

acqua/quaderni/Arpa Umbria



agenzia regionale per la protezione ambientale

**ARPA Umbria - Agenzia regionale
per la protezione ambientale**

via Pievaiola (San Sisto) - Perugia
tel: 075 515961 - fax 075 51596235
www.arpa.umbria.it
arpa@arpa.umbria.it

Quaderni ARPA Umbria

Direttore scientifico

Giancarlo Marchetti

Direttore editoriale

Fabio Mariottini

Autori

Mirko Nucci, Sonia Renzi - Arpa Umbria

Foto

Mirko Nucci

- Archivio Arpa Umbria

Progetto grafico

LCD, Firenze

Cura redazionale e impaginazione

Fabio Mariottini, Emanuele Capponi

Stampa

Grafiche Diemme srl, Bastia Umbra (PG)

Stampato su carta Free Life 100 da 100 g/mq

Eventuali duplicazioni, anche di parti della pubblicazione,
sono autorizzate a condizione che venga citata la fonte

©Copyright 2010 Arpa Umbria

Il monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali in Umbria Tecnologie utilizzate e analisi dei dati

Mirko Nucci, Sonia Renzi

Ringraziamenti

Questa pubblicazione nasce dalla volontà di illustrare l'attività svolta da Arpa Umbria nel monitoraggio chimico-fisico continuo di fiumi e laghi. Tuttavia, il lavoro non sarebbe potuto giungere a compimento senza la collaborazione del personale tecnico del

Servizio Reti Monitoraggio Acque di Arpa Umbria (Francesco Brunelli, Massimo Moriconi, Diego Fortini e Simone Scarpelloni) che si occupa della manutenzione delle stazioni e della validazione dei dati acquisiti.

M.N.

Sommario

Presentazione <i>Giovanna Saltalamacchia</i>	7
1. Premessa	9
2. Descrizione sintetica del lavoro	11
3. Il monitoraggio chimico-fisico delle acque	13
3.1 Le stazioni chimico-fisiche	14
3.2 Tipologia di stazioni chimico-fisiche	15
3.2.1 Stazioni ad elettrodi separati	15
3.2.2 Stazioni munite di sonde multiparametriche	16
3.3 Apparati di misura	18
3.4 Apparati di acquisizione	24
3.5 Software di gestione del sistema	24
4. Procedure di validazione e diffusione dei dati	27
4.1 Tarature	27
4.2 Validazione settimanale dei dati	27
4.3 Informazioni aggiuntive	29
5. Analisi e interpretazione dei dati	31
5.1 Incremento delle informazioni desumibili dalle stazioni chimico-fisiche	32
5.2 Andamento naturale di fondo	34
5.2.1 Oscillazioni notte-giorno	34
5.2.2 Fluttuazioni stagionali	35
5.3 Eventi anomali	36
5.3.1 Malfunzionamenti della stazione che simulano un evento anomalo	36
5.3.2 Eventi di origine naturale	38
5.3.3 Eventi anomali di origine antropica	38
6. Prestazioni delle stazioni chimico-fisiche	45
7. Presentazione dei dati	51
8. Stazione di Corone di Preci (torrente Campiano)	53
9. Stazione di Piedipaterno (fiume Nera)	59
10. Stazione di Piediluco Medio Nera (Canale Medio Nera)	67

11. Stazione di Piediluco lago (lago di Piediluco)	73
12. Stazione di Nera Montoro (fiume Nera)	79
13. Stazione di Ponte Nuovo (fiume Tevere)	85
14. Stazione di Ponte Rosciano (fiume Chiascio)	91
15. Stazione di Bettona (fiume Topino)	97
16. Stazione di Casco dell'Acqua (fiume Clitunno)	101
17. Stazione di Campello sul Clitunno (canale Fossa Nuova)	107
18. Stazione di Umbertide (fiume Tevere)	113
19. Stazione di Bevagna (fiume Clitunno)	115
Bibliografia	117

