

Tavola 7.3 Temperature dei corsi d'acqua e dei laghi

Introduzione

Lo sviluppo delle centrali idroelettriche ha promosso l'installazione di limnografi e di stazioni idrometriche. In parallelo, le previsioni relative alle centrali termiche (essenzialmente nucleari) hanno dato il via negli anni sessanta alla realizzazione lungo i corsi d'acqua più importanti di una rete di rilevamento termico. Mentre la costruzione della rete idrometrica verte sullo sfruttamento dei corsi d'acqua, la rete di rilevamento termico inerisce alla loro protezione. In questo modo è stato possibile controllare eventuali innalzamenti di temperatura e, ove possibile, evitare effetti negativi sul sistema idrico. Lo sviluppo della rete di rilevamento federale ha preso piede nel 1963 ad opera del Servizio idrologico e geologico nazionale (SIGN).

A causa dell'opposizione crescente da parte della popolazione verso l'impiego di combustibili nucleari o fossili per la produzione energetica, l'installazione di nuovi impianti termici è divenuta sempre più improbabile. Poiché le ragioni originarie a sostegno della rete di rilevamento termico sono venute meno, quest'ultima è stata ridimensionata. In questo speciale quadro evolutivo e in riferimento al quantitativo di stazioni si annoverano tra il 1978 e il 1984 delle serie storiche che risultano ottimali ai fini della confrontabilità dei dati. Le Comunicazioni del SIGN [2], frutto di una loro valutazione, attestano che si può procedere a un controllo a lungo termine delle temperature dei corsi d'acqua anche con una rete meno densa e, altresì, che si possono desumere informazioni interessanti anche da singole misurazioni occasionali, più o meno regolari. Saggi campionari di questo genere vengono effettuati, ad esempio, in concomitanza d'indagini routinarie nei fiumi e nei laghi da parte di istituti universitari o dei centri cantonali responsabili per la loro difesa. La carta si fonda su una cernita di stazioni di differenti reti di rilevamento per le quali siano disponibili serie regolari di dati relativi agli anni tra il 1978 e il 1984. L'origine dei rispettivi dati è rappresentata nella tabella 1 e nelle tabelle allegate alla tavola 7.1.

Oscillazioni termiche

Le temperature delle acque superficiali dipendono in larga misura dalla temperatura atmosferica e dall'irraggiamento solare. Si osservano modalità di fluttuazione diverse e sovrapposte:

(1) Le oscillazioni quotidiane sono connotate in caso di tempo sereno da una marcata periodicità sinusoidale. La differenza tra le temperature diurna e notturna sono solitamente nell'ordine di grandezza di qualche grado. Raguagli su tali fluttuazioni nei maggiori fiumi vengono forniti dai grafici NADUF (NADUF: Programma nazionale per l'analisi continua dei corsi d'acqua svizzeri) pubblicati in [7]. La letteratura relativa ai corsi d'acqua minori è a tal proposito sporadica [4].

(2) Le oscillazioni stagionali sono anch'esse sinusoidali, nell'Altipiano più che nelle Alpi. Ciò non deve sorprendere, in considerazione dell'andamento dell'irraggiamento solare sul terreno, condizionato dal moto planetario. L'effetto prevale a un punto tale che praticamente in tutti gli studi il modello delle oscillazioni stagionali corrisponde a una curva sinusoidale definita mediante il metodo dei minimi quadrati in base ai dati osservati. I parametri ottenuti in questa maniera (descritta ancora meglio nel prosieguo) costituiscono il nucleo della presente tavola. I diagrammi incorporati nella carta illustrano le oscillazioni dei corsi d'acqua presso alcune stazioni prestabilite. La scelta è stata effettuata con lo scopo di porre in evidenza le diversità tra le acque alpine e dell'Altipiano, nonché l'effetto dei laghi in corrispondenza degli immissari e degli emissari. Tra gli anni considerati i primi due mostrano temperature dell'acqua medie, mentre l'ultimo (1983) mostra temperature oltre la media.

