

POLITECNICO DI MILANO

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**EVOLUZIONE DEL GRADIENTE TERMICO  
DELLE ACQUE SUPERFICIALI: IL CASO DEL  
FIUME OGLIO**

Relatore: prof. Alberto Bianchi

Correlatore: Ing. Stefano Loffi

Tesi di laurea di:

Stefano Bobbi Matr. 632184

Alessandro Redaelli Matr. 636320

Anno accademico 2002/2003

# INDICE

RINGRAZIAMENTI.....	I
SOMMARIO.....	II

## **1 DESCRIZIONE IDROGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DELL'ASTA DEL FIUME OGLIO .....1**

1.1 CONTESTO GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO.....	1
1.2 CONTESTO IDROGEOLOGICO.....	7
1.3 I FONTANILI.....	9
1.3.1 <i>Le risorgive: valutazione del fenomeno nel 1992</i> .....	13

## **2 IL LAGO D'ISEO .....15**

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	15
2.2 EVOLUZIONE RECENTE DELL'EUTROFIZZAZIONE DEL LAGO D'ISEO.....	18
2.3 ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO.....	23
2.3.1 <i>Lo stato ecologico: elaborazione dati secondo il D. Lgs 152/99</i> .....	24
2.4 LA REGOLAZIONE DEL LAGO.....	26
2.4.1 <i>Criteri di regolazione</i> .....	27
2.4.2 <i>Il coordinamento con i bacini idroelettrici della Val Camonica</i> .....	28

## **3 LA TEMPERATURA DEL LAGO D'ISEO .....31**

3.1 I DATI DISPONIBILI.....	31
3.2 RICHIAMI TEORICI SULLE PROPRIETÀ TERMICHE DI UN LAGO.....	32
3.3 DIPENDENZA DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA SUPERFICIALE DALLA TEMPERATURA ATMOSFERICA NEL LAGO D'ISEO.....	37
3.4 RELAZIONE TRA L'AUMENTO DELLA TEMPERATURA DELLE ACQUE PROFONDE E LE TEMPERATURE DELL'ACQUA SUPERFICIALE.....	43

## **4 LA GESTIONE DELLE ACQUE DEL FIUME.....48**

4.1 IL CONSORZIO DELL'OGGIO.....	48
4.2 IL CONSORZIO IRRIGAZIONI CREMONESI.....	54
4.2.1 <i>Il Condomino Pallavicino</i> .....	57

## **5 LA TEMPERATURA DEL FIUME: ANDAMENTO SPAZIALE E TEMPORALE .....60**

5.1 I DATI DISPONIBILI.....	60
-----------------------------	----

5.2	LA TEMPERATURA DELL'OGGIO: TRATTO SARNICO-CAPRIOLO-PONTOGLIO ..	62
5.3	LA TEMPERATURA DELL'OGGIO: TRATTO PONTOGLIO-NAVIGLIO GRANDE...	66
5.4	LA TEMPERATURA NELLE VASCHE .....	75
<b>6</b>	<b>IL FENOMENO DELLE RISORGENZE D'ALVEO .....</b>	<b>81</b>
6.1	INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA.....	81
6.2	LE VARIABILI CONSIDERATE NELLO STUDIO E LA LORO RETE DI RILEVAMENTO	82
6.2.1	<i>La portata di falda come misura indiretta.....</i>	<i>83</i>
6.3	IL METODO D'INDAGINE UTILIZZATO: L'ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI ..	
	.....	84
6.4	ANALISI DEI DATI .....	86
6.5	PROPOSTA DI UN NUOVO METODO PER LA VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	96
6.6	LA MISURA DELLA TEMPERATURA PER LA VALUTAZIONE DELLE RISORGENZE D'ALVEO.....	99
<b>7</b>	<b>L'ACQUACOLTURA E IL FIUME OGLIO .....</b>	<b>103</b>
7.1	UNA NUOVA FRONTIERA: L'ACQUACOLTURA INTENSIVA.....	103
7.2	ASPETTI ECONOMICO FINANZIARI DELLE IMPRESE E LA SITUAZIONE ITALIANA .....	108
7.3	OSSERVAZIONI E TESTIMONIANZE DEI RESPONSABILI DELLE ITTICOLTURE ...	114
7.4	CARATTERISTICHE DI UN ALLEVAMENTO TIPO.....	117
7.5	CARATTERISTICHE DELL'ACQUA E POSSIBILI EFFETTI DELL'AUMENTO DELLA TEMPERATURA NELLE VASCHE.....	118
7.5.1	<i>Il principale effetto dell'aumento di temperatura .....</i>	<i>124</i>
<b>8</b>	<b>PROPOSTA DI INTERVENTO PER UN ALLEVAMENTO ITTICO ESISTENTE.....</b>	<b>128</b>
8.1	LA MACCHINA FRIGORIFERA E LA POMPA DI CALORE: RICHIAMI TEORICI ....	128
8.2	L'AZIENDA AGRICOLA MANDELLI .....	131
8.3	DESCRIZIONE QUALITATIVA DELL'INTERVENTO PROPOSTO.....	133
8.4	IL PROGETTO DELL'IMPIANTO PROPOSTO.....	140
8.5	ANALISI DELLA COMPONENTE ECONOMICA .....	146
	<i>Costi di produzione .....</i>	<i>147</i>
8.6	INDICATORI DI CONVENIENZA ECONOMICA .....	151
	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>155</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>158</b>

# RINGRAZIAMENTI

Gli Autori di questa tesi desiderano ringraziare tutte quelle persone che ne hanno favorito la realizzazione, fornendo dati, esperienze e utili informazioni.

In particolare:

- prof. Ing. Alberto Bianchi
- prof. Vincenzo Francani
- prof. Livio Mazzarella
- prof. Renato Vismara
- dott. Ing. Stefano Loffi, Direttore del Consorzio Irrigazioni Cremonesi
- dott. Ing. Massimo Buizza Direttore del Consorzio dell'Oglio
- dott. Ing. Grespi, ARPA Lombardia
- dott. Paolo Beati, direttore ARPA di Cremona
- dott. Massimo Cremonini, Provincia di Cremona
- dott. Ing. Chiara Malusa, ufficio ex Genio Civile
- p.a. Maricca Corallini, Servizio Acque Provincia di Bergamo
- p.a. Laura Corno, Servizio Acque Provincia di Brescia
- dott. Cristina Monguzzi, CNR Brugherio
- dott. Giancarlo Guareschi
- dott. Daniele Ferrari, ERSAL
- dott. Carlo Lombardi, ittiologo Provincia di Cremona

# SOMMARIO

Questo studio intende individuare i fattori che hanno provocato l'aumento delle temperature, nel periodo estivo, delle acque del Fiume Oglio sublacuale. Da circa venti anni questo gradiente termico costringe le imprese di acquacoltura, alimentate dal fiume, al trasferimento in altri impianti del prodotto non ancora pronto per il mercato.

Tale spostamento incide notevolmente sui costi di produzione del pesce tanto da far prevedere, in tempi non lontani, un possibile abbandono delle attività.

Inizialmente la ricerca si è concentrata sull'ipotesi dell'esistenza di scarichi che contribuissero all'aumento della temperatura dell'acqua del fiume. Il censimento degli scarichi esistenti ha permesso di escludere tale eventualità, ma le indagini hanno mostrato una correlazione singolare tra le temperature del Lago d'Iseo e quelle delle acque del fiume nelle sezioni in cui erano disponibili sufficienti serie di dati.

Da una prima analisi è risultato subito evidente che le acque del fiume, nel semestre estivo, subiscono un incremento di temperatura durante il "passaggio" nel lago, dell'ordine di  $6^{\circ}\text{C}$ - $7^{\circ}\text{C}$  dissipati poi, nel corso del fiume, in misura inferiore a  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .

Pertanto si sono aperti due filoni di ricerca :

1. termodinamica del lago;

## 2. bilancio termico del fiume.

Dopo aver condotto l'analisi statistica dei dati lo studio ha portato ad un primo risultato: l'andamento delle temperature dell'acqua del lago, in prossimità dell'emissario, non dà elementi significativi a giustificazione del fenomeno oggetto del presente lavoro. In particolare è risultato ben evidente la necessità di estendere il monitoraggio ai primi strati superficiali, oggi trascurati nei rilevamenti, che rappresentano la parte fenomenologicamente attiva del lago.

Ecco pertanto limitarsi l'orizzonte della ricerca allo studio dei fenomeni dinamici del fiume sublacuale.

Dalla ricostruzione dell'andamento, sia spaziale sia temporale, della temperatura del fiume (compito che non è stato agevole a causa della mancanza di un sistematico monitoraggio del sistema Lago d'Iseo – Fiume Oglio da parte dei competenti organi) si sono potute individuare le interazioni tra il fiume e la falda e si è potuto quantificare l'apporto di quest'ultima. Grazie a tali dati possiamo ora affermare che il gradiente termico oggetto dello studio è da imputarsi alla diminuzione del fenomeno delle risorgente d'alveo che ha fatto gradualmente venir meno il contributo rinfrescante dell'acqua di falda. Di tale diminuzione vengono anche fornite le possibili cause, legate all'ormai cronico problema dello squilibrio tra acqua disponibile ed attingimenti.

Ne esce una nuova sottolineatura dell'importanza di effettuare accurati e metodici rilevamenti del bilancio idrologico di bacino idrografico anche a livello ipogeo.

Per sopperire alle difficoltà (economiche e pratiche) dei competenti organi nel quantificare le interazioni del sistema fiume–falda (ad esempio per evitare le tediose misurazioni con il mulinello e le imprecisioni dei bilanci di massa), questo studio propone due innovativi metodi indiretti per il monitoraggio del contributo dell’acqua di falda al fiume, attività non più procrastinabile.

Il primo metodo, diretto risultato della presente ricerca, utilizza la misura delle temperature del fiume e della falda per quantificare l’apporto delle acque sotterranee attraverso abachi appositamente costruiti.

Nell’ambito di metodi non tradizionali, cioè non basati sul bilancio di massa, segnaliamo inoltre un secondo metodo indiretto che si basa sulla misurazione della conducibilità elettrica delle acque del fiume e della falda, misurabile in sito mediante conduttimetri.

La parte finale dello studio è più progettuale; propone la risoluzione del problema contingente dell’aumento del gradiente termico dell’acqua nelle vasche dell’allevamento ittico della società Mandelli.

La soluzione individuata consiste nella realizzazione di una macchina termica che ha il compito di mantenere pressoché costante, nell’arco dell’anno, la temperatura delle acque disponibili per le vasche di allevamento delle trote, consentendo così di raddoppiare la produzione.





## **DESCRIZIONE IDROGRAFICA E GEOMORFOLOGICA DELL'ASTA DEL FIUME OGLIO**

### **1.1 Contesto geomorfologico e idrografico**

Il corso del Fiume Oglio ha inizio dal Corno dei Tre Signori (3360 m), nel gruppo dell'Ortles, al confine fra la Lombardia ed il Trentino Alto Adige, scorre interamente in territorio lombardo per circa 280 km e sfocia nel Po a monte dell'abitato di Borgoforte (MN). Il suo bacino idrografico interessa un'area totale di circa 6.650 km<sup>2</sup>. Gli affluenti principali sono il Fiume Mella e il Fiume Chiese, entrambi dalla sponda orografica sinistra. Nel tratto in esame, tra la diga di Sarnico e l'abitato di Pontoglio, riceve le acque dei

seguenti affluenti di destra: Torrente Guerna, Torrente Uria e Fiume Cherio, quest'ultimo con un bacino di circa 240 km<sup>2</sup>.

Considerando alcune variabili quali: la portata defluente, l'estensione del bacino e la larghezza dell'alveo, l'Oglio può essere classificato come "fiume piccolo" con un numero d'ordine variabile tra 4 e 7 (tab.1.1).

Tipo di fiumi	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Estensione del bacino (km <sup>2</sup> )	Larghezza dell'alveo (m)	Numero d'ordine
Fiumi molto grandi	> 10000	>10"	> 1500	>10
Fiumi grandi	1000-10000	100000-10 <sup>6</sup>	800-1500	7-11
Fiumi medi	100-1000	10000-100000	200-800	6-9
Fiumi piccoli	10-100	1000-10000	40-200	4-7
Torrenti	1-10	100-1000	8-40	3-6
Piccoli torrenti	0.1-1	10-100	1-8	2-5
Ruscelli	<0.1	<10	<!	1-3

*Tabella 1.1. Classificazione del numero d'ordine dei fiumi.*

Il suo corso può essere diviso in tre tratti distinti: il bacino prelacuale, il Lago d'Iseo e il comprensorio di pianura. Il bacino imbrifero ha un'estensione di 1434 km<sup>2</sup> e presenta un regime nivo-pluviale per quanto riguarda gli apporti, in quanto riceve sia le acque provenienti dai ghiacciai del gruppo dell'Adamello, sia quelle relative alle precipitazioni nella Valle Camonica. Presenta un andamento altimetrico con pendenze anche forti, un notevole trasporto solido alimentato dai numerosi affluenti e un'accentuata regimazione spondale dell'alveo a protezione dei molti insediamenti abitativi e produttivi. Il fiume è interessato da diversi sbarramenti in alveo a servizio di centrali idroelettriche, con la presenza di due grandi vasche di carico facenti parte del complesso sistema dei laghi alpini d'accumulo ad alta quota.

Anche gli affluenti presentano diversi punti di presa d'impianti minori, sia per la produzione d'energia sia per l'approvvigionamento ad uso potabile dei centri abitati.

In sostanza si è in presenza di un corso d'acqua con saturazione degli usi delle portate disponibili e che necessita di continui interventi di sistemazione e ripristino per la salvaguardia dell'incolumità delle popolazioni.

Il bacino del Lago d'Iseo ha un'estensione di circa 350 km<sup>2</sup>, di cui 61 km<sup>2</sup> costituiti dallo specchio lacustre, i restanti dai bacini degli affluenti. Con la regolazione in essere le escursioni dei livelli sono contenute in 140 cm intorno allo zero idrometrico di Sarnico (185,44 m s.l.m.) cui corrisponde un volume utile di circa 85 milioni di m<sup>3</sup> d'acqua.

Il corso del fiume nel comprensorio di pianura segue dapprincipio una direzione Nord-Sud per circa 60 km, per poi piegare decisamente verso Est secondo la pendenza naturale della Pianura Padana, ricevendo due affluenti significativi: il Fiume Mella e il Fiume Chiese.

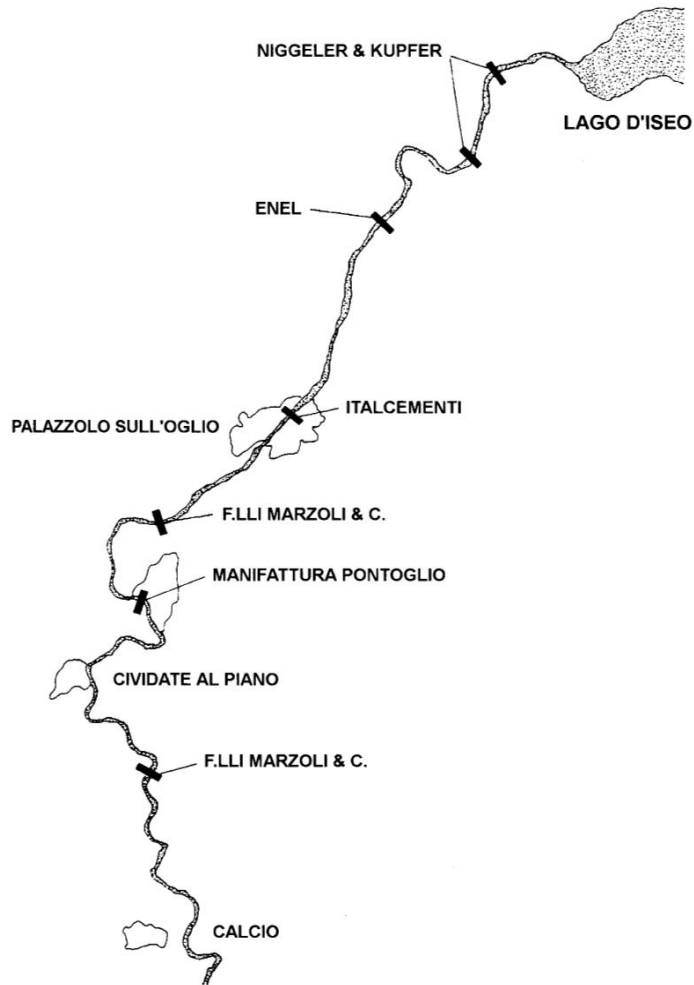
All'inizio del tratto sublacuale, a Sarnico, il fiume scorre profondamente incassato (185 m s.l.m.) in una valle fluvioglaciale, separato da 3 ordini di terrazzo dal livello fondamentale della pianura (220 m s.l.m.). All'altezza di Palazzolo sull'Oglio, la valle si allarga e diminuisce progressivamente il dislivello fra l'alveo fluviale (160 m s.l.m.) e la pianura (180 m s.l.m.) per annullarsi nelle zone di Pumenengo e Roccafranca, con una quota media di circa 90 m s.l.m. e un dislivello di 7 m.

L'estensione dell'area presa in considerazione è di circa 4.760 km<sup>2</sup> e interessa una delle zone italiane con un eccellente livello qualitativo della produzione agricola e zootecnica.

*Evoluzione del gradiente termico superficiale: il caso del Fiume Oglio*

Il comprensorio beneficiato direttamente dalla regolazione del lago si estende per circa 880 km<sup>2</sup>, diviso in tre province, e in esso sono previsti utilizzi sia idroelettrici sia, e in principale modo, irrigui. Gli impianti per la produzione di energia nella parte sublacuale sono sette (fig. 1.1) e le derivazioni a uso irriguo sono 16, tutte distribuite lungo 35 km di fiume (fig. 1.2).

*Descrizione idrografica e geomorfologia dell'asta del Fiume Oglio*



*Figura 1.1. Schema delle derivazioni ad uso idroelettrico*

*Evoluzione del gradiente termico superficiale: il caso del Fiume Oglio*



*Figura 1.2. Schema derivazioni ad uso irriguo*

## **1.2 Contesto idrogeologico**

L'assetto strutturale degli acquiferi nell'area esaminata può essere riassunto come segue (fig.1.3).

**Unità ghiaioso-sabbiosa.** E' una litozona a ghiaie e sabbie prevalenti. Si estende per una profondità variabile dai 70 m (Nord) ai 50 m (Sud), rispetto al piano campagna, con il letto posto tra i 90 m s.l.m. e i 50 m s.l.m. (sempre da Nord a Sud). Sono presenti locali intercalazioni conglomeratiche e argillose di spessore limitato (1-5 m). Verso Sud le intercalazioni argillose assumono una maggiore estensione orizzontale e possono determinare la separazione dei flussi idrici all'interno della falda libera originando falde sospese e semiconfinate.

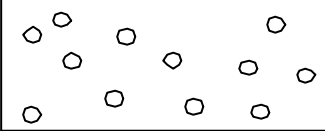
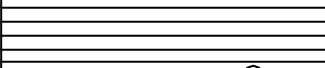
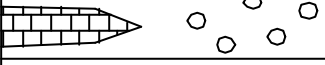
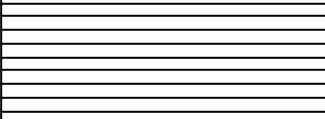
**Unità ghiaioso-sabbiosa.** E' la sede della falda libera. L'unità ghiaioso-sabbiosa appartiene al fluvioglaciale Wurm, Pleistocene superiore [Beretta e al., 1989].

**Unità argillosa superiore.** Il tetto dell'unità si trova tra i 90 m s.l.m., a Nord, e i 50 m s.l.m., a Sud. Gli intervalli argillosi (potenti anche 10-20 m) mostrano una continuità orizzontale che comporta la separazione dei flussi idrici dal sovrastante acquifero libero.

**Unità ghiaioso-sabbiosa inferiore, con conglomerati.** Si tratta di un'unità compresa fra i due intervalli argillosi. Localmente si segnala la presenza di conglomerati, potenti fino a 10 m, che possono essere assimilati all'unità "Conglomerati tipo Ceppo" [Orombelli G., 1979; Brambilla G. e al., 1983].

**Unità ghiaioso-sabbiosa.** E' sede di falde semiconfinate e confinate. Negli studi precedenti l'unità argillosa superiore e l'unità ghiaioso-sabbiosa inferiore sono denominate come Fluvioglaciale Riss e Mindel Auct., Pleistocene medio [Beretta e al., 1989].

**Unità argillosa inferiore.** Si tratta di una litozona costituita da limi e argille grigie. Il letto dell'unità argillosa varia da 50 m s.l.m. (settore settentrionale) a 10 m s.l.m. (settore meridionale) e si estende dai 90-100 m dal piano campagna per uno spessore minimo, accertato dalle stratigrafie, di 50-60 m. Localmente si hanno intercalazioni sabbiose che possono essere sede di falde confinate. L'unità argillosa appartiene alle argille cineree deposte in ambiente fluvio-lacustre, attribuibili al Villafranchiano, Pleistocene inferiore-Pliocene superiore [Brembilla G. e al., 1983].

Litologia	Unità idrogeologiche
	Unità ghiaioso- sabbiosa superiore Fluvioglaciale Wurm- Pleistocene superiore
	Unità argillosa superiore
	Unità ghiaioso- sabbiosa inferiore
	Unità argillosa inferiore

*Figura 1.3. Schema della serie idrogeologica tipo dell'area in esame*

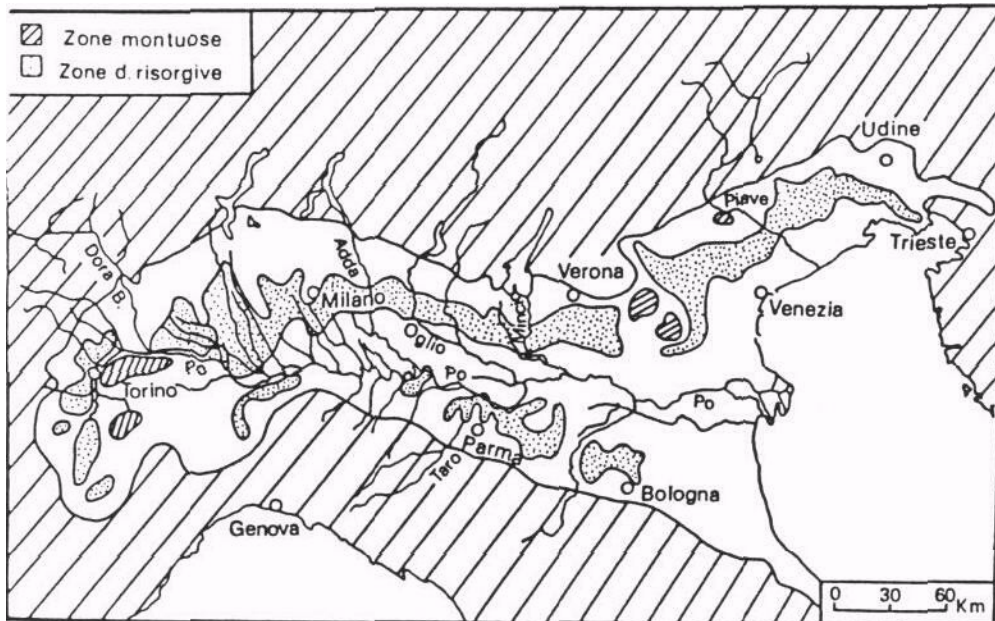


### **1.3 I fontanili**

L'idrografia dell'area in esame, oltre che dal Fiume Oglio, dai suoi affluenti e dalle sue derivazioni, è caratterizzata dalla presenza di numerosi fontanili che danno origine a veri corsi d'acqua superficiali, come ad esempio la risorgiva presso Cascina Berlucchi a Calcio che forma il Naviglietto di Calcio.

I fontanili sono formati dall'emergenza della falda freatica in depressioni del terreno. Tale emergenza può avvenire naturalmente per affioramento della superficie freatica o essere indotta artificialmente tramite l'infissione di tubi forati che intercettano la falda. Essi sono un fenomeno tipico della Pianura Padana.

La "fascia delle risorgive" (fig.1.4) nella Pianura Padana superiore si snoda su gran parte del territorio seguendo l'andamento dei soprastanti rilievi montuosi, con un'ampiezza variabile da 1 a 30 km. Detta fascia inizia presso Cuneo, poco prima dello Stura di Demonte e termina, superato l'Isonzo, nei pressi di Monfalcone. Sulla destra del Fiume Po la zona, molto più modesta, si riduce a poche aree separate che da Alessandria si spingono fin sotto Bologna.



*Figura 1.4. Fascia delle risorgive nella pianura Padana.*

Nell'area in esame la fascia delle risorgive, o "linea dei fontanili", inizia presso l'Oglio all'altezza di Rudiano sulla sponda sinistra e di Pumenengo su quella destra, con un andamento Est-Ovest. In territorio bresciano da Rudiano prosegue poi per Comezzano-Cizzago, Trezzano, Lograto, Torbole, Roncadelle, S.Zeno e Borgosatollo fino a raggiungere, in comune di Castenedolo, la collina di Capodiponte con un'ampiezza variabile dagli 8 ai 15 km. In territorio bergamasco la "linea dei fontanili" da Pumenengo prosegue verso Fontanella e Antegnate per poi risalire fino a Ghisalba e Urgnano.

Nei primi del 1900 la linea dei fontanili era collocata più a nord, all'altezza dei Comuni di Palosco e Pontoglio ed interessava anche i Comuni di Romano e Covo [Goltara, 1960; Consorzio di bonifica della Media Pianura Bergamasca, 1991].

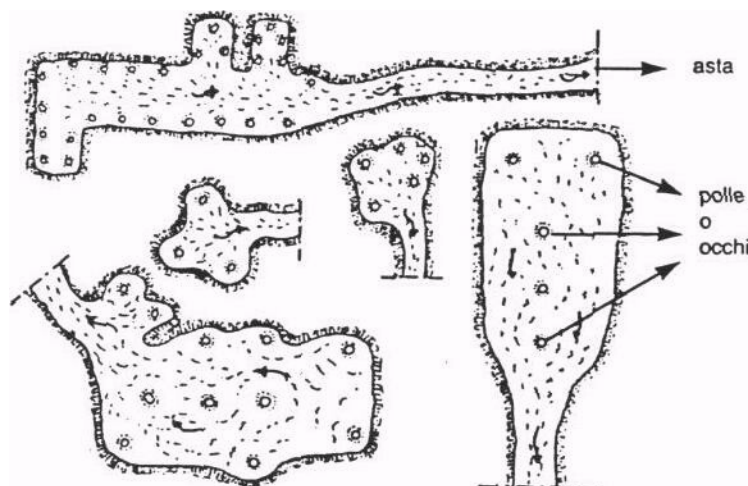
Lungo il fiume, a partire da Civate al Piano e Urago d'Oglio, si osservano numerosi fenomeni di risorgenza in alveo e di risorgive alla base dei terrazzi alluvionali, sia perenni che periodiche. Le acque emergenti possono confluire direttamente nell'Oglio o nelle rogge. Da misure eseguite dal Consorzio dell'Oglio il contributo di queste risorgive al fiume nel tratto Pontoglio-Pumenengo, indicato nella misura di 15 m<sup>3</sup>/s dal Magistrato del Po nel 1933, sta via via diminuendo.

Il fontanile risistemato è caratterizzato da tre elementi distinti: la testa o "capofonte", l'asta e il canale. La testa è una depressione di profondità sufficiente a raggiungere il livello piezometrico della falda freatica. L'acqua scaturisce da numerose polle che normalmente vengono incamiciate con cilindri di cemento di diametro dai 50 ai 120 cm. In alternativa vengono anche utilizzati tubi di ferro (tubi Norton) del diametro da 8 a 15 cm e lunghezza di 10-12 m infissi nel terreno. Nel caso di tubi di ferro si possono raggiungere intervalli acquiferi semiconfinati da livelli argillosi.

Tali intervalli possono essere sufficientemente estesi da creare fenomeni di pseudo artesianità e consentire la risalita dell'acqua anche nel caso che la superficie freatica non affiori. Ognuno dei tubi rappresenta una "polla" o "scaturigine".

L'acqua viene convogliata nell'asta o "collo di fontana": una breve strozzatura che mette in comunicazione la testa con il canale vero e proprio. In fig.1.5 sono rappresentate le forme più comuni dei fontanili.

Le acque dei fontanili godono di un isolamento termico, dovuto alla loro origine ipogea, che consente di mantenere temperature variabili dai 10 ai 15° C con escursioni di 2-3° C. Questo particolare regime termico è molto importante per la creazione di biotopi particolari e per la pratica agricola della marcita.



*Figura 1.5. Alcune forme di testa di fontanile.*

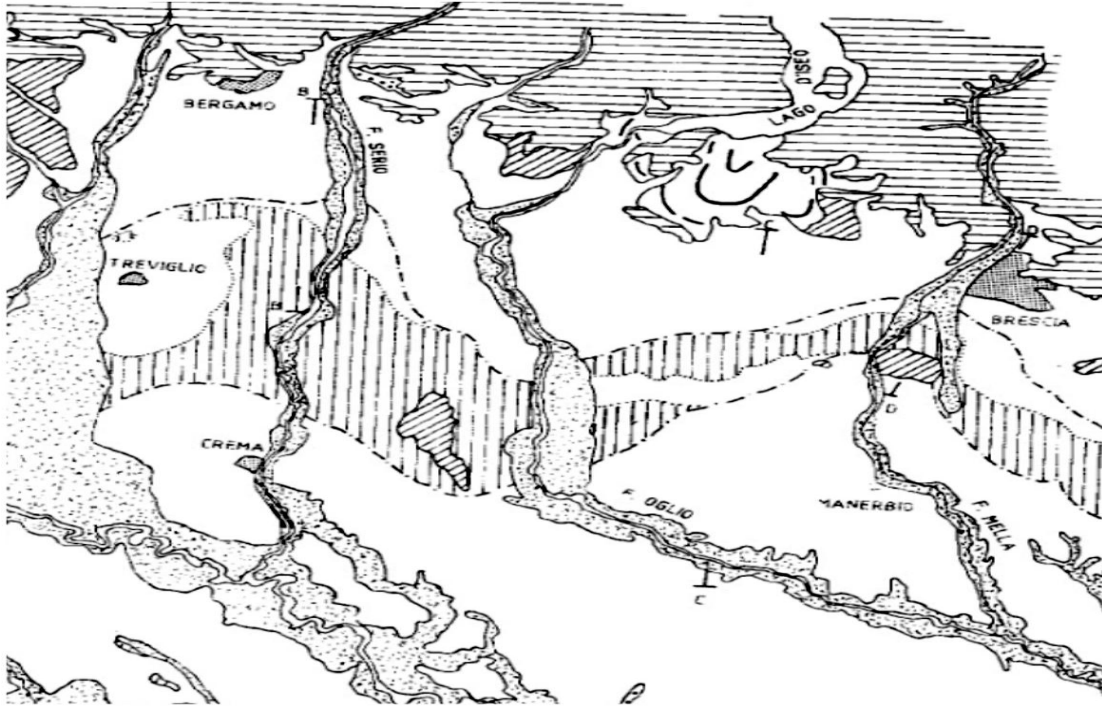
### **1.3.1 Le risorgive: valutazione del fenomeno nel 1992**

I rilievi compiuti su tutta la Lombardia, per la realizzazione del catasto dei fontanili, condotto dal 1988 al 1992 dal Museo Civico di Scienze Naturali di Bergamo, ha permesso di quantificare la consistenza del fenomeno delle risorgive nel 1992 e di puntualizzare le modifiche ambientali intervenute negli ultimi decenni.

E' stato possibile inoltre ripерimetrare gli ambiti ancora attivi e definirne i nuovi limiti, rispetto a quelli individuati nel 1971 (fig.1.6).

Le maggiori variazioni si sono riscontrate in corrispondenza d'areali dove l'intervento antropico è consistito nello sfruttamento non sempre programmato e corretto delle risorse idriche sotterranee, con emungimenti a scopo civile, industriale e agricolo che hanno determinato un abbassamento generalizzato della falda freatica, tanto che si parla, con significato geologico, di depressione bresciana e bergamasca [Bertuletti,1992]. Un ruolo non secondario in tale modificazione può essere imputato anche all'urbanizzazione delle nuove aree metropolitane.

*Evoluzione del gradiente termico superficiale: il caso del Fiume Oglio*



*Figura 1.6. Zone limite di risorgive 1992 (tratto-punto) e 1971 (zona campita con linee verticali).*

## IL LAGO D'ISEO

### 2.1 Inquadramento territoriale

Il Lago d'Iseo occupa il fondo della fossa originata dall'escavazione della Valle Camonica per opera del ghiacciaio camuno; lo specchio d'acqua si è formato in seguito dell'avvenuto sbarramento dell'Oglio per effetto degli accumuli morenici al termine del solco glaciale che un tempo si attestava all'attuale Pianura Padana, all'epoca pliocenica ancora fiordo marino.

Lo specchio lacuale (quarto, per estensione, dei grandi laghi prealpini italiani), ha forma a S e occupa un'area di circa 60,9 km<sup>2</sup>, con una lunghezza di km 25 ed una larghezza media di

km 2,4 e massima di km 4,7 tra Tavernola e Siviano ed il suo perimetro sviluppa km 61 circa (fig.2.1).

Il livello nominale del lago è di 185 m s.l.m. mentre la sua profondità è di 258 m, con una criptodepressione di m 73, la massa liquida ha una profondità media di m 123, cui corrisponde un volume dell'ordine di 757 milioni di m<sup>3</sup>; il tempo teorico di ricambio è di 4,1 anni.

Le due sponde, sia l'orientale bresciana (km 32) sia l'occidentale bergamasca (km 29), scendono per lo più ripide nelle acque, talvolta con pareti verticali.

Nella parte centrale si erge, sulla distesa liquida, Monte Isola, l'isola più grande dei laghi italiani (km<sup>2</sup> 4,28), che culmina a m 600.

Il bacino imbrifero (compreso il lago) ha un'estensione di 1736 km<sup>2</sup>; lo specchio lacuale è diviso all'incirca a metà fra le due province di Bergamo e Brescia.

Lo spartiacque segue, grosso modo, la forma del lago a distanza variabile da 2 a 6 km, avvicinandosi fino a meno di 1 km verso l'emissario, con quote mediamente sui 1200 m.

Ne consegue che, nella quasi generalità, i corsi d'acqua hanno breve percorso e forte pendenza, vincendo dislivelli di 700-1000 m ed oltre su tragitti che oscillano fra 3 e 8 km.

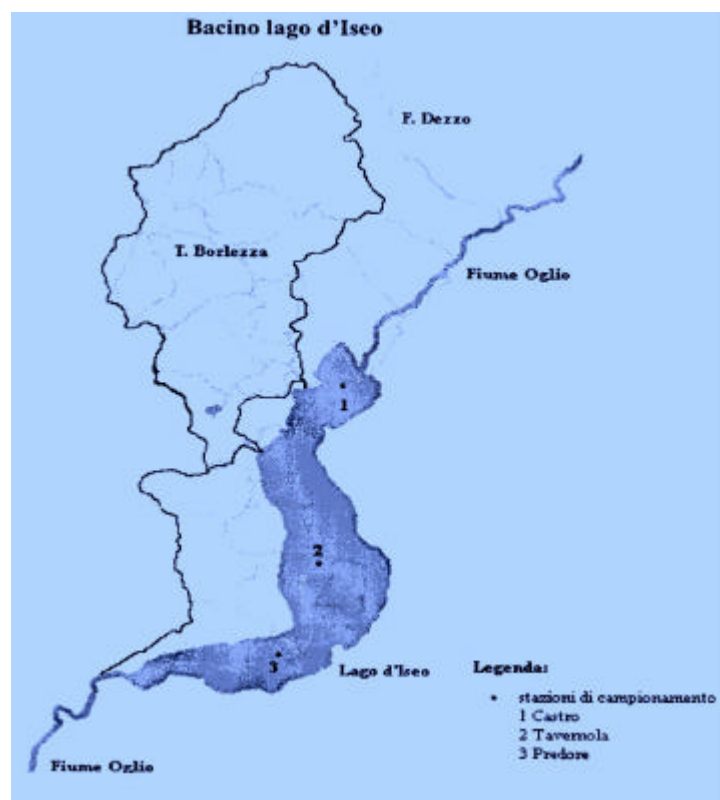
L'unica eccezione si ha verso l'estremità settentrionale della sponda bergamasca, dove la catena montuosa che cinge il Sebino presenta un profondo varco da cui sfocia



## *Il Lago d'Iseo*

nella conca lacuale la Val Borlezza, percorsa dall'omonimo torrente che, dopo il Fiume Oglio, è il massimo dei tributari diretti del lago.

Fra gli altri tributari del Lago d'Iseo meritano menzione, per la violenza delle improvvise piene, il Torrente Trobbiolo di Pisogne, il Torrente Opol, sul versante orientale, il Torrente Fonteno ed il Torrente Val il Rino su quello occidentale.