Presentazione

Il territorio umbro, noto per il suo elevato patrimonio naturalistico e ambientale, è caratterizzato da un sistema idrografico superficiale piuttosto delicato: il corso d'acqua principale del Tevere e i suoi tributari nelle valli alluvionali (Chiascio, Topino, Nestore, Paglia, Nera), sono infatti inseriti in un contesto di forte antropizzazione. Lo sviluppo urbano e agricolo che negli ultimi anni ha interessato la regione incide sensibilmente sulla qualità dei suoi corsi d'acqua, che divengono, per loro natura, ricettacolo dei reflui delle attività che insistono sul territorio. In tale contesto sono dunque necessarie azioni di prevenzione e controllo, sia sulle attività civili, industriali e agricole capaci di incidere negativamente sulle caratteristiche delle acque fluviali e lacustri, sia sulla qualità dei corpi idrici superficiali. Per questi ultimi, nell'ambito delle attività di controllo e sorveglianza, non si può prescindere da un monitoraggio in continuo, attraverso la gestione di una specifica "rete"

di stazioni automatiche ubicate in luoghi strategici, in grado di fornire in tempo reale valide indicazioni sul chimismo delle acque.

È a tale scopo che, a partire dal 2001, Arpa Umbria si è impegnata nella realizzazione di una rete di monitoraggio in continuo di tipo modulare. La rete, che nel corso degli anni è stata adeguata e implementata fino a giungere alla attuale conformazione, consta di 10 stazioni operative, cui seguirà a breve l'attivazione di tre nuove unità remote. Lo sviluppo della rete di monitoraggio e l'elevato numero di controlli effettuati evidenziano l'impegno crescente dell'Agenzia e dell'Amministrazione regionale nella prevenzione e valorizzazione delle acque superficiali, risorsa naturale imprescindibile per il patrimonio ambientale e socio-economico dell'Umbria.

Giovanna Saltamacchia
Direttore del Dipartimento
Provinciale di Perugia

I. Premessa

La rete di monitoraggio continuo delle acque superficiali è stata realizzata in tempi diversi e ha seguito numerose trasformazioni fino ad arrivare, oggi, a 10 stazioni operative e 3 in fase di realizzazione

Nell'ambito del progetto denominato *Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di tricoltura in Valnerina*, nel 2001, Arpa Umbria ha messo in atto un piano per il monitoraggio chimico-fisico in continuo di due allevamenti di importanza regionale localizzati in aree specifiche della Valnerina (Corone di Preci sul torrente Campiano e Piedipaterno sul fiume Nera). Il piano consisteva essenzialmente nell'installazione di due stazioni remote per ogni impianto, poste rispettivamente nel canale di derivazione dal corso d'acqua, prima delle vasche, e dopo il bacino di decantazione, nel canale di restituzione. Lo scopo era quello di monitorare le caratteristiche fisico-chimiche delle acque a monte e a valle degli allevamenti, per verificare l'impatto ambientale determinato dagli impianti di tricoltura sul corso d'acqua. Ovviamente, le stazioni di monitoraggio costituivano soltanto una delle componenti di studio, i cui risultati sono stati divulgati con una pubblicazione dedicata (*Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di tricoltura in Valnerina*, Arpa Umbria, 2002). Nell'ambito dello stesso progetto, venne realizzata una quinta stazione di monitoraggio nel Canale del Medio Nera, con lo scopo di monitorare le caratteristiche delle acque in ingresso al lago di Piediluco.

Terminato il progetto, dopo aver acquisito serie di dati sufficientemente lunghe, è stato deciso di dismettere i quattro punti di monitoraggio presso gli impianti di tricoltura, lasciando solo

la stazione sul Canale del Medio Nera, e riutilizzare le unità remote esistenti in luoghi strategici della rete idrografica regionale; ad oggi, tre stazioni sono state spostate rispettivamente a Campello sul Clitunno (torrente Fossa Nuova), Casco dell'Acqua (fiume Clitunno) e Umbertide (fiume Tevere), mentre la quarta sarà installata quanto prima presso la periferia di Città di Castello (fiume Tevere).

