghi di piccole dimensioni sono in grado di rimuovere e diluire le popolazioni cianobatteriche. Esemplificativo fu il caso del Lago Arancio (Sicilia) dove, nell'estate del 2003, a seguito del continuo riempimento del bacino, le densità di *Microcystis aeruginosa* diminuirono di 5-6 volte rispetto alle settimane precedenti (Naselli-Flores et al., 2007). Per contro, l'alterazione del bilancio idrico dovuto ad un aumento delle temperature e dei tassi di evapotraspirazione nel bacino imbrifero ha fortemente ridotto gli afflussi al Lago Biviere di Gela (Sicilia). Originariamente trasparente e ricco di macrofite, con la riduzione dei livelli il lago si è rapidamente trasformato in un bacino torbido dominato da cianobatteri. Casi del tutto simili sono stati documentati anche in altre aree mediterranee (fonte: ISS ISTISAN 14/20).

Il rischio potenziale di sviluppo di biomasse di cianobatteri negli invasi può dipendere da alcuni dei parametri caratteristici che ne favoriscono la crescita. In particolare, si può fare riferimento ai "parametri di riferimento ambientali per la valutazione del rischio potenziale di sviluppo di biomasse di cianobatteri" indicati dal WHO nell'ambito della recente "Technical brief" WHO/FWC/WSH/15.03 ed indicati nella tabella seguente. Un fattore determinante per la crescita dei cianobatteri è rappresentato dalla concentrazione di fosforo totale, poiché la quantità totale di fosforo nel sistema limita la quantità totale di biomassa che può formarsi. Anche la temperatura dell'acqua è un fattore importante per valutare il potenziale di crescita dei cianobatteri. Dati su fattori aggiuntivi, come ad esempio il pH, la trasparenza, la stratificazione termica e le condizioni idrologiche locali che influenzano la stratificazione completano la valutazione.

Indicator	Potential for high biomass of cyanobacteria (blooms)				
	Very low				Very high
Total phosphorus (µg/L)	< 10	10–25	> 25–50	> 50–100	> 100
Water residence time	River with visible current	< 1 month		≥ 1 month	
pH	< 5–6	> 6–7	> 7		
Secchi disc transparency <sup>b</sup> during season typical for cyanobacteria	≥ 2 m	< 2–1 m	< 1–0.5 m	< 0.5 m	
Temperature (°C)	< 10	10 – < 15	15 – < 20	20 – < 25	≥ 25

<sup>a</sup> The higher the number of these conditions that are fulfilled, the higher the potential for high biomass of cyanobacteria.

<sup>b</sup> Determined as the depth at which a white disc of 20 cm diameter lowered into the water is no longer visible.

Source: Adapted from Umweltbundesamt (2014).

*Parametri di riferimento ambientali per la valutazione del rischio potenziale di sviluppo di biomasse di cianobatteri – WHO/FWC/WSH/15.03  
(adattato da Umweltbundesamt – 2014)*

Come evidenziato dalle analisi dei dati di monitoraggio nei laghi oggetto della presente analisi i cianobatteri sono quasi sempre la classe predominante sulle altre classi che compongono il popolamento fitoplanctonico. La loro presenza è solo parzialmente in correlazione con le concentrazioni di nutrienti. Elevati valori di densità si rilevano nei laghi a maggiore eutrofia, quali il Cixerri e Monte Pranu. Densità elevate si sono però rilevate anche nei laghi a minore eutrofia, quali il Mulargia ed il Bau Pressiu. Pur riscontrandosi una diffusa presenza di cianobatteri in tutti i laghi analizzati, si dovrà anche considerare il rischio derivante dall'inoculazione di nuove specie, che a loro volta potrebbero causare nuovi episodi di fioritura.

In relazione alla griglia di valutazione del WHO di cui sopra i trasferimenti idrici previsti nel presente PFTE comporteranno un lieve incremento del livello di rischio connesso con il parametro "concentrazione di fosforo". Allo stesso tempo, la maggiore dinamicità che le immissioni idriche determineranno negli invasi, potrebbe sfavorire la formazione delle condizioni ottimali per lo sviluppo di bloom di cianobatteri.

## 9 LA VALUTAZIONE DEI RISCHI PER GLI UTILIZZI IDRICI

### 9.1 CRITERI DI IDONEITÀ DEI PROCESSI DI TRATTAMENTO

Per quanto riguarda i trattamenti di potabilizzazione esistenti o previsti la loro analisi, in termini di valutazione del rischio, deve riferirsi in particolare alla verifica dell'esistenza (o futura previsione per gli interventi programmati) dell'idoneità dei processi di trattamento adottati negli impianti di potabilizzazione per la rimozione dei cianobatteri e delle cianotossine. Per quanto riguarda i cianobatteri i processi utilizzati negli impianti di potabilizzazione dovrebbero essere in grado di abbattere il loro livello, minimizzando i fenomeni di lisi cellulare. Le cianotossine disciolte non vengono infatti facilmente rimosse mediante trattamenti convenzionali di potabilizzazione. Le filiere di trattamento da adottare negli impianti di potabilizzazione potenzialmente soggetti al rischio di presenza di cianotossine nelle acque devono quindi prevedere specifici comparti. Tra i trattamenti di potabilizzazione idonei per la rimozione delle cianotossine si possono evidenziare in particolare: i trattamenti chimico-fisici (adsorbimento su carbone attivo, filtrazione su membrana) ed i trattamenti chimici (clorazione, ozonizzazione, ossidazione con permanganato di potassio).

La tabella seguente riporta un elenco dei principali trattamenti impiegati nella potabilizzazione delle acque e la loro efficacia di rimozione dei cianobatteri e delle cianotossine.