*Figura 2.1. Bacino del Lago D'Iseo, stazioni di monitoraggio*

## **2.2 Evoluzione recente dell'eutrofizzazione del Lago d'Iseo**

Il Lago di Iseo è catalogabile, in base alle vicende termiche delle sue acque, come lago di tipo subtropicale, caratterizzato cioè da temperature di fondo sempre superiori ai 4° C.

Durante il periodo estivo è presente una netta stratificazione termica. La piena circolazione delle acque si verifica alla fine dell'inverno, tuttavia questo fenomeno non si completa ogni anno a causa anche della profondità del lago (258 m). I carichi (tP/anno) prodotti e sversati nel bacino imbrifero e intercettabili nel lago sono riportati nelle tabelle 2.1 e 2.2. Complessivamente il carico di fosforo generato nel bacino imbrifero viene sversato per il 24% dalla Provincia di Bergamo e il 76% dalla Provincia di Brescia; in particolare, di tale carico il 53% è prodotto da sorgenti puntiformi e il 47% da sorgenti diffuse.

PROVINCIA	CARICO TOTALE (T P/ANNO)					
	Puntiforme		Diffuso		Totale	
	Prodotto	Sversato	Prodotto	Sversato	Prodotto	Sversato
Bergamo	56,7	28,3	93,3	21,3	150,0	49,6
Brescia	124,3	78,7	297,7	74,7	422,0	153,4
<b>Totale</b>	<b>181,0</b>	<b>107,0</b>	<b>391,0</b>	<b>96,0</b>	<b>572,0</b>	<b>203,0</b>

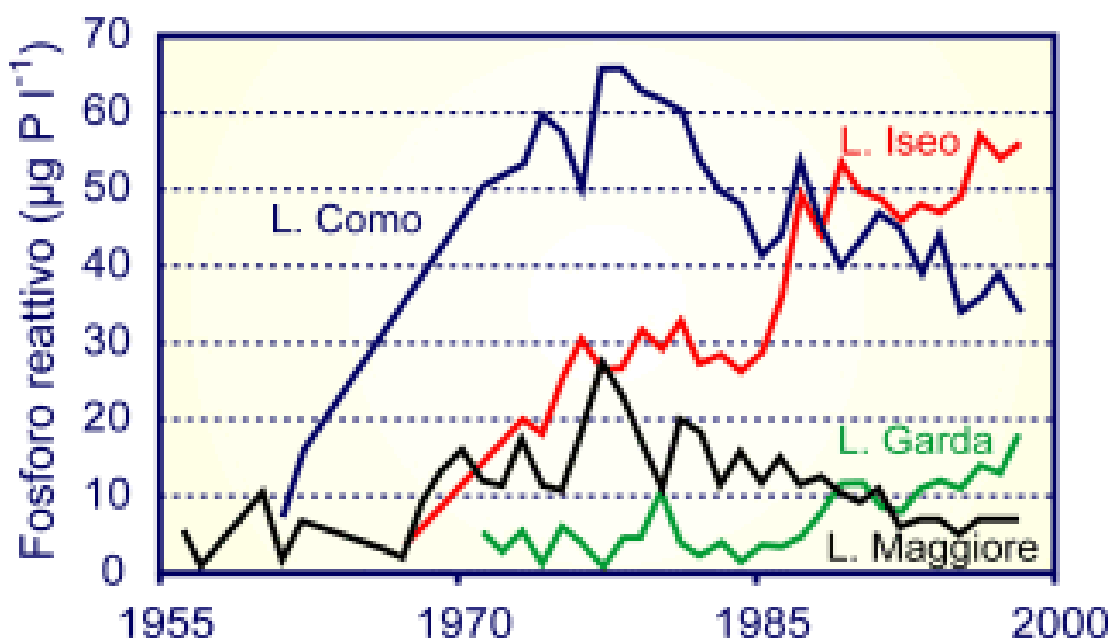
*Tab 2.1. Carichi di fosforo prodotti e sversati nel lago. [Regione Lombardia – DG Tutela Ambientale; CCR Ispr]*

PROVINCIA	CARICO TOTALE (T P/ANNO)				
	Residui nel lago			Intercettabili	
	Totale	Puntiforme	Diffuso	Puntiforme	Diffuso
Bergamo	49,6	28,3	21,3	13,8	0
Brescia	153,5	78,7	74,7	43,4	0
<b>Totale</b>	<b>203,1</b>	<b>107,0</b>	<b>96,0</b>	<b>57,2</b>	<b>0</b>

*Tab 2.2. Carichi di fosforo residui e intercettabili nel lago.[Regione Lombardia – DG Tutela Ambientale; CCR Ispra].*

Il Sebino in questi ultimi anni è stato particolarmente studiato dal punto di vista limnologico [Premazzi e al, 1998]. E' interessato, secondo le ultime indagini, da un progressivo aumento del livello trofico.

Analogamente a quanto accaduto agli altri laghi profondi subalpini, sia pure in misura diversa, anche il Lago d'Iseo ha subito, a partire dagli anni '60, un progressivo deterioramento della qualità delle acque dovuto all'eutrofizzazione. Il fenomeno è ben evidenziato dalle concentrazioni di fosforo reattivo che vanno aumentando regolarmente (fig.2.2).



*Fig.2.2. Concentrazioni di fosforo nel Lago d'Iseo*

Nei laghi profondi la completa circolazione delle acque, con la conseguente omogeneità termica e chimica non si verifica tutti gli anni, ma solo in concomitanza con inverni particolarmente freddi e con il concorso dell'energia meccanica del vento di eventi idrologici eccezionali [Moisello, 1997].

Le concentrazioni di ossigeno evidenziano che gli episodi di completa circolazione non si sono più verificati dalla seconda metà degli anni ottanta (fig.2.3).

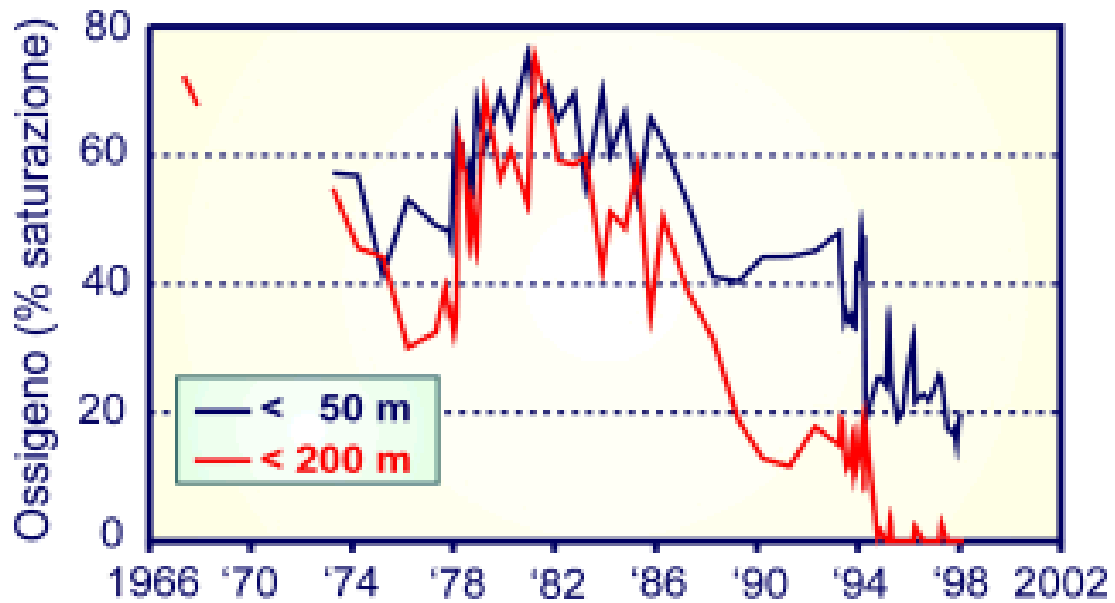
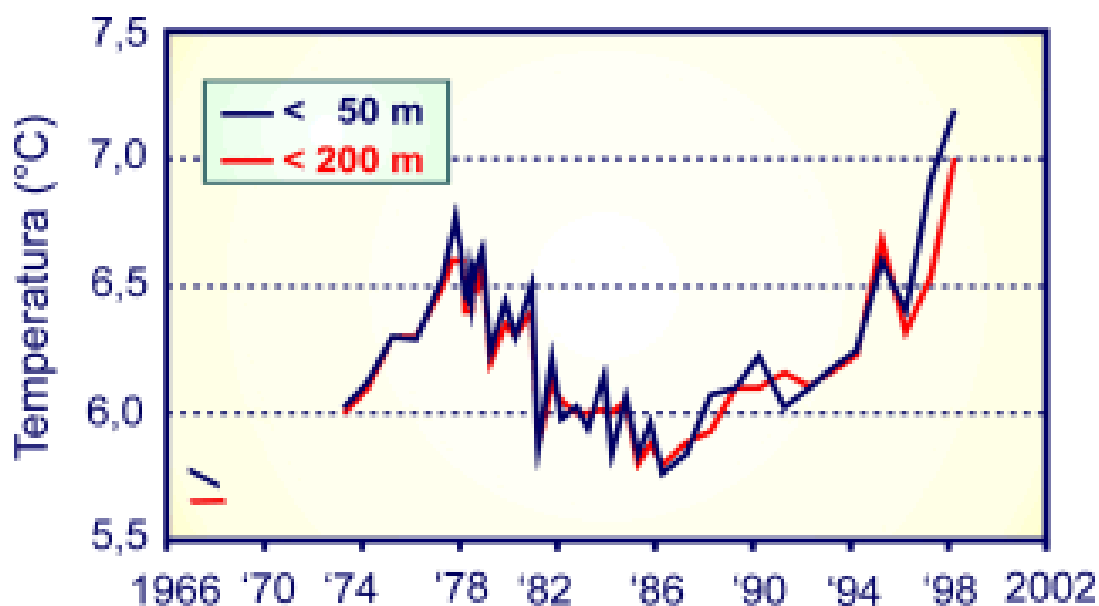


Fig 2.3. Concentrazioni di ossigeno nelle acque profonde del lago

L'olo-oligomissi è testimoniata anche dal progressivo aumento della temperatura nelle acque profonde, il ricambio delle quali comporta, infatti, un raffreddamento, come è evidente nell'anno 1978 e nel periodo 1980-85, mentre la stagnazione ne comporta un progressivo riscaldamento (periodo 1987-98), fig. 2.4.



*Fig. 2.4. Andamento temperature acque profonde del lago*

Il mancato rimescolamento è causa di un progressivo accumulo di nutrienti nelle acque profonde. Nel caso del fosforo reattivo l'elevata concentrazione ipolimnica, una volta ridistribuita sull'intera massa lacustre da un evento di completa circolazione, determinerebbe un cospicuo aumento delle concentrazioni negli strati produttivi, creando potenziali condizioni per imponenti fioriture algali.

Nell'agosto-settembre 1997, con elevate concentrazioni di nutrienti ed acque a temperatura superiore a 23° C, l'intera fascia costiera per un'ampiezza di 10-15 m, la costa di Monte Isola e i porticcioli presentavano la superficie con caratteristiche marezzature di un'ingente fioritura.

## **2.3 Attività di monitoraggio**

Le tre stazioni di controllo, presso le quali vengono eseguite le operazioni di campionamento per l'analisi delle acque del lago, sono ubicate in corrispondenza del punto di massima profondità, sulla direttrice Tavernola Bergamasca-Siviano; nella zona settentrionale del lago, sulla direttrice Castro-Pisogne e, nella zona meridionale, sulla direttrice Predore - Iseo (fig. 2.1).

La frequenza dei campionamenti realizzati dal 1998 al 2000 consente di ottenere dati mensili nelle stazioni di Castro e Predore e semestrali nella stazione di Tavernola.

I prelievi sono stati realizzati, con apposita bottiglia di campionamento, alle seguenti profondità:

- Castro: -1 m, -10 m, -30 m, -60 m, -75 m, -100 m, -120 m;
- Predore: -1 m, -10 m, -30 m, -40 m, -60 m, -80 m;
- Tavernola: -1 m, -10 m, -30 m, -60 m, -80 m, -100 m, -120 m, -200 m, -250m.

In campo sono stati determinati i parametri: temperatura, pH, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, ossigeno come percentuale di saturazione e trasparenza. In laboratorio sono stati inoltre determinati i parametri: azoto ammoniacale, azoto nitrico, azoto nitroso, fosforo ortofosfato, fosforo totale; cloruri, solfati, sodio, calcio, potassio, magnesio, alcalinità, silicati, clorofilla *a*, BOD, materiali in sospensione, composti fenolici, arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, rame, zinco, idrocarburi, cloro residuo.

### **2.3.1 Lo stato ecologico: elaborazione dati secondo il D. Lgs 152/99**

Al fine della classificazione dello stato ecologico del Lago d'Iseo secondo i criteri del Decreto 152/99 [Baudo, 2000] sono stati presi in esame i parametri: trasparenza, ossigeno ipolimnico come percentuale di saturazione, clorofilla *a* e fosforo totale (parametri macrodescrittori).

Per ogni stazione, per ciascun parametro di riferimento, è stato utilizzato il valore limite (massimo o minimo secondo i casi); quindi, al fine della classificazione, calcolata la media sulle tre stazioni ottenendo i dati riportati nella tabella.

<i>Stazione di campionamento</i>	<i>Castro</i>	<i>Predore</i>	<i>Tavernola</i>	<i>Lago d'Iseo</i> Valore medio
Trasparenza (m)	1,8			3,1
O <sub>2</sub> ipolimnico (% saturazione) (valore minimo)	22,7 #	20,6 #	*	2,45
Clorofilla "a" (valore massimo)	8,7	7,5	0	14,43
Fosforo tot. (valore massimo)	140	150	*	8,1

*\*parametro non determinato    # dato riferito al mese di agosto*

*Tab. 2.3.*

Alla luce dei valori medi individuati per ogni parametro, nella tabella successiva viene determinato lo *stato ecologico* del lago che emerge dal risultato peggiore tra i quattro parametri presi in esame.



*Il Lago d'Iseo*

<i>Parametro</i>	<i>classe 1</i>	<i>classe 2</i>	<i>classe 3</i>	<i>classe 4</i>	<i>Classe 5</i>
Trasparenza m	>5	5	<2	<1,5	1
O <sub>2</sub> ipolimnico % sat.	> 80%	< 80%	< 60 %	< 40 %	< 20 %
Clorofilla a µg/l	<3	^6	<10	<25	>25
Fosforo tot. µg/l	<10	<25	<50	<100	> 100

*Tab. 2.4.*

Come si rileva dal confronto con la tabella 2.4, il Lago d'Iseo risulta in classe 5 sia per la percentuale di ossigeno ipolimnico sia per la concentrazione di fosforo totale.

Per la valutazione del livello trofico sono stati presi in esame i parametri trasparenza, clorofilla *a* e fosforo totale, di questi sono state calcolate le medie aritmetiche per ognuna delle tre stazioni di campionamento (Castro, Pretore e Tavernola Bergamasca) e quindi la media tra le tre. Secondo gli schemi adottati dall' OCSE il Lago d' Iseo ha le probabilità di appartenere alle diverse categorie trofiche, indicate in tabella 2.5.

<i>Parametro</i>	<i>Classi trofiche % di probabilità</i>		
Fosforo totale	63% Eutrofia	24% Mesotrofia	13% Iperotrofia
Clorofilla <i>a</i>	62% Mesotrofia	23% Oligotrofia	14% Eutrofia
Trasparenza	53% Mesotrofia	24% Oligotrofia	19% Eutrofia

*Tab. 2.5.*

## **2.4 La regolazione del lago**

I deflussi dell'intero bacino imbrifero dell'Oglio, dalle origini fino allo sbocco del Lago d'Iseo, sono regolati dallo sbarramento di Sarnico, costruito negli anni 1931- 1933, che consente anche la regolazione indiretta della quasi totalità dei deflussi del torrente Guerra, la cui confluenza con l'Oglio, in sponda destra, è subito a valle dello sbarramento. I limiti all'escursione dei livelli sono imposti dal disciplinare di concessione con riferimento al livello "zero" dell'idrometro di Sarnico, la cui quota assoluta è di 185,15 m.s.l.m. Essi sono stati fissati in +1,10 m e in -0,30 metri rispetto la quota zero (tab. 2.6) sulla base delle seguenti considerazioni:

1. dai dati storici studiati prima dell'istituzione del Consorzio dell'Oglio, era emerso che il livello minimo assoluto raggiunto naturalmente dal lago (sempre riferito alla medesima quota zero) era di -0,40 m e che una volta ogni quattro registrava il livello minimo di -0,17 m.
2. Il livello massimo con il quale si registravano inondazioni a valle del lago, era di 1,25 m, per questo la regolazione non poteva superare un livello che potesse mettere in pericolo gli abitanti di valle.

lago	Escursione dei livelli		Volumi utili d'invaso in milioni di m <sup>3</sup>
	Minima (m)	Massima(m)	
MAGGIORE	1,5	2	313/420
COMO	1,7	1,7	246
ISEO	1,4	1,4	85
IDRO	3,25	3,25	41

*Tab 2.6. Confronto con gli altri laghi*

### **2.4.1 Criteri di regolazione**

La regolazione del lago è effettuata giornalmente dal personale del Consorzio dell'Oglio che, in caso di necessità, manovra le paratoie per adeguare la portata in uscita e quella in ingresso.

Il personale controlla inoltre che le singole derivazioni a valle siano regolate sulle portate stabilite dal Consorzio: ognuna di esse è dotata di misura e di registrazione delle portate.

Durante la stagione irrigua, oltre al controllo giornaliero, una volta la settimana è esaminata la situazione generale e decisa la portata d'erogazione per il periodo successivo, adeguandola tempestivamente al mutamento delle condizioni meteorologiche.

La regola in vigore da anni è che, non essendo sufficiente la disponibilità per coprire il periodo di fabbisogno, si deve operare il massimo risparmio idrico, compatibilmente con le

necessità imposte dalla stagione, in modo da tentare di allungare il più possibile i periodi d'uso [Regione Lombardia,1996].

Dai dati idrologici ufficiali si desume che l'invaso nel lago riesce a coprire quattro- cinque settimane d'irrigazione, con una velocità d'abbassamento dei livelli di circa 3 cm il giorno.

Solo grazie a qualche temporale estivo e alle autoriduzioni di portata, si riesce a coprire la stagione irrigua senza particolari danni al raccolto.

#### **2.4.2 Il coordinamento con i bacini idroelettrici della Val Camonica**

Gli utenti formano due gruppi con interessi diversi: gli utenti idroelettrici e quelli irrigui. Gli idroelettrici utilizzano l'acqua fluente nel fiume, fatta *saltare* attraverso le centrali, per produrre energia elettrica; fra gli idroelettrici occorre distinguere, perché le loro esigenze non sono sempre omogenee: i cosiddetti autoproduttori per i quali l'energia elettrica è strumentale rispetto alla produzione industriale che è lo scopo dell'impresa, dall'ENEL e dalle aziende municipalizzate per i quali la produzione di energia elettrica è lo scopo finale della loro attività.

Gli utenti irrigui hanno fabbisogni intensi durante il periodo estivo; le loro derivazioni riducono la portata altrimenti fluente nel fiume. Nella gestione dei serbatoi ad uso promiscuo, come il Sebino, ha prevalenza l'interesse del gruppo idroelettrico durante il semestre invernale (ottobre-marzo) e di quello irriguo durante il semestre estivo (aprile-settembre).

Ai fini idroelettrici, i serbatoi alpini sono riempiti durante la fusione delle nevi alle quote maggiori e con le piogge estive (all'incirca da metà maggio a fine agosto) e vengono svuotati — cioè, *l'acqua viene turbinata* — fra il tardo autunno e l'inizio della primavera.

Conseguenza idrologica dell'esercizio dei serbatoi alpini è, dunque, la sottrazione d'afflussi che *naturalmente* sarebbero pervenuti al lago durante l'estate e la loro restituzione durante la successiva stagione fredda.

Il fenomeno s'individua con la frase ormai consacrata: i serbatoi idroelettrici alpini *trasferiscono* risorse dall'estate all'inverno [A.A.V.V., 1996].

Gli effetti sulle utenze sublacuali irrigue divengono negativi in due situazioni: quando gli afflussi estivi al lago, dopo l'eventuale sfioro, sono tanto ridotti che le utenze devono spendere massicciamente la riserva lacuale abbassando la quota del lago verso i valori minimi della ritenuta efficace (come si dice: *vuotano il lago*) entro l'arco della stagione irrigua e quando, mancando i contributi della tarda primavera (in genere, quando il manto nevoso è scarso alle quote medie del bacino imbrifero), il lago non raggiunge il limite superiore di ritenuta.

In tali casi dovrebbe scattare il principio in forza del quale, poiché i serbatoi alpini sono in genere *più giovani* delle utenze irrigue, le scarse disponibilità pervenute al lago devono essere integrate dagli svassi (anticipati) dei serbatoi medesimi [Barbero, 1998].

A favore del lago, il Consorzio dell'Oglio, ha combattuto e vinto una lunga battaglia per il coordinamento con i bacini idroelettrici della Val Camonica, che ora, in caso di stagione

*Evoluzione del gradiente termico delle acque superficiali: il caso del Fiume Oglio*

siccitosa, devono rilasciare l'acqua a favore del lago. Ciò si è tramutato nel rallentamento dell'escursione estiva dei livelli ed in un beneficio per le utenze irrigue.

## LA TEMPERATURA DEL LAGO D'ISEO

### 3.1 I dati disponibili

Lo studio dell'evoluzione temporale e spaziale della temperatura del Fiume Oglio, non può che avere inizio dal Lago di Iseo, bacino d'accumulo naturale ove l'acqua dell'Oglio immissario, entrando a una temperatura media di 15° C, si riscalda nel periodo estivo giungendo a temperature superiori i 20° C.

Purtroppo, a differenza degli altri grandi laghi alpini, il monitoraggio dell'Iseo non è stato continuo negli anni. Le misurazioni sono state per lo più effettuate da privati.

L'unica raccolta organica di dati è presente per gli anni 1998-1999, presso la provincia di Bergamo e presso l'ARPA Lombardia, per gli anni dal 2001 al 2003.

Un'osservazione sulla qualità dei dati monitorati è debita. A differenza dei dati raccolti dalla provincia di Bergamo, quelli dell'ARPA Lombardia non sono utilizzabili per lo studio della temperatura del lago, poiché quest'ultima ha effettuato misurazioni ogni 50 m, rendendo impossibile lo studio del metalimnio, che necessita invece di misurazioni più ravvicinate nei primi metri di profondità.

Altri dati sono stati reperiti consultando vari articoli disponibili presso l'ampio (poco più di 5000 articoli catalogati) e organizzatissimo archivio LIMNO dell'Istituto di Idrobiologia del CNR di Brugherio.

Riteniamo opportuno, per la miglior comprensione dei fenomeni studiati, richiamare le proprietà termiche dei laghi.

### **3.2 Richiami teorici sulle proprietà termiche di un lago**

Un lago riceve energia dal mondo esterno prevalentemente sotto due forme: di energia radiante, proveniente dal sole e dalla volta celeste, e di energia meccanica, fornitagli dal vento che investe la superficie delle acque [Tonolli, 2001].

Questi rifornimenti energetici sono fondamentali per tutti i fenomeni, fisici, chimici, biologici, che si svolgono in seno alle acque. L'energia radiante assorbita dalle acque viene trasformata in calore e in processi fotochimici; l'energia meccanica fornita dal vento mette in moto le acque e ha grandissima parte nella distribuzione, entro tutta la massa delle acque



lacustri, delle proprietà assunte da alcuni strati di esse (per esempio dalle acque di superficie).

La quantità di calore contenuta nelle acque di un lago, e che varia continuamente (il lago non solamente assorbe calore, ma ne emana), è valutata in termini di temperatura. Si ricorda che l'acqua possiede il più elevato calore specifico fra i liquidi consueti.

Il fatto che il calore specifico dell'acqua sia molto alto richiede un grande trasferimento di calore per produrre piccole variazioni di temperatura; ovvero l'osservazione di piccole variazioni di temperatura in un corpo d'acqua testimonia grandi trasferimenti di energia.

Quando parliamo di radiazione intendiamo riferirci qui unicamente a quella solare diurna, prescindendo dalla radiazione stellare e lunare notturna del tutto trascurabile (ad esempio la radiazione della Luna piena varia da un trentamillesimo ad un cinquantamillesimo di quella solare) [Welch, 1952].

La luce proveniente dal sole e dal cielo giunge poi alla superficie del lago in misura diversa, a seconda della latitudine e dell'altitudine del lago stesso e dello stato di maggiore o minore trasparenza dell'atmosfera; allorché incontra la superficie lacustre, essa viene in parte riflessa, ritornando quindi all'atmosfera, ed in parte rifratta penetrando così entro l'acqua e riscaldandola.

Dopo essere penetrata nell'acqua, la radiazione si trasmette entro di essa per una certa profondità che non può tuttavia superare determinati limiti per varie cause di assorbimento dovute all'acqua stessa ed ai suoi soluti e alle particelle sospese (viventi o no) che possono

in parte assorbire la radiazione ed in parte rifletterla entro l'acqua. E' importante soffermare l'attenzione sul fatto che quasi tutta la radiazione ultravioletta è trattenuta nello spessore del primo metro d'acqua.

La precocità con la quale, procedendo in profondità, si va estinguendo la radiazione che giunge alla superficie varia moltissimo da lago a lago. Ad esempio nel lago di Como la radiazione è ridotta all'1% della radiazione presente in superficie già a 5 metri di profondità, mentre per ottenere la stessa riduzione in acqua distillata occorrono oltre 110 metri d'acqua.

La trasparenza di un lago è definita come la profondità alla quale un disco bianco (disco di Secchi) di 20 cm di diametro diviene invisibile dalla superficie.

In generale la trasparenza è abbastanza bene correlata con la trasmissione per cui si può da quella dedurre un valore approssimativo di quest'ultima. In laghi subalpini dalle acque molto limpide come nel Lago di Garda si possono riscontrare trasparenze di 25 m; per quanto riguarda il Lago d'Iseo la trasparenza scende a 5 m [Cordella, 1976].

La temperatura che il lago assume in un determinato istante dipende evidentemente dal suo bilancio termico cioè dalla differenza fra gli apporti e le perdite di calore.

E' bene dire subito che il fattore di gran lunga più importante ed efficace per l'apporto termico di un lago (in particolar modo per il Lago d'Iseo) è la radiazione solare coadiuvata dall'azione del vento. Infine è opportuno ricordare che la densità dell'acqua, alla pressione atmosferica raggiunge il massimo valore ad una temperatura di circa 4° C.

Quando una massa d'acqua, che abbia una temperatura inferiore a 4° C, viene riscaldata alla superficie il calore si distribuisce per convezione, attraverso tutta la massa d'acqua, fino a che si raggiunge una temperatura uniforme ad ogni profondità (omotermita) di 4° C.

Il riscaldamento per convezione consiste nel fatto che riscaldandosi da 0° a 4° C, l'acqua aumenta continuamente di densità e si formano quindi correnti di acqua più densa di quella circostante che tendono a scendere sul fondo. Quando tutta la massa liquida è giunta alla temperatura uniforme di 4° C e si continui a fornire calore, sempre alla sua superficie, soltanto gli strati più superficiali verranno riscaldati (legge esponenziale di penetrazione della radiazione).

Escludendo un piccolo trasporto di calore per conduzione molecolare, il calore potrà essere distribuito in profondità soltanto da un lavoro esterno (rimescolamento meccanico che in natura è prodotto dal vento) [Ruttner, 1953].

Se consideriamo una situazione ideale di assenza di vento, una volta raggiunta una situazione di isotermita il lago si riscalderà giorno per giorno attraverso l'assorbimento della radiazione solare però il riscaldamento diverrà quasi insensibile già a profondità molto modeste perché la radiazione infrarossa (la più efficiente termicamente) si ferma nei primissimi strati d'acqua. In presenza di vento invece si generano correnti che promuovono un rimescolamento turbolento lungo la verticale e che tendono a distribuire il calore entro l'intera massa d'acqua; l'azione del vento permette quindi l'apporto di una maggiore quantità di calore nelle acque profonde.

L'apporto di calore al lago non è tuttavia continuo: infatti una parte di quello immagazzinato durante il giorno può essere perso durante la notte attraverso processi di irraggiamento, di evaporazione e di conduzione.

Si determina così un raffreddamento degli strati superficiali e si stabiliscono le condizioni necessarie alla formazione di correnti di convezione per cui acqua più fredda, cioè più densa, viene portata a maggiore profondità.

Si produce di conseguenza uno strato superficiale (epilimnio) nel quale si ha una temperatura all'incirca uniforme.

Mentre si svolge la fase di riscaldamento primaverile in laghi molto profondi (come il Lago d'Iseo) l'azione mescolatrice del vento non riesce mai a trasportare calore anche alle acque di fondo [De Marchi, 1984].

Le differenze fra i valori della densità (per le acque le cui temperature si diversifichino di 1° C) aumentano con l'aumentare del valore assoluto delle temperature, ne deriva che è richiesto un maggior lavoro per mescolare ad esempio strati d'acqua a 12° C ed a 13° C; naturalmente ancora di più se gli strati hanno temperature di 22 e 23° C come nel caso da noi studiato. Possiamo quindi dividere il lago idealmente in uno strato superiore più caldo, (epilimnio), uno più profondo a una temperatura minore (ipolimnio) e uno strato intermedio, di modesto spessore, che separa l'epilimnio dall'ipolimnio ed in cui si ha una brusca variazione di temperatura (la differenza di temperatura è maggiore di 1° C per ogni metro di profondità) detto termoclinio.

Il lago, termicamente stratificato nel pieno dell'estate, comincia durante la notte a perdere più calore di quanto ne acquisti di giorno nel periodo autunnale. L'epilimnio si estende progressivamente in profondità e la temperatura di superficie si va identificando con quella propria di strati sempre più profondi, facilitando il rimescolamento delle acque anche per il fatto che le differenze di densità per 1° C divengono minori in acque fredde .

Potrà verificarsi un'eccezione nei laghi nei quali l'acqua di fondo acquisti, per accumulo di soluti, una densità di origine chimica superiore a quella dovuta alla propria temperatura; quest'acqua pur essendo isoterma con gli strati sovrastanti non potrà mescolarsi ad essa. Quando uno strato di acqua più densa o genericamente più concentrata permane sul fondo di un lago per più di un anno, senza che si possa stabilire un periodo di piena circolazione, il lago viene definito meromittico (che si mescola solo in parte).

### **3.3 Dipendenza della temperatura dell'acqua superficiale dalla temperatura atmosferica nel Lago d'Iseo**

A causa dei sopraccitati motivi, lo studio dell'andamento temporale della temperatura del lago, non può essere ridotta ad una semplice rappresentazione grafica dei dati disponibili; ci siamo dunque adoperati per ottenere una relazione che potesse legare la temperatura

superficiale dell'acqua del lago, poco monitorata, ad una variabile di cui esistesse un maggior numero di osservazioni.

La temperatura atmosferica e la radiazione solare rappresentano i due elementi meteorologici più importanti: da un lato intervengono nella definizione del bilancio calorico di un lago, dall'altro influenzano in modo determinante le caratteristiche climatiche locali [Welch, 1948].

Si è ritenuto opportuno ricercare quale sia la dipendenza statistica della temperatura delle acque lacustri dalla temperatura atmosferica<sup>1</sup>, limitando l'analisi alle sole acque superficiali.

L'analisi della dipendenza statistica tra la temperatura dell'aria e quella dell'acqua in superficie è condotta con il metodo della regressione lineare applicato a dati mensili raggruppati secondo tre periodi: da aprile a luglio, mesi corrispondenti alla fase di riscaldamento delle acque lacustri; da agosto a dicembre, fase di raffreddamento, e nei restanti tre mesi corrispondenti all'inverno limnologico

La motivazione di questa scelta è basata sull'aver determinato valori di regressione poco significativi considerando un unico raggruppamento. Come si evince dal grafico di fig. 3.1, nei mesi di gennaio, febbraio e marzo la temperatura dell'acqua superficiale non presenta che una variabilità modesta. Il fenomeno, più che alla relativa costanza delle

---

<sup>1</sup> La regressione è stata condotta accoppiando i valori delle temperature dell'acqua in superficie con il valore medio della temperatura dell'aria nella decade. I dati della stazione meteorologica di monitoraggio che si trova nei pressi di Bergamo sono stati forniti dall'ERSAL. E' tuttavia probabile che l'uso dei dati di una stazione più vicina al lago, permetta una più esatta determinazione delle relazioni intercorrenti.

caratteristiche termiche dell'atmosfera in questo periodo, è dovuto alle proprietà fisiche dell'acqua stessa. Ne consegue una scarsa pendenza della retta a significare il più che modesto aumento di temperatura in questa fase dell'anno, il che significa, inoltre, una bassa quantità di calore assorbito dal lago. L'intercetta sull'asse delle ordinate ( $T_w$ ) proprio a seguito del basso valore del coefficiente angolare, può essere assunta come un indice delle caratteristiche geografiche generali.

In effetti, in questa fase invernale, la temperatura dei primi metri d'acqua, può essere decisamente influenzata dalla temperatura in profondità in seguito al rimescolo delle acque generato dall'azione del vento.

Viene invece evidenziata nel periodo invernale una minore variabilità della temperatura dell'acqua in funzione di quella dell'aria, fenomeno che riflette il più elevato calore specifico dell'acqua con conseguente più prolungata ritenzione dell'energia termica nel lago durante la fase di raffreddamento.

Per quanto attiene alla fase di riscaldamento (fig. 3.3), l'incremento medio della temperatura è evidenziabile attraverso il parametro angolare della retta di regressione [Sansò, 2000]. Nelle grandi masse d'acqua, la capacità di trasferimento del calore e il trasferimento anche ai livelli inferiori, può determinare una riduzione del riscaldamento superficiale. A ciò non è evidentemente estranea neppure l'azione del vento, che in questa fase dell'anno diviene il maggior fattore di trasferimento del calore dall'epilimnio al termoclinio.

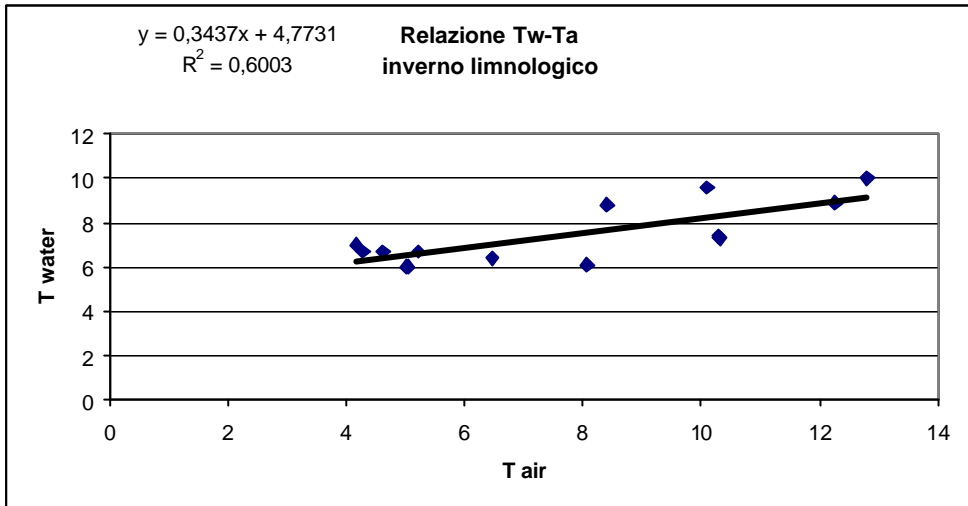


Fig.3.1. Retta di regressione inverno limnologico.