Le stazioni sopra menzionate hanno costituito di fatto il primo "tassello" della rete di monitoraggio delle acque superficiali, che è stata ampliata con la cessione in comodato d'uso, da parte della Regione Umbria all'Arpa, di altre cinque unità remote, localizzate in punti strategici della rete fluviale regionale (Bettona sul fiume Topino, Ponte Rosciano sul fiume Chiascio, Ponte Nuovo sul fiume Tevere, Nera Montoro sul fiume Nera e Piediluco sull'omonimo lago). Queste stazioni, acquisite in stato di disuso, sono state ingegnerizzate per rendere il sistema di gestione remota compatibile con lo standard dell'Agenzia e riattivate a partire dal mese di agosto 2004.

Successivamente, in seguito all'incidente occorso presso lo stabilimento Umbria Olii di Campello sul Clitunno, Arpa Umbria è stata incaricata di effettuare la valutazione dello *Stato di Qualità Ambientale del Reticolo Idrografico del Fiume Clitunno e del Sottobacino Marroggia-Teverone-Timia* (Ord. Presidente del Consiglio dei Ministri n°3558 del 27.12.06). Nell'ambito dello studio, è stata realizzata una nuova



Figura 1.1 – Ubicazione delle stazioni per il monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali. In grigio sono indicate le stazioni dismesse, in giallo/rosso quelle operative, in giallo le unità da attivare in futuro

stazione chimico-fisica presso l'abitato di Bevagna, per il monitoraggio delle acque del fiume Clitunno, ed una per le acque del fiume Timia, di prossima esecuzione; un'altra stazione, da realizzare con fondi dell'Agenzia, è stata prevista presso la città di Foligno, per il monitoraggio del fiume Topino.

La rete di monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali è stata realizzata in momenti diversi e ha subito numerosi adeguamenti, fino a giungere alla conformazione attuale, che vede la presenza in campo di 10 stazioni operative, cui seguirà a breve l'attivazione di tre nuove unità remote.

Alcune stazioni hanno subito un *upgrade* nel set di parametri chimico-fisici monitorati, a partire dal gennaio 2009, con l'inserimento di elettrodi specifici per la misura di nuovi parametri.

L'espansione è stata effettuata per ottenere uno spettro di informazioni ambientali più ampio e un'uniformità completa con le altre stazioni chimico-fisiche per il monitoraggio delle acque superficiali, già dotate di misure analoghe.

Tabella 1.1 Elenco delle stazioni che compongono la rete delle acque superficiali gestita da Arpa Umbria

Stato	ID	fiume / lago canale	nome stazione	comune	coord. Gauss-Boaga X	Y	Parametri monitorati
◆	F14		Città di Castello	Città di Castello	-	-	6
◆	F11	Tevere	Umbertide	Umbertide	2303134	4798244	6
◆	F06		Ponte Nuovo	Deruta	2310434	4765106	4/6
◆	F08	Topino	Bettona	Bettona	2317076	4766616	4/6
◆	F15		Foligno	Foligno	-	-	6
◆	F07	Chiascio	Ponte Rosciano	Torgiano	2311885	4766780	4/6
◆	F10		Campello sul Clitunno	Campello sul Clitunno	2336831	4744968	6
◆	F09	Clitunno	Casco dell'Acqua	Trevi	2332867	4752423	6
◆	F12		Bevagna Clitunno	Bevagna	2325067	4756142	6
◆	F01	Campiano	Corone di Preci	Preci	2356495	4749318	6
◆	F02	Nera	Piedipaterno	Vallo di Nera	2345033	4736886	6
◆	F05	Nera	Nera Montoro	Narni	2311797	4707442	4/6
◆	F03	Medio Nera	Piediluco Medio Nera	Terni	2335765	4712407	5
◆	F04	Piediluco	Piediluco lago	Terni	2336640	4711531	4/6
◆	F13	Timia	Bevagna Timia	Bevagna	-	-	6

◆ Stazioni attive
◆ Stazioni da attivare
◆ Stazioni dismesse

Alcune stazioni sono state attivate con la misura di 4 soli parametri che, dal gennaio 2009, è stata estesa a 6 parametri.