Trattamenti	Efficacia relativa nella rimozione di				
	C	MC	S	CYN	ANA-a
Coagulazione e flocculazione	+	-	-	-	-
Flottazione	++	-	-	-	-
Microstacciatura	++	-	-	-	-
Filtrazione lenta su sabbia	+++	+	-	-	-
Microfiltrazione	++	-	-	-	-
Ultrafiltrazione	+++	-	-	-	-
Nanofiltrazione	N/A	++	++	++	++
Osmosi inversa	N/A	+++	+++	+++	+++
PAC	N/A	++++	++++	++++	++++
GAC	N/A	++++	++++	++++	++++
Clorazione	++	+++	++	+++	-
Disinfezione con:					
<i>Monocloroammina</i>	-	-	-	-	-
<i>biossido di cloro</i>	-	-	-	-	-
<i>perossido di idrogeno</i>	-	-	-	-	-
<i>permanganato di potassio</i>	-	+	+	+	+
Ozonizzazione	++	+++	+	+++	+++
Irraggiamento UV	-	-	-	-	-
Trattamenti biologici	+	+	+	+	+

C: cianobatteri; MC: microcistine; S: saxitossine; CYN: cilindropermopsina; ANA-a: anatoxina-a  
 - inefficace, + poco efficace, ++ moderatamente efficace, +++ efficace, ++++ molto efficace, N/A non applicabile

*Quadro sinottico dei possibili trattamenti idonei per la rimozione dei cianobatteri e dei loro metaboliti (da Lucentini e Ottaviani, 2011)*

Per quanto riguarda la Regione Sardegna si deve evidenziare come il “Piano regolatore generale degli acquedotti della Sardegna - Revisione 2006” già aveva analizzato e considerato i rischi connessi con le possibili presenze di biomasse cianobatteriche e relative tossine nelle acque degli invasi. In particolare, il Piano comprende due specifici capitoli denominati rispettivamente “Aspetti limnologici per l'utilizzo delle risorse idriche nell'ambito del piano acquedotti” e “Risorse idriche da utilizzare, valutazione della qualità della risorsa e considerazioni sui processi di potabilizzazione”. Nell'ambito di questi capitoli, altamente specialistici, gli estensori del Piano già evidenziarono come nella gran parte dei laghi della Regione Sardegna, si possano verificare fioriture algali estese di diverse specie a cui si accompagna una riduzione della limpidezza, uno sviluppo abnorme di batteri e di animali superiori che trovano nelle alghe stesse la loro fonte nutritiva, una presenza di composti riducenti ed una tossicità più o meno marcata in conseguenza alle specie algali presenti. Il Piano evidenziava, quale conseguenza, la necessità di mitigare tali effetti negativi mediante l'adozione di cicli di trattamento più articolati rispetto al ciclo di trattamento di potabilizzazione classico. In particolare, viene indicato come necessario l'integrazione degli impianti con nuove unità rispetto ai processi classici. Il Piano riporta in allegato quattro tipologie di processi di potabilizzazione, correlate al grado di eutrofia dell'acqua grezza da prelevare dagli invasi. Le strutture necessarie per il trattamento delle acque con le caratteristiche di acque ipereutrofiche indicate dal Piano, per la linea acque, sono le seguenti:

- microfiltrazione
- correzione pH
- flocculazione e flottazione
- ossidazione con ozono con dosaggi e tempi di contatto minimi
- ossidazione con permanganato di potassio
- correzione pH e ripartizione-riunione

- destabilizzazione con reagenti flocculanti
- chiariflocculazione
- filtrazione su sabbia e pirolusite
- post-ossidazione con ozono
- correzione dell'aggressività con  $\text{CO}_2$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- finissaggio su carbone attivo granulare
- disinfezione finale con biossido di cloro
- dosaggio di ipoclorito e/o cloroammine per la disinfezione di copertura.

## 9.2 ANALISI DELLA FILIERA IDROPOTABILE DEL BAU PRESSIU

L'attuale configurazione dell'impianto di potabilizzazione del Bau Pressiu è il risultato di una serie di interventi di potenziamento ed adeguamento del processo di trattamento effettuati negli ultimi 10 anni. In particolare, sulla base del progetto definitivo – esecutivo per l'“Adeguamento dell'impianto di potabilizzazione di Bau Pressiu”, redatto nell'anno 2007, l'impianto è stato adeguato in termini di portate da trattare alle previsioni del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti (produzione complessiva di acqua potabile pari a 700 l/s) e per quanto riguarda la qualità alle previsioni di utilizzo, quali fonti di acque grezze, delle acque derivabili sia dall'invaso di Bau Pressiu che dal Cixerri. Per quanto riguarda la potabilizzazione delle acque del Bau Pressiu il Piano Regolatore prevedeva che l'impianto di potabilizzazione potesse comprendere i semplici stadi di flocculazione e filtrazione. Per quanto invece riguarda la captazione dal Cixerri il Piano già prevedeva che il sistema di potabilizzazione comprendesse tutte le fasi di trattamento, comprese la microfiltrazione, la flottazione e la filtrazione con carboni attivi. Ciò in relazione alla valutazione dell'assetto complessivo dei popolamenti algali presenti nel Cixerri, ritenute tipiche di condizioni molto eutrofiche, con elevate densità di specie potenzialmente tossiche appartenenti alle Cianofitee.

Il progetto di adeguamento dell'impianto di Bau Pressiu ha quindi previsto la nuova realizzazione o l'adeguamento funzionale con, complessivamente, le seguenti sezioni di trattamento:

- flottazione
- filtrazione primaria
- ossidazione
- destabilizzazione, flocculazione
- chiariflocculazione
- filtrazione secondaria su sabbia
- filtrazione a carboni attivi.

Nell'ambito del progetto di adeguamento (come detto redatto nell'anno 2007) venne evidenziata l'esigenza che l'intervento tenesse in considerazione le problematiche relative alla possibile presenza nelle acque trattate di tracce di microinquinanti. Venne perciò previsto uno specifico comparto di adsorbimento su carbone attivo granulare per l'abbattimento delle sostanze potenzialmente tossiche.