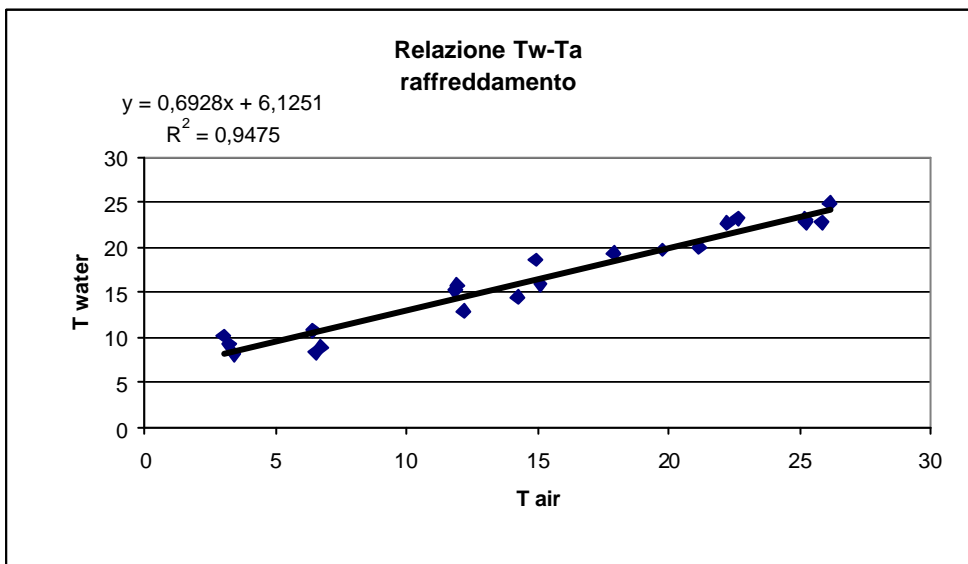


Fig.3.2. Retta di regressione fase di raffreddamento



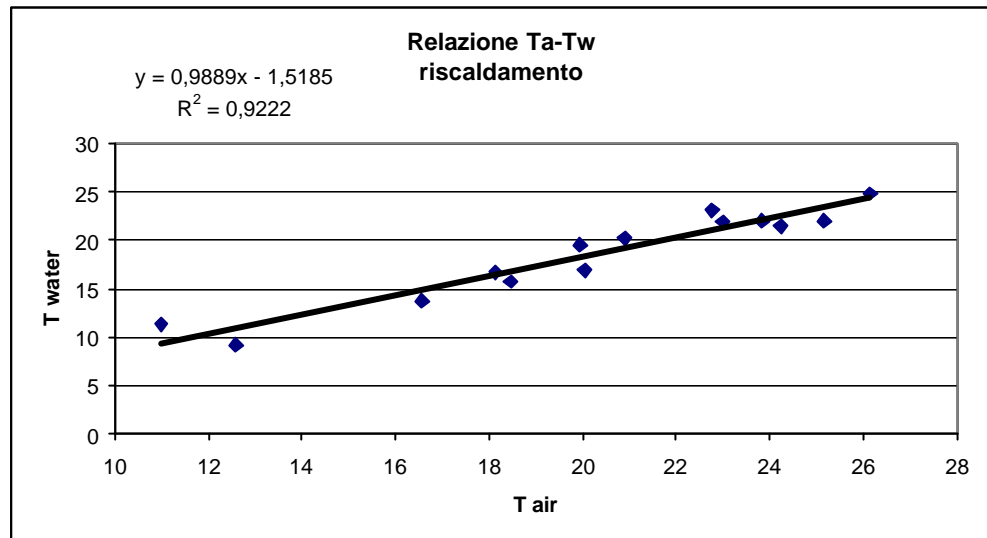
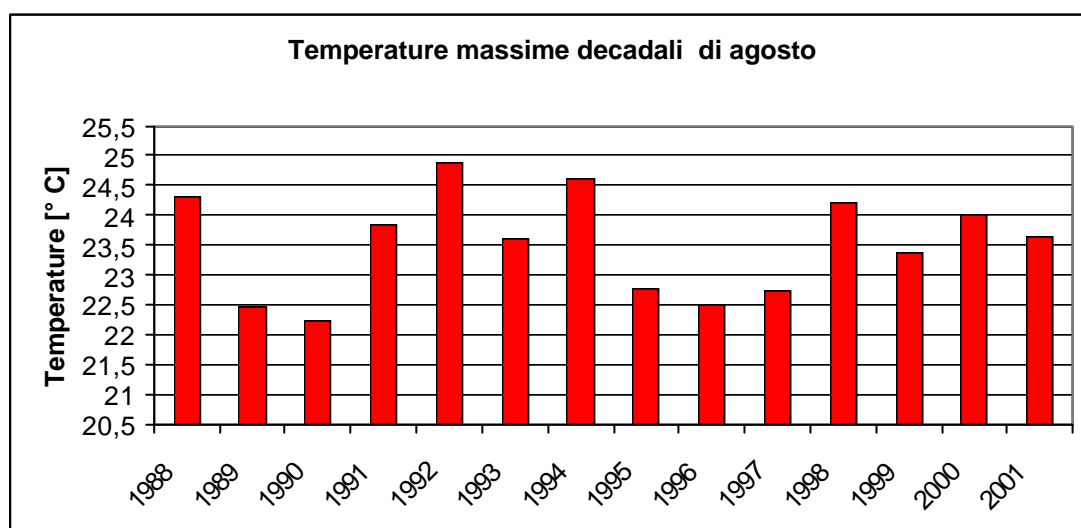


Fig.3.3. Retta di regressione fase di riscaldamento

La regressione che interessa in particolare il nostro studio è quella riferita al periodo di raffreddamento (fig.3.2), regressione per mezzo della quale possiamo stimare l'andamento delle temperature medie mensili e massime decadali del lago nel mese di agosto (tab. 3.1 e fig. 3.4), sopperendo in questo modo alla mancanza di campagne di monitoraggio sistematiche.

	Temperatura aria	Temperatura lago
1988	26,25	24,31
1989	23,6	22,48
1990	23,25	22,23
1991	25,56	23,83
1992	27,06	24,87
1993	25,22	23,60
1994	26,71	24,63
1995	24,04	22,78
1996	23,64	22,50
1997	23,96	22,72
1998	26,13	24,23
1999	24,89	23,37
2000	25,83	24,02
2001	25,28	23,64

*Tab 3.1. Temperature dell'acqua superficiale del Lago d'Iseo.*



*Fig.3.4. Temperature dell'acqua superficiale del Lago d'Iseo.*

### **3.4 Relazione tra l'aumento della temperatura delle acque profonde e la temperatura dell'acqua superficiale**

Il riscaldamento delle acque profonde del Lago d'Iseo è legata alle sue condizioni prossime a quelle di meromissi [Brizzio, 1999]. Tale condizione è supportata da un recente studio inerente alla stabilizzazione della stratificazione chimica del Lago d'Iseo effettuato dall'Istituto Italiano di Idrobiologia CNR di Brugherio. Interessante è il processo fisico che spiega la relazione tra meromissi e riscaldamento. La densità dello strato ipolimnico è in aumento per effetto della ridissoluzione del carbonato di calcio in sedimentazione; tale fenomeno è una delle cause che potrebbe provocare l'istaurarsi di una condizione di meromissi. Partendo dal confronto tra l'evoluzione recente del Lago d'Iseo, con particolare riferimento ai tre inverni limnologici dal 1998 al 2000, con quella degli altri laghi profondi (Maggiore, Como e Garda) si è riscontrato che, benché le condizioni climatiche favorevoli abbiano portato a un ricircolo completo e all'omogeneità chimica sul profilo verticale per i tre laghi, per il Lago d'Iseo il mescolamento è stato estremamente modesto.

Il processo della completa circolazione ha successo quando si verifica la concomitanza di un accentuato raffreddamento delle acque superficiali, che diminuisce il gradiente di densità fra gli strati, e di un lavoro meccanico operato dal vento. E' evidente che, se a determinare le densità degli strati più profondi interviene, oltre alla temperatura, anche la quantità di sostanze in sospensione o in soluzione, il lavoro meccanico necessario dovrà di conseguenza aumentare.

Si può ipotizzare la permanenza di una stratificazione termica stabile che ha conseguenze importanti sulla chimica delle acque. Dal 1994 le acque profonde del lago hanno iniziato a trovarsi in condizioni di anossia con un costante apporto di soluti che ne ha determinato un aumento della densità [Brizzio, 2001].

L'aumento dei soluti è stato messo in relazione alla precipitazione del carbonato di calcio dalle acque epilimniche come effetto dei fenomeni di produzione algale e sua parziale dissoluzione nelle acque profonde.

Quando il lago è stratificato il termoclinio costituisce una sorta di zona di separazione tra acque a diversa densità.

Il vento, che agisce sullo specchio lacustre, accumula acque nella zona sottovento innescando una controcorrente che ha luogo nella parte più bassa dell'epilimnio. Questo moto di compensazione non si spinge più in basso perché dovrebbe vincere la resistenza addizionale che incontra a livello del termoclinio.

A questo fenomeno dobbiamo aggiungere gli effetti già citati di moti convettivi nelle acque epilimniche dovuti al raffreddamento notturno delle acque superficiali.

Il mancato rimescolamento è anche causa di un progressivo accumulo di nutrienti nelle acque profonde.

L'impossibilità del ricircolo completo nel Lago d'Iseo fa venir meno l'effetto di mitigazione delle temperature profonde che si avrebbe se le acque profonde fossero mescolate con acque superficiali più fredde nel periodo invernale.

Questa condizione di quasi isolamento delle acque profonde comporta una stagnazione delle stesse e a un loro incremento di temperatura (fig.3.5).

Quanto finora detto ci permette di evidenziare come in realtà il riscaldamento delle acque in profondità non possa influire sulle temperature superficiali, poiché la radiazione solare interessa solo le acque epilimniche a causa della stabilizzazione della stratificazione chimica e termica del lago nel periodo estivo.

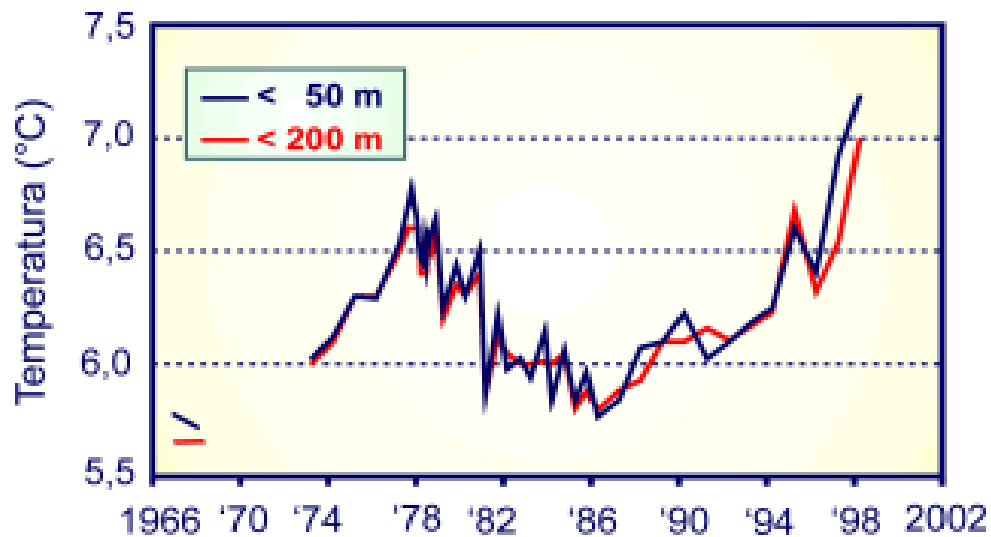


Fig. 3.5. Temperatura delle acque profonde del Lago d'Iseo.

Per comprendere le ripercussioni di questi fenomeni sul bilancio termico lacuale, confrontiamo i bilanci termici col metodo di Forel<sup>1</sup> degli anni 1994 e 1998 ( tab 3.2).

---

Il metodo di Forel si basa sul bilancio di un'ipotetica colonna d'acqua verticale, dalla superficie al punto più profondo del lago, e con area a sezione unitaria.

$$C = \sum m_i c_p \Delta t_i$$

C = calore assorbito    m = massa d'acqua    C<sub>p</sub> = calore specifico    t = temperatura

Ricordiamo che le acque del lago nel 1994 sono caratterizzate da una minore stratificazione di tipo sia chimico sia termico<sup>2</sup>.

<b>Variabili</b>	<b>1994</b>	<b>1998</b>
<i>Calore assorbito [kcal/m<sup>2</sup>]</i>	292,72	140
<i>% calore assorbito entro 10m</i>	41,66	79,62
<i>Calore assorbita nei 10 m [kcal/m<sup>2</sup>]</i>	121,94	111,46

*Tab. 3.2. Confronto tra i bilanci lacuali degli anni 1994 e 1998.*

Dalla tabella si può dedurre come la minor stabilità del lago nel 1994 abbia permesso un maggior trasferimento del calore negli strati profondi senza però andare a incidere sui valori di temperatura delle acque superficiali. L'isolamento termico delle acque in profondità nel 1998 è messo in evidenza dal valore della quantità di calore assorbita nei primi 10 m, che rimane pressoché costante. La piccola variazione può essere causata dal differente flusso energetico per irraggiamento solare degli anni considerati [Casci, 1980].

Possiamo ora capire quale effetto predominante abbia il vento nel riscaldamento delle acque superficiali nel Lago d'Iseo; questo agisce solamente nelle acque epilimniche

---

<sup>2</sup> In effetti le temperature di fondo nel 1994 sono inferiori, ma poiché le differenze tra i valori densità per le acque le cui temperature si diversificano di un grado, aumentano con l'aumentare del valore assoluto delle temperature, deriva che è richiesto un maggior lavoro per mescolare strati d'acqua a 7-8° C che a 5-6° C.

mescolandole, creando così una dipendenza diretta tra la temperatura dell'aria sovrastante e la temperatura delle acque in superficie nel periodo di riscaldamento del lago, come peraltro ci indica l'analisi statistica precedente.

Gli elevati indici di correlazione associati alle regressioni di riscaldamento e raffreddamento, relazioni ottenute con osservazioni disperse negli anni, sembrano sostenere l'ipotesi di indipendenza della temperatura dell'acqua superficiale dall'aumento di quelle in profondità.

Non è invece risultato soddisfacente l'indice di correlazione ottenuto in precedenza per il periodo dell'inverno limnologico. A nostro parere, il legame con la temperatura dell'aria è in questo caso disturbato dall'azione termica delle acque di media profondità nei parziali ricircoli avvenuti nei vari anni.

Poiché la derivazione di acqua per il Fiume Oglio interessa solo gli strati superficiali delle acque del lago possiamo affermare che esiste una stretta relazione tra la temperatura di queste acque e la temperatura del fiume, almeno nella suo tratto iniziale.

## LA GESTIONE DELLE ACQUE DEL FIUME

### 4.1 Il Consorzio dell'Oglio

L'area in esame è caratterizzata da un'agricoltura di tipo rotazionale, cerealicolo e da monocoltura di mais, affiancata da zootecnia e allevamenti ittici molto sviluppati. L'idrografia superficiale è quindi la diretta conseguenza della necessità di soddisfare i fabbisogni irrigui delle varie colture ed è caratterizzata da una fitta rete di canali artificiali sia derivati dal Fiume Oglio, sia formati dai numerosi fontanili situati nella zona meridionale rispetto a Calcio.



La regolazione del Lago d'Iseo e la rete di rogge e canali derivati dal Fiume Oglio interessano un territorio di circa 88.500 ha di cui 6.500 ha in provincia di Bergamo, 25.000 ha in provincia di Brescia e 57.000 ha in quella di Cremona. (Fig. 4.1)

La gestione delle acque del Lago d'Iseo è affidata al Consorzio dell'Oglio, che ha il compito di ripartirla fra le varie utenze idriche (Tabella 4.1).

I singoli comprensori irrigui hanno un'estensione che varia da 500 a 5000 ha, con una dotazione specifica continua media di 0,9 l/s ettaro irrigato. Escludendo 2.000 ha appartenenti ai comprensori dei Consorzi di Bonifica della Franciacorta e Media Pianura Bergamasca, che utilizzano sistemi d'irrigazione a pioggia, l'irrigazione avviene per scorrimento.

Mentre la regolazione del Lago d'Iseo comincia nel 1933, con la fine dei lavori di costruzione della diga di Sarnico, l'utilizzo irriguo delle acque dell'Oglio e quindi la creazione di opere di derivazione, risale al XI secolo. Lo sviluppo maggiore si ha tra il XIII e il XVI secolo, quando la rete di derivazione irrigua assume già la moderna fisionomia.

Nei primi 35 km del tratto sublacuale, si dipartono dal fiume 16 derivazioni per uso irriguo, nove di sinistra e sette di destra.

Partendo dal Lago d'Iseo le derivazioni della sponda sinistra sono:

- La roggia Fusia, ha il punto di presa direttamente dal lago ed è dotata di modellatore per il controllo delle portate derivate. Si divide successivamente in tre rami, di Palazzolo, di Chiari e di Rovato.

- Il Canale di bonifica Franciacorta, derivata per sollevamento. E' utilizzata in brevi periodi dell'anno e con portate limitate, generalmente di 0,5 m<sup>3</sup>/s, per l'irrigazione a pioggia.
- La Roggia Vetra, dotata di modellatore. E' probabilmente la più antica roggia bresciana (XIII sec.).
- La Roggia Castrina, dotata di modellatore, derivata all'altezza dell'abitato di Palazzolo Sull'Oglio.
- La Roggia Trenzana, dotata di stramazzo per la misura delle portate derivate, raggiunge l'omonimo abitato di Trenzano.
- La Roggia Bajona, dotata di modellatore, che si dirige verso la pianura Sud di Chiari.
- La Roggia Rudiana, dotata di modellatore, che interessa il territorio Rudiano.
- La Roggia Castellana, dotata di modellatore, che interessa il comune di Castelvovati.
- La Roggia Molina-Vescovada, dotata di modellatore, che scorre verso i comuni di Rudiano e Roccafranca.

Le derivazioni di destra sono:

- La Media Pianura Bergamasca (MPB), derivata per sollevamento e utilizzata per l'irrigazione a pioggia.

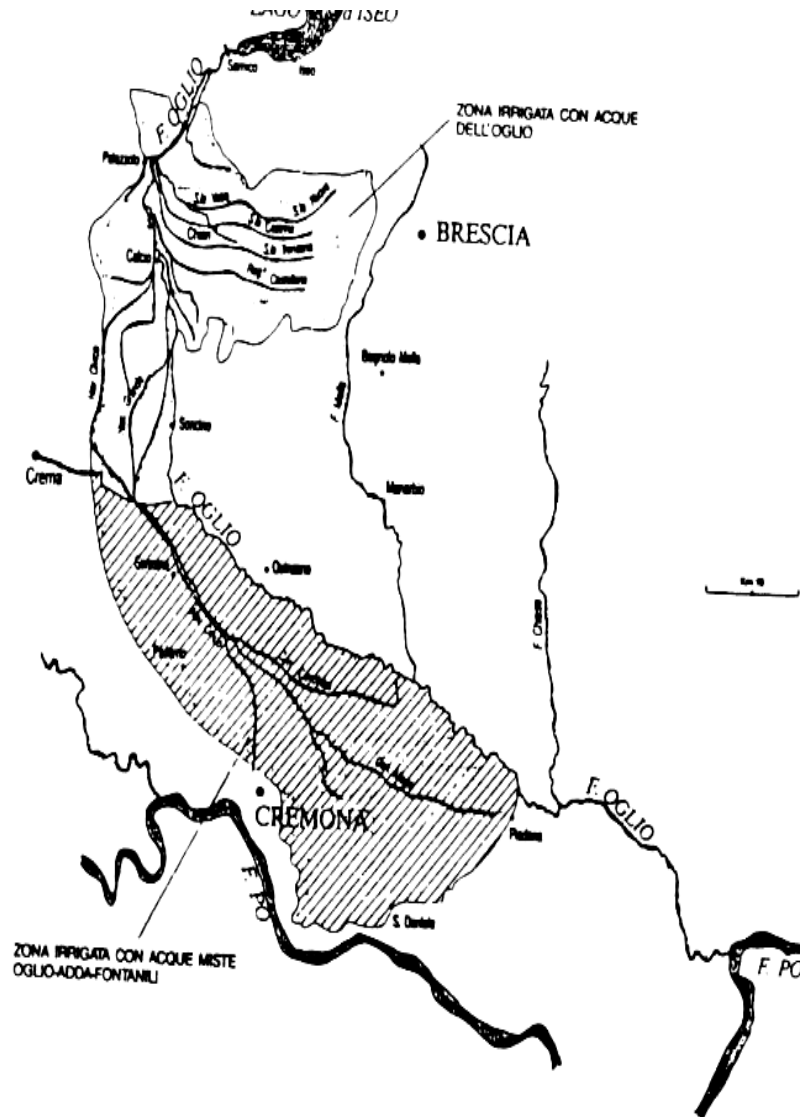
- La Roggia Sale (XIII sec.) dotata di stramazzo. Derivata a Sud di Palazzolo Sull'Oglio, contribuisce a soddisfare i fabbisogni irrigui dei comuni di Calcio, Cortenuova, Covo, Romano e Martinengo.
- La Roggia Donna, con modellatore, derivata a Cividate al Piano, interessa i comuni di Calcio, Pumenengo e Torre Pallavicina.
- Il Naviglio Civico di Cremona, con modellatore, derivato all'altezza del ponte della ferrovia tra Calcio e Chiari.
- La Roggia Antegnata, con modellatore, derivata in coincidenza col punto di presa del Naviglio Civico, scorre verso Antegnate.
- La Roggia Calciana, dotata di modellatore.
- Il Naviglio Grande Pallavicino, con modellatore, che raggiunge il Cremonese.

A Pumenengo c'è la bocca di presa del cavo di suppeditazione che entra in funzione, fino ad una portata massima di 4,6 m<sup>3</sup>/s, qualora non sia possibile derivare l'intera portata di competenza del Naviglio Grande Pallavicino.

Del secolo appena concluso è la realizzazione delle derivazioni ad uso idroelettrico che nel tratto sublacuale sono sette. Direttamente dal lago parte il canale adduttore per la Centrale Niggerler & Kupfer, di Credaro, con il canale di scarico che sfocia nell'Oglio. Sulla sponda destra, fino a Palazzolo, troviamo gli sbarramenti della Niggeler & Kupfer di Capriolo, dell'ENEL e dell'Italcementi. Successivamente le derivazioni sono situate sulla sponda sinistra: la centrale della F.lli Marzoli & C. di Palosco, la Manifattura di Pontoglio (ora

*Evoluzione del gradiente termico delle acque superficiali: il caso del Fiume Oglio*

inutilizzata) e la F.lli Marzoli & C. d'Urigo (dal settembre del 1997 l'impianto ha cambiato proprietario). Gli impianti sono in grado di produrre 148 milioni di kWh all'anno.



*Fig 4.1. Comprensorio irriguo del Fiume Oglio*

UTENZE IRRIGUE DEL CONSORZIO DELL'OGLIO

Canale derivatore dall'Oglio	Superficie irrigata (ha)	Portata assegnata (m <sup>3</sup> /s)			Nome e natura del Consorzio Titolare.
		Acque	Acque nuove	Totale	
<b>Provincia di Brescia</b>					
Roggia Fusia	4.238	8.018	0.453	8.471	C.I. .Vaso gentile – Fusia
Roggia Fusia	2.000	-	1.200*	1.200	C. Bon. Franciacorta-Rovato
C.B.Franciacorta	-	-	0.400*	0.400	C. Bon. Franciacorta-Rovato
Roggia Vetra	5.938	10.837	0.689	11.526	C.I. Seriola VecchiaChiari
Roggia Castrina	2.554	4.216	0.272	4.448	C. Miglior. Fond.R. Castrina
Roggia Trenzana	3.202	6.181	0.526	6.707	C.I. R.Trenzana C.Bon
Roggia Baiona	1.630	2.897	0.560 *	3.457	C.I.R. Baiona-Chiari
Roggia Rudiana	1.136	1.966	0.997	2.963	C. Migl. Fond. R. Rudiana
Roggia Castellana	2.713	4.138	0.852	4.990	C.I.R. Castellana
Roggia Vescovada	555	0.879	0.417	1.296	C.I.R. Vescovada
Roggia Molina	951	0.595	0.084	0.679	C. Gen R. Molina Villachiaro
Totale Brescia	24.917	39.727	6.450	46.177	
<b>Provincia di Bergamo</b>					
Media Pianura Bg	1.000	-	0.500	0.500	C. Bon Media
Roggia Sale	3.087	4.749	0.634	5.383	C.I.R. Sale Civate al Piano
Roggia Donna	1.784	1.982	0.270	2.252	C.I.R. Donna-Calcio
Roggia Antegnata	646	1.960	0.256	2.216	Comune di Antegnate
Totale Bergamo	6.517	8.691	1.660	10.351	
<b>Provincia di Cremona</b>					
Naviglio Civico	-	9.104	1.354	10.458	Naviglio della Citta
Roggia Calciana	57.000	10.243	1.536	11.779	C.I.R - Cremona
Tetale Cremona	57.000	19347	2.890	22.237	
TOTALE	88.434	67.765	11.000	78.765	

Tab.4.1.

## **4.2 Il Consorzio Irrigazioni Cremonesi**

Il Consorzio per l'incremento dell'irrigazione nel territorio Cremonese, detto anche Consorzio Irrigazioni Cremonesi, fu fondato il 26.03.1883 con lo scopo di costruire il canale Pietro Vacchelli (realizzato, con l'originario nome di "Marzano", tra il 1887 ed il 1893) [Loffi, 1987].

Nacque come consorzio di 59 comuni cremonesi che sottoscrissero quote di partecipazione economiche dette "carature".

La costruzione del canale era indispensabile perché l'acqua disponibile per l'irrigazione della campagna cremonese, compresa, grosso modo, tra il Serio, il Po e l'Oglio, era assolutamente insufficiente.

Nelle estati siccitose i raccolti risultavano seriamente compromessi, con conseguenze dirette sulle scorte alimentari e gravi sofferenze di tutta l'economia del territorio.

Portare acqua del Fiume Adda, sino ad alimentare i canali che discendevano dal Fiume Oglio, apparve subito l'unica soluzione, nonostante le enormi difficoltà politiche, tecniche e storiche di quei tempi.

Si decise così, di costruire un nuovo canale che prelevasse 25 m<sup>3</sup>/s dal Fiume Adda in località Marzano (da qui il suo primo nome) in comune di Merlino (LO) e la conducesse, attraversando tutto il Cremasco e scavalcando il Fiume Serio, sino a Genivolta. Qui, convergono i canali derivatori dall'Oglio (Naviglio Civico e Naviglio Grande Pallavicino) e da qui si dipartono numerosi acquedotti che si diramano nella sottostante pianura

cremonese. I due canali esistenti derivavano dall'Oglio circa 25 m<sup>3</sup>/s. L'apporto del Marzano avrebbe raddoppiato l'acqua disponibile per tutto il Cremonese.

Nel 1880 si costituisce l'Associazione Promotrice ed è eletto il Comitato Esecutivo, presieduto da Pietro Vacchelli.

La concessione all'utilizzo dell'acqua dell'Adda fu rilasciata con regio decreto nel 1884 e intestata al Consorzio per l'incremento dell'irrigazione nel territorio cremonese, subentrato all'associazione promotrice nel 1883 [Loffi, 1987].

I lavori per la costruzione del canale iniziarono nel 1886 e il progetto fu completato nel 1893 con la realizzazione della vasca terminale a Tombe Morte – Genivolta.

Completato il canale Marzano fu evidente che il massimo vantaggio poteva essere tratto dal Naviglio Civico e dalla rete dei canali del Condominio Pallavicino.

Nel frattempo, con regio decreto 2 luglio 1891, il Consorzio venne costituito in “corpo morale”, ottenendo così una propria piena personalità giuridica indipendente dai comuni fondatori, seppur saldamente ad essi legato attraverso la nomina dei componenti dell'assemblea.

Oggi il Consorzio per l'incremento dell'irrigazione del territorio cremonese è un ente morale di diritto privato che svolge, senza scopo di lucro, l'attività di derivazione e distribuzione d'acqua per l'irrigazione in agricoltura.

La sua rete di distribuzione, estesa per circa 261 km, è costituita dai seguenti canali principali, alimentati dai Fiumi Adda ed Oglio e da fontanili:

- Canale Pietro Vacchelli (già Canale Marzano), alimentato dal Fiume Adda;

- Cavo Calciana, alimentato dal Fiume Oglio;
- Naviglietto di Calcio, alimentato da fontanili;
- Naviglio Grande Pallavicino, alimentato dal Fiume Oglio;
- Cavo Molinara, alimentata dal Fiume Oglio e da fontanili;
- Cavo “Di suppeditazione”, alimentato dal Fiume Oglio;
- Naviglio Nuovo Pallavicino, formato dalla confluenza, in territorio del Comune di Torre Pallavicina (BG), della Molinara e del Suppeditazione.

La portata complessiva in concessione è di 57,779 m<sup>3</sup>/s disponibile durante l'intera stagione irrigua che va dal 25 aprile al 25 settembre. Nel solo caso in cui nei fiumi non fosse disponibile acqua a sufficienza la portata agli utenti è ridotta a tutti nella stessa percentuale.

Il comprensorio irrigato si estende per 64.510 ha, in massima parte compreso nel territorio della provincia di Cremona. Il Consorzio, infatti, irriga anche una piccola parte della bassa pianura Bergamasca (dove è situato l'oggetto di questo studio).

Il consorzio è amministrato da un Consiglio d'Amministrazione cui è a capo il Presidente del consorzio e suo rappresentante legale. Il Consiglio è eletto dall'assemblea del consorzio, formata da persone espresse dai 55 comuni attuali eredi dei 59 comuni che, nel 1883, furono i fondatori dell'istituto. La rappresentanza dei comuni è fissata in una persona ogni caratura sottoscritta.

La sede del consorzio è nel Palazzo “Anselmi”, di proprietà del consorzio in Via Cesare Battisti a Cremona. L'estensione della rete dei canali consortili comporta la presenza di



punti di riferimento dell'ente sparsi lungo la rete stessa, che, perciò è suddivisa in Camperie. In ciascuna di esse è presente almeno una casa abitata dai dipendenti del reparto operativo (detti, appunto, campari).

Genivolta è il sito più rilevante del patrimonio del consorzio. Qui, infatti, s'intrecciano numerosi corsi d'acqua in un complicato e stupefacente complesso d'architettura idraulica, completato alla fine del 1800.

Appena a valle questo sito, s'incontra la località detta "Tredici Ponti", dove la strada statale per Soncino sovrappassa altrettanti canali irrigui tutti provenienti da Tomba Morta.

#### **4.2.1 Il Condomino Pallavicino**

Per meglio focalizzare l'area interessata dal nostro studio occorre, per maggior chiarezza, descrivere brevemente la rete di canali che circondano l'allevamento ittico situato all'interno del Condominio Pallavicino in località Pumenengo.

La rete del Condominio Pallavicino è un insieme di canali principali e secondari aventi origini diverse e riuniti, in un'unica proprietà, da Galeazzo I Pallavicino. Tale Condominio era un istituto voluto dal marchese Galeazzo I Pallavicino, intorno al 1500, e condotto dai suoi successori, della nobile famiglia, secondo il principio "In stirpe et non in capita"; vale a dire il patrimonio rimase della famiglia, anche se con equilibri interni mutevoli. Così nel 1893 l'istituto era ancora unico e ricco degli ampliamenti che i Pallavicino operarono nel corso di 400 anni. Tra i suoi canali il più antico è il Cavo Calciana, nascente dall'Oglio, in comune di Calcio (BG) detto anche Roggia Molino.

La rete Pallavicino, schematicamente rappresentata in fig.4.2, è alimentata prevalentemente da derivazione dall'Oglio per l'irrigazione del territorio cremonese.

I canali principali del condominio sono:

- Roggia Calciana;
- Naviglio Grande Pallavicino;
- Roggia Molinara;
- Cavo di Suppeditazione;
- Naviglietto di Calcio;
- Naviglio Nuovo Pallavicino

Da questi canali principali discende l'antica rete che irrigava, come irriga, il territorio centrale della provincia cremonese. La giacitura e la tessitura del territorio cremonese sono fra le più adatte all'attivazione di colture irrigue; appaiato all'energia inesauribile della sua popolazione agricola quel terreno, totalmente in piano, opportunamente concimato, lavorato ed irrigato, dà ottima produttività. Si comprende come le comunità cremonesi, fossero di principi o d'agricoltori, cercassero, in ogni tempo di procurarsi e utilizzare quanta più acqua possibile. L'acqua, tuttavia, era servita da secoli anche per altri scopi; le reti idrauliche, esistenti nella seconda metà del XIX secolo, ne rispecchiavano le diverse origini. Questo studio è promosso dal Consorzio irrigazioni cremonesi per far fronte ad una nuova esigenza, che si sta via via diffondendo in tutto il Paese, che è quella di una nuova cultura dell'acqua più vicina alle nuove richieste dei cittadini e alla nuova concezione d'uso plurimo dell'acqua [Ficco, 1999].

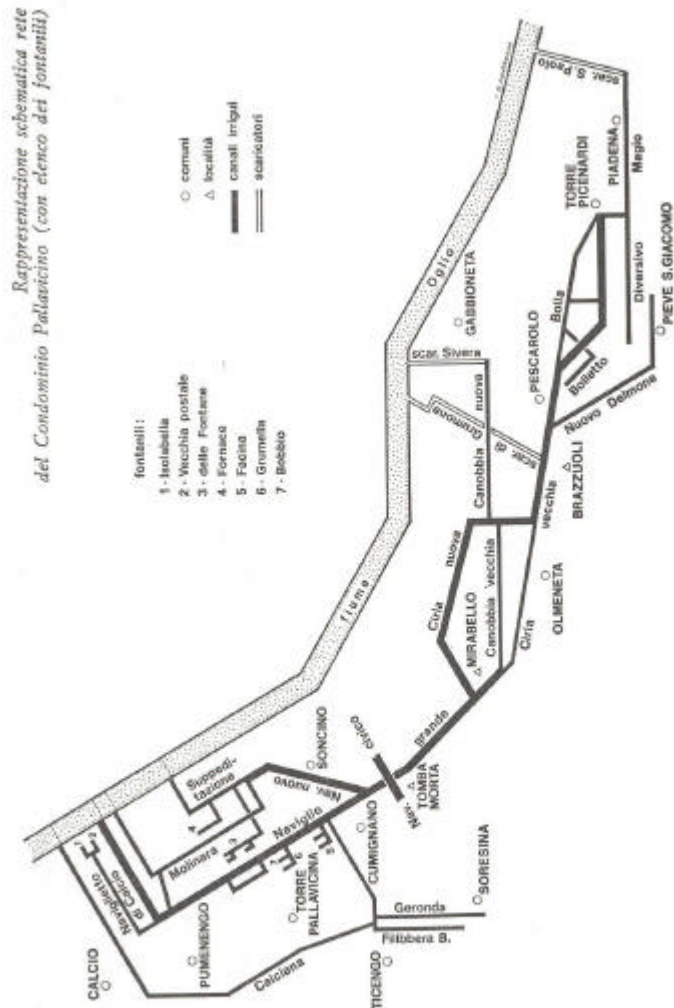


Fig.4.2. Rappresentazione schematica del Condominio Pallavicino

## **LA TEMPERATURA DEL FIUME: ANDAMENTO SPAZIALE E TEMPORALE**

### **5.1 I dati disponibili**

Lo studio della temperatura del Fiume Oglio, non può che avere origine dall'analisi dei dati di monitoraggio del fiume, analisi che sono state condotte fino al 2000 dalle province di Bergamo Brescia e Cremona, in quanto il percorso del fiume ne rappresenta il naturale confine. I dati relativi agli anni successivi, sono stati reperiti presso le sedi dell'ARPA delle varie province competenti.

La provincia di Bergamo, ha monitorato dal 1988 al 1999 con periodicità semestrale il Fiume Oglio prelacuale nella stazione di Costa Volpino; i dati sono di poco interesse per questo studio, in quanto riferiti al tratto prelacuale.

Di maggior utilità, sono stati invece i dati raccolti dalla provincia di Brescia che focalizza la

propria attività nel tratto sublacuale del fiume. Le stazioni di campionamento sono situate nei comuni di Capriolo e Pontoglio. La raccolta dei dati è cominciata nel 1986 e si è protratta fino al 1999. Non è individuabile una netta periodicità dei monitoraggi che varia da 2 a 4 mesi a seconda degli anni. Sono interessanti anche misurazioni effettuate su alcune derivazioni del fiume, il cui utilizzo sarà spiegato in seguito.

La variazione delle competenze introdotte nel 2000, per cui il monitoraggio dei corsi d'acqua superficiali è divenuto di competenza dell'ARPA, ha introdotto altresì una variazione dello schema generale delle stazioni di raccolta dati, sopprimendone alcune. E' questo il motivo per cui il monitoraggio nella stazione di Pontoglio termina nel 1999.

Proseguendo verso valle, la successiva stazione di studio si trova a Soncino, dove il monitoraggio è condotto dagli organi competenti della provincia di Cremona, sino al 2000 e dall'ARPA (CR) per gli anni successivi.

Purtroppo dunque, il tratto che interessa maggiormente questo studio è trascurato dal monitoraggio.

Innanzitutto, l'indagine si è concentrata sulla ricerca di eventuali scarichi ad elevata temperatura che potessero influire sulla termica del fiume, per questo motivo abbiamo ricercato presso le varie amministrazioni provinciali le concessioni ad essi relative ( vedi appendice 4). Abbiamo dovuto constatare, che, nonostante il D.Lgs. 152/99 preveda il monitoraggio delle temperature delle acque provenienti dagli scarichi industriali, sia l'ARPA di Bergamo sia quella di Brescia non ottemperano a tale dovere.

L'ipotesi di un inquinamento termico d'origine antropica è stata comunque scartata, in quanto le portate di scarico delle varie industrie sono irrisorie nel periodo estivo e non hanno funzione di raffreddamento. Le sei centrali idroelettriche funzionano a ciclo chiuso e utilizzano, per raffreddare le turbine, aria e non acqua. Possiamo affermare che il contributo di suddette centrali è irrilevante ai fini della ricerca.

Viene qui di seguito illustrato un approccio al problema con il quale si vuole dimostrare come l'aumento della temperatura del fiume sia in realtà legato alle temperature raggiunte dal lago nel periodo estivo e alla diminuzione delle risorgenze d'alveo con la conseguente diminuzione dell'effetto "rinfrescante" che le stesse hanno sulle acque provenienti dal lago.