(3) Oscillazioni occasionali dall'andamento incerto compaiono insieme a variazioni meteorologiche, come quelle date da fronti d'aria calda o fredda oppure da correnti settentrionali o meridionali. Esse si manifestano durante l'anno come chiare deviazioni dall'andamento sinusoidale. Non tenendo conto di quest'ultimo, si ottiene un andamento termico «non-stagionale» che mette in luce gli influssi meteorologici imprevedibili e irregolari. Se si confrontano le serie storiche non-stagionali [2] ci si accorge di andamenti sincroni passando a regioni più vaste.

(4) Le oscillazioni di lunga durata dipendono da alterazioni climatiche. Si tratta di variazioni non-stagionali analoghe alle oscillazioni climatiche occasionali, ma dilatate su lunghi periodi. Negli ultimi tempi si è spesso tentati di vedere nei dati un riscaldamento da ricondursi a fattori antropici. Nei maggiori fiumi si riscontrano periodi contraddistinti da inequivocabili innalzamenti termici, ma d'origine ignota [5]. Il clima terrestre è da sempre soggetto a certe fluttuazioni, tanto dall'inizio delle annotazioni umane quanto in dimensioni geologiche [6]. Alcuni esempi di serie storiche lunghe sono rappresentate nelle figure 1 e 3. Per quel che riguarda i corsi d'acqua si nota di nuovo l'influsso esercitato dai laghi, specialmente sull'aumento della media quotidiana minima dell'anno (fig. 1). Sono segnate per i laghi le serie storiche dei saggi campionari effettuati alle profondità di 5 m e 100 m (fig. 3). Contrariamente a quanto accade nei fiumi, la profondità riveste qui un'importanza cruciale.

Stratificazioni lacustri

Analogamente alla rappresentazione cartografica della stagionalità nei corsi d'acqua, la figura 2 contiene i dati dello stesso periodo (1981–1983) per alcuni laghi prescelti. I grafici tridimensionali illustrano differenze nette nel decorso termico stagionale in funzione della profondità. In estate si forma in ogni lago per motivi fisici (densità dell'acqua dipendente dalla temperatura) una chiara stratificazione (stagnazione estiva). Sopra tutto si trova lo strato d'acqua riscaldato, l'epilimno. Con un elevato gradiente termico segue al di sotto lo strato del metalimno. L'ipolimno è lo strato freddo più profondo, contraddistinto da una temperatura più o meno costante durante tutto l'anno. I venti autunnali e invernali determinano un mescolamento degli strati superficiali raffreddati con acque sempre più profonde, così che di solito s'instaura una dinamica circolatoria che mantiene costante la temperatura dell'intero lago. D'inverno (e a seconda degli eventi climatici, della profondità dell'acqua e dalla posizione geografica) può nuovamente prendere corpo una stagnazione, laddove però lo strato superficiale è formato d'acqua a meno di 4 °C su cui galleggiano talora formazioni di ghiaccio. A primavera s'innescano di solito una circolazione prima che le temperature degli strati superiori aumentino. La circostanza che la fase circolatoria tra l'autunno e la primavera possa svilupparsi ogni anno dipende dalla profondità e dall'esposizione all'irraggiamento.

I risultati del modello di calcolo presentati nella carta e nella tabella 2 si riferiscono a dati rilevati esclusivamente nella parte superiore dell'epilimno; si tratta dei valori medi della temperatura tra 0 m e 10 m di profondità.

Il modello sinusoidale

Il decorso stagionale delle temperature nei corsi d'acqua e negli strati superiori dei laghi evidenzia una curva sinusoidale. Si tratta di trovare mediante il metodo dei minimi quadrati i parametri per l'oscillazione che meglio approssima i valori misurati. In questo caso non è possibile parlare proprio di un'analisi armonica o di una trasformazione di Fourier, in quanto occorre calcolare solamente i parametri della curva sinusoidale. L'inusuale procedura di calcolo qui impiegata è stata descritta finora solo in pochi lavori [1,2,3]. Essa si basa su una linearizzazione della funzione del seno attraverso una trasformazione trigonometrica. Dopodiché, si procede al calcolo dei parametri mediante un'analisi di regressione multipla. I parametri della curva sinusoidale sono il valore medio, la semiampiezza e la fase. La fase è definita qui come quel giorno dell'anno in cui la curva tocca il minimo. Per il calcolo dei parametri dai dati osservati si è ricorsi a un programma per personal computer, a disposizione presso il SIGN.