In relazione, quindi, ai trasferimenti idrici tra invasi oggetto del presente SIA, l'impianto esistente di potabilizzazione del Bau Pressiu risulta essere già stato concepito al fine di poter trattare le acque grezze sia tal quali (ovvero direttamente pompate dall'invaso del Cixerri) e sia miscelate con le acque del Bau Pressiu.

In relazione alle previsioni di intervento del presente progetto di fattibilità, all'impianto di potabilizzazione del Bau Pressiu potranno affluire acque grezze provenienti sia direttamente dagli invasi di Cixerri, Mulargia e Casa Fiume che acque captate dall'invaso di Bau Pressiu e risultanti dalla miscelazione delle acque del bacino proprio del Bau Pressiu con quelle degli invasi di Monte Pranu e/o Cixerri, Mulargia e Casa Fiume.

Per quanto riguarda l'invaso di Monte Pranu il Piano Regolatore Generale degli Acquedotti evidenziava condizioni simili a quelle del Cixerri, con la netta predominanza per gran parte dell'anno di specie di Cianofitee anche potenzialmente tossiche. L'utilizzo delle acque grezze di questo lago deve perciò prevedere tutte le fasi di trattamento, comprese quelle di microfiltrazione, flottazione e filtrazione con carboni attivi.

In conclusione, si può evidenziare come l'attuale configurazione dell'impianto di potabilizzazione di Bau Pressiu sia già stata definita al fine di fare fronte a possibili condizioni di elevata eutrofizzazione delle acque grezze captate. In tale contesto le misure da adottare a livello gestionale devono considerare le necessità di mantenere regolarmente funzionanti (secondo le previsioni di progetto) i sistemi idonei alla rimozione delle sostanze potenzialmente tossiche (in particolare il comparto di filtrazione a carboni attivi). L'adozione ed il costante aggiornamento di un sistema di valutazione della vulnerabilità del sistema idrico e di gestione del rischio (secondo gli standard nazionali e internazionali riportati nel capitolo successivo) potranno ulteriormente mitigare i rischi per la salute umana.

## 10 MONITORAGGIO E CRITERI DI MITIGAZIONE DEI RISCHI

### 10.1 LINEE GUIDA E CRITERI DI VALUTAZIONE

Nel contesto della gestione del rischio, per "pericolo" si intendono le proprietà di una sostanza che causano danno in determinate circostanze. Il termine "rischio" si riferisce alla probabilità che l'esposizione ad un pericolo conduca ad uno specifico danno per la salute umana. Esso è generalmente espresso come una frequenza in un dato tempo (da M. Cavalieri, in ISTISAN 00/30).

La valutazione e la gestione del rischio associato alla presenza di cianobatteri e cianotossine in un corpo idrico le cui acque o prodotti possono essere destinate al consumo umano, è di notevole complessità in considerazione dei diversi elementi che presiedono alla proliferazione degli organismi nelle acque di origine, alla natura e all'entità delle tossine eventualmente prodotte e alla persistenza e/o trasformazione dei principi tossici nei processi di trattamento e distribuzione delle acque. (L. Lucentini ed al. 2014).

Per la Sardegna le fioriture di specie algali avvenute ed il tipo di tossine identificate sono indicate nella tabella seguente.

Regione	Specie	Tipo di tossina	Quantità di tossine
Sardegna	M. aeruginosa	MC-LR	380 µg/g ww
	Microcystis spp.	MC-LW	2,27x10 <sup>-3</sup> µg/mL
	Microcystis spp.	MC-RR	0,5 µg/g ww
	Anabaena spp.	CYN	
	Dol. planctonicum	ANA-a	
	P. rubescens	MC-RR + dem-MC-RR, MC-YR	
	P. agardhii	MC-RR + dem-MC-RR, MC-YR	
	C. raciborskii		

*Fioriture storiche di specie algali avvenute in Sardegna e tipo di tossine identificate – da L. Lucentini ed al. - 2014*

Attualmente i processi di potabilizzazione in uso sono in grado di rimuovere gran parte delle cellule algali anche se la somma del contenuto di tossine presenti a livello intra- ed extracellulare è generalmente considerata nell'acqua potabile l'indice più importante nella valutazione del rischio di esposizione a tali tossine, per quanto riguarda l'acqua da destinare al consumo umano. Per le cianotossine, la normativa italiana non prevede, a tutt'oggi, valori di riferimento: qualora si sospetti la presenza di forme tossiche in concentrazioni tali da rappresentare un potenziale pericolo per la salute umana, l'autorità sanitaria competente deve provvedere all'allestimento dei piani di controllo come previsto nel DL.vo 31/2001, art. 8 e relativi allegati per la ricerca dei parametri accessori. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) ha definito dei valori guida per alcune specie tossiche già inserite da molte nazioni nei regolamenti delle proprie legislazioni. Sulla base dei dati tossicologici disponibili la WHO ha definito un valore guida provvisorio di 1,0 µg/l espressi come microcistina-LR, una delle più tossiche, frequentemente riscontrata nelle acque superficiali.

In Italia, nel 2011 sono state elaborate le Linee guida nazionali per la gestione del rischio da cianobatteri in acque destinate a consumo

umano (Rapporti ISTISAN 11/35) da un gruppo di lavoro interdisciplinare composto da esperti del ministero della Salute, delle autorità sanitarie e ambientali periferiche, università ed enti di ricerca nazionali e gestori di sistemi acquedottistici, nell'ambito di un progetto affidato all'Istituto superiore di sanità (ISS). L'approccio adottato nelle linee guida ha permesso di proporre un decreto interministeriale per l'introduzione del parametro microcistina-LR nel Dlgs 31/2001 del 2 febbraio 2001, secondo il quale il valore di parametro stabilito per la microcistina-LR si riferisce al contenuto di tossina totale (intra- ed extra-cellulare) e deve essere riferito alla somma delle concentrazioni dei diversi congeneri di microcistine presenti nel campione, considerati come equivalenti di microcistina-LR, sulla base di un approccio ampiamente conservativo nei confronti della protezione della salute; a tal fine devono essere ricercati i congeneri di microcistine (MC) determinabili al meglio delle potenzialità analitiche disponibili: come criterio minimo, andrebbero ricercati almeno i congeneri per i quali sono commercialmente disponibili standard analitici, al minimo i congeneri Dem-MC-RR, MC-RR, MC-YR, Dem-MC-LR, MC-LR, MC-LA, MC-LY, MC-LF, MC-LW.