I mesi critici per gli allevamenti ittici, sono naturalmente quelli estivi, dove la temperatura delle acque oggi giorno non è più compatibile con la vita delle trote allevate. Come mese rappresentativo di questa situazione si è scelto il mese d'agosto, in quanto mese più critico per gli allevamenti ed inoltre perché caratterizzato da un maggior numero d'osservazioni disponibili.

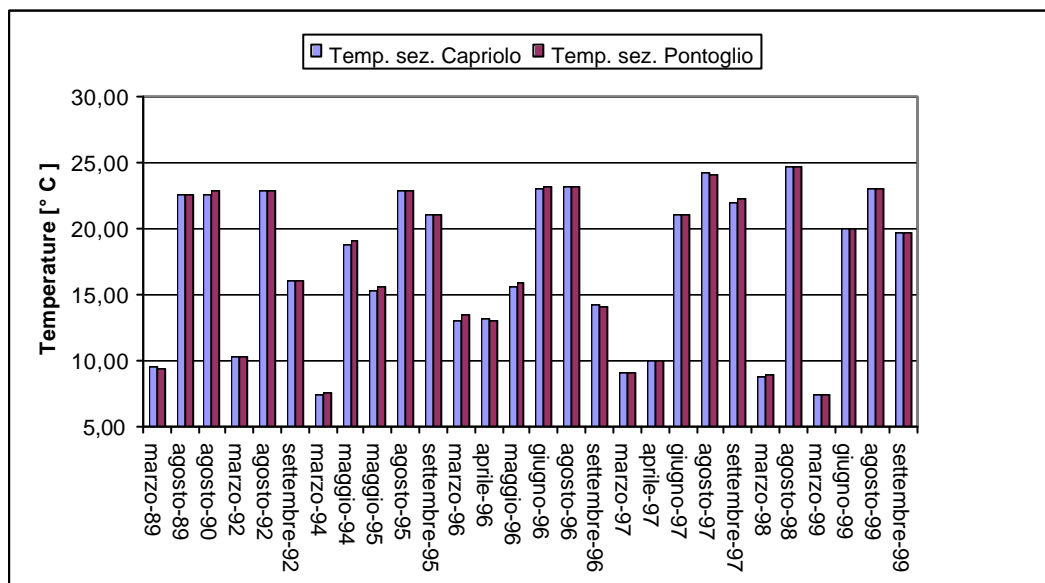
## **5.2 La temperatura dell'Oglio: tratto Sarnico-Capriolo-Pontoglio**

La temperatura del Fiume Oglio è fortemente influenzata dalle temperature superficiali dell'acqua raggiunte nel Lago d'Iseo. La regolazione del fiume avviene per mezzo dello sbarramento di Sarnico, ubicato poco a valle del lago; pare dunque ragionevole l'ipotesi di

considerare le temperature dell'acqua a Sarnico uguali a quelle misurate a Predore, la stazione di monitoraggio più meridionale del lago.

Lo scambio termico con l'atmosfera genera variazioni di temperatura lungo il corso del fiume e si può ritenere, in linea generale, che la temperatura superficiale vada diminuendo, almeno nel primo tratto sublacuale.

Nel grafico di fig. 5.1 è riportato il confronto tra le temperature registrate nelle sezioni di monitoraggio di Capriolo e Pontoglio.



*fig. 5.1. Confronto tra le temperature dell'Oglio a Capriolo e a Pontoglio*

Come si può notare, le differenze di temperatura sono minime e imputabili, a parer nostro, per lo più alla non simultaneità delle registrazioni nelle due sezioni.

Pare quindi ragionevole ritenere che la temperatura del fiume non vari entro questo tratto.

E' altresì evidente la mediocre quantità dei dati disponibili per un'analisi nel periodo d'interesse. Per sopperire alla mancanza di un monitoraggio adeguato, ci siamo adoperati

nella ricerca di una relazione tra la temperatura dell'acqua del fiume e una variabile oggetto di maggiori misurazioni.

L'idea è stata quella di ricercare, come per il lago, una relazione tra la temperatura dell'acqua e quella dell'aria. Ritenevamo però, di poter ottenere una relazione unica, che legasse per tutto l'arco dell'anno temperatura dell'aria (misurata in sito) e temperatura dell'acqua, viste le differenti caratteristiche termiche dei sistemi lago e fiume.

La debole causalità della relazione ottenuta in questo modo, indicata dal basso coefficiente di correlazione, ci ha suggerito invece di riapplicare il metodo di suddivisione dell'anno in periodi. Per possedere un numero maggiore d'osservazioni abbiamo utilizzato anche dati di monitoraggio relativi ad alcune derivazioni che si dipartono entro il tratto Capriolo-Pontoglio, con il vincolo che la temperatura fosse misurata nei pressi della derivazione.

L'analisi di regressione  $T_a-T_w$  ha portato alla seguente relazione:

$$T_w = 0,6745 T_a + 4,1591 \quad R^2 = 0,9542 \quad (5.1)$$

valida per il periodo agosto-novembre, periodo associabile alla fase di raffreddamento del lago che è invece agosto-dicembre.

Molto probabilmente la diminuzione della bontà della regressione che si ottiene considerando per il fiume anche le coppie di dati relative a dicembre è dovuta alla sua minore capacità di immagazzinamento del calore e ad una sua restituzione in tempi più brevi, rispondendo in modo più rapido alle basse temperature invernali.



Nel grafico di fig. 5.2 sono messe a confronto le rette di regressione ottenute per il fiume (tratto Capriolo-Pontoglio) e per il lago.

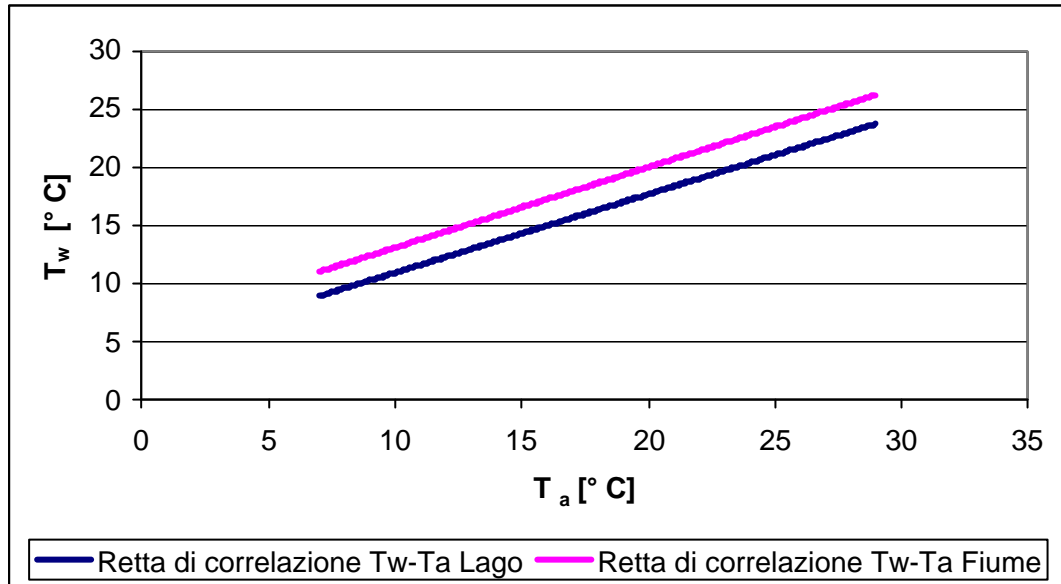


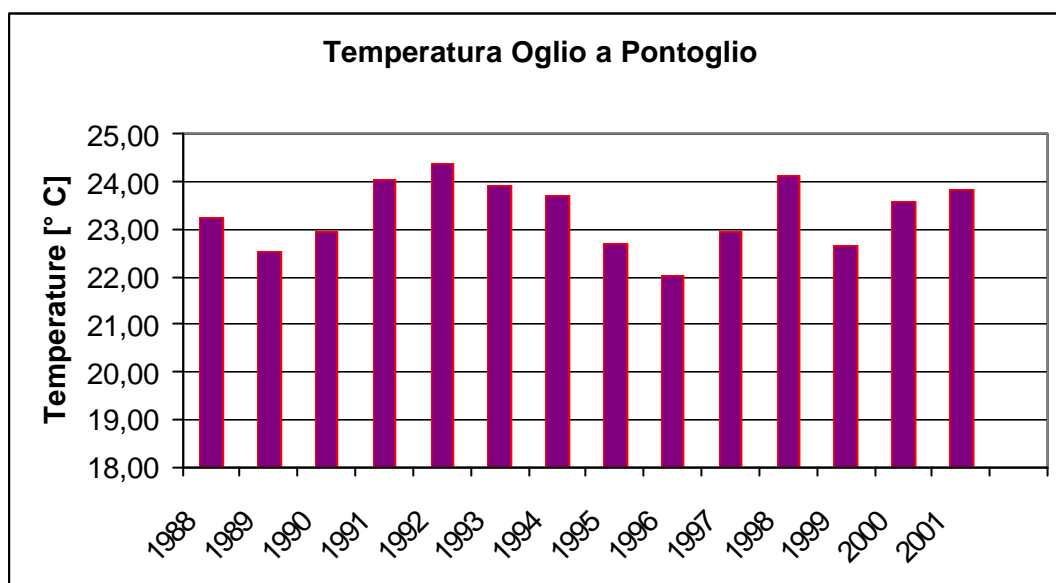
Fig.5.2. Confronto rette di regressione lago-fiume.

Le differenti condizioni al contorno dei sistemi fiume e lago, condizioni che regolano gli scambi termici, sono contenute nei valori di intercetta che differiscono di circa 2 unità.

Bisogna notare che le temperature dell'aria utilizzate per ottenere le due relazioni non sono le stesse, in quanto per il fiume si sono utilizzate quelle misurate presso le stazioni di monitoraggio del fiume.

Possiamo ora definire, per mezzo della 5.1, le temperature dell'acqua dell'Oglio a Pontoglio una volta conosciute le temperature in sito, ma purtroppo non esiste una stazione meteorologica che le abbia registrate con continuità negli anni.

Per questo motivo, la ricerca delle temperature massime nella stazione di Pontoglio (fig.5.3) è stata condotta introducendo la media delle temperature massime decadali registrate presso la stazione meteorologica di Bergamo.



*Fig 5.3. Temperature medie dell'Oglio a Pontoglio. Mese di Agosto*

### **5.3 La temperatura dell'Oglio: tratto Pontoglio-Naviglio Grande**

Dai risultati ottenuti fino a questo punto, sembrerebbe impossibile che a valle di Calcio siano state allevate trote in agosto. In questo paragrafo mostreremo però come questo sia stato possibile grazie all'azione "rinfrescante" delle risorgenze d'alveo sulle acque calde provenienti dal lago. I grafici riportati in fig. 5.4, 5.5 e 5.6 indicano come vada diminuendo negli anni la quota parte di portata dell'acqua di falda rispetto alla portata d'alveo.

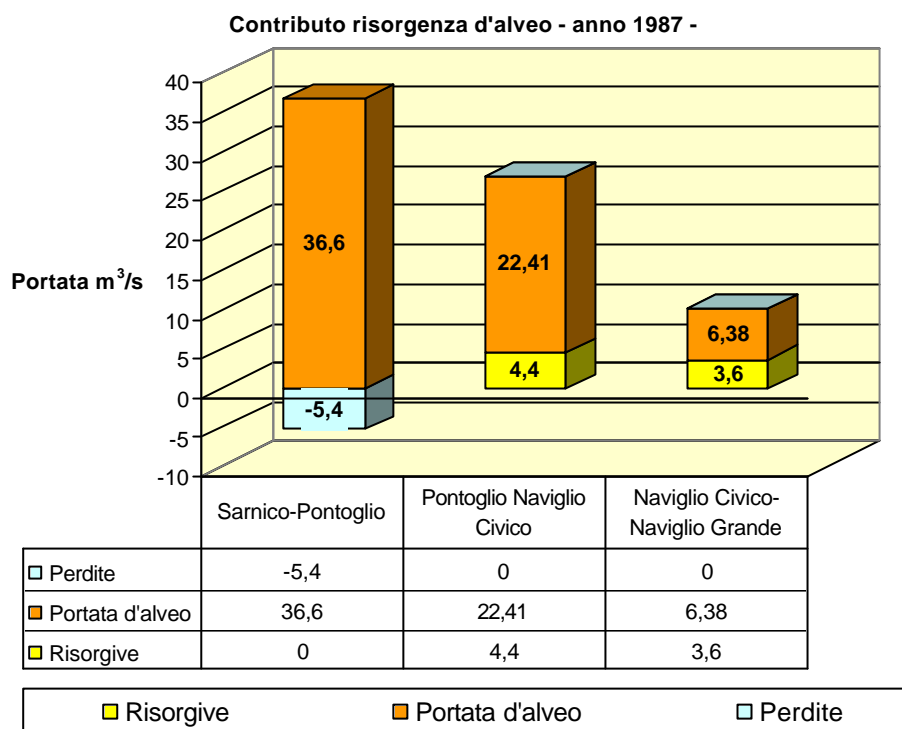


Fig.5.4.

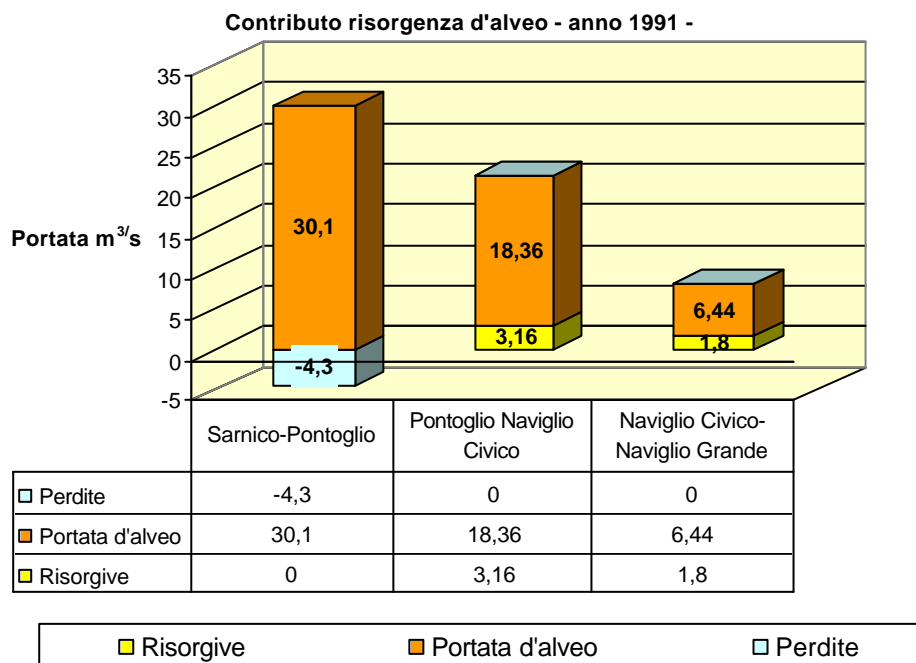
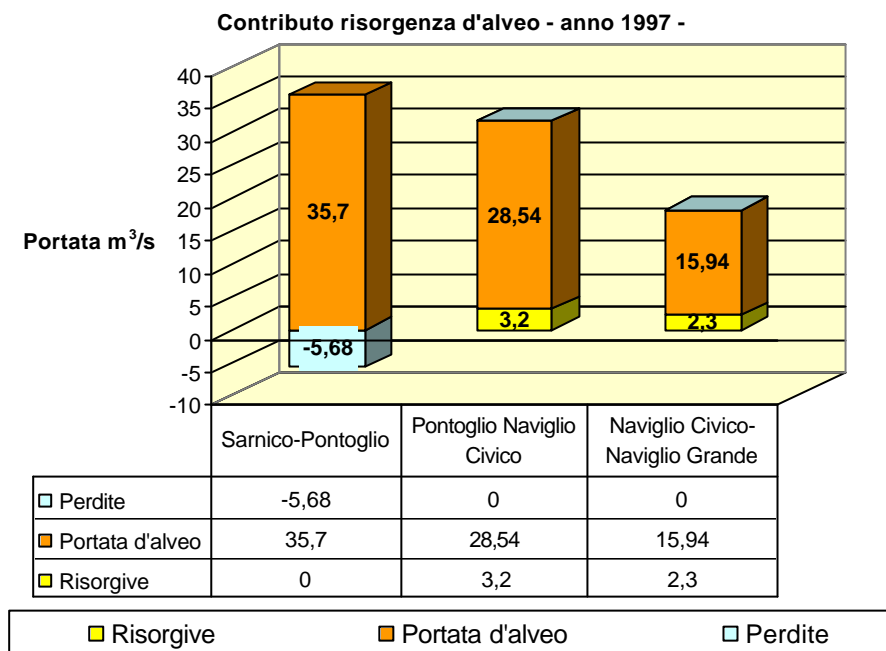


Fig. 5.5.



*Fig 5.6.*

Nel tratto compreso tra Pontoglio e il Naviglio Grande non sono presenti misurazioni di temperatura, se non quelle effettuate giornalmente dagli allevamenti ittici, misurazioni che però sono state eliminate.

Ci proponiamo ora di ricostruire l'andamento spaziale della temperatura per i vari anni in questo tratto privo di monitoraggio.

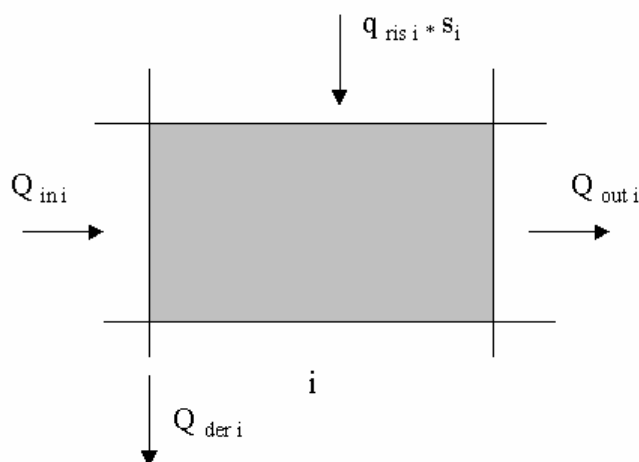
Conoscendo del tratto Pontoglio-Naviglio Grande le seguenti variabili:

- La temperatura dell'acqua in ingresso
- La portata dell'acqua in ingresso
- La posizione delle derivazioni e le relative portate derivate

- L'entità delle risorgenze d'alveo
- La temperatura delle acque di falda

e considerando una distribuzione omogenea delle risorgenze lungo il corso del fiume, diviene possibile determinare il valore della temperatura nelle sezioni di ingresso e uscita di tutti i tratti compresi tra due derivazioni.

Il metodo utilizzato, è definito qui di seguito. Si osservi lo schema di fig. 5.7



*Fig 5.7. Bilancio di portata per il tratto i*

dove:

$s_i$  è la lunghezza del tratto  $i$ -esimo del fiume compreso tra due derivazioni;

$Q_{in\ i}$  è la portata in ingresso del tratto  $i$

$Q_{out\ i}$  è la portata in uscita dal tratto  $i$

$Q_{der\ i}$  è la portata derivata nel tratto  $i$

$q_{ris}$  è il contributo della falda per km

$$S_{tot} = \sum S_i$$

$T_{in\ i}$  è la temperatura in ingresso nel tratto  $i$

$T_{out}$  è la temperatura in uscita nel tratto  $i$

$T_{ris}$  è la temperatura dell'acqua di falda posta a 15° C

Le relazioni che legano le variabili sopraelencate sono:

$$Q_{in\ i} = Q_{out\ i-1} - Q_{der\ i}$$

$$q_{ris} = Q_{ris} / S_{tot}$$

$$Q_{out\ i} = Q_{in\ i} + q_{ris} \cdot S_i$$

considerando inoltre che:

$$T_{in\ i} = T_{out, i-1}$$

possiamo per mezzo del bilancio entalpico 5.2 determinarci la  $T_{out, i}$ .

$$Q_{in, i} \cdot T_{in, i} \cdot c_p + q_{ris} \cdot S_i \cdot c_p \cdot T_{ris} = Q_{out, i} \cdot T_{out, i} \cdot c_p \quad (5.2)$$

dove con  $c_p$  s'indica il calore specifico dell'acqua.

Iterando questo metodo per le varie sezioni, è possibile ricavare l'andamento delle temperature fino alla sezione di derivazione del Naviglio Grande.

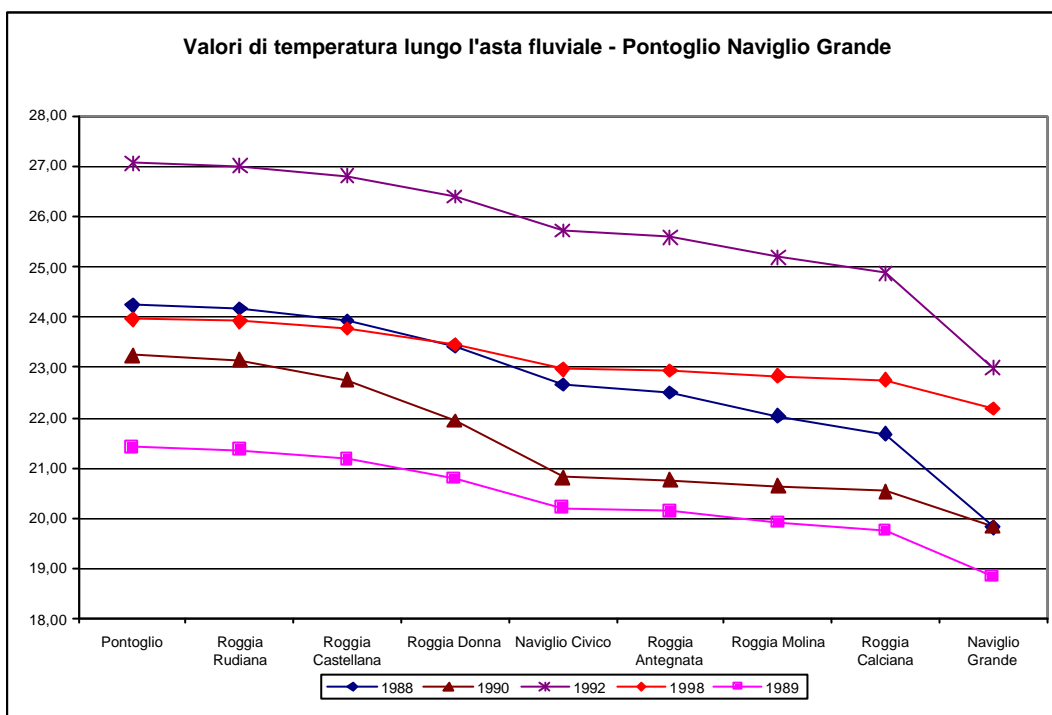
Sono riportate in tab 5.1, per gli anni compresi dal 1988 al 1998, le ricostruzioni spaziali e temporali dalla temperatura dell'Oglio tra Pontoglio e il Naviglio Grande ottenute con il metodo prima descritto.

*La temperatura del fiume: andamento spaziale e temporale*

	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
Pontoglio	24,24	21,41	23,25	25,56	27,06	25,22	26,71	26,71	23,64	23,96
Roggia Rudiana	24,18	21,36	23,15	25,51	27,01	25,21	26,67	26,69	23,62	23,92
Roggia Castellana	23,94	21,17	22,76	25,30	26,82	25,14	26,51	26,62	23,57	23,77
Roggia Donna	23,43	20,79	21,94	24,86	26,40	25,01	26,16	26,47	23,44	23,46
Naviglio Civico	22,66	20,21	20,81	24,15	25,73	24,77	25,62	26,22	23,25	22,97
Roggia Antegnata	22,50	20,14	20,77	24,07	25,59	24,67	25,58	26,13	23,19	22,93
Roggia Molina	22,04	19,92	20,64	23,81	25,19	24,38	25,47	25,89	23,05	22,84
Roggia Calciana	21,68	19,76	20,54	23,62	24,87	24,16	25,39	25,71	22,94	22,76
Naviglio Grande	19,82	18,84	19,83	22,32	22,98	22,79	24,71	24,53	22,29	22,18

*Tab.5.1. Andamento spaziale e temporale delle temperature dell'acqua dell'Oglio nel tratto tra Pontoglio e il Naviglio Grande Pallavicino.*

La temperatura di Pontoglio è stata ottenuta per mezzo della relazione di regressione (5.1), dove alla variabile  $T_a$  sono stati associati i valori medi di temperatura dell'aria dei primi dieci giorni dell'agosto d'ogni anno registrati dalla stazione meteorologica in Bergamo, giorni in cui sono state effettuate dal Consorzio dell'Oglio le misure di risorgenza.



*Fig 5.7. Andamento della temperatura tra Pontoglio e il Naviglio Grande*

E' evidente dal grafico di fig. 5.7 come la temperatura dell'acqua al Naviglio Grande sia funzione sia della temperatura raggiunta dal lago e quindi della temperatura a Pontoglio, sia dall'entità delle risorgenze. L'effetto è poi enfatizzato dalla regolazione del lago che, in compatibilità con l'andamento stagionale, tende a mantenere la portata del fiume pressoché costante negli anni. Il risultato ottenuto in questo modo è l'aumento della quota parte di portata d'acqua "calda" proveniente dal lago a dispetto dell'acqua "fredda" di falda.



Il singolo effetto dell'acqua di risorgenza può essere valutato depurando il grafico di fig 5.7 della temperatura del lago, ossia rappresentando il salto termico ( $T_{\text{Pont}} - T_{\text{Nav Grande}}$ ) delle acque del fiume negli anni (fig. 5.8).

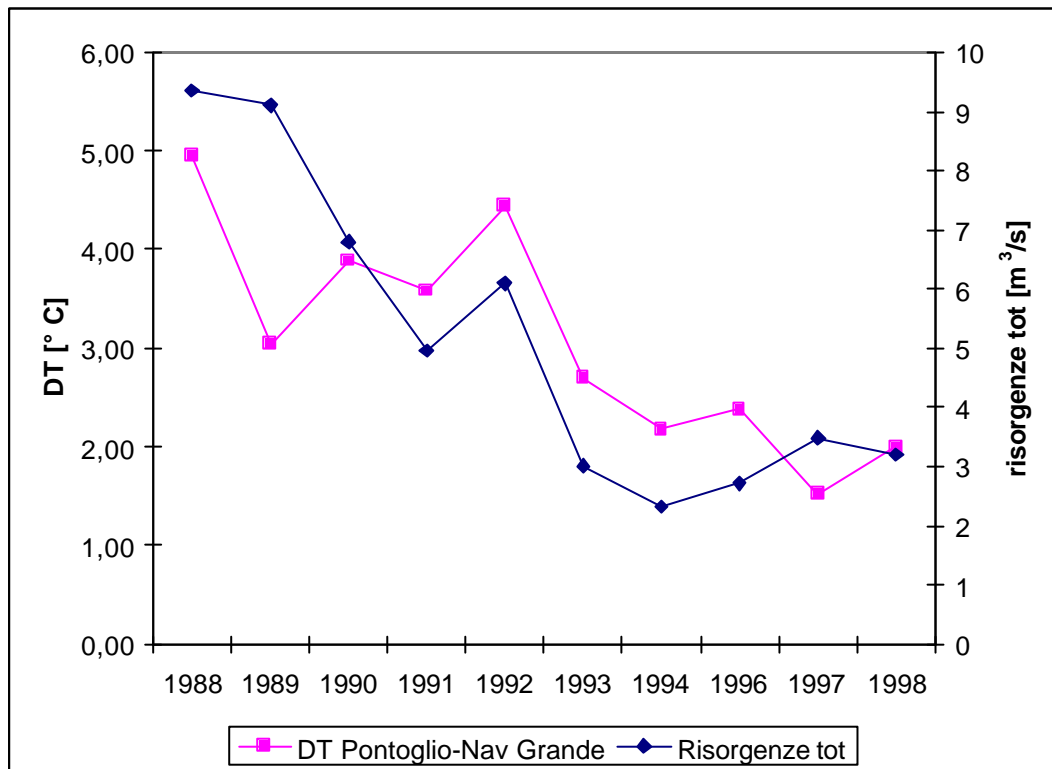


Fig. 5.8. Salto termico Pontoglio Naviglio-Grande.

Il grafico di fig.5.8 rappresenta contemporaneamente l'andamento del  $\Delta T$  e l'andamento delle risorgenze totali ovvero la somma di quelle misurate al Naviglio Civico e al Naviglio Grande. La non omologa variazione in alcune annate può essere imputata ad una differente distribuzione dei contributi di falda che, se più cospicui nella parte iniziale, hanno un effetto mitigante minore.

Le acque dell'Oglio che percorrono i tratti successivi alla presa del Naviglio Grande, o meglio a valle del Cavo di Suppeditazione, possono essere considerate completamente di origine sotterranea poiché a questo punto del fiume, la portata erogata dal lago è stata completamente derivata dalle utenze irrigue dei consorzi dell'Oglio e Irrigazioni Cremonesi. Ne sono una conferma le analisi condotte dalla provincia di Cremona sul fiume nel comune di Soncino che indicano temperature prossime ai 18° C nei mesi di giugno e luglio, con valori di conducibilità elettrica prossimi ai 550 microsiemens, valori tipici delle acque di falda.

Le due aziende ittiche derivano le acque per l'allevamento l'una dal Naviglio Grande, a valle della confluenza del Naviglietto di Calcio, e l'altra dalla roggia Molinara le cui acque giungono nel periodo estivo per lo più dal Naviglio Grande.

Il Naviglietto di Calcio è una roggia la cui origine è dovuta a due fontanili, Isolabella e Vecchia postale, il che significa che le acque del Naviglio Grande, prima di essere derivate dagli allevamenti, vengono ulteriormente raffreddate da acque di risorgiva.

Nonostante l'osservazione precedente non si può pensare che l'attività delle aziende ittiche possa essersi inoltrata nel mese d'agosto dopo il 1990 (fig 5.9).

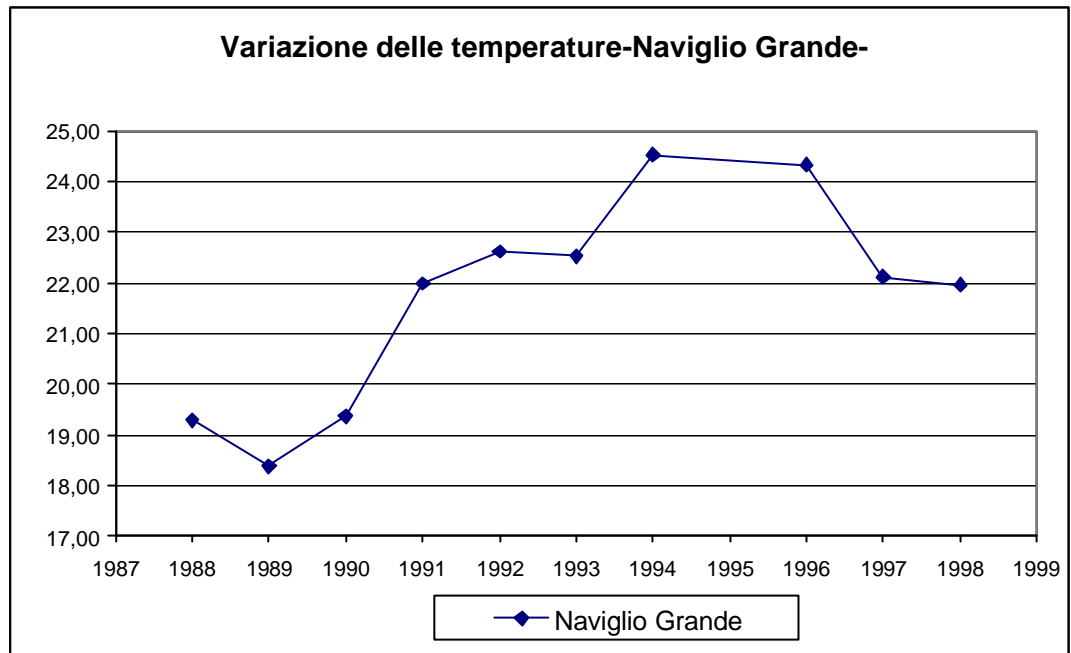


Grafico 5.9. Andamento della temperatura nella sezione del Naviglio Grande.

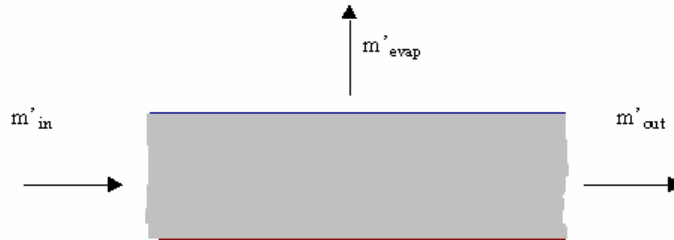
## 5.4 La temperatura nelle vasche

Per una maggior completezza dello studio abbiamo valutato anche il contributo dell'azione riscaldante del sole sulla temperatura dell'acqua nelle vasche dei pesci.

Le vasche sono caratterizzate da una larghezza di circa 7 m e una lunghezza di 400 m, il tirante idrico è dell'ordine degli 80 cm.

Il problema esposto è stato risolto operando dapprima un bilancio di massa e successivamente un bilancio energetico.

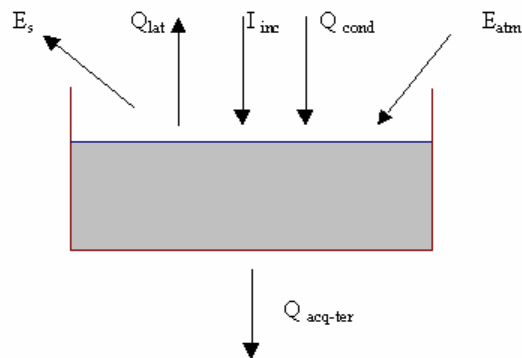
Com'è facilmente desumibile dalla fig .5.10 la portata di massa uscente è data dalla somma algebrica della portata di massa entrante e dalla portata di massa evaporata,



*fig. 5.10. Bilancio di massa del canale*

stimata per mezzo della 6.1. Le perdite per infiltrazione possono essere considerate trascurabili, poiché le vasche sono realizzate in calcestruzzo.

Per il bilancio energetico, i fattori sono rappresentati nella figura 5.11:



*Fig5.11. Bilancio energetico [Giambelli,1972]*

L'energia entrante  $E_{in}$  nel sistema è rappresentata dalla (5.3) [Mc Adams, 1985, Guglielmini, 1996]:

$$E_{in} = H_{in} + E_{atm} + Q_{cond} + I_{inc} \quad (5.3)$$

dove :

$H_{in}$  è l'entalpia entrante nel sistema

$E_{atm}$  è l'irradianza atmosferica

$Q_{cond}$  è il calore scambiato per conduzione tra l'aria e l'acqua (trascurabile)

$I_{inc}$  è l'energia fornita all'acqua dall'irraggiamento solare

L'energia uscente dal sistema  $E_{out}$  è invece espressa dalla relazione (5.4):

$$E_{out} = H_{out} + Q_{ev} + Q_{acq-ter} + E_s \quad (5.4)$$

dove:

$H_{out}$  è l'entalpia dell'acqua uscente dalla vasca

$Q_{ev}$  è il calore assorbito dal passaggio di stato dell'acqua nell'evaporazione

$Q_{acq-ter}$  è il calore scambiato dall'acqua con le pareti della vasca

$E_s$  è l'irradianza della superficie dell'acqua

Le relazioni 5.3 e 5.4 si scrivono in forma esplicita, rispettivamente, nel modo seguente:

$$E_{in} = \dot{m}_{in} c_p \cdot T_{in} + A_{pl} \cdot \sigma \cdot (T_{ski}^4 - \bar{T}^4) + A_{pl} \cdot K_w \cdot (T_{air} - T_w) + \alpha \cdot I_{inc} \cdot A_{pl}$$

$$E_{out} = \dot{m}_{out} \cdot c_p \cdot T_{out} + \dot{m}_{evap} \cdot I_{lat} + A_c \cdot K_g \cdot (T_g - \bar{T})$$

dove:

$c_p$  è il calore specifico dell'aria

$A_{pl}$  è l'area della superficie del pelo libero dell'acqua

$A_c$  è l'area della superficie bagnata dall'acqua

$\sigma$  è la costante di Stefan-Boltzman

$T_{ski}$  è la temperatura della volta celeste

$\alpha$  è il coefficiente d'assorbanza dell'acqua

$I_{inc}$  è la quantità d'energia irraggiata dal Sole

$\lambda_{lat}$  è il calore latente d'evaporazione dell'acqua a 20° C

$K_w$  e  $K_g$  sono coefficienti di scambio termico rispettivamente per l'aria e il terreno.

Il valore associato a ciascuna di queste variabili è riportato nella tab 5.2 [Pitte, 1982, Gaudenti, 1980]. La temperatura in uscita dalla vasca si ricava ponendo la stazionarietà del sistema (energia entrante = energia uscente) e risolvendo l'espressione rispetto  $T_{out}$ . Per ottenere la soluzione si è introdotta la variabile  $\bar{T}$  la quale rappresenta il valore di temperatura media tra l'ingresso e l'uscita dalla vasca.