2. Descrizione sintetica del lavoro

Sono descritte le tecnologie utilizzate e i risultati ottenuti nella gestione delle stazioni attive. I dati acquisiti, distinti per stazione, sono stati elaborati e illustrati

Questa monografia integra il lavoro di divulgazione delle attività svolte da Arpa Umbria nel campo del monitoraggio continuo delle acque, iniziato con due pubblicazioni intitolate *Il monitoraggio continuo delle sorgenti umbre* (Nucci M., *Quaderni Arpa Umbria*, 2004) e *Il monitoraggio continuo dei livelli di falda in Umbria* (Nucci M., *Quaderni Arpa Umbria*, 2008).

Questo lavoro sintetizza l'attività svolta nella gestione complessiva delle 12 stazioni chimico-fisiche gestite dal *Servizio Reti Monitoraggio Acque* dell'Agenzia; saranno illustrate le tecnologie utilizzate, i risultati ottenuti e i problemi riscontrati nella gestione delle stazioni stesse, affinché l'esperienza maturata da Arpa Umbria possa costituire un valido ausilio nella realizzazione e nella gestione delle stazioni chimico-fisiche.

Il capitolo successivo, a sfondo prevalentemente tecnico, contiene una descrizione dettagliata delle apparecchiature che compongono le stazioni, con particolare attenzione alle caratteristiche e ai principi di funzionamento degli elettrodi per il monitoraggio specifico di ogni parametro. Saranno illustrate le principali funzioni dei software che gestiscono in remoto la rete di monitoraggio delle acque di Arpa Umbria, evidenziandone la flessibilità di utilizzo. Particolare attenzione è stata rivolta alle procedure di validazione, costituite dalle tarature periodiche degli elettrodi e dall'insieme

dei passaggi indispensabili per convertire le misure acquisite (dati grezzi) in dati esenti da anomalie che ne possano pregiudicare la validità. Tali procedure derivano dall'esperienza maturata nella gestione pluriennale della rete; in assenza di una normativa nazionale che disciplini il processo di trattazione delle serie temporali derivate dal monitoraggio continuo dei parametri chimico-fisici, le procedure di osservazione e di validazione dei dati sono state stabilite in base ad alcuni criteri interni, descritti nel capitolo 4.

Successivamente, saranno fornite importanti nozioni sull'interpretazione dei dati acquisiti dalle stazioni, indicando le corrette "chiavi di lettura" delle serie temporali e illustrando alcuni esempi reali.

Infine, per concludere la prima parte del lavoro, saranno fornite alcune informazioni sulle "prestazioni" delle stazioni chimico-fisiche, determinate con l'ausilio di appositi *indicatori di performance*, stabiliti nel processo di qualità ISO 9001, che caratterizza l'operato del *Servizio Reti Monitoraggio Acque* nella gestione delle reti per il monitoraggio continuo delle acque.

La seconda parte del lavoro è dedicata alla presentazione delle singole stazioni di monitoraggio e all'elaborazione statistica dei dati acquisiti. Il processo di elaborazione ed illustrazione dei dati è ampiamente descritto nel capitolo 7.

3. Il monitoraggio chimico-fisico delle acque

Le stazioni chimico-fisiche non determinano direttamente le concentrazioni delle sostanze chimiche disciolte nelle acque, né la presenza di eventuali inquinanti, ma avvertono l'effetto che questi ultimi possono indurre sui parametri monitorati. L'Agenzia dispone di due tipologie di stazioni chimico-fisiche, che differiscono essenzialmente per le caratteristiche delle sezioni di misura e delle modalità di acquisizione dei dati

Il monitoraggio chimico-fisico, effettuato mediante stazioni automatiche gestite in remoto, consiste nella determinazione di alcuni parametri "sintetici", quali temperatura, conducibilità, pH, potenziale redox, ossigeno disciolto, torbidità, salinità ed altri, utili per la caratterizzazione delle acque e all'osservazione del fiume ai fini della protezione ambientale. Le stazioni non determinano direttamente le concentrazioni delle sostanze chimiche disciolte nelle acque né, di conseguenza, la presenza di eventuali inquinanti, ma avvertono l'effetto che questi ultimi possono indurre sui parametri monitorati.