La ricerca di cianotossine in acque destinate al consumo umano non è oggetto di controllo di routine o di verifica con frequenza prefissata, ma deve effettuarsi solo nei casi definiti in seguito a valutazione del rischio, secondo i criteri definiti dal "Gruppo nazionale per la gestione del rischio cianobatteri in acque destinate a consumo umano", riportati in Rapporto ISTISAN 11/35 Parte 2 sez. 2, e successive revisioni. Le linee guida quindi descrivono la strutturazione e l'implementazione di un sistema basato sui principi dei Water Safety Plans (WSP) e sui criteri internazionali di Alert Levels Framework (ALF) WHO, per la gestione del rischio esteso all'intera filiera idropotabile, dal controllo dell'invaso ai punti di utenza. Una specifica trattazione riguarda le strategie di risposta alle emergenze, e le misure di mitigazione del rischio, che comprendono aspetti di prevenzione e trattamenti di rimozione di cianobatteri e tossine, e i piani di emergenza. Vengono inoltre analizzati possibili interventi preventivi e di misure di controllo che possono essere attuate nel corpo idrico e nella filiera idro-potabile per eliminare o ridurre i rischi di presenza di cianotossine nelle acque distribuite (Figura 80).

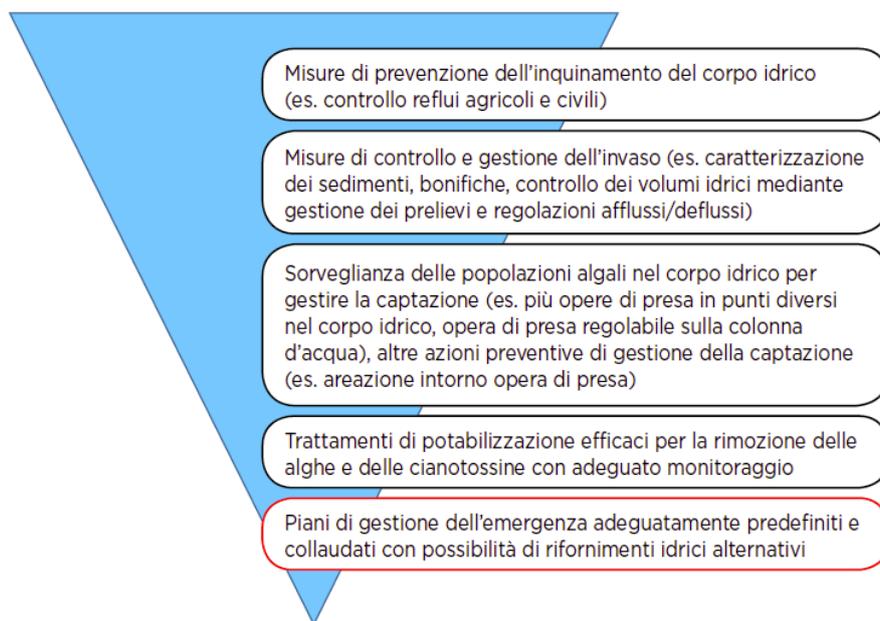


Figura 80: Riduzione del rischio nella filiera, interventi preventivi e misure di controllo – da Rapporti ITSAN 11/35

## 10.2 CRITERI SPECIFICI PER LA FILIERA IDROPOTABILE

La valutazione della vulnerabilità di un sistema idrico (da ISS L- Lucentini, E. Ferretti ed al.), in merito al rischio di presenza di tossine (in particolare le cianotossine) nelle acque in distribuzione fino all'utenza, richiede la valutazione della vulnerabilità del sistema basato innanzitutto sull'esame storico degli episodi e sul livello di rischio di proliferazione di cianobatteri tossici e quindi sulla valutazione

dell'efficacia delle misure di gestione implementate dal sistema. Come già sopra detto, l'approccio adottato in Italia si dovrebbe basare sulla elaborazione e applicazione di "Water Safety Plans" e sui criteri internazionali di "Alert Levels Framework", utili per valutare la vulnerabilità del sistema idrico sia in generale che in relazione alle possibili proliferazioni di cianobatteri tossici con potenziale produzione di cianotossine e persistenza delle tossine (intra o extracellulari) nelle acque in distribuzione fino all'utenza.

In relazione alle caratteristiche di rischio specifiche dei corpi idrici utilizzati per la captazione dell'acqua grezza, le linee guida suggeriscono di procedere ad una valutazione della vulnerabilità globale del sistema idrico che comprenda la valutazione della idoneità (a livello progettuale) e funzionalità (a livello gestionale) del processo di trattamento esistente in relazione alle caratteristiche delle acque trattabili ed ai possibili inquinanti.

La redazione dei piani di gestione del rischio si basa sui seguenti elementi comuni:

- la necessità di una base di informazioni su cui decidere;
- la necessità di prendere decisioni basandosi su informazioni spesso incomplete in relazione alla parziale disponibilità dei dati di monitoraggio e allo stato di conoscenza parziale riguardante le tossine cianobatteriche;
- la necessità di paragonare e valutare insieme diversi tipi di danni per la salute umana;
- l'opportunità di una larga comunicazione e partecipazione pubblica.