La temperatura del fiume: andamento spaziale e temporale

DATI INPUT			
<b>Q</b>		0,08	m <sup>3</sup> /s
<b>base</b>	b	7,00	m
<b>velocità</b>	v	0,02	m/s
<b>lunghezza tratto</b>	L	400,00	m
<b>tirante</b>	h	0,76	m
<b>superficie</b>	S	2800,00	m <sup>2</sup>
<b>K<sub>acqua</sub></b>		0,65	W/mK
<b>K<sub>fondo</sub></b>		1,40	W/mK
<b>a<sub>acqua</sub></b>		0,85	
<b>I<sub>inc</sub></b>		400,00	W/mq
<b>C<sub>p</sub></b>		4,19	
<b>T<sub>terreno</sub></b>		288,15	K 15,00 °C
<b>T<sub>aria</sub></b>		301,15	K 28,00 °C
<b>T<sub>acqua IN</sub></b>		295,15	K 22,00 °C
<b>calore latente di evaporazione</b>	λ	2416000,00	
<b>Evaporazione</b>	E	0,00036	m <sup>3</sup> /s
<b>Temperatura media</b>		295,35	K
DATI OUTPUT			
<b>Q<sub>conduzione Aria-Acqua</sub></b>	Q <sub>cond</sub>	13848,16	W
<b>Q<sub>conduzione Acqua Terreno</sub></b>	Q <sub>acc-ter</sub>	34381,17	W
<b>Irradianza<sub>acqua</sub></b>	E <sub>s</sub>	1171863,29	W
<b>Irradianza<sub>atmosfera</sub></b>	E <sub>atm</sub>	240958,49	W
<b>Q<sub>scambiato o.c.</sub></b>	I <sub>inc</sub>	952000,00	W
<b>Entalpia<sub>In</sub></b>	H <sub>in</sub>	98839,83	W
<b>Entalpia<sub>Out</sub></b>	H <sub>out</sub>	98528,12	W
<b>calore per evaporazione</b>	Q <sub>evap</sub>	873,91	W
<b>Bilancio</b>		0,00	
<b>Tacqua Out</b>		295,56K	22,41 °C

Tabella 5.2. Valutazione del contributo dell'irraggiamento solare.

Il risultato indica una temperatura dell'acqua in uscita dalla vasca superiore di 0,41° C rispetto a quella di ingresso; un valore di debole rilevanza. Sarebbe quindi assolutamente inutile una copertura delle vasche come era stato proposto dagli allevatori per diminuire i valori di temperatura dell'acqua.

Il valore di radiazione solare  $I_{nc}$  utilizzato rappresenta il valor medio di radiazione solare globale della prima decade d'agosto per gli anni in cui sono presenti le osservazioni nella stazione di monitoraggio di Bergamo. I valori sono significativi in quanto si tratta di un parametro la cui variazione spaziale è modesta.



# 6

## IL FENOMENO DELLE RISORGENZE D'ALVEO

### 6.1 Inquadramento del problema

Il Consorzio dell'Oglio, come Ente gestore del Lago d'Iseo e della distribuzione delle sue acque alle utenze industriali ed irrigue della media valle dell'Oglio, si trova, in quest'ultimo decennio, ad affrontare il problema di un minore apporto netto al fiume delle risorgive d'alveo del periodo irriguo.

Questo fenomeno comporta una gestione sempre più difficile dell'acqua del lago ed un maggiore stato di conflitto con l'utenza irrigua nel periodo estivo, quando l'acqua del Fiume Oglio diventa indispensabile per la crescita delle colture. A questo fenomeno può essere associato anche il problema del riscaldamento delle acque del fiume stesso, nella sua parte

meridionale. Il fenomeno non è individuabile con misure dirette, perché assenti, ma attraverso una serie d'osservazioni fatte dagli allevatori di pesci, presenti in Comune di Calcio.

L'aumento di temperatura del fiume nel periodo estivo (da 18-19° C a 22-23° C) da 10 anni a questa parte, oltre ad aver generato una serie di problemi di gestione per gli operatori ittici, ha avuto, con molte probabilità, ripercussioni sull'intero ecosistema fluviale. In questo capitolo ci proponiamo di rappresentare un quadro conoscitivo delle relazioni esistenti tra: il Fiume Oglio, le acque di falda, altre variabili meteorologiche (precipitazioni) e idriche (portate derivate dalle utenze irrigue) e le portate di risorgiva.

## **6.2 Le variabili considerate nello studio e la loro rete di rilevamento**

L'indagine è stata condotta utilizzando una rete di rilevamento costituita da:

- 4 idrometri sul Fiume Oglio, siti a Capriolo, Palazzolo, Pontoglio e Calcio, con relativa scala delle portate a Pontoglio;
- 12 idrometrografi, con scala delle portate, siti su 12 rogge derivate prima delle presa del Naviglio Grande;
- 4 pluviografi siti alla diga di Sarnico, a Calcio, Cividate e a Rovato;
- Misure indirette di portata di falda nelle sezioni di Calcio e Naviglio Grande di cui si tratterà in seguito.

I dati rilevati e le elaborazioni su di essi effettuate sono riportate di seguito:

- Il livello del fiume, misurato in continuo dagli idrometrografi, è trasformato dal Consorzio dell'Oglio in livello medio giornaliero, in centimetri;
- Il livello delle rogge, misurato in prossimità dell'opera di presa, è trasformato dal Consorzio in portata media giornaliera, attraverso la scala di portata, espressa in m<sup>3</sup>/s;
- Le misure dei pluviografi sono espresse in mm/giorno e cumulati per vari intervalli di tempo;
- La determinazione del valore di portata di falda avviene indirettamente effettuando un bilancio di massa lungo l'asta fluviale.

### **6.2.1 La portata di falda come misura indiretta.**

L'entità e la distribuzione delle rinascenze d'alveo si desumono da misurazioni effettuate del Consorzio dell'Oglio. L'Ente provvede alla misurazione congiunta delle portate del fiume e delle utenze irrigue, potendo determinare il contributo della falda per mezzo di bilanci di portata. Le operazioni permettono la valutazione del fenomeno in tre punti: a Pontoglio, a Calcio e alla presa del Naviglio Grande.

Più precisamente le tre equazioni di bilancio di massa sono le seguenti:

$$Q_{risorgenza\_Pontoglio} = Q_{erogata} + Q_{Cherio} - Q_{derivata} - Q_{Pontoglio} - Q_{evap}$$

$$Q_{risorgenza\_Calcio} = Q_{Pontoglio} - Q_{derivata} - Q_{Calcio} - Q_{evap}$$

$$Q_{risorgenza\_NavGrande} = Q_{Calcio} - Q_{derivata} - Q_{NavGrande} - Q_{evap}$$

in cui i pedici indicano le località oltre che la provenienza o la destinazione. I valori di portata del Fiume Cherio sono stati trascurati considerando la sua portata media dell'ordine di 80 l/s nel mese di agosto.

Irrelevante inoltre è la perdita d'acqua dovuta all'evaporazione, stimata per mezzo della 6.1 in  $0,0091 \text{ m}^3/\text{s}$  nel tratto tra lo sbarramento di Sarnico e Pontoglio, dove la superficie dello specchio d'acqua è maggiore.

$$E = 2,25 \cdot T_m^{1,5} \text{ [mm/mese]} \quad (6.1)$$

### **6.3 Il metodo d'indagine utilizzato: l'elaborazione statistica dei dati.**

In questo paragrafo viene presentata la metodologia utilizzata per analizzare le relazioni esistenti tra le variabili indipendenti prima citate e l'entità delle risorgenze d'alveo. I dati di portata del fiume, di risorgenza e di precipitazione sono stati cortesemente messi a disposizione dal Consorzio dell'Oglio. Questa metodologia intende fornire interpretazioni quali-quantitative delle variabili rilevate e risulta essere il punto di partenza per la costruzione di un qualsiasi modello interpretativo (anche matematico) del fenomeno delle risorgenze.

Dai risultati di questo studio non è possibile ottenere informazioni facilmente generalizzabili e utilizzabili a scopo modellistico: è necessario a tal fine disporre sicuramente di una serie di dati più consistente (s'intende come numero di misurazioni mensili).

L'indagine è costituita sostanzialmente nell'elaborazione statistica dei dati con un duplice intento, da una parte di evidenziare le relazioni causa-effetto esistenti tra le variabili stesse, e dall'altra di iniziare una prima modellizzazione di queste relazioni.

Per la ricerca di queste relazioni si è utilizzato lo strumento della regressione multipla [Mood, 1997].

L'espressione analitica risulta essere:

$$Y(t) = \sum_i \alpha_i X_i(t) + \varepsilon$$

Dove :

$Y(t)$  rappresenta la variabile dipendente (variabile effetto)

$X_i(t)$  rappresenta l' $i$ -esima variabile indipendente (variabile causa)

$\alpha_i$  rappresenta il coefficiente  $i$ -esimo da stimare

$\varepsilon$  rappresenta l'errore di stima del modello.

La scelta delle variabili è condotta con una procedura di successiva eliminazione delle variabili, nota come *backward regression analysis*.

Essa consiste nel prendere innanzi tutto in considerazione la regressione della variabile dipendente  $Y$  su tutte le variabili indipendenti, eseguendo il test della  $F$  parziale su ciascuno dei coefficienti di regressione stimati [Maione, 1993].

Scelto dunque un valore di  $F_c$  corrispondente al livello di rischio prefissato ( $\alpha=95\%$ ),

si confronta il valore  $F_{\min}$  più basso fra tutti gli  $F_i$  calcolati.

Se il valore di  $F_{\min}$  è maggiore di  $F_c$  si accetta la regressione, altrimenti si esclude dalla regressione la variabile che ha fornito il valore di  $F_{\min}$  e si itera il procedimento fino a che gli  $F_i$  calcolati risultano accettabili.

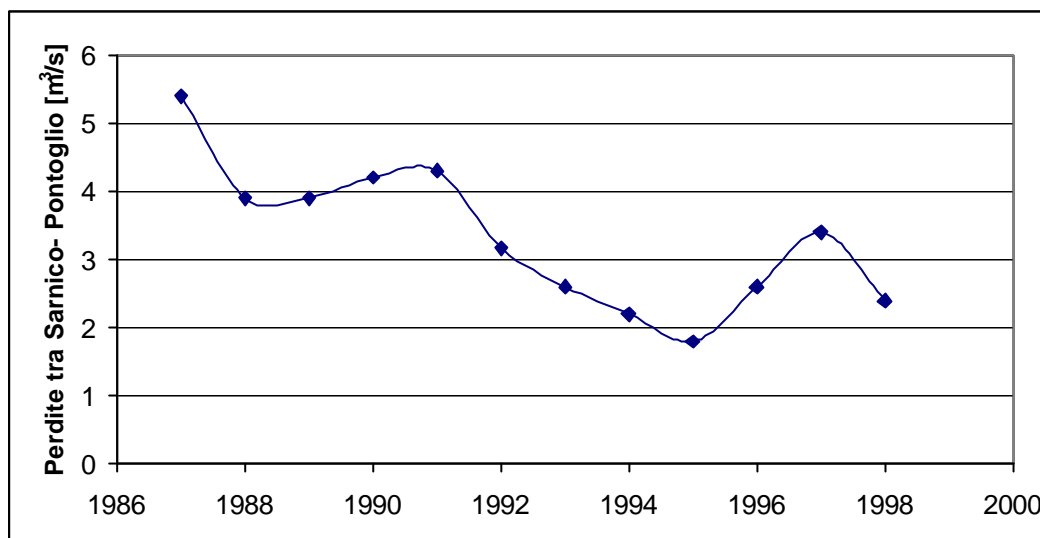
In questo studio, l'analisi di regressione multipla è stata utilizzata come mezzo tramite il quale individuare quali variabili possano essere considerate causa della variazione delle risorgenze nei vari anni.

Lo strumento dell'analisi di regressione semplice è invece stato utilizzato per la ricerca della dipendenza tra la variabile *perdite a Pontoglio*, contributo del fiume alla falda e la variabile *portata transitante in alveo*.

## **6.4 Analisi dei dati**

Sulla base della metodologia illustrata in precedenza viene ora svolta dapprima la descrizione di ogni singola variabile seguita da un'analisi statistica con lo scopo di determinare le relazioni causa effetto tra di esse. Viene poi presentata, quando possibile, per ogni modello matematico ottenuto, una eventuale interpretazione fisica.

Sia in base alle misurazioni di risorgenze effettuate dal Consorzio dell'Oglio, sia in base alla lettura delle carte piezometriche, è possibile affermare che, nel mese di agosto, nel tratto compreso tra lo sbarramento di Sarnico e la località Pontoglio, il Fiume Oglio alimenta la falda.



*Fig. 6.1. Andamento delle perdite d'alveo tra la diga di Sarnico e Pontoglio*

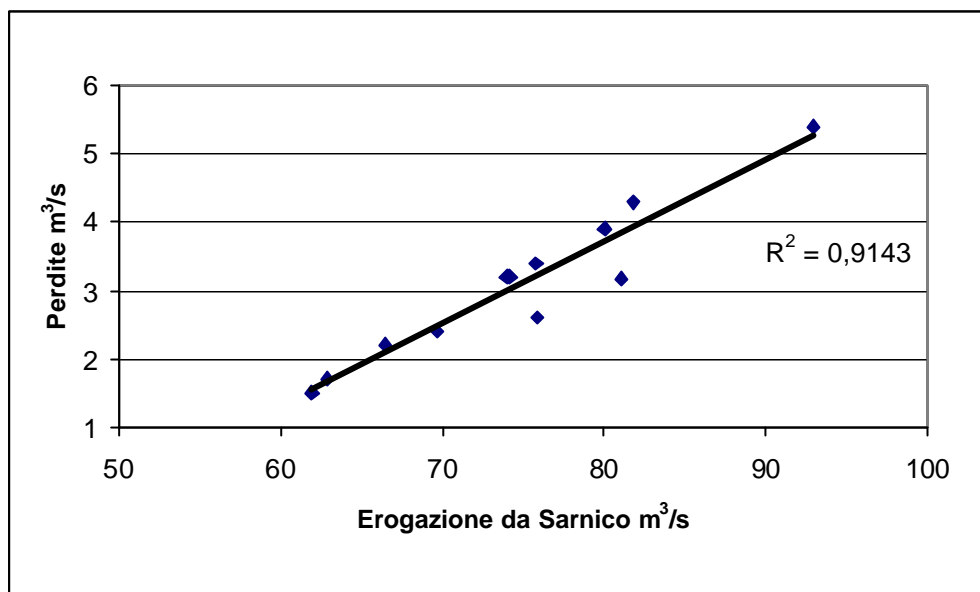
Come si nota dal grafico di fig. 6.1 l'andamento delle perdite negli anni, è molto variabile.

La tendenza, sicuramente in continua diminuzione, evidenzia due massimi relativi nel 1991 e 1997 e un minimo, in questo caso assoluto, nel 1995.

Riguardo alle modalità di alimentazione, il fatto che ciò avvenga attraverso terreno saturo, quindi con contatto idraulico tra i due sistemi, è molto improbabile vista la distanza tra il letto del fiume e la falda stessa (circa 6 m) [Carraro, Bellini, 1993].

Riteniamo dunque che il meccanismo d'alimentazione fiume-falda in questo tratto avvenga per mezzo di terreno insaturo.

Ne consegue che la portata persa dal fiume in queste condizioni di terreno, non dipende per nulla dalla quota della falda, ma, a parità di mezzo filtrante, unicamente dal livello del fiume [Castany, 1968].



*Fig. 6.2. Regressione semplice tra le portate erogate e le perdite d'alveo*

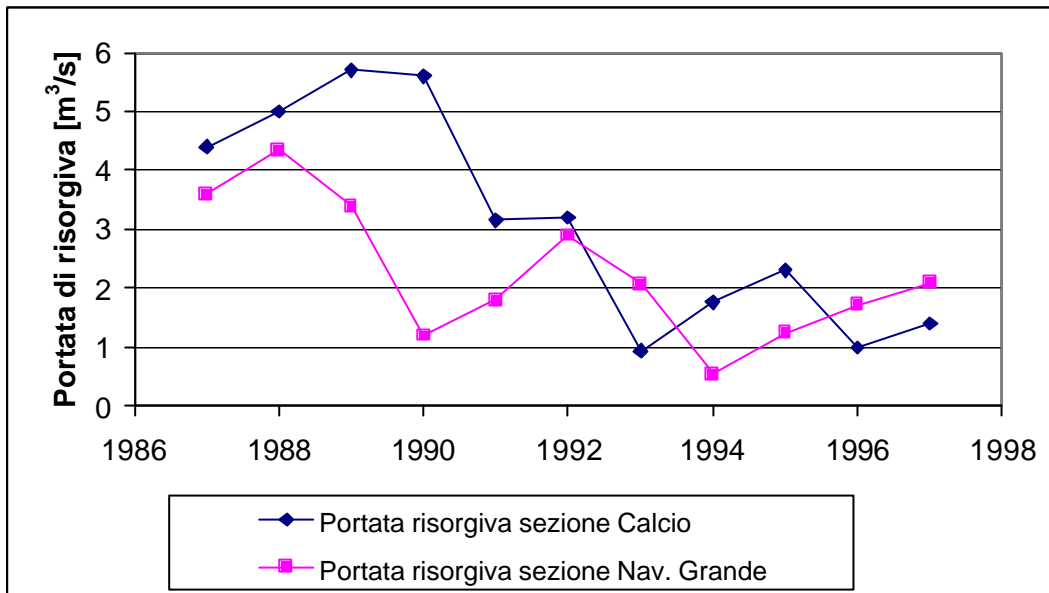
Nel grafico di figura 6.2, sono messe in relazione le portate medie del fiume dell'ultima decade di luglio, con le perdite misurate nei primi giorni d'agosto dal Consorzio.

Il buon coefficiente di correlazione tra le due variabili, avalla la nostra ipotesi.

Nel tratto di fiume a valle di Pontoglio, la relazione tra i due sistemi, falda e fiume, s'inverte.

Tutta la stagione estiva, sin dagli anni '30, è sempre stata caratterizzata da una forte presenza di acqua di risorgenza. Nel grafico di fig. 6.3, sono rappresentati i contributi della falda dal 1986 al 1997 (periodo di monitoraggio) nelle sezioni di Calcio e alla presa del Naviglio Grande.





*Fig 6.3. Andamento del contributo della falda dal 1987 al 1997. Dati forniti dal Consorzio dell'Oglio.*

In modo analogo al fenomeno delle perdite, il contributo della falda è certamente in diminuzione a meno delle due risalite avvenute nel 1992 e nel 1997 per le risorgenze al Naviglio Grande, e 1992 e 1995 per la sezione di Calcio.

Inoltre la consistenza della portata di falda in Calcio, notevolmente superiore a quella del Naviglio Grande negli ultimi anni '80, tende ad assumere valori simili alla fine degli anni '90.

La variazione delle risorgenze d'alveo, a nostro avviso, non può che essere imputata alla variazione dei livelli di falda. Il sistema acquifero è monofalda di tipo freatico e solo nella sua parte settentrionale presenta deboli artesianità dovute a lenti argillose di piccola entità.

In sostanza la falda può liberamente sollevarsi nel corso dei mesi secondo l'alimentazione [Francani,1996]. Possiamo quindi schematizzare tale sistema come un serbatoio d'acqua in movimento verso il suo scarico. E' chiaro quindi che la portata in uscita dal serbatoio

tenderà a diminuire con il calo generale dei livelli idrici del serbatoio stesso [Schneebeli, 1970].

Un bilancio attivo delle riserve idriche si traduce in un aumento dei volumi immagazzinati: si verificherà in sostanza il fatto che le acque sotterranee aumenteranno di livello; quando il bilancio tornerà in equilibrio o addirittura in passivo, si assisterà invece ad una stabilizzazione o ad una diminuzione.

Per definire quindi le variabili indipendenti, atte alla modellazione matematica del processo, è necessario analizzare il bilancio di portata della falda (6.2), schematizzato in fig. 6.4, nel tratto tra Sarnico e la presa del Naviglio Grande nel mese d'interesse (agosto).

$$Q_a = Q_p + P + IR - (Q_{pi} + Q_r + Q_{pa}) \quad (6.2)$$

Dove:

$Q_a$  = portata accumulata nella falda

$Q_p$  = portata persa dal fiume tra Sarnico e Pontoglio

$P$  = precipitazioni sul bacino

$IR$  = infiltrazioni da irrigazione

$Q_r$  = portata di risorgenza nel fiume

$Q_{pi}$  = portata estratta da pozzi industriali

$Q_{pa}$  = portata estratta da pozzi agricoli

### Il fenomeno delle risorgenze d'alveo

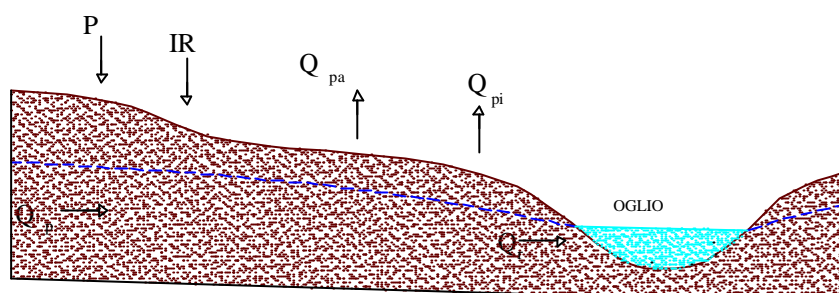


fig.6.4. Schema del bilancio di falda

Le analisi statistiche (regressione lineare multipla) sono state condotte per definire le relazioni causa-effetto tra le portate di risorgenza e le variabili più significative che partecipano al bilancio di portata della falda, sia nella sezione di misura di Calcio sia in quella al Naviglio Grande.

Dal procedimento di regressione, si sono ricavate le seguenti relazioni:

$$Q_{\text{risorgenza Pontoglio-Calcio}} = -2,5440 + 0,0387 P_{\text{Cividate}} + 0,9796 Q_{\text{persa dal fiume}}$$

$$Q_{\text{risorgenza Nav.Grande}} = -5,7352 + 0,111 * Q_{\text{derivata}} + 0,078 P_{\text{Calcio}}$$

L'andamento delle variabili significative è riportato nei grafici di figg. 6.5 e 6.6.

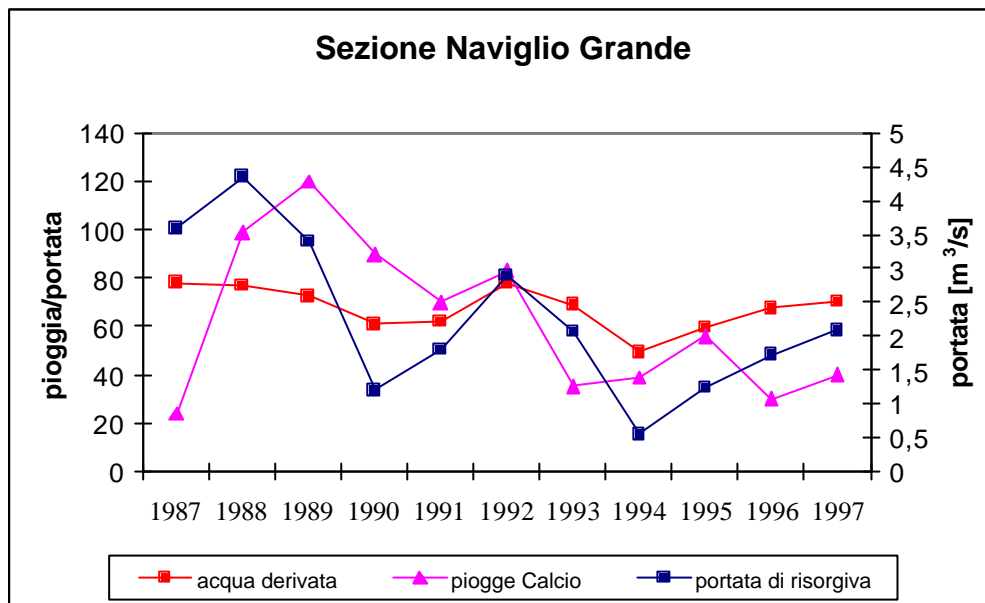


Fig. 6.5. Andamento delle variabili significative per la sezione

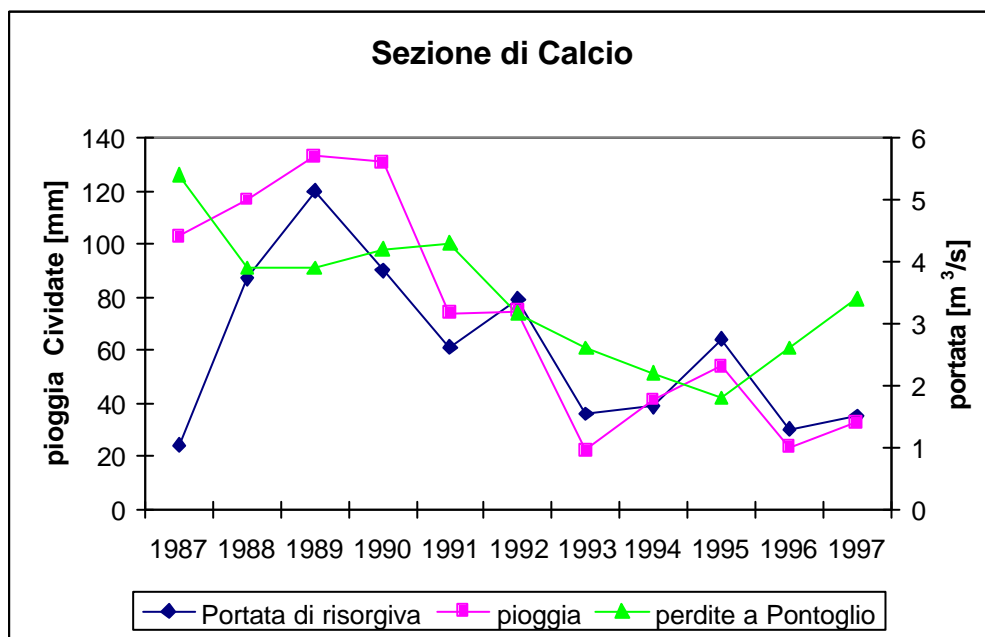


Fig. 6.6. Andamento delle variabili significative per la sezione di Calcio


Le variabili di piovosità rappresentano valori di pioggia media mensile del mese di luglio, mentre per portata derivata si intende quella media dei primi 5 giorni del mese di agosto.


I livelli di significatività, sia di regressione sia dei singoli coefficienti stimati, non sono riportati poiché sono tutti minori di 0,01.

Si potrà certamente migliorare la regressione facendo utilizzo di dati di piovosità cumulati in tempi più brevi, ad esempio la decade, ma purtroppo i dati resi fin qui disponibili sono quelli di piovosità media mensile.

L'indipendenza stocastica delle risorgenze tra Pontoglio e Calcio dalla portata delle acque derivate, può essere confrontata con la disponibilità delle aree irrigue che, nel tratto iniziale dell'Oglio sublacuale, sono minime, per poi ampliarsi in aperta pianura. E' opportuno ricordare che in queste analisi è venuta meno la possibilità di considerare i prelievi dai pozzi ad uso irriguo, per due motivi fondamentali: in primo luogo per l'impossibilità di conoscere con certezza il prelievo dalla falda in un dato mese, poiché le concessioni sono rilasciate su moduli d'adduzione in volumi annui; da questo consegue che il volume, se spalmato su 365 giorni, diviene irrilevante per il bilancio della falda, mentre sappiamo che esso si concentra nei mesi estivi e quindi assume valori indubbiamente significativi. Secondariamente non è tutt'oggi conosciuto il numero esatto dei pozzi in funzione.



Sollevamento di falda 

Abbassamento di falda 

*Fig. 6.7. Variazione della piezometrica. Confronto 1994-2002. [Francani, 2003].*

Quindi le basse portate di risorgenza in queste annate dovrebbero essere legate sia alla bassa quantità d'acqua infiltrata, sia alle portate captate dalla falda per mezzo di pozzi agricoli. Non dovrebbe invece comportare nessun errore il non aver considerato le captazioni per uso industriale date le loro caratteristiche d'omogeneità durante l'anno e l'invariata natura delle concessioni negli anni considerati. Uno studio sulle variazioni delle piezometrie in Lombardia [Francani e al., 2003; non ancora pubblicato] avalla la nostra ipotesi sulla variazione dei livelli della falda, tra Sarnico e Soncino (fig 6.7).

*Il fenomeno delle risorgenze d'alveo*

Poiché la falda al di sopra di Pontoglio, è ben distante dal letto del fiume, l'innalzamento registrato non dovrebbe comportare alcuna sostanziale variazione delle perdite d'alveo; di particolare interesse è invece l'abbassamento dei livelli nell'intorno di Calcio, zona in cui i due sistemi, falda e Fiume Oglio, sono in comunicazione.

Ciò che è possibile dedurre da quest'analisi, è che la diminuzione del contributo della falda all'Oglio, è dovuto sia a fattori meteorologici (le precipitazioni) sia alla regolazione del lago, che dipende anch'essa dalle precipitazioni, ma dipende anche dal volume di acqua immagazzinata e sottratta alla regolazione dai bacini idroelettrici a monte del lago. La più elastica regolazione del lago, che sarebbe permessa dalla diminuzione dei volumi accumulati a monte, determinerebbe un maggior volume di acqua distribuito alle utenze e, quindi, anche una maggior presenza di acque di provenienza sotterranea nel Fiume Oglio.

## **6.5 Proposta di un nuovo metodo per la valutazione del contributo delle acque sotterranee.**

Come sostenuto in precedenza, il fine di questo studio, non è quello di pervenire a modelli matematici interpretativi affidabili o addirittura a scopo previsionale, ma quello di definire le variabili significative alle quali possa essere imputata la variazione delle risorgenze d'alveo.

Purtroppo la distribuzione, ma soprattutto l'entità di questo fenomeno, non sono stati seguiti da un attento monitoraggio; in effetti, sono state effettuate solo 11 misurazioni, una all'anno dal 1987 al 1998, sospese negli anni successivi.

Sarebbe invece necessario, per una migliore comprensione del fenomeno, una serie storica di dati, che copra tutta la stagione irrigua, con la frequenza di almeno una misura bisettimanale.

Il motivo principale che ha comportato l'abbandono dell'attività di monitoraggio, non è certo la marginalità del problema, quanto invece il costo dello stesso sul bilancio annuale del Consorzio dell'Oglio (comunicazione personale del direttore). In effetti, le misurazioni di portata per mezzo di mulinelli, nelle sezioni di Calcio e prima della presa del Naviglio Grande, comporta certamente un notevole dispendio di tempo, impossibile quindi sarebbe richiede misurazioni durante tutto il periodo estivo.

E' questo il motivo per il quale proponiamo al Consorzio dell'Oglio stesso un differente metodo, indiretto, per mezzo del quale misurare il contributo di falda. Un metodo che oggettivamente non può che essere più agevole e meno dispendioso.



Tale monitoraggio, si avvale della misura di conducibilità elettrica, misurabile in sito tramite conduttimetri, apparecchi di costo relativamente basso e facilmente trasportabili.

Il rilevamento di questo parametro consente di conoscere rapidamente la variazione del contenuto salino delle acque lungo il tratto di fiume indagato e quindi di individuare anche eventuali apporti di acque provenienti dal substrato, che nella pianura padana sono ricche di sali disciolti [Francani, 1996].

Una volta definita la conducibilità media dell'acqua di falda, misurabile dall'acqua dei pozzi, i dati possono essere elaborati utilizzando la formula:

$$q = Q_e \frac{d_u - d_e}{d_f - d_u} \quad (6.3)$$

Dove:

$q$ = portata delle risorgive in  $m^3/s$

$Q_e$ = portata del fiume Oglio in entrata nel tratto considerato in  $m^3/s$

$\delta_e$ = conducibilità elettrica delle acque del fiume Oglio in entrata dal tratto considerato in microsiemens

$\delta_u$ = conducibilità elettrica delle acque del fiume Oglio in uscita dal tratto considerato in microsiemens

$\delta_f$ = conducibilità elettrica delle acque della falda libera in microsiemens

Il metodo proposto è un'applicazione inversa del metodo della concentrazione per la misura delle portate.

La valutazione del contributo delle acque sotterranee comporterà le seguenti operazioni:

- Valutazione delle perdite a Pontoglio tramite un bilancio di portata. L'operazione è in questa stazione facilitata grazie alla presenza di un idrometro con relativa scala di portata;
- Una campagna di misurazione della conducibilità delle acque del Fiume Oglio tra Pontoglio e il Naviglio Grande;
- Una campagna di misurazione della conducibilità dell'acqua di falda per mezzo delle acque di pozzo o di risorgiva. E' opportuno monitorare pozzi non troppo vicini al letto del fiume, escludendo in tal modo un errore della conducibilità dovuto al contatto tra le acque;
- Elaborazione per mezzo della 6.3 dei dati ottenuti.

Sarebbe azzardato proporre in questa sede i punti migliori di misurazione della conduttività, ma proponiamo qui di seguito alcuni accorgimenti per la loro individuazione:

- Preferire sezioni in corrispondenza di ponti stradali o ferroviari, in modo che possa essere prelevato un campione di acqua al centro del fiume. In questo modo diviene possibile misurare il valore medio della conducibilità elettrica dato dalla miscelazione delle acque superficiali con quelle drenate dalle sponde;
- Tenere conto dell'ubicazione di eventuali scarichi o depuratori che possono influenzare le misurazioni;
- Preferire luoghi di facile accesso per diminuire i tempi del monitoraggio.

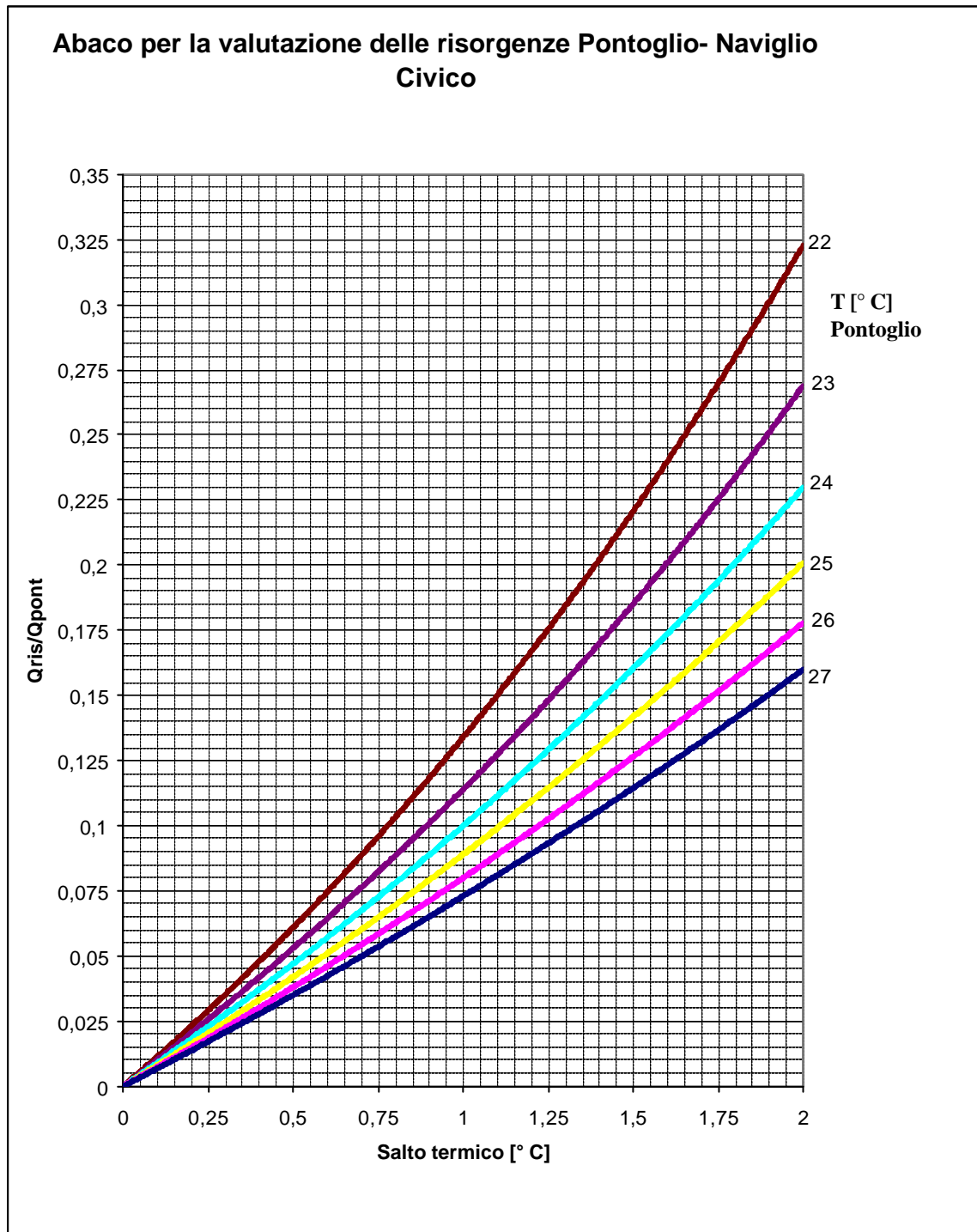
Buoni risultati saranno ottenuti se s'intensificherà il monitoraggio nei tratti d'alveo ad elevata variazione di conducibilità. Si potrà in questo modo ottenere grafici in cui sarà individuabile sia la distribuzione spaziale sia quella temporale del fenomeno lungo l'asta fluviale.