Il monitoraggio chimico-fisico, quindi, fornisce informazioni generiche sullo stato delle acque, che devono essere correttamente interpretate (vedere cap. 5).

L'applicazione di un punto di monitoraggio chimico-fisico delle acque ad un sistema fluviale avviene in tre fasi distinte.

La prima fase, che può durare alcuni giorni o, nel caso di particolari problemi, alcune settimane, consiste nel "rodaggio" della stazione automatica per verificare eventuali malfunzionamenti o criticità.

Spesso, i problemi riscontrabili nella fase di rodaggio non sono riconducibili tanto alla strumentazione quanto all'apparato di prelievo dell'acqua, che rappresenta il vero punto critico del sistema. Le criticità sono riconducibili sia alla variabilità del regime idraulico dei fiumi, sia al materiale in sospensione che, nel breve tempo, crea fenomeni di occlusione e di rottura delle componenti idrauliche (adescanti e di adduzione).



Figura 3.1 – Fasi relative all'applicazione di un punto di monitoraggio chimico-fisico continuo delle acque

La seconda fase inizia dal superamento delle problematiche legate all'avviamento della stazione e consiste essenzialmente nell'acquisizione di una lunga serie di dati, per osservare le caratteristiche del corso d'acqua monitorato. In questo periodo di tempo, che si protrae normalmente per alcuni mesi, il personale acquisisce "sensibilità" nella lettura e interpretazione dei dati, identifica le fluttuazioni riconducibili alla variabilità naturale del sistema e distingue gli eventi anomali che si sovrappongono all'andamento naturale di fondo.

La terza fase, attuabile in condizioni di regime, estende l'utilizzo della stazione a finalità più ampie. Il personale tecnico, acquisita la necessaria sensibilità, riesce a distinguere alcuni eventi anomali di origine antropica. In questa fase possono essere attivate tutte le componenti della stazione finalizzate alla tutela del territorio, come l'impostazione di soglie per il campionatore automatico e/o l'invio di messaggi SMS di allarme a uno o più operatori dell'Agenzia.

3.1 LE STAZIONI CHIMICO-FISICHE

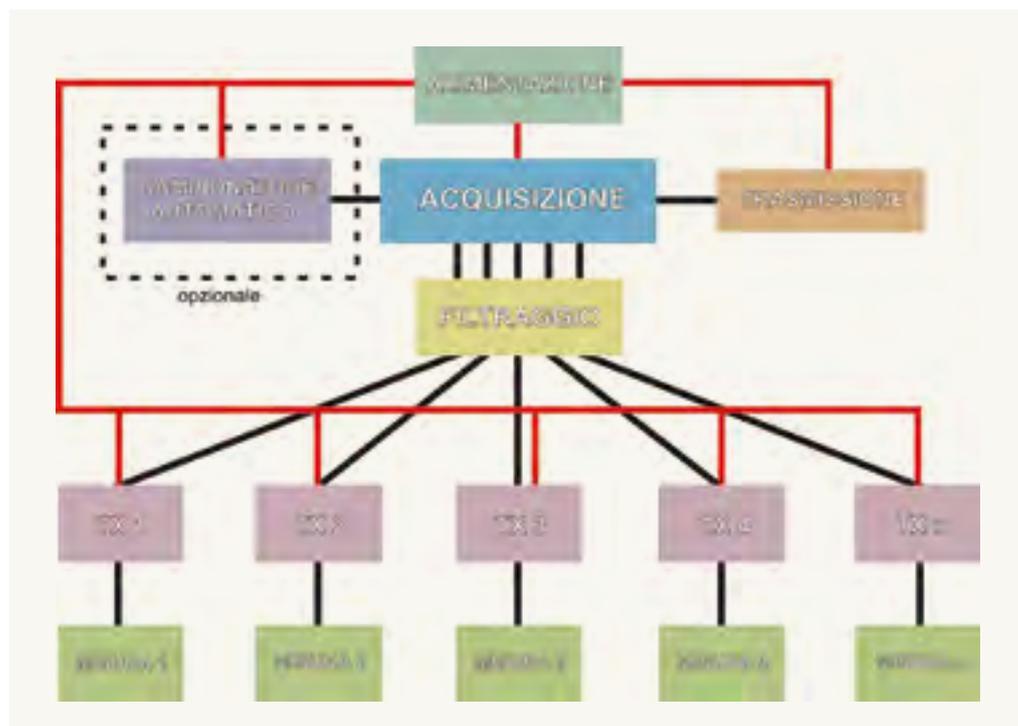
Il sistema di monitoraggio delle acque strutturato da Arpa Umbria consente di gestire in remoto un numero indefinito di stazioni fisse, installate in loco.