La tabella seguente riepiloga le principali fasi per l'elaborazione di un Water Safety Plan (fonte ISS, L. Luvcentini):

Fase del piano	Finalità
Formazione di un team multidisciplinare con definizione di ruoli e responsabilità	Definire i rischi associati alle singole componenti/fasi del sistema idrico; valutare l'efficacia del sistema nel garantire standard di qualità igienico-sanitaria adeguati.
Descrizione del sistema idrico	Rappresentare in dettaglio il sistema in tutte le sue componenti/fasi (diagramma di flusso): area di captazione, captazione, trattamenti, rete di stoccaggio e distribuzione, sistemi di distribuzione interni. Identificare le tipologie di utenze e gli utilizzi delle acque in distribuzione;
Analisi dei pericoli e identificazione delle priorità di rischio	Identificare: i potenziali fattori di rischio biologico, fisico e chimico associati ai diversi elementi del sistema; i possibili eventi che possano causare un rischio sanitario per l'utenza; stabilire una scala di priorità tra i rischi sulla base dei potenziali effetti e delle probabilità di accadimento, come fondamento di ogni processo decisionale.
Definizione e validazione di misure adeguate per tenere sotto controllo i rischi	Identificare e verificare azioni per tenere sotto controllo ogni rischio significativo, attraverso barriere fisiche o attività adeguate a prevenire, eliminare o ridurre la probabilità di accadimento o mitigarne le conseguenze.
Misure di controllo e monitoraggio	Realizzare su base sistematica una serie di controlli di processo e di prodotto adeguati ad assicurare l'efficacia del sistema a tenere il rischio sotto controllo: ciascuna misura di controllo deve essere pianificata in termini di procedure di attuazione, limiti di sicurezza ed azioni correttive da intraprendere in caso di deviazioni significative da tali limiti.
Verifica del piano	Valutazione dell'efficacia complessiva del piano nel garantire la conformità dell'acqua al punto di utenza agli standard di qualità igienico-sanitaria.
Documentazione e revisione	Assicurare e documentare nel tempo l'efficacia di funzionamento del piano, sulla base dei risultati conseguiti o in seguito al verificarsi di incidenti od emergenze.

A livello specifico operativo di monitoraggio della gestione del processo di trattamento si deve evidenziare come le tossine libere nell'acqua possono essere trattate soprattutto con carbone attivo od ossidate con agenti specifici (da M. Cavalieri, in ISTISAN 00/30). I trattamenti di pre-ossidazione (ozono o cloro) rischiano di provocare la lisi cellulare ed il rilascio di tossine. Si ritiene pertanto

opportuno applicare basse dosi iniziali di ossidante in pre-ossidazione per migliorare la flocculazione e prevedere ulteriori fasi di trattamento per la rimozione delle tossine disciolte. Il carbone attivo è in grado di rimuovere molto efficacemente le microcistine soprattutto se sul carbone attivo granulare (GAC) si stabilisce un'attività biologica che contribuisce alla degradazione delle tossine. Le fasi di trattamento convenzionali presenti a monte della filtrazione su carbone attivo possono contribuire in maniera significativa alla rimozione sia dei cianobatteri che delle tossine disciolte se le varie fasi di coagulazione, chiarificazione, filtrazione e superclorazione – dechlorazione, od ozonazione si svolgono in modo efficace.

Il controllo frequente dell'efficacia delle varie fasi di trattamento è quindi cruciale per assicurare la sicurezza dell'acqua distribuita.

### 10.3 MITIGAZIONE DEI RISCHI PER GLI ALTRI USI

La presenza di cianobatteri e cianotossine nelle acque degli invasi può determinare rischi potenziali sia per i consumatori di prodotti agricoli o ittici che per altre categorie di utilizzatori delle acque che possono invece venire direttamente a contatto con esse, quali ad esempio gli addetti alla distribuzione delle acque irrigue, i bagnanti, i pescatori sportivi, etc.

Per quanto riguarda il consumo di prodotti agricoli o ittici e la protezione degli addetti alla distribuzione delle acque irrigue, la mitigazione dei rischi dovrebbe avvenire mediante l'adozione di specifici piani in analogia a quanto illustrato per la filiera idropotabile. Per i bagnanti e gli altri fruitori degli invasi, che possono venire a contatto diretto con le acque degli invasi, il maggior rischio è in relazione allo sviluppo di possibili schiume concentrate. Il monitoraggio visivo costituisce, in genere, il solo strumento efficace, anche se può risultare difficile a causa della variabilità dei numerosi fattori ambientali che inducono alla rapida formazione di schiume a livello locale e ad una loro ulteriore rapida concentrazione.

## 11 INTERVENTI ED AZIONI COMPLEMENTARI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

### 11.1 LA FILIERA DELLE ACQUE E LA CATENA DELLE RESPONSABILITÀ

Come già sopra ampiamente è evidenziato, l'intervento previsto nel presente progetto, si inserisce in una filiera delle acque che interessa differenti componenti e fasi (aventi natura sia tecnico-ingegneristica che territoriale ed ambientale) ed una pluralità di Enti, soggetti gestori e portatori di interesse, sia pubblici che privati.

Le componenti e gli aspetti coinvolti dalla filiera delle acque riguardano in particolare:

- Le fonti di approvvigionamento, costituite dalle risorse idriche dei bacini imbriferi che alimentano i corsi d'acqua; per questa componente si possono individuare i seguenti aspetti significativi:
  - disponibilità quantitativa: disponibilità naturale della risorsa e mantenimento del bilancio quantitativo;
  - qualità della risorsa idrica: qualità naturale delle acque; inquinamento antropico cronico (in particolare carico organico e di nutrienti) e rischi di inquinamento accidentale.
- Gli invasi artificiali, che costituiscono le componenti artificiali capacitive del sistema (che sono i corpi idrici interessati dai trasferimenti idrici), per i quali si possono individuare i seguenti aspetti e sub-componenti, connesse con la loro gestione e vulnerabilità potenziale:
  - disponibilità quantitativa: bilancio degli apporti naturali, delle immissioni (trasferimenti) da altri invasi e prelievi idrici per i differenti usi (irriguo, potabile, ricreativo, ecc.);
  - qualità delle acque: evoluzione della qualità delle acque degli invasi, in relazione alla variabilità stagionale quantitativa degli afflussi e dei processi chimico-fisico-biologici interni al corpo idrico (processi eutrofici, etc.); rischi di sviluppo di fioriture algali di tipo tossico; rischi di inquinamenti accidentali conseguenti ad attività permanenti o temporanee;
  - qualità dei sedimenti degli invasi: rischi di rilascio di sostanze nutrienti; rischi di rilascio di sostanze chimiche e