Il metodo presentato, può essere applicato fin tanto che la risorgiva è considerabile come tracciante salino, per cui sicuramente non oltre l'ultima derivazione del Consorzio dell'Oglio cioè dove finisce l'acqua derivata dal lago.

## **6.6 La misura della temperatura per la valutazione delle risorgenze d'alveo**

Nel paragrafo 5.3 si sono utilizzati i valori di portata e di temperatura delle risorgenze per determinare l'andamento delle temperature dell'Oglio. Lo stesso metodo può essere utilizzato per risolvere il problema inverso, cioè quello di valutare il contributo della falda al fiume date le misure di temperatura dell'Oglio. In tal caso, cambia naturalmente l'incognita che diviene la portata di falda. Perciò, fissando un valore di salto termico tra Pontoglio e il Naviglio Civico si è determinato il valore del contributo di falda che soddisfa questa condizione.

Per rendere più agevole la stima delle risorgenze abbiamo costruito due abachi (figg.6.8 e 6.9) che forniscono la soluzione grafica del problema.



*Fig 6.8. Abaco per la valutazione delle risorgenze.*

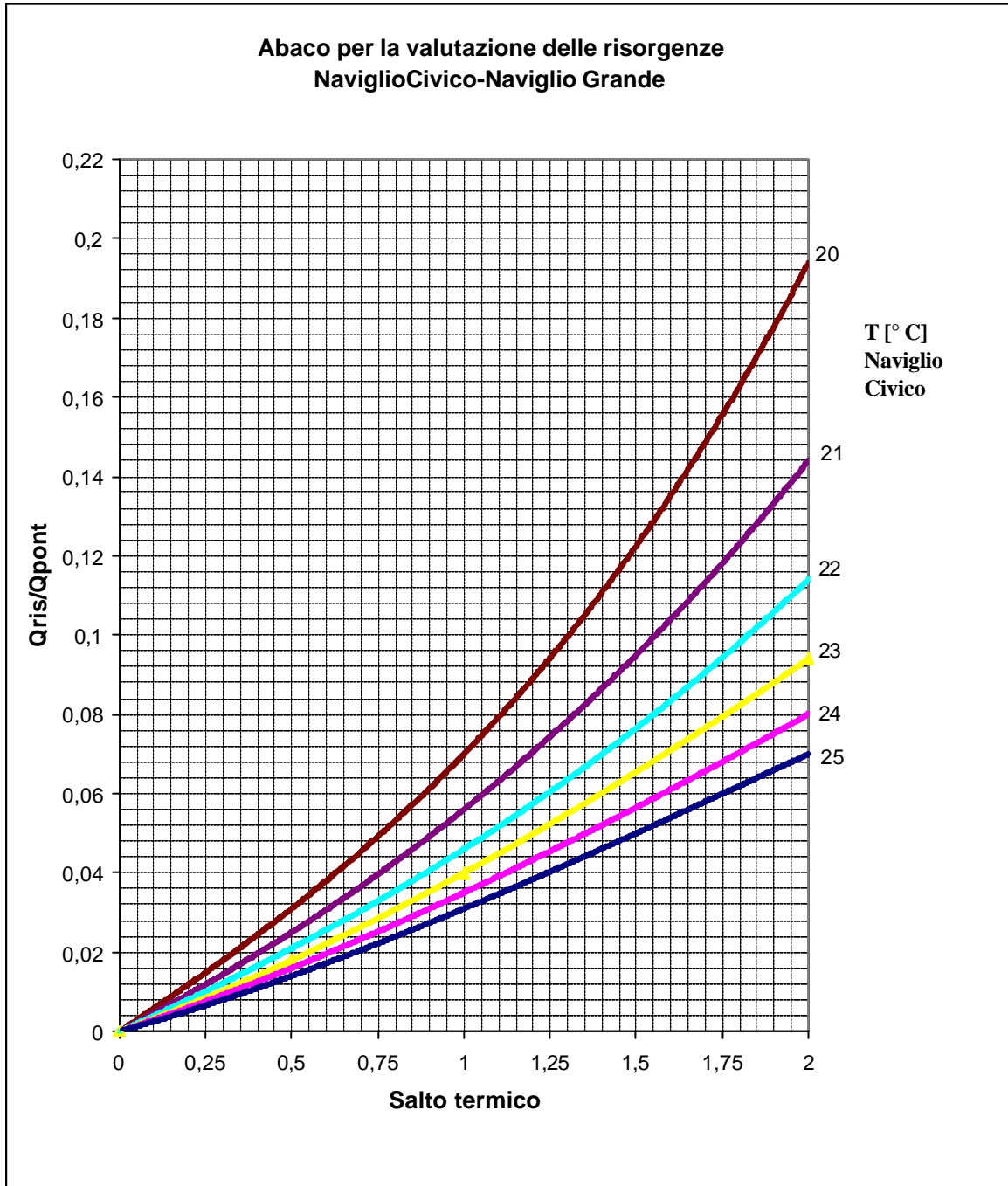


Fig 6.9 Abaco per la valutazione delle risorgenze.

In ordinata si legge il valore della portata di risorgenza normalizzata rispetto alla portata del fiume a Pontoglio.

E' ovvio, ma è bene ricordare, che le misurazioni di temperatura devono essere pressoché simultanee, in modo tale che le condizioni al contorno nelle due sezioni, condizioni che regolano gli scambi termici, non influiscano sulla temperatura dell'acqua. In modo analogo è possibile procedere per la stima delle risorgenze nel tratto successivo.

Questo metodo di stima è utilizzabile nel periodo estivo, o comunque fin tanto che la temperatura del fiume è considerevolmente superiore a quella della risorgiva, vero è anche che il periodo estivo rappresenta quello di maggior interesse da parte del Consorzio dell'Oglio, che vede in questi anni svuotarsi molto più velocemente l'invaso a Sarnico.

## L'ACQUACOLTURA E IL FIUME OGLIO

### 7.1 Una nuova frontiera: l'acquacoltura intensiva

Nell'ultimo secolo, ed in particolare negli ultimi 30 anni, l'acquacoltura è sembrata una pratica necessaria per l'ottenimento di proteine animali che la pesca non è più in grado di assicurare a causa dello sfruttamento indiscriminato delle risorse oceaniche, in passato ritenute abbondanti e riproducibili all'infinito.

Le tecniche di pesca hanno incrementato la produttività ma sono state spesso incuranti delle conseguenze del medio – lungo periodo; cioè hanno notevolmente impoverito i mari, con gravi conseguenze economiche per i pescatori e con frequenti crisi alimentari per quanti trovano sostentamento dalle proteine dei pesci. La crisi della pesca, la crescente domanda di proteine animali ed i progressi tecnico – scientifici hanno quindi favorito l'affermarsi dell'acquacoltura come valido complemento della pesca.

Possiamo definire l'acquacoltura come l'allevamento di organismi marini o di acqua dolce attraverso l'impiego di tecniche colturali il cui scopo è di aumentare, al di là della capacità produttiva naturale dell'ambiente, la produzione di organismi che rimangono di proprietà dell'allevatore durante il periodo dell'allevamento [Amerio e Elli, 1996]. Questa definizione, ripresa dai lavori dell'Unione Europea, riassume in modo convincente i diversi aspetti che caratterizzano questa attività e la distinguono dalla pesca o dalla zootecnia classica: essa consiste quindi nell'allevamento d'organismi acquatici e si esplicita con il controllo, parziale o totale, del ciclo di sviluppo di tali organismi sia direttamente (riproduzione e alimentazione) sia indirettamente (interventi sull'habitat e sulla genetica).

Con riferimento alla specie prodotta si parla più specificatamente di piscicoltura che può essere condotta in modo estensivo o intensivo. Nell'allevamento estensivo, che in Italia rappresenta una situazione marginale in termini di produzione, non sono somministrati alimenti dall'esterno perciò l'impatto delle attività sugli ambienti acquatici naturali è sufficientemente limitato.

Nell'allevamento intensivo è invece di fondamentale importanza l'intervento umano per la somministrazione d'alimenti, di tipo artificiale, con formulazioni adatte alle specie allevate.

In Italia l'allevamento ittico intensivo (come vedremo nel caso di questo studio) è praticato in impianti a terra con bacini artificiali di dimensioni relativamente ridotte (100-1000 m<sup>2</sup>) per gran parte delle specie ittiche da allevamento, quali trote, anguille, spigole e orate, ma con un elevato carico per unità di superficie (10/30 kg /m<sup>2</sup>) ed alta intensità di capitale [Api, 1994].



La distribuzione del mangime avviene manualmente oppure per mezzo di distributori automatici, l'ossigenazione mediante aeratori a turbina o a pale oppure con l'ossigeno puro. Questi allevamenti operano generalmente in monocoltura, essendo assai specializzati in ogni fase del processo (dalla riproduzione alla prima lavorazione) e capaci di ridurre i rischi connessi alla mancata diversificazione su più prodotti. L'incidenza del rischio biologico è più alta, ma sono anche maggiori le possibilità di contrastare l'evento dannoso ricorrendo all'impiego di ricercati sistemi automatizzati, i quali tengono sotto controllo i fattori critici che in tempi brevissimi potrebbero causare la morte di tutti i pesci presenti in vasca.

La struttura dei costi e la possibilità di cambiare rapidamente specie e quantità della produzione dipendono, oltre che dalle capacità imprenditoriali, dal numero, dalla dimensione e dalle caratteristiche delle vasche.

Al fine di delineare il quadro normativo in cui si colloca l'acquacoltura intensiva, si ritiene opportuno accennare brevemente agli strumenti che gli allevatori possono utilizzare per migliorare la loro attività [Bianco, 1992].

L'Unione Europea ha avviato e sviluppato una comune politica europea sui temi della pesca e dell'acquacoltura al fine di disciplinare la gestione e lo sfruttamento delle risorse e la trasformazione e la commercializzazione dei prodotti ittici in un'ottica unitaria. La P.C.P. (politica comune della pesca), attuata con il Reg. CEE 170/83 e il Reg. CEE 3760/92, fissa gli obiettivi che sono perseguiti attraverso l'esecuzione d'iniziative strutturali (SFOP) o programmi pluriennali (POP).

Lo SFOP (strumento finanziario d'orientamento della pesca), istituito nel 1993, è stato adottato in Italia con una delibera del CIPE che ha deciso le misure per le quali è possibile concedere contributi: rinnovo e ammodernamento della flotta, sviluppo dell'acquacoltura, organizzazione e sviluppo per la trasformazione e la commercializzazione dei prodotti ittici e adattamento agli sforzi di pesca. Approvato il piano settoriale e stanziati i fondi da parte della Commissione Europea, i progetti vengono valutati dagli organi ministeriali italiani.

Attraverso i POP vengono concentrate le misure per il contenimento dello sforzo di pesca attraverso il ridimensionamento delle flotte pescherecce; vengono agevolate le dismissioni di vecchie imbarcazioni e la costruzione di nuove è ammessa solo previo disarmo di barche di equivalente tonnellaggio.

Le attività della filiera pesca e acquicoltura sono state per la prima volta inserite in un quadro normativo unitario con la legge 41/82, definita "Piano per la razionalizzazione e lo sviluppo della pesca", con la quale sono stati creati alcuni Comitati e Istituti e sono state date le linee guida per il raggiungimento dei seguenti scopi:

- gestione razionale delle risorse biologiche del mare;
- differenziazione della domanda, promozione dei consumi e razionalizzazione del mercato;
- valorizzazione di certe produzioni e delle specie massive;
- attenuazione del deficit della bilancia commerciale.

A tal fine è prevista l'impostazione di Piani nazionali triennali (dal 1984 se ne sono succeduti cinque e attualmente è in vigore il 6°) che, considerando la situazione del

momento e il raggiungimento degli scopi fissati nel piano precedente, ripartiscono gli stanziamenti in previsioni del loro utilizzo per le attività di acquacoltura.

L'attenzione del Ministero si è rivolta sempre di più verso l'acquacoltura, nel tentativo di incoraggiare nuove strategie di produzione, la tutela del consumatore e l'ammodernamento degli impianti per ridurre i costi ed accrescerne l'efficienza.

La prima normativa rivolta esclusivamente agli allevamenti di specie ittiche in Italia è stata la legge 102/92 secondo la quale l'acquacoltura esercitata in acque dolci e salmastre è considerata a tutti gli effetti attività imprenditoriale agricola [Muratori, 1992].

Il decreto legislativo n° 535/96 ha finalmente posto fine ad una lunga polemica sui canoni demaniali che gli allevatori devono pagare per poter utilizzare spazi concessi dal demanio e che rischiava di provocare la crisi economica di molte aziende del settore; è stato stabilito un prezzo pari a 20 delle vecchie lire al metro quadro per gli impianti a terra [Monacelli, 1996].

Il 4° ed il 5° Piano triennale della pesca e dell'acquacoltura, hanno collocato l'acquacoltura italiana nella più ampia cornice di riferimento programmatico della pesca nazionale [Miraaf, 1997]. Infatti, anche se l'allevamento intensivo di organismi acquatici ha forti connotati riconducibili alla zootecnia terrestre, restano per gli allevamenti forti relazioni con il mondo della pesca.

Ad esempio: i prodotti convergono sugli stessi mercati; pertanto le crescenti produzioni d'acquacoltura hanno effetti sulla natura dell'offerta ittica. L'acquacoltura può essere

occasione di riconversione della pesca con effetti sulla riduzione dello sforzo di pesca [Mandelli, 1995].

Nonostante queste capacità l'acquacoltura italiana mostra punti di debolezza sul mercato, derivati da eccessive importazioni, e soffre della concorrenza di mercati che hanno minori vincoli ambientali, minori costi del lavoro e minore difesa dei diritti dei lavoratori [Muratori, 1995].

## **7.2 Aspetti economico finanziari delle imprese e la situazione italiana**

La pratica dell'acquacoltura può essere utile per il perseguimento di svariati obiettivi da parte di soggetti pubblici e privati: alcuni puntano all'alimentazione umana e alla conservazione ambientale, altri al miglioramento della bilancia commerciale o allo sviluppo economico e sociale di certe aree, altri ancora agiscono per il profitto [Ravagnani, 1985].

Indubbiamente le imprese italiane di acquicoltura, operando sul mercato, devono agire nel rispetto dei criteri economici o per avere profitti o per la semplice sopravvivenza; peraltro esistono istituti di ricerca che con la normale attività di ricerca producono quantitativi di merce che sono piazzati sul mercato senza scopi lucrativi e pertanto svincolati dalla logica del profitto.

Le aziende di acquicoltura agiscono sul mercato come *price-taker*, ovvero vendono il loro prodotto al prezzo che viene stabilito dal mercato dall'incontro di domanda e di offerta,

senza possibilità di agire in modo autonomo sul prezzo, sia che il prodotto venga portato nei mercati all'ingrosso, sia che il produttore stringa accordi con un grossista.

Nel primo caso il singolo operatore è troppo piccolo perché incida sull'offerta complessiva; nel secondo caso il grossista o l'operatore commerciale può essere in grado di scegliere il fornitore che meglio lo soddisfa (in termini di specie merceologica, prezzo e qualità) e quindi può imporre al produttore le proprie condizioni.

Se queste sono le premesse, l'allevatore trarrà profitto solo se il prezzo di mercato sarà superiore ai suoi costi di produzione, oppure se riesce ad incrementare il valore del proprio prodotto ed è capace di valorizzarlo.

La diffusione su scala mondiale delle conoscenze scientifiche e tecnologiche ha provocato un deciso calo dei prezzi di produzione di molte specie allevate (in particolare delle trote), poi l'apertura dei mercati comunitari ha fatto scendere i prezzi di vendita negli altri paesi costringendo ciascun operatore a adeguarsi: non a caso gli incentivi nazionali italiani iniziano a dirigersi verso l'ammodernamento degli impianti esistenti piuttosto che alla costruzione di nuovi. Per ridurre il costo unitario al chilogrammo è necessario agire sui costi variabili (ad esempio migliorando la resa dei mangimi, riducendo la mortalità per malattia o l'eccessivo consumo di energia) oppure dividere i costi fissi su una maggiore produzione o infine abbattere gli stessi costi fissi (che non sono solo relativi alle strutture ma anche all'organizzazione aziendale) [Donati, 1983].

La riduzione dei costi non deve in ogni modo andare a scapito della sopravvivenza aziendale nel lungo periodo: risparmiare sulle norme di salvaguardia ora potrebbe essere fatale nel futuro.

L'altra possibilità è di aggiungere valore alla propria offerta, in modo da avere maggiore potere contrattuale. In questo caso però il singolo allevatore in genere non è in grado, per le sue ridotte dimensioni, di generare le innovazioni necessarie quali l'introduzione di una nuova specie, la lavorazione del pesce, la posizione di un marchio.

Un aspetto rilevante per le imprese d'acquicoltura è la gestione finanziaria, soprattutto nella fase d'avvio. Infatti, oltre ai costi per la progettazione e per l'ottenimento di tutti i permessi, nella fase iniziale l'impresa sostiene ingenti uscite di denaro sia in attrezzature e impianti a durata pluriennale sia per l'acquisto di materie prime che servono per l'avvio dell'attività. Il ciclo produttivo però è lungo e l'allevatore riuscirà a vedere i primi prodotti dopo 12-14 mesi dall'immissione degli avannotti e solo successivamente verrà effettivamente pagato anche se risulta che i tempi di pagamento siano abbastanza ridotti.

Fino a pochi anni fa, la stagionalità delle vendite era più accentuata con le entrate che si concentravano in un ristretto lasso di tempo, a fronte d'uscite costanti per tutto l'anno con un picco nel periodo successivo alla semina.

La possibilità di vendere in modo omogeneo durante tutto l'anno, anche attraverso contratti di fornitura a media durata, permette agli allevatori di ridurre il rischio finanziario ed economico, consentendo la semina in più periodi dell'anno.

In ogni caso, il ritorno economico per le imprese d'acquacoltura, avviene in non meno di 3-4 anni e l'imprenditore deve avere una solidità patrimoniale e una gestione oculata dei propri mezzi, cercando sul mercato o attraverso le agevolazioni nazionali e comunitarie il capitale circolante necessario.

La struttura dei costi di una trota coltura (allevamento della trota iridea) da ingrasso di tipo intensivo è influenzata dall'alimentazione che arriva a coprire il 40-44% del costo totale, seguita dal lavoro (20-22%) e dalle spese per l'energia (15-16%) [Sidgwick, 1996].

Con il termine energia s'intendono tutti i prezzi che devono integrare o sostituire le forze naturali per il pompaggio, lo smaltimento e l'ossigenazione delle acque.

L'incidenza del costo del novellame è diventata praticamente irrisoria, 2-3% sul costo totale grazie all'elevata standardizzazione dei processi riproduttivi "artificiali" che permettono di ottenere elevate quantità di avannotti con un basso tasso di mortalità nella fase iniziale e un altrettanto buon accrescimento nella fase di ingrasso.

L'acquacoltura è destinataria di vari provvedimenti comunitari, relativi al settore della pesca, per la concessione d'aiuti finanziari.

Gli incentivi [Miraaf, 1997] seguono tre direttrici principali:

- consolidamento della produzione per ridurre i costi di produzione, migliorare la qualità (aspetti igienico-sanitari e nutrizionali e sicurezza d'uso) e incrementare la compatibilità ambientale;
- sviluppo di attività innovative, anche in nuovi impianti, riguardanti nuove specie, tecnologie a basso impatto, riconversione e riduzione dello sforzo di pesca;

- creazione di servizi territoriali per la produzione affinché le associazioni di categoria e le amministrazioni regionali introducano procedure facilitate e snelle per la valutazione dei progetti.

La trota coltura è da sempre il comparto più diffuso in Italia, in sostanza l'unico di rilievo per le specie d'acqua dolce, arrivato a contare 589 impianti in Italia (in prevalenza nel Nord-Est), con un prodotto tra 43-49 mila tonnellate annue e soprattutto una bilancia commerciale in attivo grazie ai consistenti flussi verso Germania, Austria e Svizzera. La trota inoltre è il più apprezzato pesce d'acqua dolce dai consumatori italiani, sempre presente sui banchi della grande distribuzione e fortemente appoggiato dall'Associazione Piscicoltori Italiana attraverso iniziative promozionali.

Peraltro la situazione di mercato non è favorevole perché la trota soffre la concorrenza di un altro salmonide, il salmone, che ha conservato l'immagine di prodotto d'alta qualità come pesce di mare.

Il successo produttivo realizzato in Norvegia e negli altri paesi nord europei ha provocato l'immissione sui mercati europei di un buon prodotto venduto a prezzi sempre più bassi fino ad intaccare il mercato della trota [Giordani, 1984].

L'allevamento di trote è presente quasi esclusivamente nel Nord Italia, dove è concentrato l'86% degli impianti dai quali esce l'89% del prodotto nazionale: le regioni maggiormente attrezzate sono il Friuli Venezia Giulia (11000 tonnellate annue con 87 impianti), Veneto (9000 tonnellate con 166 impianti) e Lombardia (3800 tonnellate con 122 impianti).



Oggi, lo strumento programmatico che regola le attività d'acquicoltura in Italia è il Programma Nazionale di Ricerca per la Pesca e l'Acquacoltura (2000/2002).

Tale strumento trova riferimento giuridico nel Decreto Ministeriale 25/5/2000 con il quale il Ministro delle Politiche Agricole e Forestali, ha adottato il 6° Piano triennale 2000/2002 della pesca e dell'acquacoltura, approvato il 21/2/2000 dal Comitato Nazionale per la conservazione e la gestione delle risorse biologiche.

Il programma compendia, quindi, le linee programmatiche adottate dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali e, per esso, dalla Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura per il triennio 2000/2002 in materia di ricerca e sperimentazione applicate allo sviluppo sostenibile ed ecocompatibile del sistema nazionale delle produzioni ittiche.

La legge 41 del 1982 rappresenta il riferimento normativo che, unitamente ai regolamenti ed agli interventi strutturali europei, ha indirizzato, per le parti di pubblica competenza, l'evoluzione del settore, attraverso l'utilizzazione dei piani triennali come strumento programmatico [Ravaglia,1995].

### **7.3 Osservazioni e testimonianze dei responsabili delle itticolture**

Per capire i reali problemi ai quali gli allevatori non sono in grado di far fronte abbiamo contattato i responsabili di due differenti allevamenti: l'azienda Agricola Mandelli situata nelle vicinanze di Calcio e l'Azienda Salmontrutta S.p.A. situata in zona Torre Pallavicina (BG).

In entrambi gli allevamenti si è riscontrata l'identica problematica: il progressivo aumento della temperatura dell'acqua nelle vasche, fenomeno che ha inizio nel mese di giugno e permane per tutti i mesi estivi con picchi di temperatura pari a 22–24° C e provoca l'insorgere di una malattia (cataratta verminosa) che colpisce le trote e le rende poco produttive.

Il termine produttività del pesce, è ricorrente nel linguaggio degli allevatori, perché mette in luce la relazione esistente tra la quantità di mangime fornito ai pesci e la conversione di questo in tessuto.

Dalla produttività di un allevamento nascono i profitti dell'allevatore. Se la trota rimane viva all'interno delle vasche ma non ingrassa, come accade nei suddetti allevamenti, si hanno due effetti negativi: uno spreco di mangime che farà aumentare i costi e la diminuzione della taglia del pesce pronta per essere immessa sul mercato.

Quest'ultimo fenomeno in particolare incide direttamente sui profitti perché le trote destinate al mercato alimentare vengono vendute a peso.

Entrambi gli allevamenti sono costretti a trasportare tutti i pesci in luoghi con acque più fresche (15° C–16° C) poiché è stato scientificamente provato che tale malattia regredisce completamente a tali temperature.

L'angoscia che pervade gli addetti del settore è ben giustificabile se si pensa che ogni vasca di allevamento contiene circa 200 q di pesce e le suddette aziende dispongono di 6 vasche ciascuna .

Il costo del trasporto del pesce raggiunge cifre molto elevate, anche per il semplice fatto che le nuove vasche sono situate a gran distanza da Calcio e precisamente in provincia di Trento; inoltre il trasporto può causare uno stato di stress fisico delle trote che aumenta la probabilità dell'insorgere di nuove malattie.

L'Azienda Salmontrutta ha risolto il problema in modo drastico vendendo l'intero stock di pesci prima del mese di giugno pur di non soffrire costi di gestione troppo elevati.

L'importanza della produttività di una specie ittica, ritorna alla domanda se non sia possibile sostituire le trote con altre specie ittiche, che richiedono una temperatura dell'acqua più elevata. La risposta a tale domanda è stata che la trota iridea è, tra le specie ittiche, quella che ha una produttività in allevamento elevata non paragonabile alle altre.

I responsabili interpellati sostengono che l'aumento di temperatura nelle vasche sia dovuto ad un progressivo aumento della temperatura del Fiume Oglio negli ultimi 10 anni, in quanto gli impianti derivano l'acqua per le vasche direttamente dal fiume.

A supporto di questa tesi, abbiamo riscontrato numerose testimonianze che affermano come circa 10 anni fa fosse ancora possibile allevare trote con l'acqua del fiume anche in

agosto. Purtroppo non è stato possibile rintracciare serie storiche di dati di temperatura nelle vasche che confermino la veridicità delle suddette affermazioni a causa di repentini cambi di gestione di tali Aziende.

Dalla nostra indagine è emerso come convinzione generale degli addetti agli impianti che l'aumento di temperatura nel fiume sia dovuto alla scarsità di piogge, alla diminuzione di portata del fiume e quindi ad un aumento dell'influenza dell'irraggiamento solare. In particolare, gli addetti della Salmontrutta ci hanno riferito che, per mitigare il fenomeno dell'irraggiamento solare, hanno effettuato prove coprendo le vasche con teli bianchi ma non è stata riscontrata alcuna miglioria di temperatura.

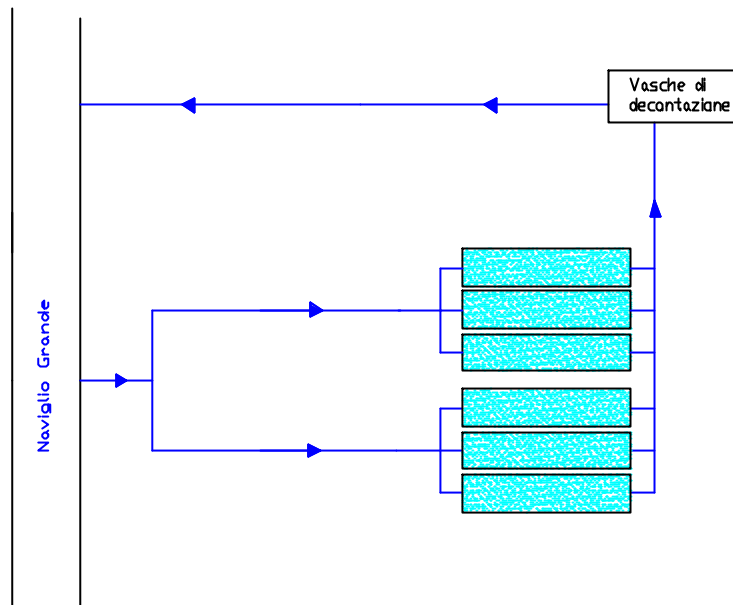
Gli allevamenti in questione hanno anche a disposizione pozzi che, pescando a una profondità di 5-6 metri, dispongono di acqua a una temperatura di 14° C-15° C, ma gli oneri di concessione sono troppo elevati per alimentare contemporaneamente tutte le vasche.

Purtroppo, pur avendo mostrato interesse per questo studio e avendo richiesto espressamente l'aiuto del Consorzio Irrigazioni Cremonesi, le Aziende in questione non sono state in grado di fornire dati sufficientemente chiari e trasparenti inerenti al loro utilizzo d'acque da pozzo e al pagamento d'oneri di concessione per la derivazione dell'acqua del fiume. Non è chiaro se usufruiscano di finanziamenti Regionali ed Europei, né infine è stato possibile visionare gli studi esistenti riguardanti la malattia che affligge i pesci nonché i documenti riguardanti i costi e i ricavi di produzione dell'allevamento.

## **7.4 Caratteristiche di un allevamento tipo**

In mancanza di dati tecnici precisi riguardanti i due allevamenti presi in considerazione si è ritenuto opportuno effettuare questo studio utilizzando i dati raccolti nel corso dell'incontro con i responsabili dell'allevamento Mandelli, situato in località Pumenengo (BG), che hanno fornito una serie di dati più affidabili rispetto a quelli dell'allevamento Salmontrutta. Il suddetto impianto è costituito da una serie di vasche in cemento armato collegate le une alle altre attraverso le quali transita l'acqua ricambiata in flusso continuo. L'approvvigionamento dell'acqua avviene nel modo più semplice, derivando una parte del Naviglio Grande, situato nella zona di Pumenengo, lungo tutto l'impianto e dosando la quantità necessaria, di vasca in vasca, mediante opportune saracinesche. Tutti gli scarichi delle vasche vengono poi convogliati a valle dell'impianto attraverso tubi o collettori in un bacino di decantazione dove si procede all'eliminazione degli inquinanti causati dalle deiezioni fecali dei pesci (fig.7.1).

L'acqua, una volta depurata, viene convogliata nel Fiume Oglio. Impianti di questo tipo sono definiti impianti ad acqua fluente. Il carattere intensivo dell'impianto è dato dalla biomassa specifica (peso/massa di pesce per m<sup>3</sup> d'acqua) presente in ogni vasca [Saroglia, 1992]. Considerando una portata entrante di 60 l/s in ogni vasca lunga 400 m, larga 7 m e con una profondità di 1 m, la massa viva presente può arrivare fino a 200 q di pesce in ogni vasca.



*Fig. 7.1. Schema impianto di allevamento Mandelli.*

## **7.5 Caratteristiche dell'acqua e possibili effetti dell'aumento della temperatura nelle vasche**

La trota comunemente allevata con tecniche intensive è la trota iridea il cui nome scientifico è *salmo gairdnerii* o, secondo una recente revisione della nomenclatura, *oncorhynchus mykiss*.

La trota iridea è di provenienza nord-americana ed è stata preferita alla specie europea, o trota fario (*salmo trutta*), per una sua migliore resa produttiva in condizioni di allevamento intensivo.

Questo salmonide ha abitudini alimentari prettamente carnivore essendo un predatore che caccia a vista, è molto esigente per quanto riguarda la qualità dell'acqua che deve essere

limpida e trasparente, relativamente fredda e ben ossigenata. Benché sia in grado di sopravvivere tra 1° C e 20–22° C, la sua crescita avviene in una gamma di temperature comprese tra i 6° C e i 18° C, con un optimum verso i 15–16° C [Sedgwick, 1996].

Sperimentalmente per la produzione delle trote iridee è considerata ideale la temperatura di 15° C che garantisce un metabolismo ottimo per i pesci. Ciò significa che questa è la temperatura alla quale la trota utilizza al meglio il mangime, almeno dal punto di vista dell'allevatore, ed è massima la conversione dell'alimento in tessuto in termini sia di tempo sia di incremento in peso.

Deve essere chiaro che maggiore è la temperatura dell'acqua, minore è la sua capacità di trasportare ossigeno disciolto; questo significa che un numero proporzionalmente minore di pesci può essere mantenuto in un dato quantitativo d'acqua o, in alternativa, ci vuole per unità di superficie un ricambio idrico maggiore per sopportare un pari carico di pesce.

Il limite letale sperimentale per la trota iridea è compreso tra i 25° C e i 26° C, tale valore può variare un po' al di sopra o al di sotto di questo limite come risultato della climatizzazione.

L'acqua in un allevamento non dovrebbe mai superare i 19° C e quindi il periodo critico per una trota coltura, sotto il profilo termico, va da inizio della primavera a fine estate.

L'allevamento oggetto del nostro studio già nel mese di giugno ha fatto segnalare temperature nelle vasche intorno ai 21° C che rendono impossibile l'allevamento dei pesci.

La temperatura dell'acqua influisce direttamente sulla crescita del pesce.

Tutte le sue funzioni fisiologiche sono influenzate dalla temperatura. Il tempo di digestione dei salmonidi, cioè il tempo che intercorre tra pasto ed evacuazione, risulta di quattro giorni

ad una temperatura di 5° C mentre lo stesso a 20° C si riduce a sole quattro ore. In linea di principio, nei salmonidi, la crescita ad una temperatura ambiente compresa tra i 10° C e 18° C, aumenta del 9% per ogni grado di incremento della temperatura.

Possiamo quindi affermare che un primo effetto dell'aumento della temperatura nelle vasche (ben sopra i 18° C) è la diminuita produttività del pesce.

L'acqua deve essere ricca in ossigeno disciolto la cui concentrazione non deve mai scendere al di sotto dei 5 – 5,5 mg/l per le trote in accrescimento (caso da noi studiato) e 6 – 7 mg/l per le uova e gli avannotti, benché concentrazioni superiori siano preferibili [Giordani, 1984].

Come già accennato la solubilità dei gas è inversamente proporzionale alla temperatura dell'acqua e benché in misura minima, alla salinità, mentre aumenta proporzionalmente con la pressione barometrica o idrostatica. Parametri importanti sono da considerarsi, quindi, la minima concentrazione d'ossigeno compatibile con la sopravvivenza del pesce ed il consumo relativo d'ossigeno in condizioni normali. Anche se molti pesci possono sopravvivere, almeno per brevi periodi, con basso livello d'ossigeno, qualsiasi riduzione al di sotto di determinati livelli, causa effetti negativi sulla crescita e sullo stato generale di salute. L'allevatore deve quindi preoccuparsi di mantenere nell'acqua livelli d'ossigeno adeguati al fabbisogno del pesce nelle diverse condizioni.

La trota, in natura, vive in acque ad una temperatura estiva massima di 19° C; l'acqua dolce a tale temperatura contiene, a saturazione circa 9,4 – 9,6 mg/l d'ossigeno disciolto.



In tabella 7.1 è riportato il consumo di ossigeno della trota, espresso in grammi di ossigeno per tonnellata di pesce per ora, in riferimento alle diverse temperature ed alla taglia dei pesci.

<b>Temperatura</b>	<b>Peso del pesce</b>		
	<b>10g</b>	<b>100g</b>	<b>500g</b>
° C			
5	125	85	54
10	180	125	85
15	260	180	120
20	400	260	180

*Tab. 7.1. Consumo di ossigeno in relazione alla temperatura e al peso del pesce.*

Si può notare che il consumo relativo è inversamente proporzionale alla taglia. Possiamo, quindi, affermare che un effetto indiretto dell'aumento della temperatura nelle vasche è un impoverimento d'ossigeno nell'acqua e uno stato di stress fisiologico del pesce.

Gli allevatori sono soliti sopperire a tale diminuzione d'ossigeno o immettendo nella vasca aria compressa o ossigeno puro a bassa pressione, o aumentando il flusso d'acqua di ricambio.

Tale accorgimento viene adottato per abbassare la temperatura nelle vasche grazie all'utilizzo di acque fresche (15° C) provenienti da pozzi.

Le acque sotterranee o di risorgive sono di gran valore per l'acquacoltura per due proprietà principali: la temperatura costante e la virtuale assenza di parassiti o di flora microbica. Ad ogni modo, la salute del pesce può soffrire in queste acque a meno che la loro qualità non sia prima valutata mediante analisi chimiche e, se possibile, biologiche (mantenendo gruppi sperimentali di pesci nell'acqua ed osservando la loro crescita e il loro sviluppo).

Le acque sotterranee e di risorgiva hanno la stessa origine, vale a dire infiltrazioni d'acqua piovana attraverso gli strati superficiali del terreno fino alla falda freatica, la cui profondità è determinata da molti fattori, come la profondità dello stato impermeabile sottostante, la quantità di precipitazioni piovose, la porosità del suolo o delle rocce nonché la topografia e la geologia locali [Plotnikov, 1962].

Normalmente queste acque non sono sature di ossigeno ma sono ipersature di azoto e, se acide, hanno un alto livello di anidride carbonica. L'utilizzo di tali acque per gli allevamenti di trotticoltura, oltre al costo di concessione cui è soggetto, che incide direttamente sul bilancio economico dell'allevamento, può causare malattie ai pesci.

L'analisi chimica dell'acqua riflette la composizione chimica delle rocce sulle quali essa scorre. Le acque sotterranee provenienti da strati ricchi di metalli pesanti, piombo, rame, cromo e mercurio, possono essere velenose.

Le acque anossiche provenienti da arenarie possono essere ricche di sali di ferro che, dopo l'aerazione, si trasformano in idrossidi ferrici insolubili che devono essere eliminati dall'allevatore solitamente con schermi meccanici.