Il sistema per la gestione delle stazioni fisico-chimiche è pilotato da due software

di gestione che risiedono in un server dell'Agenzia. I software sono dotati di numerose funzioni che consentono di aggiungere nuove unità di monitoraggio alla rete o eliminare/modificare le configurazioni delle stazioni esistenti; tali possibilità consentono facilmente di ridurre o ampliare il numero di unità remote gestite dal sistema, rendendolo estremamente flessibile alle esigenze dell'utente.

In figura 3.1.1 è illustrato lo schema tipico di una stazione per il monitoraggio chimico-fisico delle acque, gestita in remoto. La stazione tipo è strutturata in alcune sezioni distinte, ognuna delle quali assolve un compito definito. La *sezione di alimentazione* è costituita da tutti gli apparati di potenza dedicati alla trasformazione della tensione di rete, all'alimentazione delle varie apparecchiature e alla protezione dell'hardware mediante scaricatori di tensione opportunamente dimensionati. La *sezione di acquisizione* è costituita da un data-logger programmabile dotato di molteplici funzionalità (memorizzazione e visualizzazione dei dati, attuazione e gestione delle varie apparecchiature che compongono la stazione). La *sezione di trasmissione* è costituita essenzialmente da un modem GSM che utilizza la rete cellulare come vettore di comunicazione con la postazione centrale, e dal dispositivo per lo spegnimento periodico del modem stesso. La *sezione di filtraggio* del segnale

Figura 3.1.1 – Schema di principio delle stazioni per il monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali gestite da Arpa Umbria



è costituita da appositi filtri hardware, denominati separatori galvanici, in grado di eliminare disturbi transitori del segnale provenienti dagli elettrodi. La *sezione di misura* è costituita da tutti gli elettrodi specifici per il monitoraggio dei parametri fisico-chimici e dai relativi trasmettitori (Tx), opportunamente integrati nel sistema idraulico della stazione. La *sezione di campionamento*, laddove presente, è costituita da un campionatore automatico refrigerato. I dati acquisiti dal data-logger con la cadenza impostata dall'utente, vengono immagazzinati nella memoria del dispositivo e trasmessi periodicamente, via GSM, ai software di gestione del sistema. I dati grezzi, opportunamente validati, sono trasferiti nel data warehouse dell'Agenzia e diffusi via internet a tutti i soggetti interessati.

3.2 TIPOLOGIA DI STAZIONI CHIMICO-FISICHE

L'Agenzia dispone di due tipologie di stazioni chimico-fisiche, che differiscono essenzialmente per le caratteristiche delle *sezioni di misura* e delle modalità di acquisizione dei dati.

3.2.1 Stazioni ad elettrodi separati

Queste stazioni sono dotate di una sezione di misura costituita da elettrodi separati, ove ogni parametro viene monitorato con una serie di apparecchiature indipenden-

ti. In pratica, ogni canale analogico della stazione fa capo ad un trasmettitore e a un elettrodo specifico che può funzionare autonomamente dagli altri; in caso di guasto a un elettrodo o al relativo trasmettitore, le altre componenti di misura continuano a funzionare correttamente, in quanto non vi sono elementi comuni. Tuttavia, la presenza di "catene di misura" singole implica necessariamente un collegamento permanente degli elettrodi ai trasmettitori e all'acquisitore; pertanto, le operazioni di calibrazione degli elettrodi devono essere eseguite in campo, con tutti i disagi che ne conseguono (pioggia, difficoltà pratiche, difficoltà logistiche ecc.).