- nutrienti connessi con attività temporanee (cantieri mobili, ecc.);
- stato degli ecosistemi acquatici, ripariali e bentonici.
- I sistemi di trasferimento idrico/interconnessione degli invasi, per i quali si possono individuare le seguenti funzioni ed aspetti:
  - gestione dei trasferimenti idrici ai fini dell'ottimizzazione quantitativa complessiva dell'uso della risorsa degli invasi e dei bacini sottesi e degli usi diretti;
  - gestione dei trasferimenti idrici al fine della mitigazione dei rischi connessi con la compromissione qualitativa delle acque degli invasi, in relazione ai possibili fenomeni di sviluppo di biomasse algali tossiche;
- I sistemi idrici per l'utilizzo delle acque degli invasi:
  - i sistemi idropotabili, costituiti dalle opere di derivazione delle acque degli invasi; dagli impianti di potabilizzazione e dalle opere di adduzione e distribuzione alle utenze;
  - i sistemi irrigui, costituiti dalle opere di derivazione delle acque degli invasi e dalle opere di adduzione e distribuzione alle utenze;
  - i sistemi industriali, costituiti dalle opere di derivazione delle acque degli invasi e dalle opere di adduzione e distribuzione alle utenze;
- Gli utilizzatori finali, rappresentati da:
  - Gli utenti idropotabili, ovvero la popolazione civile, le attività commerciali ed industriali e gli usi inscindibili da quelli umani, alimentati dagli acquedotti civili;
  - Gli utenti irrigui, ovvero gli agricoltori coltivatori diretti e le imprese agricole e vitivinicole, le attività agroindustriali sia agricole che vitivinicole, gli itticoltori, etc.
  - Gli utenti industriali, ovvero le attività artigianali ed industriali in senso stretto, alimentati dagli acquedotti industriali;
  - Gli eventuali utenti degli invasi (ove consentito) ai fini ricreativi, pescasportivi, etc.

In relazione alla articolazione, complessità e mutue interferenze delle componenti e sub-componenti sopra elencate, la gestione della filiera delle acque nel suo complesso necessita della corretta ed efficiente integrazione e coordinamento degli interventi ed azioni dei differenti soggetti, sia istituzionali che privati, coinvolti.

A tal fine si sono analizzati innanzitutto quali ulteriori piani e progetti pubblici siano già stati programmati al fine di ottimizzare la filiera nel suo complesso e mitigare i rischi connessi con il suo funzionamento.

L'analisi è stata effettuata in relazione alle singole componenti della filiera:

- Le fonti di approvvigionamento:
  - la tutela quantitativa e qualitativa delle risorse idriche dei bacini imbriferi che alimentano gli invasi coinvolge tutti i soggetti pubblici (Regione, Province, Comuni, Enas, Consorzi di bonifica, etc.) e privati e la popolazione nel suo complesso. In particolare, tra gli Enti pubblici, si evidenzia il ruolo di indirizzo e coordinamento della Regione Sardegna, che già opera a livello di programmazione mediante specifici atti di pianificazione quali il Piano Regionale di Gestione del Distretto Idrografico, il Piano di Tutela delle Acque, ecc.;
  - il coinvolgimento dei settori privati può avvenire oltre che con gli ordinari sistemi di regolazione e controllo anche mediante specifiche campagne di incentivazione e sensibilizzazione degli operatori economici (in particolare del settore agricolo), circa il controllo del rilascio di carichi inquinanti, sia puntuali che diffusi, in particolare dei nutrienti. E' auspicabile la predisposizione e gestione di specifici piani di gestione e contratti di fiume nei bacini imbriferi degli invasi interessati dal progetto, in particolare quelli di Cixerri e Monte Pranu. Il ruolo di soggetto coordinatore di tali contratti potrebbe essere assunto dalla Regione Sardegna o dalle Amministrazioni provinciali. La fase di avvio volta all'espressione e manifestazione di interesse e le attività volte alla sottoscrizione dei contratti da parte di tutti i

soggetti pubblici e privati coinvolti, potrebbe avvenire sotto il coordinamento e con l'assistenza finanziaria della Regione Sardegna, con la eventuale delega operativa ad Enas.