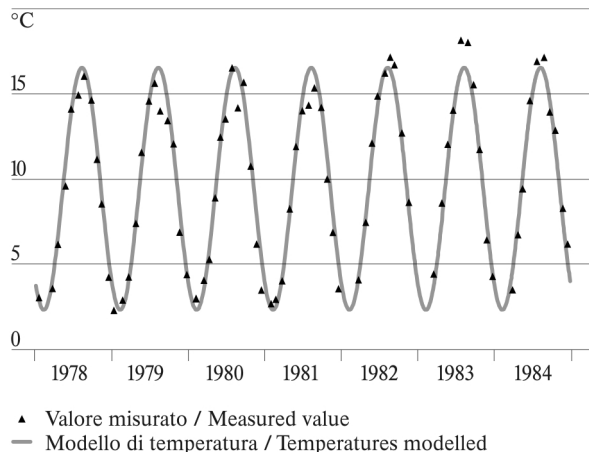
La figura 4 illustra una curva sinusoidale ottenuta a partire dai dati misurati nel lago di Pfäffikon tra il 1978 e il 1984. Dalla curva si evince che negli inverni del 1982 e del 1984 le temperature minime non sono state verosimilmente considerate.

Il modello della curva sinusoidale consente di calcolare la temperatura media attesa di un giorno qualunque dell'anno. La formula da impiegare è:

$$T_{(j)} = A \cdot \sin[(J - J_m) \cdot 360^\circ/365.242 - 90^\circ] + M$$

dove $T_{(j)}$ sta per la temperatura attesa ($^\circ\text{C}$) per il giorno j , A è la semiampiezza, J il numero dei giorni j nell'anno del calendario, J_m il giorno del minimo e M la temperatura media annuale. Raggiugli per il calcolo si trovano nella carta e nella tabella 2. Per la stima delle temperature di un corso d'acqua tra due stazioni si possono approssimare i parametri con un'interpolazione. Nei corsi d'acqua privi di stazioni di rilevamento termico l'interpolazione e l'estrapolazione possono eseguirsi a malapena e occorre prendere in considerazione altri fattori, come la quota del bacino imbrifero oppure la distanza dalla sorgente.

Fig. 4
Temperature misurate nel lago di Pfäffikon e relativo modello
delle temperature
Temperatures measured and modelled in the lake Pfäffikon



Bibliografia

- [1] **Ball, J. A. (1978):** Algorithms for RPN calculators. New York.
- [2] **de Montmollin, F., Parodi, A. (1990):** Température des cours d'eau suisses. Communication du Service hydrologique et géologique national No 12, Berne.
- [3] **Güttinger, H. (1980):** Die Anwendung einer Fourier-Transformation zum Ausgleich von Saisonschwankungen bei der physikalisch-chemischen Charakterisierung von Fließgewässern In: Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 42/2:309–321, Basel.
- [4] **Jakob, A., Tschumi, P.A. (1988):** Tagesschwankungen chemischer und physikalischer Faktoren in einem Fließgewässer (Schüss, Berner Jura). In: Archiv für Hydrobiologie 113:607–620, Stuttgart.
- [5] **Jakob, A. et al. (1995):** NADUF – Observation à long terme de l'état physico-chimique des eaux. In: Gaz-Eaux-Eaux usées 5/95:378–393, Zurich. Deutsche Fassung in: Gas-Wasser-Abwasser 3/94:171–186, Zürich.
- [6] **Le Roy Ladurie, E. (1967):** Histoire du climat depuis l'an mil. Paris.
- [7] **Service hydrologique et géologique national (dès 1972):** Annuaire hydrologique de la Suisse. Berne.