Se l'utilizzo d'acque sotterranee comporta una serie di costi aggiuntivi per migliorare la loro qualità ed evitare possibili malattie ai pesci, l'immissione d'aria compressa nella vasca può causare il fenomeno della sovrassaturazione gassosa.

Si è accennato all'elevato fabbisogno d'ossigeno, ma anche la sovrassaturazione gassosa può causare danno alla trotticoltura quando supera il valore di 102% inteso come gas totali, ossia la somma delle pressioni parziali dei gas comunemente presenti  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $AR_2$  e  $CO_2$ . L'anidride carbonica non è tossica fino a concentrazioni di 10 mg/l mentre al di sopra di tale valore si possono verificare danni renali. Alcalinità e durezza sono ben tollerate, mentre gas disciolti quali  $H_2S$  e HCN sono estremamente pericolosi già a concentrazioni superiori a 0,001 mg/l e 0,005 mg/l rispettivamente.

L'eccesso di gas totali in acqua rappresenta un serio problema perché può divenire causa di malattia della bolla gassosa [Ghittino, 1978]. La malattia della bolla gassosa si manifesta con esoftalmo, bollicine di gas sotto la pelle, tra le squame, all'interno delle branchie, sulla testa e sulle pinne; la mortalità è sempre molto elevata.

La malattia è causata da emboli gassosi, generati da un eccesso di gas disciolto nel sangue del pesce come conseguenza della respirazione in acqua sovrassatura.

Una corretta progettazione delle possibili soluzioni per diminuire la temperatura nelle vasche che preveda anche l'utilizzo d'acqua di falda dovrà tenere in conto tutti i problemi sopra indicati.

L'allevamento in questione, per far fronte al maggior bisogno d'ossigeno dei pesci, causato dall'aumento della temperatura, già utilizza areatori che immettono nella vasca ossigeno

puro a bassa pressione. Tuttavia tale metodo, essendo molto costoso, non è applicabile ad un allevamento di grandi dimensioni.

Dobbiamo considerare il mercato del pesce d'allevamento un mercato maturo che è in grado ancora di fornire frutti agli allevatori ma che non permette, visto l'aumento della concorrenza, costi di gestione troppo elevati.

### **7.5.1 Il principale effetto dell'aumento di temperatura**

Abbiamo ritenuto opportuno dedicare un intero paragrafo di questo studio alla trattazione di quello che è considerato, dai responsabili delle itticolture, l'effetto più grave dell'aumento di temperatura dell'acqua nelle vasche: il sopraggiungere della malattia denominata *Diplostomum spataceum* (catarrata verminosa), comunemente chiamata "verme dell'occhio" [Roberts, 1990].

Una forma larvale di questo trematode parassita provoca parziale o completa cecità delle trote, causando seri problemi all'allevatore che non può più vendere i pesci anche se le loro carni risultano sane.

La forma sessuale matura del parassita, che misura 2,3 – 4 mm, vive nell'intestino di varie specie di gabbiani (fig. 7.2).

Il verme maturo depone le uova, che vengono disperse con gli escrementi del gabbiano e possono cadere nell'acqua. Qui si sviluppano e liberano una forma larvale che attacca alcune specie di chioccioline d'acqua dolce. Le larve penetrano nel corpo della chiocciola, emigrano verso il fegato dove si moltiplicano per tre generazioni.

La generazione finale è costituita da forme microscopiche con una coda forcata (furcocercarie) che si liberano nell'acqua.

Le larve libere che vengono a contatto con una trota penetrano nella pelle o entrano nei filamenti branchiali. Una volta dentro il corpo del pesce perdono la coda forcata assumendo una forma ovale (metacercarie). In questa forma migrano al cristallino e provocano una progressiva cecità.

Il grado d'infestazione si misura contando il numero di parassiti presenti in ogni cristallino, che può variare da 4 – 5 fino a più di 100. Le larve rimangono attive per almeno otto mesi.

Le trote infestate non muoiono, ma hanno difficoltà via via maggiore ad assumere una quantità adeguata di cibo e le loro condizioni generali peggiorano finché tenerle in vita diviene poco conveniente.

Il dato più interessante è che le cercarie si liberano dal mollusco ospite a temperature dell'acqua superiori a temperature prossime ai 19° C quindi l'infestazione, nel caso dell'allevamento considerato, inizia nel mese di giugno.

Le trote infestate non possono essere trattate in alcun modo ed è molto difficile prevenire l'infestazione, se nell'acqua dolce che arriva nell'allevamento ci sono chiocciole che sono ospiti del parassita. Le acque del fiume Oglio, specialmente nella zona dove è situato l'allevamento, risultano essere ricche di questi parassiti che negli ultimi anni hanno trovato un habitat ideale a causa dell'aumento progressivo della temperatura del fiume. Si sono effettuati tentativi per eliminare le chiocciole introducendo nelle vasche una soluzione di solfato di ferro.

Tale soluzione è però da scartare perché la concentrazione richiesta per uccidere le chioccioline, è solo leggermente inferiore a quella tossica per le trote.

La malattia regredisce completamente se si riportano le trote malate ad una temperatura intorno ai 14-18° C. L'unica soluzione possibile è quella di abbassare la temperatura dell'acqua nelle vasche mediante, ad esempio, una macchina termica.

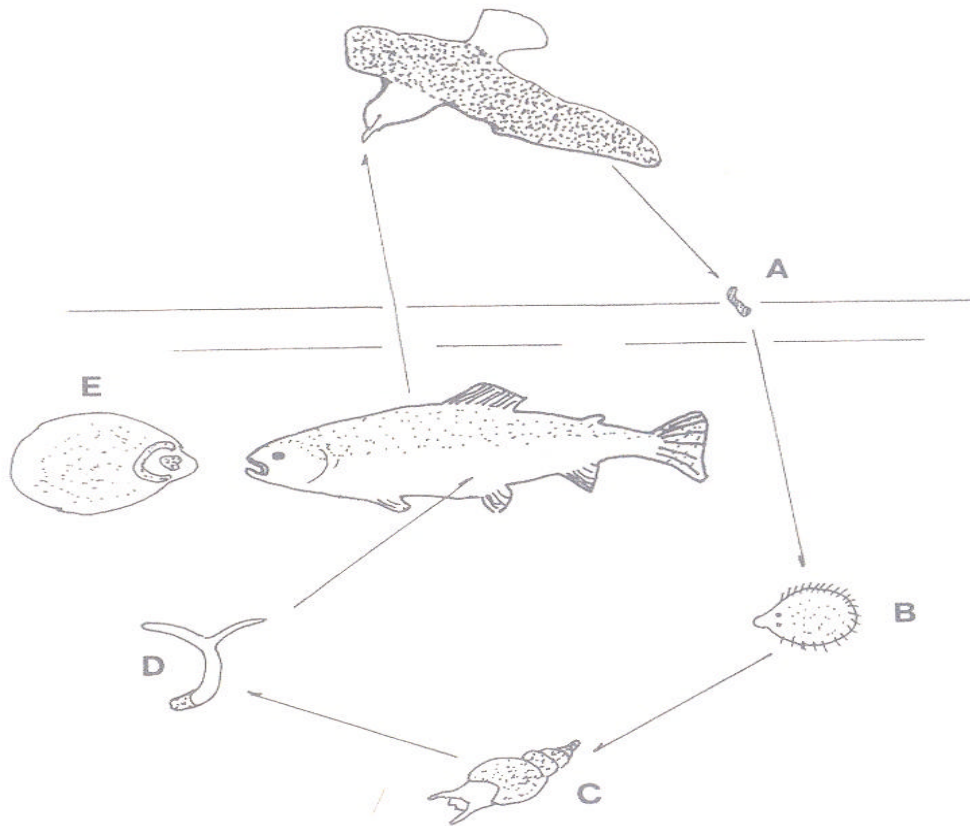


Fig. 7.2 Ciclo biologico di *Displotumum spataceum*. I gabbiani ospitano lo stadio sessualmente maturo del parassita. Miracidi (A e B) sono diffusi nell'acqua e penetrano nelle lumache ospiti (C). Lo sviluppo procede con le forme asessuate e libere. Le Furcocercarie (D) sono liberate ed entrano nella trota. Si trasformano in Metacercarie (E) e si concentrano negli occhi del pesce.

# 8

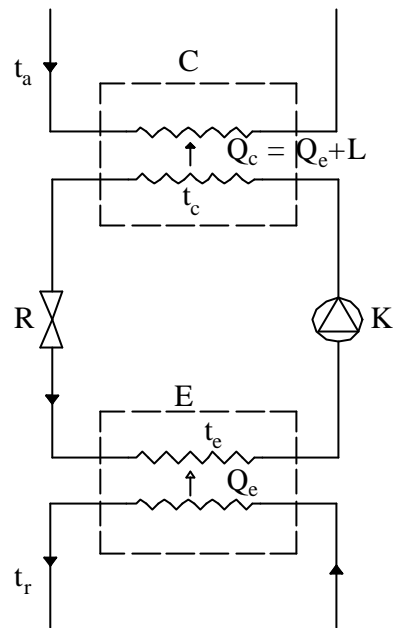
## PROPOSTA DI INTERVENTO PER UN ALLEVAMENTO ITTICO ESISTENTE

### 8.1 La macchina frigorifera e la pompa di calore: richiami teorici

La tecnica frigorifera riguarda le macchine o gli impianti atti a raffreddare, cioè a portare un corpo (solido, liquido o gas) ad una temperatura  $t_r$  inferiore a quella dell'ambiente esterno  $t_a$ . Il raffreddamento avviene per sottrazione di calore  $Q_e$ , che viene riversato all'ambiente esterno a più alta temperatura. In base al secondo principio della termodinamica, il trasporto di calore, da un corpo freddo ad uno più caldo, è possibile solamente fornendo una adeguata quantità di lavoro  $L$ .

La macchina frigorifera (fig.8.1) è costituita da:





Fig,8.1 Schema macchina frigorifera

- Uno scambiatore di calore a bassa temperatura E (evaporatore), entro il quale circola il fluido frigorifero a una temperatura  $t_c$  inferiore alla temperatura  $t_r$  del corpo da raffreddare e tramite il quale il calore  $Q_e$  passa spontaneamente dal corpo al fluido frigorifero;
- Un compressore K che riceve il fluido termovettore a temperatura  $t_e$  e pressione  $p_0$  che ne eleva la pressione a  $p_1$  portandolo alla temperatura  $t_c$ , superiore alla temperatura  $t_a$  dell'ambiente esterno, con una spesa di energia L;
- Uno scambiatore di calore C (condensatore) tramite il quale il fluido frigorifero trasmette il calore  $Q_c = Q_e + L$ ; al corpo più caldo.

- Una valvola di laminazione R tramite la quale il fluido termovettore viene riportato a pressione  $p_0$  e temperatura  $t_e$  per rientrare nuovamente nello scambiatore E.

Il calore  $Q_e$  è estratto dalla sorgente più fredda e ceduto a quella più calda grazie al lavoro fornito dall'esterno, che ne rappresenta il costo di funzionamento.

Si definisce coefficiente di prestazione (COP) per una macchina frigorifera

$$\text{COP} = |Q_e| / |L|$$

il rapporto fra il modulo del calore asportato alla sorgente fredda ed il modulo del lavoro fornito dall'esterno.

Gli schemi e i cicli della pompa di calore sono analoghi a quelli della macchina frigorifera.

Alla fonte ad alta temperatura viene ceduto complessivamente il calore  $Q_c = Q_e + L$  che viene distribuito alle utenze.

L'unica differenza risiede nello scopo ultimo dei due sistemi: la macchina frigorifera deve mantenere un certo corpo ad una temperatura inferiore di quella dell'ambiente trasferendo calore dal corpo da raffreddare all'ambiente esterno a temperatura più elevata. Con la pompa di calore, si fornisce calore ad un corpo da riscaldare ad una temperatura superiore a quella dell'ambiente da cui si estrae il calore necessario. L'energia utile nel caso della pompa di calore è, in riferimento alla fig.8.1,  $Q_c$  ovvero la quantità di calore estratta dalla sorgente fredda aumentata del lavoro di compressione.

Si definisce il COP per la pompa di calore il rapporto:

$$\text{COP} = |Q_c| / |L|$$

Una pompa di calore, avrà quindi, in linea di principio, una resa migliore di una macchina frigorifera equivalente. La loro classificazione è in funzione delle sorgenti da cui estraggo e cedo calore. In base a quando detto si possono suddividere in:

- Pompe di calore aria-aria,
- Pompe di calore acqua-aria,
- Pompe di calore aria-acqua,
- Pompe di calore acqua-acqua.

Possono essere realizzati impianti bivalenti o reversibili, che funzionano come macchina refrigerante nel periodo estivo e come pompa di calore in quello invernale. Il passaggio da pompa di calore a macchina refrigerante avviene invertendo le funzioni dell'evaporatore e del condensatore. L'inversione del ciclo si ottiene agendo sulle valvole di aspirazione e di mandata del compressore, che invertono il verso della velocità del fluido termovettore.

## **8.2 L'Azienda Agricola Mandelli**

L'aumento della temperatura dell'acqua del Fiume Oglio ha comportato la diminuzione della potenzialità degli allevamenti ittici, aumentandone i costi di produzione e diminuendone la quantità di biomassa producibile.

In questo studio proponiamo di convertire l'allevamento intensivo oggetto di studio in un allevamento spinto termoassistito. L'abbassamento della temperatura dell'acqua derivata avviene per mezzo dell'azione combinata di una macchina termica e di acqua captata da

pozzi. I dati necessari per la progettazione dell'intervento sono stati cortesemente forniti dall'Azienda Agricola Mandelli. L'allevamento è sito nel Comune di Calcio e deriva le acque necessarie per l'attività dal Naviglio Grande, in un tratto a valle della confluenza del Naviglietto, canale che ha origine da due fontanili.

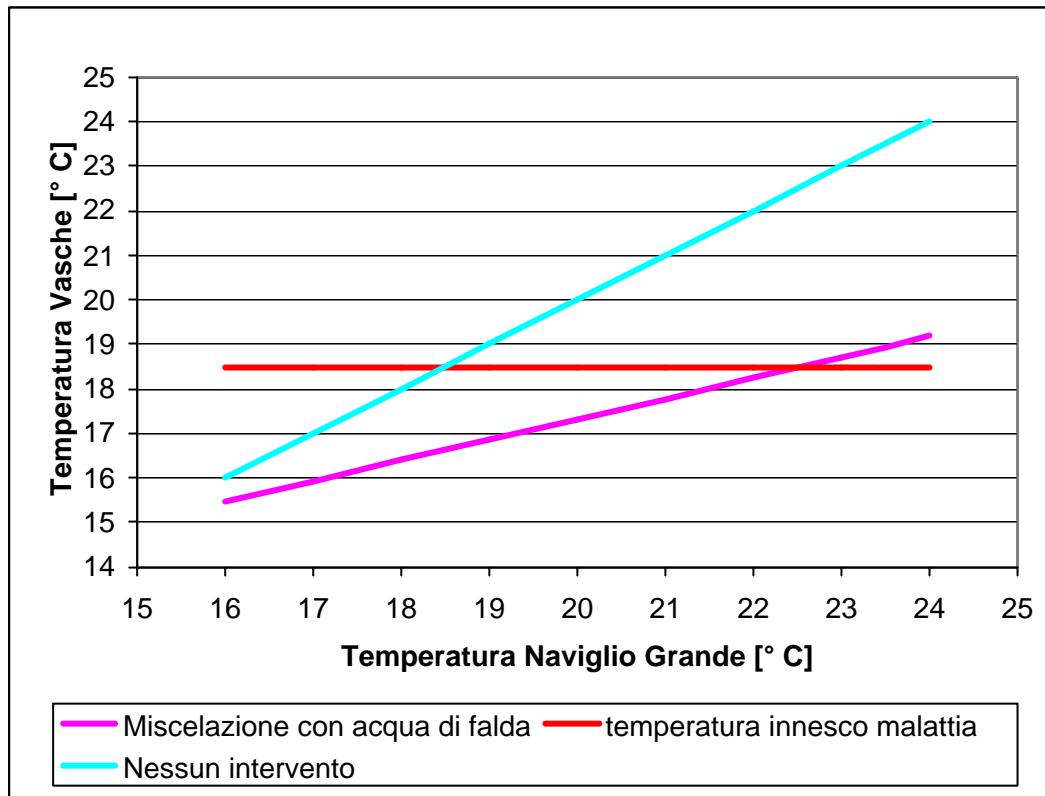
L'azienda Mandelli dispone di 6 vasche lunghe circa 400 m e larghe 7 m, entro le quali circola una portata di 60 ls. Il fabbisogno idrico totale è dunque di 360 l/s. I valori di portate menzionati sono riferiti ad acqua con caratteristiche ottimali per la trocoltura ovvero buona ossigenazione e temperatura compresa tra i 14 e i 17° C. Nella stagione estiva, da 15 anni a questa parte, l'acqua derivata dal Naviglio Grande non possiede più le caratteristiche compatibili con l'allevamento di trote. Le temperature dell'acqua derivata dal Naviglio Grande, misurate dell'Azienda Mandelli, si mantengono costantemente superiori ai 20° C dalla prima metà del mese di giugno sino alla fine di agosto. Sono state registrate, anche se con bassa frequenza, temperature prossime ai 24° C. L'allevamento ha affrontato il problema utilizzando in questo periodo critico acqua di falda captata per mezzo di pozzi, la cui temperatura si mantiene presso che costante sui 15° C. Le concessioni di cui dispone l'allevamento permettono un prelievo massimo dalla falda di 240 l/s, grazie alla quale possono essere messe in funzione solo 3 delle 6 vasche a causa della bassa quantità di ossigeno disciolto nelle acque sotterranee.

### **8.3 Descrizione qualitativa dell'intervento proposto**

Un intervento ottimo dovrebbe permettere all'allevamento di avere, nel periodo estivo, la temperatura dell'acqua nelle vasche sempre inferiore ai 18° C, indipendentemente dalla temperatura delle acque del Naviglio Grande.

La diminuzione della temperatura di queste acque può essere ottenuta grazie all'utilizzo dei 240 l/s d'acqua sotterranea disponibili per l'allevamento miscelando semplicemente l'acqua "calda" di fiume con i 240 l/s d'acqua di falda più fresca.

In fig. 8.2 sono rappresentate le temperature in ingresso alle vasche al variare della temperatura dell'acqua nel canale nel caso di miscelazione con l'acqua di falda. E' opportuno ricordare che per temperature prossime ai 19° C non solo l'efficienza di produzione diminuisce, ma s'innesca il problema della cataratta verminosa nei pesci. Com'è facilmente desumibile dal grafico di fig. 8.2, questo tipo d'intervento non mette in sicurezza l'allevamento, poiché già per temperature dell'acqua derivata prossime ai 22,5° C, le trote nell'allevamento sono potenzialmente soggette alla malattia. Si tratta quindi di un intervento che permette al più di ritardare il momento della vendita o del trasporto del pesce in altri luoghi.



*Fig 8.2 Miscelazione con acqua di falda: effetti sull'allevamento*

La soluzione che proponiamo divide l'impianto in due sistemi costituiti da 3 vasche.

L'intervento, considerando il caso più estremo con temperatura delle acque del Naviglio Grande prossima a 24° C, il cui schema è riportato in fig. 8.3, prevede il raffreddamento delle acque derivate in due fasi distinte.

La prima fase prevede la miscelazione di 66,6 l/s d'acqua di falda con 83,4 l/s d'acqua del canale. La portata uscente dal trattamento (150 l/s) è ulteriormente raffreddata dall'immissione di 30 l/s di acqua di falda che, trattata da una macchina refrigerante, possiede una temperatura di 7° C. La progettazione della macchina termica è affrontata nel paragrafo successivo.

Proposta di un intervento per un allevamento esistente

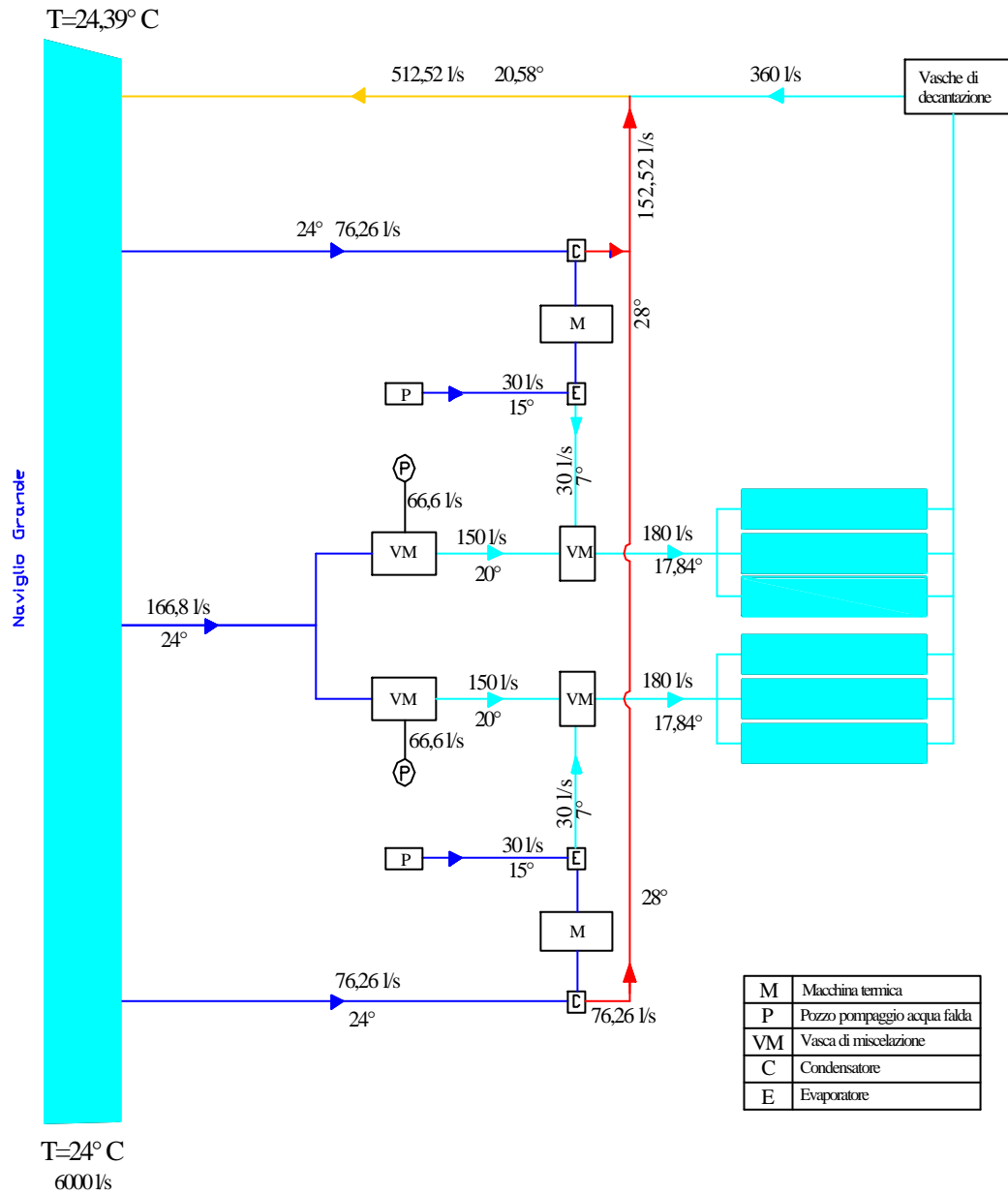
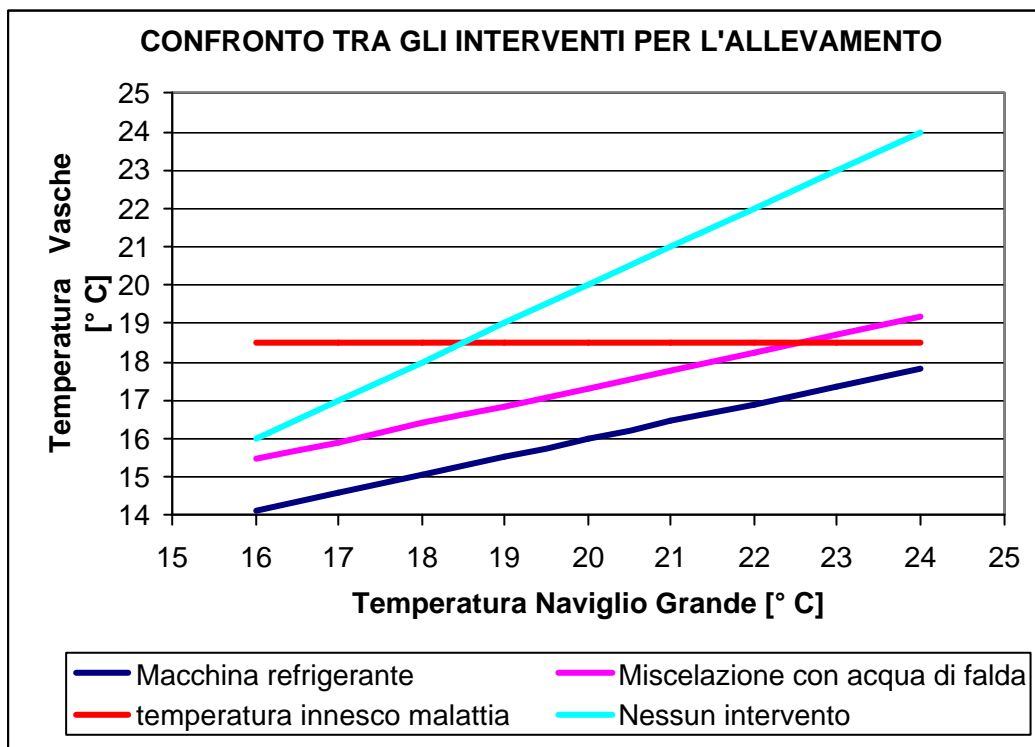


Fig 8.3 Schema allevamento termoassistito: funzionamento estivo. Caso estremo con acqua del Naviglio Grande a  $24^{\circ}\text{C}$ .

Si ottiene in questo modo una portata di 180 l/s d'acqua ad una temperatura che è funzione di quella dell'acqua derivata. Nel caso in cui l'acqua del Naviglio Grande raggiunga i 24° C tale sistema di trattamento garantisce temperature nelle vasche prossime a 18° C. Come si evince dal grafico di fig.8.4, l'intervento non solo aumenta l'efficienza dell'allevamento ma salvaguarda i pesci dalla malattia. Il massimo utilizzo di acqua di falda è di 192 l/s, ben inferiore ai 240 l/s oggi utilizzati.



*Fig 8.4 .Confronto tra gli interventi proposti.*

I benefici della macchina termica possono essere estesi se si prevede anche l'utilizzo invernale. In effetti, invertendo semplicemente il moto del fluido termovettore all'interno della macchina termica, è possibile riscaldare 44 l/s d'acqua di falda da 15° C a 21,95° C. Tale acqua riscaldata, opportunamente miscelata con acqua del Naviglio Grande e acqua



Proposta di un intervento per un allevamento esistente

sotterranea permette di mantenere la temperatura nelle vasche compresa tra i 14 e 16° C anche durante la stagione invernale (fig 8.5).

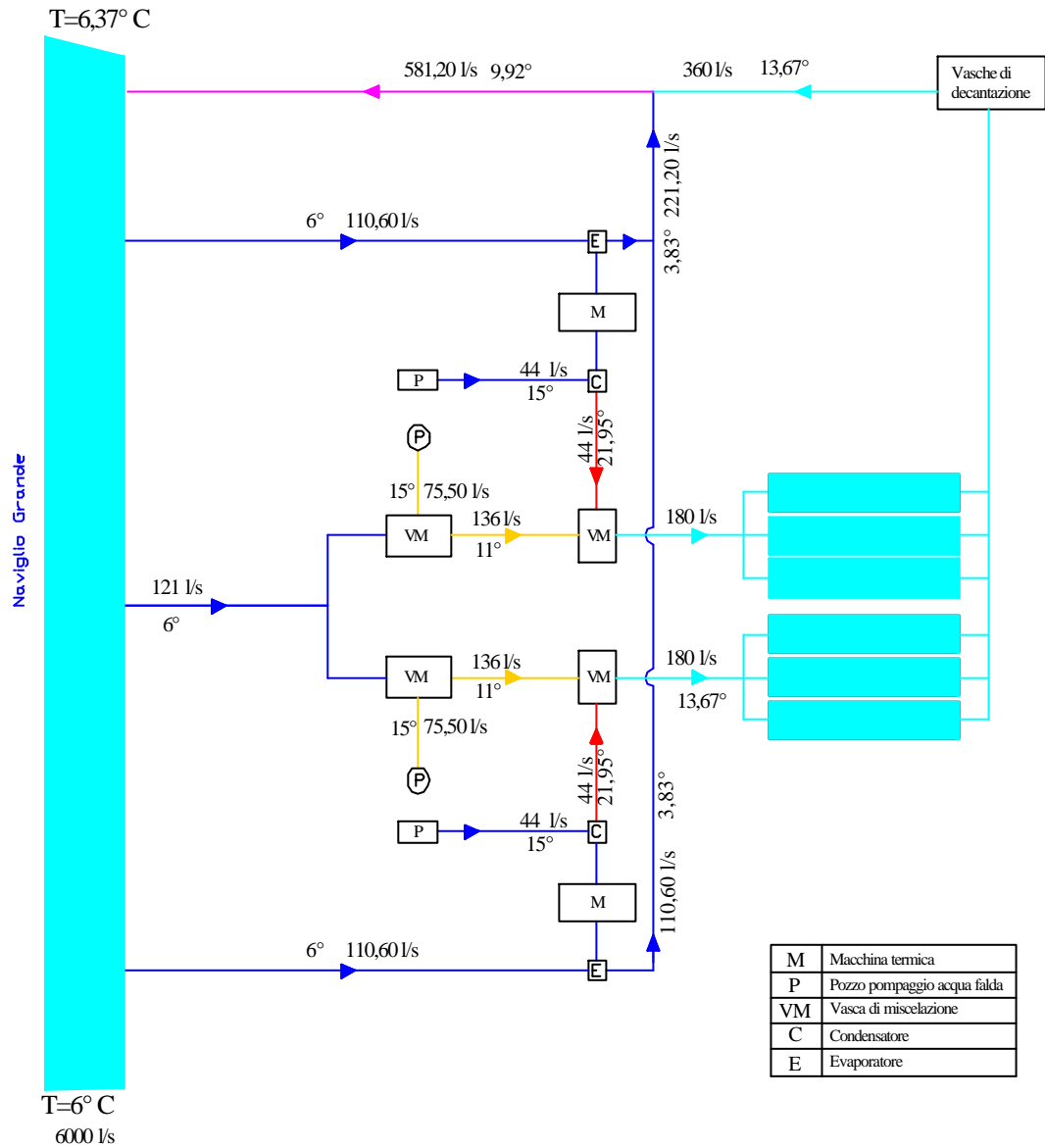
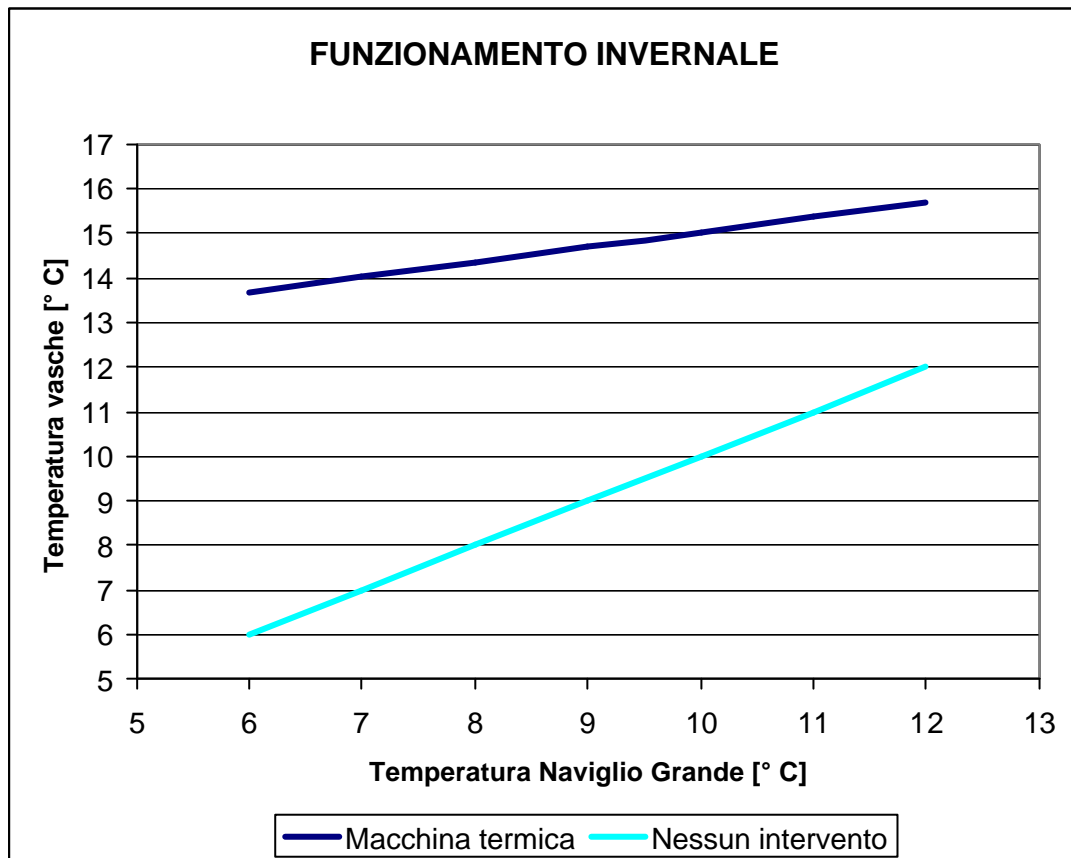


Fig 8.5 Schema allevamento termoassistito: funzionamento invernale. Caso estremo con acqua del Naviglio Grande a  $6^{\circ}\text{C}$ .

Grazie a tale intervento, la temperatura delle acque utilizzate dall'allevamento risulta svincolata dall'andamento stagionale delle temperature del Naviglio Grande.



*Fig 8.6 Risposta dell'intervento al variare delle temperature del Naviglio Grande nella stagione invernale.*

Le dirette conseguenze legate all'utilizzo di acqua a temperatura compresa tra i 14° e 18° C sono sostanzialmente due. La prima è una sensibile diminuzione del fattore di conversione (FC), che indica la resa di trasformazione del mangime fornito al pesce, in biomassa. Esso si calcola comunemente come rapporto tra il peso secco del mangime

consumato fino a quel momento e il guadagno in peso fresco (umido) effettivamente riscontrato:

$$FC = \text{Peso mangime [q]} / \text{Guadagno in biomassa [q]}.$$

Il fattore di conversione è funzione della temperatura dell'acqua in cui la trota risiede. Nel periodo invernale, in un allevamento che utilizza acque di fiume, la domanda di energia alimentare e l'accrescimento dei soggetti sono molto ridotti, mentre nel periodo estivo le favorevoli condizioni climatiche permettono ottimi coefficienti di resa. Normalmente in trotticoltura il fattore di conversione per un intero ciclo produttivo è circa 2. Grazie al mantenimento della temperatura dell'acqua nelle vasche al di sopra dei 14° C nel periodo invernale, la resa di trasformazione del mangime raggiunge valori prossimi a 0,8 [Saroglia, 1992], permettendo una maggiore efficienza del mangime, quindi dell'allevamento. La seconda conseguenza è legata alla possibilità di dimezzare i tempi necessari per raggiungere la taglia commerciale del pesce (250-300 g). Un ciclo produttivo che subisce le variazioni di temperature stagionali raggiunge tale taglia in 50 settimane; la mitigazione della temperatura dell'acqua nelle vasche, ottenuta per mezzo della macchina termica, ne permette il raggiungimento in 25-28 settimane, consentendo 2 cicli produttivi l'anno [Giordani, 1990].

## **8.4 Il progetto dell'impianto proposto**

Le macchine termiche prese in riferimento per l'impianto oggetto di questo studio, sono quelle di tipo acqua-acqua le quali funzionano nel periodo estivo come macchine refrigeranti, mentre nel periodo invernale come pompe di calore. Più precisamente la macchina frigorifera sottrae calore nell'evaporatore all'acqua di falda, per trasferirlo nel condensatore all'acqua di fiume che possiede una temperatura maggiore. La pompa di calore, ottenuta con la semplice inversione del flusso del fluido frigorifero all'interno del circuito primario, sottrae calore all'acqua di fiume nell'evaporatore per cederlo, nel condensatore, all'acqua di falda che si trova a temperatura superiore. In realtà, durante l'arco dell'anno, l'acqua che affluisce dal fiume agli scambiatori della macchina, non viene mai utilizzata per le vasche, in quanto è riscaldata in estate e raffreddata in inverno.

La potenza all'evaporatore, della macchina frigorifera si calcola con la (8.1):

$$Q_e = m c_p (T_{in} - T_{out})$$

Dove :

$Q_e = 1004,64$  kW potenza frigorifera,

$m = 30$  l/s portata nell'evaporatore,

$c_p = 4,186$  kJ/kgK calore specifico dell'acqua,

$T_{in} = 15^\circ$  C temperatura in ingresso all'evaporatore,

$T_{out} = 7^\circ$  C temperatura in uscita dall'evaporatore.