- Gli invasi ed i sistemi di trasferimento idrico/interconnessione degli invasi; le strategie di intervento più immediate ed a breve e medio termine prevedono la captazione selettiva delle acque grezze e la conseguente gestione dei trasferimenti idrici, con lo scopo sia di evitare il verificarsi di condizioni favorevoli allo sviluppo di bloom algali cianobatterici e sia di evitare il prelievo di acque interessate dai bloom stessi. Tali strategie si basano sul monitoraggio in tempo quasi reale delle popolazioni algali nella risorsa idrica.:
  - Gli interventi complementari: una serie di interventi complementari (rispetto a quello oggetto del presente progetto) per la mitigazione della vulnerabilità quantitativa e qualitativa della filiera delle acque (ovvero per la gestione ottimale e la mitigazione dei rischi qualitativi degli invasi) sono già stati analizzati ed avviati da ENAS. In particolare, si devono evidenziare i seguenti interventi:
    - l'intervento che prevede la realizzazione del By-pass dell'invaso di Bau Pressiu, necessario per poter trasferire direttamente le acque dell'invaso Cixerri a quelle del Monte Pranu e quindi limitare alle situazioni di marcata crisi idrica le immissioni dirette delle acque dell'invaso Cixerri nell'invaso di Bau Pressiu;
    - il nuovo sistema di trasferimento idrico dall'acquedotto Mulargia – Cagliari al nodo di Cixerri: per tale nuova condotta di trasferimento è in corso di elaborazione da parte di Enas di uno studio di fattibilità; tale opera consentirà di alimentare direttamente l'invaso di Bau Pressiu con le acque del Lago Mulargia che, come visto, presentano concentrazioni di nutrienti decisamente inferiori rispetto a quelle del Cixerri.
  - Il monitoraggio della qualità delle acque:
    - ENAS ha già istituito ed organizzato uno specifico Servizio dedicato al monitoraggio delle acque degli invasi, che si inserisce nel più ampio sistema di gestione del sistema idrico regionale. Il Servizio collabora con gli Assessorati competenti in materia di tutela della risorsa (ARPA, Assessorato Ambiente della Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Lavori Pubblici, Assessorato Sanità) e con gli enti, Università ecc. coinvolti nella gestione del territorio sardo. Le finalità del sistema di monitoraggio sono:
      - acquisire informazioni in tempo reale sulla qualità dell'acqua invasata, con la finalità di fornire agli enti gestori (Abbanca, Consorzi di Bonifica ed Industriali, etc.) la migliore qualità d'acqua possibile in relazione alle loro specifiche esigenze;
      - verificare che le acque derivate abbiano la qualità ottimale in relazione alle fonti alternative disponibili ed alle profondità di derivazione;
      - evidenziare eventuali livelli eccessivi di carica inquinante e possibili effetti tossici.
    - La Regione Sardegna ha definito il "Programma di monitoraggio dei Corpi Idrici Superficiali del distretto idrografico della Sardegna, ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 2000/60/CE) - Approvazione del Programma di Monitoraggio. Ai fini della divulgazione dei risultati delle campagne di monitoraggio la Regione Sardegna ha costituito il CEDOC (Centro Documentazione Bacini Idrografici).
- I sistemi idrici per l'utilizzo delle acque degli invasi:
  - La gestione degli impianti di potabilizzazione: Il controllo dei cianobatteri e delle tossine nei sistemi di potabilizzazione delle acque, si basa su trattamenti delle acque volti alla rimozione delle cellule intatte e sulla rimozione della tossina disciolta in seguito a lisi della cellula che può avere luogo sia nel corpo idrico che nella fase di trattamento delle acque in impianto. La responsabilità del monitoraggio ricade sul soggetto gestore dell'impianto, che dovrà agire in stretto coordinamento con l'Ente gestore del sistema di trasferimento idrico regionale, ovvero

l'ENAS;

- Basandosi sui principi dei Water Safety Plans (WSP) dell'OMS, ed in stretta collaborazione con gli Enti preposti ai programmi di sorveglianza, in particolare le Aziende sanitarie, il soggetto gestore del servizio idrico deve con sistematicità valutare la presenza ed la natura di colonie di cianobatteri nelle acque in fase di captazione, al fine di procedere alla rilevazione dell'eventuale presenza di tossine e verificare il destino/abbattimento delle tossine nelle acque prima della loro immissione in rete.
- Ai fini del mantenimento della qualità delle acque degli invasi, i soggetti gestori dei servizi idrici e dei sistemi irrigui dovranno contribuire alla sorveglianza, con azioni di monitoraggio programmate, delle acque grezze da destinare e destinate al consumo umano ed all'irrigazione.

## 11.2 LE AZIONI DI PREVENZIONE ED IL COINVOLGIMENTO DEI PORTATORI DI INTERESSE

Come si è evidenziato nel precedente capitolo, la filiera delle acque coinvolge numerose componenti ambientali ed infrastrutturali e numerosi attori, sia pubblici che privati. Il migliore approccio a lungo termine per la protezione della qualità delle acque e la riduzione del rischio di formazione delle fioriture algali rimane la prevenzione, attraverso il controllo del fenomeno dell'eutrofizzazione delle acque naturali (ISS – Lucentini, L. 2015). Le azioni di prevenzione del rischio e monitoraggio dello stato, pressioni ed efficacia delle azioni preventive, necessitano di un ampio coinvolgimento di tutti i soggetti ed un efficace loro coordinamento.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, e vista la complessità dei fenomeni, i recenti indirizzi nazionali ed internazionali suggeriscono di procedere attraverso l'utilizzo di strumenti di programmazione negoziata, volta alla tutela e riqualificazione dei bacini fluviali tributari. Tali strumenti sono conosciuti a livello nazionale quali Contratti di Fiume/Bacino. Un Contratto di Fiume/Bacino è un accordo la cui sottoscrizione porta all'adozione di un sistema di regole basate su criteri di utilità pubblica, rendimento economico, valore sociale e sostenibilità ambientale. Il processo che caratterizza i Contratti di Fiume/Bacino si basa sulla co-pianificazione, ovvero su di un percorso che vede un effettivo coinvolgimento e una sostanziale condivisione da parte di tutti gli attori. Questo approccio, fondato sul consenso e sulla partecipazione, favorisce la presa di coscienza e lo sviluppo durevole dei bacini. Nel caso del presente progetto gli obiettivi specifici saranno la condivisione delle informazioni e diffusione della cultura dell'acqua, la riduzione delle pressioni e dell'inquinamento delle acque, la tutela e riqualificazione dei sistemi ambientali e ambienti fluviali e lacustri.

Gli elementi che entrerebbero in gioco in un possibile accordo sarebbero:

- i territori dei bacini idrografici tributari di uno o più invasi artificiali (prioritariamente i territori dei bacini del Cixerri e Monte Pranu);
- le comunità (la Regione/Enas, le Province, i Comuni, l'ATO, il gestore dei servizi idrici, i Consorzi di Bonifica, le associazioni di categoria, gli agricoltori, le imprese, i cittadini, ecc.);
- un insieme di politiche e di progetti a diverse scale/livelli.

La Regione Autonoma della Sardegna ha recentemente predisposto le "Linee Guida Regionali per l'attivazione dei contratti di fiume". Le linee guida per i Contratti di Fiume forniscono le indicazioni sulla gestione degli aspetti giuridici, normativi e gestionali del Contratto, sui temi della sicurezza del territorio, sulla qualità del paesaggio-ambiente e sulla rigenerazione degli ambienti urbani in relazione con il fiume. Quanto previsto potrà però essere esteso agli aspetti della tutela della qualità delle acque. Come sopra detto, la fase di avvio volta all'espressione e manifestazione di interesse e le attività volte alla sottoscrizione del contratto/contratti da parte di tutti i soggetti pubblici e privati coinvolti, potrebbe avvenire sotto il coordinamento e con l'assistenza finanziaria della Regione Sardegna (con la eventuale delega operativa ad Enas).

## 11.3 IL MONITORAGGIO DEL RISCHIO NELLA FILIERA IDRICA

Il controllo della presenza di cianobatteri nelle acque derivate ad uso potabile e delle cianotossine negli impianti di potabilizzazione

deve essere effettuato in diverse fasi della catena, dalle acque superficiali alle acque distribuite. In accordo con i principi della condivisione e coordinamento degli attori (di cui al punto precedente), una specifica azione complementare dovrà riguardare il monitoraggio integrato della filiera idrica di produzione delle acque potabili (ISS – Lucentini, L. 2015), con l'acquisizione di ulteriori elementi significativi (rispetto alle attuali conoscenze) in merito alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque e dei sedimenti degli invasi di Cixerri, Medau Zirimillis, Bau Pressiu e Monte Pranu, la definizione dei profili di cianotossine che si producono negli invasi stessi e l'identificazione ed il conteggio delle cellule algali, utili per tracciare il trend di sviluppo della popolazione algale. Il monitoraggio effettuato da ENAS prevede già attualmente la definizione di una parte di tali elementi conoscitivi per le acque degli invasi di Cixerri e Monte Pranu. Oltre a proseguire nel monitoraggio in essere, potrà essere sviluppato e validato uno specifico metodo analitico basato sull'analisi delle cianotossine nelle acque degli invasi e lungo la filiera di potabilizzazione (in particolare del Bau Pressiu), al fine di definire i profili tossici potenziali delle acque. Questo specifico progetto potrà essere avviato sotto il coordinamento e con l'assistenza finanziaria della Regione Sardegna, sotto la responsabilità del soggetto gestore del servizio idrico e la partecipazione ENAS e con la possibile supervisione da parte dell'ISS.

## 12 BIBLIOGRAFIA

- Dolman A. M. ed al. – 2011 - Cyanobacteria and Cyanotoxins: The Influence of Nitrogen versus Phosphorus - Stefan Bertilsson, Editor;
- Downing, J. A. e al. – 2001 – Predicting Cyanobacteria dominance in lakes – NRC web site;
- Environmental Laboratory U.S. Army Corps of Engineers and Portland State University – 2018 - CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Later-ally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model.
- Environmental Protection Agency (EPA) – 2008 - Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters;
- Ferber L. R. – 2004 - Do cyanobacteria dominate in eutrophic lakes because they fix atmospheric nitrogen ? - Freshwater Biology (2004) 49, 690–708;
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ – Taletè S.p.a. – 2015 – Gestione del rischio correlato alla presenza di cianobatteri nella filiera idrica delle acque destinate al consumo umano captate dal lago di Bolsena – Relazione finale;
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ - 2014 - Rapporti ISTISAN 16/8 - Database nazionale sulle fioriture algali tossiche (a cura di Milena Bruno, Paolo Roazzi, Fabrizio Volpi, Rita De Pace, Carmela Caroppo);
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ - 2014 - Cianobatteri: linee guida per la gestione delle fioriture nelle acque di balneazione (a cura di Enzo Funari, Maura Manganeli ed Emanuela Testai);
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ - 2011 - Rapporti ISTISAN 11/35 Pt. 1 e Pt 2 - Cianobatteri in acque destinate al consumo umano; stato delle conoscenze per la valutazione del rischio - Volumi 1 e 2 (a cura di Luca Lucentini e Massimo Ottaviani);
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ - 2008 - Rapporti ISTISAN 08/6 - Cianobatteri potenzialmente tossici: aspetti ecologici, metodologici e valutazione del rischio (a cura di Enzo Funari, Simona Scardala ed Emanuela Testai);
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ - 2000 - Rapporti ISTISAN 02/9 - Workshop : Le fioriture di alghe tossiche nelle acque dolci: emergenza sanitaria e misure di controllo (Atti a cura di Serena Melchiorre, Emanuela Viaggiù e Milena Bruno);
- Jing Li e al. – 2018 - Nutrient Control to Prevent the Occurrence of Cyanobacterial Blooms in a Eutrophic Lake in Southern Sweden, Used for Drinking Water Supply - Water 2018, 10, 919;

- 
- Lucentini L. - 2014 - Dalle fioriture algali il rischio microcistine - *Ecoscienza* Numero 3;
  - Maura Manganelli ed altri – 2009- Health risk evaluation associated to *Planktothrix rubescens*: An integrated approach to design tailored monitoring programs for human exposure to cyanotoxins – Elsevier - *Water research* 44;
  - OECD Janus and Vollenweider - 1981 – The OECD cooperative programme on eutrophication;
  - Umweltbundesamt (Federal Environment Agency of Germany) – 2014 - Decision support tool for the development of a setting-specific strategy from catchment to consumer against the occurrence of cyanotoxins in drinking water;
  - Umweltbundesamt (Federal Environment Agency of Germany) – 2012 - Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries;
  - Valentina Messineo ed altri, - 2009- Cyanobacterial toxins in Italian fresh waters – Elsevier - *Limnologica* 39;
  - World Health Organization (WHO) - 2015 - Technical Brief - Management of cyanobacteria in drinking-water supplies: Information for regulators and water suppliers;
  - World Health Organization (WHO) & International Water Association – 2009 - Water safety plan manual (WSP manual) - Step-by-step risk management for drinking-water suppliers;
  - World Health Organization (WHO) - 2011 - Guidelines for drinking-water quality, fourth edition.

### 13 ALLEGATO 1 – MISURE TERMO-PLUVIOMETRICHE