*Proposta di un intervento per un allevamento esistente*

La progettazione di massima della macchina refrigerante è stata condotta supponendo di utilizzare come fluido termovettore l' R134a adatto per qualsiasi tipo di potenza. Il fluido raggiunge il valore  $t_c = 45^\circ \text{C}$  nel condensatore e  $t_e = -10^\circ \text{C}$  nell'evaporatore.

Con riferimento alla fig.8.7, per 1 kg di fluido:

$$\text{Effetto frigorifero} = h_2 - h_1 = 393 - 267 = 126 \text{ kJ}$$

$$\text{Energia di compressione} = h_3 - h_2 = 428 - 393 = 35 \text{ kJ/kg}$$

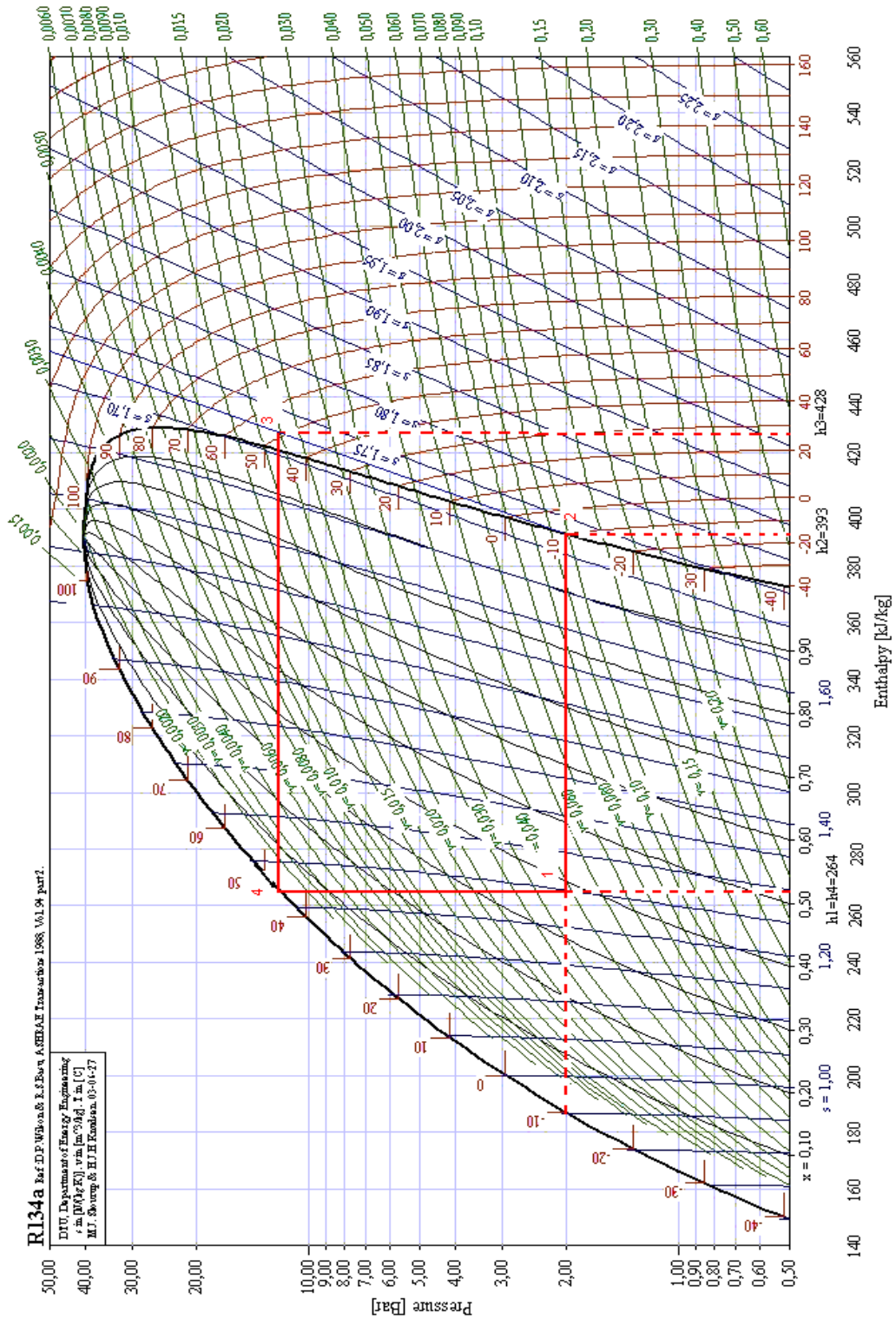


Fig 8.7 Diagramma Pressione Entalpia per l'R134a

Portata massica del compressore  $M_a = Q_e / (h_2 - h_1) = 7,78 \text{ kg/s}$

Potenza assorbita  $L = M_a (h_3 - h_2) = 272,58 \text{ kW}$

Calore riversato all'esterno  $Q_c = Q_e + L = 1277,22 \text{ kW}$

$\text{COP} = 3,68$

Il calore  $Q_c$  è ceduto nel condensatore all'acqua derivata dal Naviglio Grande. Il vapore surriscaldato proveniente dal compressore alla pressione  $p_c$ , cedendo il calore  $Q_c$  si desurriscalda e si condensa alla temperatura  $t_c$ . Se consideriamo come valore massimo di temperatura in ingresso al condensatore  $t_1 = 24^\circ \text{ C}$  e fissiamo la temperatura dell'acqua in uscita  $t_2 = 28^\circ \text{ C}$ , possiamo definire per mezzo delle 8.2 e 8.3 la portata  $V$  e la superficie  $S$  del condensatore necessari al completo scambio termico.

$$S = \frac{Q_c}{k \cdot \Delta t} \quad (8.2)$$

$$k = 900 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-2}$$

$$\Delta t = \frac{(t_c - t_1) - (t_c - t_2)}{\ln \left[ \frac{(t_c - t_1)}{(t_c - t_2)} \right]}$$

$$V = \frac{Q_c}{c_p \cdot (t_2 - t_1)} \quad (8.3)$$

La superficie di scambio  $S$  per l'evaporatore si calcola con la 8.4.

$$S = \frac{Q_e}{k \cdot \Delta t} \quad (8.4)$$

dove:

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_e) - (t_2 - t_e)}{\ln \left[ \frac{(t_1 - t_e)}{(t_2 - t_e)} \right]}$$

dove a  $t_e$  corrisponde il valore della temperatura di evaporazione del fluido frigorifero.

Gli scambiatori di calore utilizzati sono in genere a fascio tubero con acqua sul lato tubi.

Essi devono essere scotolabili, per garantire una buona manutenzione e tenere sotto controllo il fattore di sporcamento delle superfici di scambio per assicurare la migliore efficienza nella trasmissione del calore.

Le caratteristiche della macchina frigorifera sono riportate nella tabella 8.1

<b>Evaporatore</b>		<b><math>t_e = -10^\circ \text{C}</math></b>	
$t_1$		15,00	$^\circ \text{C}$
$t_2$		7,00	$^\circ \text{C}$
$\Delta t$	media logaritmica	20,74	$^\circ \text{C}$
S		53,81	$\text{m}^2$
<b>Condensatore</b>		<b><math>t_c = 45^\circ \text{C}</math></b>	
$t_1$		24	$^\circ \text{C}$
$t_2$		28,00	$^\circ \text{C}$
$\Delta t$	media logaritmica	18,93	$^\circ \text{C}$
V		76,26	l/s
S		74,97	$\text{m}^2$

*Tab.8.1. Caratteristiche degli scambiatori nel periodo estivo.*

Una volta progettate le superfici di scambio e la potenza all'evaporatore della macchina frigorifera, il funzionamento invernale della pompa di calore è definito.

In completa analogia con il funzionamento della macchina frigorifera, si determinano con le precedenti formule:



- La portata dell'acqua di falda al condensatore = 44 l/s
- La temperatura in uscita dal condensatore = 21,95° C

La temperatura dell'acqua in uscita dall'evaporatore è invece funzione della temperatura dell'acqua derivata dal canale, per cui variabile.

Nella tabella 8.2 è riportato un esempio con la condizione limite di temperatura in ingresso di 6° C.

<b>Evaporatore</b>		<b>t<sub>e</sub> = -10° C</b>
t <sub>1</sub>	6,00	° C
t <sub>2</sub>	3,83	° C
Δt <sub>media logaritmica</sub>	14,89	° C
S	74,97	m <sup>2</sup>
<b>Condensatore</b>		<b>t<sub>e</sub> = 45° C</b>
t <sub>1</sub>	15	° C
t <sub>2</sub>	21,95	° C
Δt <sub>media logaritmica</sub>	26,37	° C
V	43,90	l/s
S	53,81	m <sup>2</sup>

Tab. 8.2. Caratteristiche degli scambiatori nel periodo invernale.

Le acque di raffreddamento e le acque raffreddate confluiscono poi in un unico canale prima di essere restituite al Naviglio Grande. Il salto termico, tra la sezione di monte e quella di valle rispetto allo scarico, nelle condizioni più sfavorevoli (temperatura Naviglio Grande di 6° e 24° C) sono in conformità alle leggi vigenti, che impongono che il ΔT sia inferiore a 3° C.

## **8.5 Analisi della componente economica**

In questo paragrafo si vuole effettuare una verifica della validità della proposta suggerita nei paragrafi precedenti attraverso una verifica di convenienza economica dell'impianto termoassistito.

Inizialmente studiamo, da un punto di vista qualitativo, la ripartizione dei costi dell'allevamento, prima e dopo l'adozione della macchina termica.

I costi di esercizio degli allevamenti di trote si dividono in:

- Gestione,
- Mangime,
- Energia elettrica,
- Novellame,
- Trasporto.

Si riassumono in tab.8.3 e tab.8.4, le valutazioni dei costi d'esercizio riferiti al caso di impianto termoassistito e non.

<b>Costi di produzione</b>	<b>quantità</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo totale</b>
<b>Mangime [kg]</b>	220000	0,80 €	176.000 €
<b>Energia elettrica</b>			21.000 €
<b>Gestione</b>			70.000 €
<b>Novellame</b>			8.000 €
<b>Manutenzione</b>			5.000 €
<b>Trasporto</b>			27.000 €
<b>Costo totale</b>			307.000 €

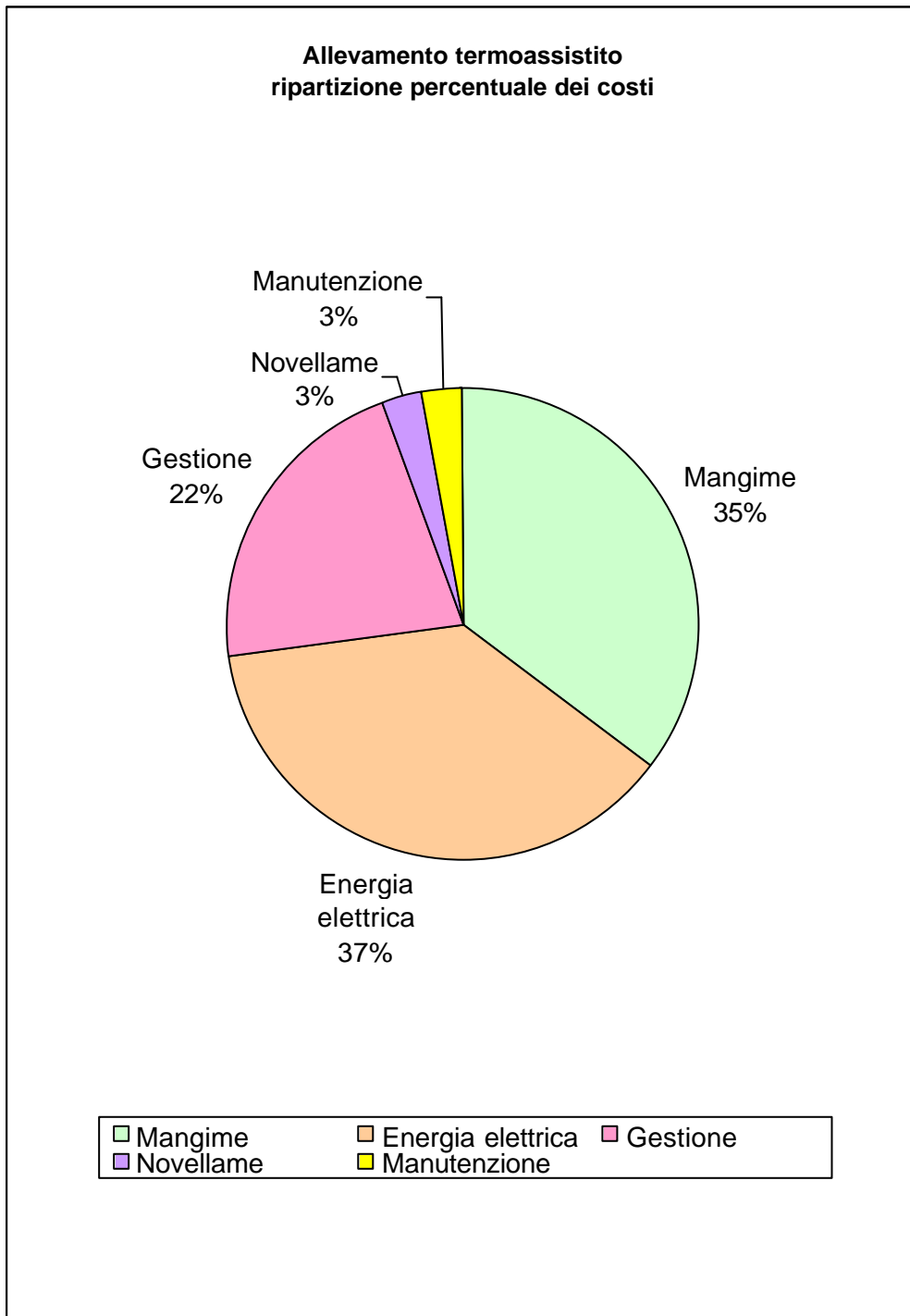
*Tab.8.3. Costi d'esercizio impianto non termoassistito*

*Proposta di un intervento per un allevamento esistente*

<b>Costi di produzione</b>	<b>quantità</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo totale</b>
<b>Mangime [kg]</b>	324000	0,8 €	259.200 €
<b>Energia elettrica [euro/kWh]</b>		0,103 €	
potenza assorbita [kW]	682,5		
ore di funzionamento	3400		
energia elettrica prelievo da falda			34000 €
<b>kWh totali</b>	2320500		
<b>Costo totale energia</b>			273.012 €
<b>Gestione</b>			160.000 €
<b>Novellame</b>			20.160 €
<b>Manutenzione</b>			20.000 €
<b>Costo totale</b>			732.372 €

*Tab 8.4. Costi d'esercizio impianto termoassistito.*

Come si può notare dal confronto tra i grafici contenuti in fig.8.7 fig.8.8, nell'allevamento termoassistito è visibilmente aumentata la spesa per l'energia elettrica, a causa del funzionamento delle macchine, ma nel contempo diminuisce l'incidenza del costo del mangime, perché utilizzato con maggior efficienza. Immutate risultano le spese percentuali relative alla gestione al novellame e manutenzione. Grazie alla macchina termica si annulla l'esborso per il trasporto del pesce, in quanto non più necessario.



*Fig. 8.7 Allevamento termoassistito.*

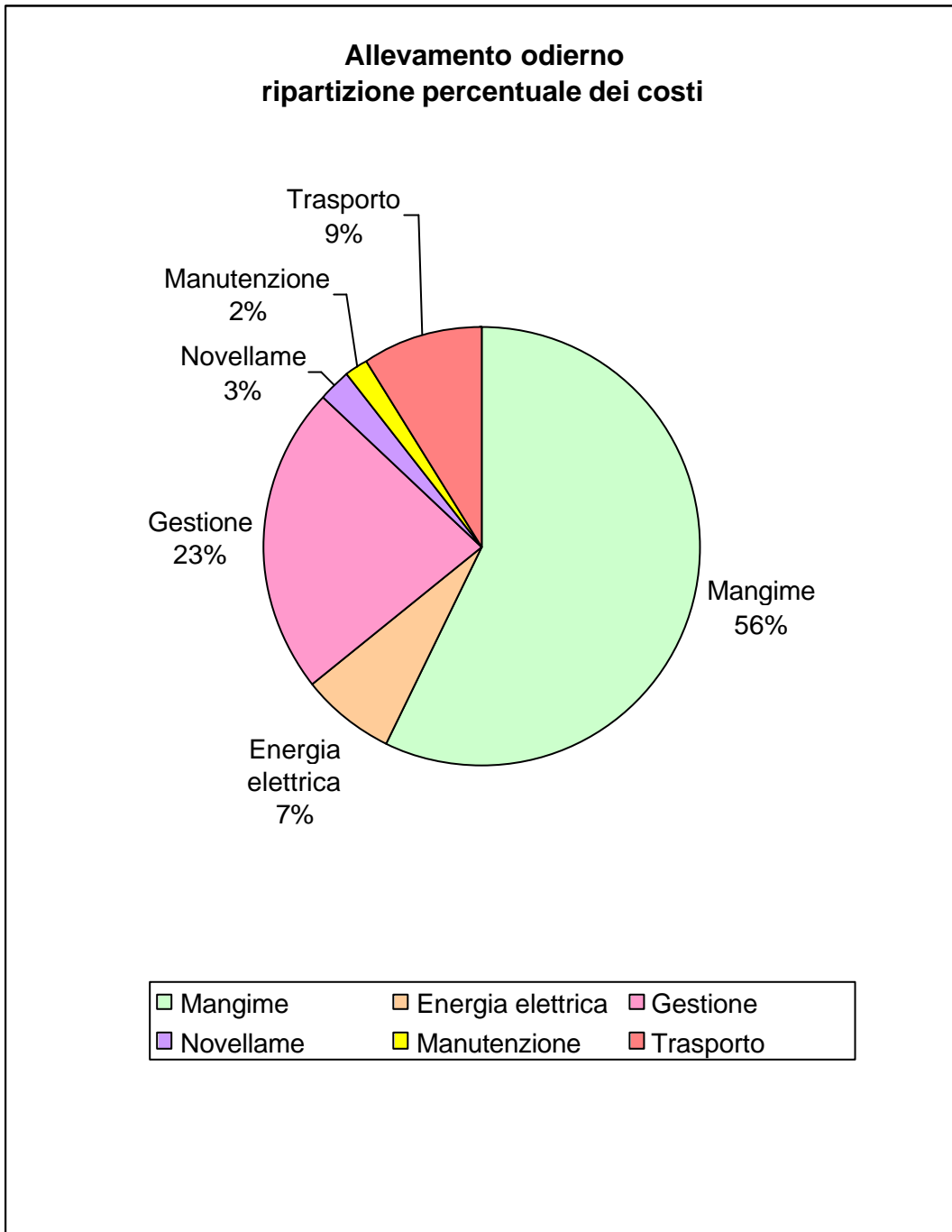


Fig 8.8 Allevamento intensivo odierno

Il costo di investimento per la realizzazione delle 2 macchine termiche è riassunto in tab.

8.5:

<b>Costo investimento</b>	<b>n°</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo totale</b>
<b>Macchina reversibile</b>	2	200.000 €	400.000 €
<b>Cabina elettrica allacciamento</b>	1	50.000 €	50.000 €
<b>Imprevisti</b>			30.000 €
<b>Adattamento all'impianto esistente</b>			50.000 €
<b>Investimento netto</b>			<b>530.000 €</b>

*Tab 8.5 Costo dell'investimento per la realizzazione dell'allevamento termoassistito.*

Nell'ipotesi di ottenere il contributo previsto dal piano SFOP (migliorie per le tecniche apportate per l'acquacoltura), pari al 30% del costo totale C risultante dal preventivo di spesa, si può in prima istanza considerare il costo capitale:

$$C_c = 0,7 C = 371000,00 \text{ euro}$$

Con riferimento a detti costi ed alla producibilità dell'impianto, si elaborano e successivamente si confrontano i costi e i benefici annui valutati sulla base di una vita di progetto di 15 anni.

I costi annui  $C_a$  risultano dalla somma degli oneri finanziari  $C_1$  e dalle spese di produzione

$C_2$ :

$$C_a = C_1 + C_2$$

Per la stima dell'onere finanziario si assume la seguente espressione:

$$C_1 = C_c \cdot i_1 + \frac{C_c \cdot i_2}{[(1 + i_2)^{15} - 1]} \quad (8.5)$$

dove:

$i_1 = 0,10$  è il tasso di interesse assunto per il prestito della somma  $C_c$ ,

$i_2 = 0,08$  è il tasso assunto per la capitalizzazione composta del fondo di ammortamento.

la 8.5 porge  $C_1 = 50763,76$  euro

Il secondo termine della formula rappresenta la rata annua necessaria per la costituzione del capitale  $C_c$  al termine dei 15 anni.

La stima delle spese di produzione è riportata in tab 8.2, e risulta essere:

$C_2 = 732372,00$  euro

## **8.6 Indicatori di convenienza economica**

Sulla base della producibilità annua, pari a 360000 kg di pesce, si ottengono i ricavi annui attesi che indichiamo con il simbolo  $B_a$ .

$B_a = n_1 n_2 d P = 1008000,00$  euro

dove:

$n_1 = 2$  è il numero di cicli produttivi l'anno

$n_2 = 6$  numero di vasche

$d = 30000$  kg/vasca è la biomassa per vasca estraibile in un ciclo produttivo

$P = 2,80$  euro è il prezzo di vendita al kg

Innanzitutto si può calcolare la differenza tra i benefici e i costi annui:

$D = B_a - C_a = 1008000,00 - 732372,00 - 50763,00 = 224865,00$  euro

Il valore attuale netto (VAN) rappresenta la quantità assoluta di beneficio dell'opera e si calcola con la formula:

$$VAN = \sum_{j=0}^{15} F_j$$

con:

$F_j = (B_j - C_j)/(1+i)^j$  flusso attualizzato dell'anno  $j$ -esimo degli oneri finanziari, ed essendo nella fattispecie:

$B_j = B_a$  e  $C_j = C_c$  costanti per  $j \neq 0$ ; per  $j = 0$  si pone  $B_0 = 0$  e  $C_0 = C_c$

$i = 0,05$  il tasso di attualizzazione adottato.

j	Bj	Cj	Fj
0	0	371.000,00	-371000
1	1008000	732.371,50	262503,3333
2	1008000	732.371,50	250003,1746
3	1008000	732.371,50	238098,2615
4	1008000	732.371,50	226760,2491
5	1008000	732.371,50	215962,142
6	1008000	732.371,50	205678,2305
7	1008000	732.371,50	195884,029
8	1008000	732.371,50	186556,2181
9	1008000	732.371,50	177672,5887
10	1008000	732.371,50	169211,9892
11	1008000	732.371,50	161154,2754
12	1008000	732.371,50	153480,2623
13	1008000	732.371,50	146171,6784
14	1008000	732.371,50	139211,1223
15	1008000	732.371,50	132582,0212
<b>VAN</b>			<b>2.489.930 €</b>

*Tab.8.4 Calcolo del VAN*

Il VAN assume valori positivi quando il progetto è finanziariamente conveniente, maggiore è il VAN maggiore è il valore finanziario che il progetto potenzialmente possiede. Il termine potenzialmente è d'obbligo, in quanto il meccanismo di calcolo del VAN riporta al valore



presente un denaro speso o ricavato nel futuro secondo un tasso di attualizzazione  $i$  costante, mentre questo, potrebbe essere diverso da quello ipotizzato e variare nel tempo. Tuttavia il tasso  $i$ , a meno che l'economia del paese o del settore sia instabile, non supera il 10%.

Si possono inoltre calcolare:

L'indice di rendimento attualizzati (IRA):

$$IRA = VAN / (C_0) = 7$$

Il periodo  $j^*$  di pareggio attualizzato PPA per cui vale l'uguaglianza:

$$\sum_{j=0}^{PPA} F_j = 0$$

Dall'analisi grafica riportata in fig. 8.9, il PPA per l'impianto in questione è di circa 1,6 anni.

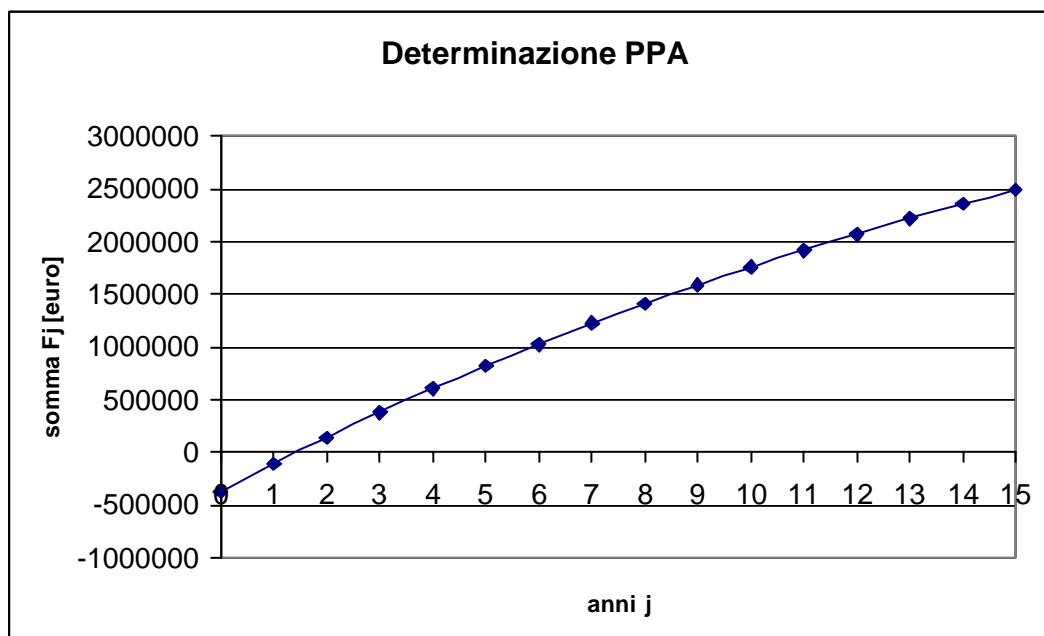


Fig.8.9 Determinazione del PPA

Il tempo di ritorno dell'investimento  $T_r$  è la misura del numero di anni entro cui la differenza cumulata tra costi e benefici attualizzati si azzera.

$$T_r = C_c / (B_a - C_2) = 1,35 \text{ anni}$$

Tempi di ritorno  $T_r$  piccoli, sono indice di sicurezza economica, poiché dall'anno successivo al tempo di ritorno, gli esborsi monetari, sono inferiori ai ricavi ottenuti. Un impianto di tricoltura ben gestito con un buon mercato dovrebbe restituire il capitale investito in meno di 3 anni [Sedgwick, 1996].

Il tasso interno di rendimento TIR, è il valore del tasso di attualizzazione  $i^*$  per cui il VAN si azzera:

$$VAN(i^*) = \sum_{j=0}^{15} F_j(i^*) = 0$$

Nel caso di studio,  $TIR = 0,759$

TIR elevati, come in questo caso, sono auspicabili, perché mostrano la robustezza del VAN. Infine si è calcolato il rapporto benefici costi (B/C), considerati entrambi attualizzati e cumulati:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^{15} \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^{15} \frac{C_j}{(1+i)^j}} = 1,31$$

Ci si aspetta che un progetto economicamente conveniente presenti il rapporto B/C superiore all'unità che è stata definita come soglia per questo indicatore. L'analisi finanziaria propone indici economici tutti univocamente concordi nell'asserire la fattibilità dell'opera.

## CONCLUSIONI

Il progressivo aumento della temperatura delle acque del Fiume Oglio sublacuale ha reso così problematica la gestione dei grandi allevamenti ittici, alimentati con le sue acque, da costringere i gestori a limitare la produttività nonché, all'inizio della stagione calda, a trasportare l'intera produzione in altre strutture, con evidenti aggravii di costo. La ricerca delle cause di tale fenomeno, verificatosi a partire dalla fine degli anni Ottanta, tende, o almeno tendeva nei suoi iniziali presupposti, a verificare l'impatto dell'inquinamento termico degli scarichi di attività produttive e civili, che porta l'effetto di precludere uno dei possibili usi 'produttivi' dell'acqua superficiale - l'allevamento ittico industriale - oltre che generare alterazioni dell'ambiente acquatico-fluviale.

Inizialmente ci siamo infatti concentrati nella ricerca degli apporti termici al fiume, provocati da scarichi in esso progressivamente convogliati. Il risultato, divenuto così intermedio, non ha confermato le supposizioni, ma ha suggerito una diversa prospettiva d'indagine. Non è stata, infatti, verificata la presenza di scarichi industriali e urbani con caratteristiche tali da poter provocare una variazione molto marcata della temperatura del ricettore, sia esso il Fiume Oglio o un suo affluente.

La ricerca è stata riorientata indagando sulla distribuzione spaziale dell'andamento delle temperature lungo il corso del fiume e ha potuto appurare che, nel semestre estivo, le acque dell'Oglio subiscono un incremento di temperatura durante il "passaggio" nel Lago d'Iseo dell'ordine di 6-7° C, dissipati poi, nel corso sublacuale del fiume, in misura inferiore a 0,1° C/km. Il grande lago prealpino, quindi, è il principale responsabile del carico termico del Fiume Oglio, anche se l'evoluzione in progressivo aumento della temperatura primaverile/estiva dell'acqua, nel tratto sublacuale, è senz'altro indipendente dalle portate uscenti dal lago stesso, perché queste ultime sono frutto di una gestione della regolazione praticamente invariata durante il periodo osservato, a beneficio delle utenze irrigue. E' quindi diventato necessario analizzare l'evoluzione del sistema Lago d'Iseo-Oglio sublacuale. Nell'osservazione della dinamica delle masse d'acqua nel lago non è stata trovata correlazione tra l'aumento delle temperature delle acque profonde nel lago, dovuto al suo stato di meromissi (assenza del periodico ricircolo stagionale), e l'andamento della temperatura delle acque in superficie che, invece, è strettamente correlata al ciclico andamento della temperatura atmosferica. Ma l'aumento stagionale della temperatura dell'acqua in superficie, dovuto all'aumento della temperatura dell'aria, pur denunciando il grave stato di crisi del Sebino, non ha giustificato il verificarsi del fenomeno indagato. Si è potuto invece attribuire questa responsabilità alla riduzione, questa sì graduale nel tempo, dell'apporto delle risorgenze nel corso planiziale dell'Oglio, che ha gradatamente perso il contributo 'rinfrescante' durante il periodo caldo delle acque di falda, acque che si mantengono, infatti, a temperatura costante intorno ai 15° C. L'effetto è naturalmente

enfaticamente dalla regolazione del lago, che tende a mantenere costante la portata d'alveo nel periodo interessato.

Ecco allora emergere l'utilità di definire indicatori 'termici' per indagare l'interazione del sistema "falda-fiume", interazione preziosa nell'ambito di ogni bilancio idrologico di bacino idrografico. Per quantificare il contributo dell'acqua di falda al fiume proponiamo due metodi indiretti basati su semplici misure di temperatura e di conducibilità elettrica.

Poiché il fenomeno della riduzione delle risorgenze, segno evidente dello squilibrio tra domanda di acqua e sua disponibilità nel bacino idrografico dell'Oglio, non è tale da poter immaginare un ritorno alla situazione quo ante, lo studio si conclude con la proposta di una soluzione tecnologica per risolvere le difficoltà subite dagli itticoltori, proponendo la realizzazione di una macchina termica che assicuri il mantenimento della temperatura delle vasche intorno all'optimum fisiologico della popolazione ittica, consentendo addirittura la possibilità di attuare un doppio ciclo produttivo annuo, rispetto all'unico ciclo odierno. L'analisi economica sottolinea l'appetibilità dell'intervento, legata al considerevole aumento della produzione annua.

# BIBLIOGRAFIA

- Alberatela A. Brovelli M.A., *Teoria della stima*, 2000
- Amerio M. Elli M., *Parliamo di ...Acquacoltura e di pesca*, 1996
- Api, *Indagine sullo stato dell'acquacoltura nelle acque interne*, 1994
- Api, *Acquacoltura e Decreto Legislativo 626/94*, 1996
- Barbero G. Bertoli L., *L'influenza del minimo deflusso vitale sulla regolazione dei grandi laghi alpini*, 1998
- Baudo R., *D.L. 152/99 ed ecotossicologia delle acque*, CNR
- Bertuletti C., *Note idrogeologiche sulle risorgive lombarde*, 1992
- Bianco R. Iandoli C., *Stato dell'acquacoltura in Italia e ruolo della politica comunitaria di supporto*, 1992
- Brizzio M. Garibaldi L. Moisello R., *Evoluzione dell'eutrofizzazione del Lago d'Iseo: l'anossia ipolimetica ed il possibile istaurarsi di condizioni meromittiche*, 1999
- Brizzio M. Garibaldi L. Leoni B. Moisello R., *La stabilizzazione della stratificazione chimica del Lago d'Iseo e le sue implicazioni sulle caratteristiche biologiche*, 2001
- Casci C. Piemonte P., *Energia solare principi generali e utilizzazioni*, 1980
- Cassitto L. Bartesaghi G. Montini M., *Recupero energetico dalle acque di falda in comune di Milano*, 1999
- Castany G., *Traité pratique des eaux souterraines*, 1963
- Castany G., *Prospection et exploitation des eaux souterraines*, 1968
- Chow V.T., *Handbook of Applied Hydrology*, 1964
- Cordella P. Paganelli A., *Ricerche ideologiche sul Lago d'Iseo*, 1976

De Marchi M., *Conoscere un lago*, 1984

Donati F., *Economia e organizzazione aziendale in acquacoltura*, 1983.

Draper N.R. Smith H., *Applied Regression Analysis*, 1966

Ezekiel M. Fox K., *Methods of Correlation and Regression Analysis*, 1967

Ficco P. Rifici R. Santoloci M., *La nuova tutela delle acque*, 1999

Francani V., *Geologia applicata e idrogeologia generale*, 1996

Gaudenti P., *Utilizzazione dell'energia solare*, 1980

Ghittino P., *Tecnologia e patologia in acquacoltura*, 1978

Giambelli G., *Trasmissione del calore*, 1972

Giordani G. Melotti P., *Elementi di acquacoltura*, 1984

Guglielmini G. Pisoni C., *Elementi di trasmissione del calore*, 1996

*La regolazione dei grandi laghi alpini*, Giornate di studio, 1986

Loffi B., *Consorzio Irrigazioni Cremonesi cento anni*, 1987

Loffi B., *Consorzio Irrigazioni Cremonesi cento anni, note e complementi*, 1987

Maione U. Moisello U., *Elementi di statistica per l'idrologia*, 1993

Mandelli G., *Sviluppo e valorizzazione dei prodotti dell'acquacoltura*, 1995

Mastrullo R. Mazzi P. *Fondamenti di trasmissione del calore*, 1992

Mc Adams W., *Heat Trasmission*, 1985

Miraaf, *5° Piano triennale della pesca e dell'acquacoltura*, 1997

Moisello R. Calderoni A., *Le indagini sull'evoluzione dei laghi profondi subalpini svolte dal CNR*

Mood A. *Introduzione alla statistica*, 1997

- Muratori V., *Una “boccata d’ossigeno” per l’acquacoltura italiana*, Il Pesce n°3, 1992
- Muratori V., *L’acquacoltura italiana non regge alla forte concorrenza straniera*, Il Pesce n°5, 1995
- Pedrocchi E. Silvestri M., *Termodinamica tecnica*, 1999
- Piazza L., *Probabilità e statistica*, 1998
- Pitte D.R. Sissom L. E., *Trasmissione del calore*, 1982
- Plotnikov N.A., *Resources en eaux souterraines : classification et methods d’evaluation*, 1962
- Provincia di Bergamo, *La qualità dei corsi d’acqua della provincia di Bergamo*, 1998
- Ravaglia C., *Compatibilità degli aiuti nazionali*, 1995
- Ravagnani G., *Problemi economico gestionali in acquacoltura*, 1985
- Regione Lombardia Enti Regolatori, *La regolazione dei grandi laghi alpini*, 1996
- Regione Lombardia, *Rapporto sullo stato dell’ambiente in Lombardia*, 2000
- Roberts R.J., *Patologia dei pesci*, 1990
- Ruttner F., *Fundamentals of Limnology*, 1953
- Sansò F., *Quaderni di trattamento statistico dei dati*, 2000
- Saroglia M. Ingle E., *Tecniche di acquacoltura*, 1992
- Schneebeil G. *Hydraulique souterraine*, 1970
- Sedgwick S.D., *Allevamento della trota*, 1996
- Sturlese F., *Termodinamica*, 1997
- Sturlese F., *Trasmissione del calore*, 1997



Tartari G., *Qualità delle acque lacustri della Lombardia alle soglie del 2000*, 2000

Tonolli V., *Introduzione allo studio della limnologia*, 2001

Welch P.S., *Limnology*, 1952

Welch P.S., *Limnological methods*, 1953