Le stazioni dotate di elettrodi separati sono caratterizzate da strumenti di misura di derivazione industriale, robusti e affidabili, contenuti in una carpenteria metallica posta direttamente in campo.

La parte alta della carpenteria, dotata di finestra trasparente per consentire la visualizzazione dei dati istantanei, ospita tutte le componenti elettriche. La parte bassa, provvista di porta indipendente, alloggia tutte le componenti idrauliche e gli elettrodi di misura. Il campionatore automatico, se presente, è alloggiato in una carpenteria adiacente.

Il sistema di prelievo dell'acqua prevede sempre una pompa a basso flusso che alimenta un circuito forzato, ove sono

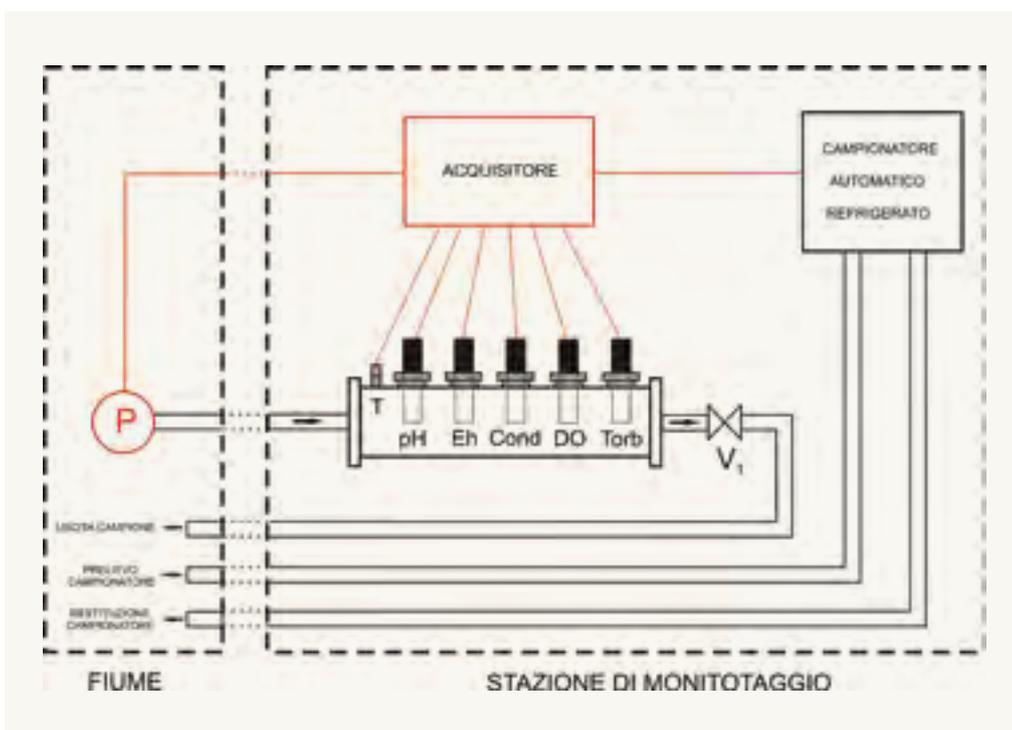


Figura 3.2.1 – Schema esemplificativo di una stazione chimico-fisica dotata di elettrodi separati

alloggiati ermeticamente gli elettrodi di misura. Vi sono due possibilità di garantire il flusso continuo dell'acqua all'interno del circuito idraulico: utilizzando una pompa ad immersione, posizionata direttamente nell'alveo del fiume mediante specifici sistemi di ancoraggio (galleggiante con catena, pozzetto su fondo alveo, tubo forato ancorato all'argine ecc.), oppure lavorando in aspirazione, mediante una pompa posizionata direttamente nella stazione di monitoraggio. In ogni caso, la pompa è sempre operativa e garantisce un flusso attivo 24 ore su 24.

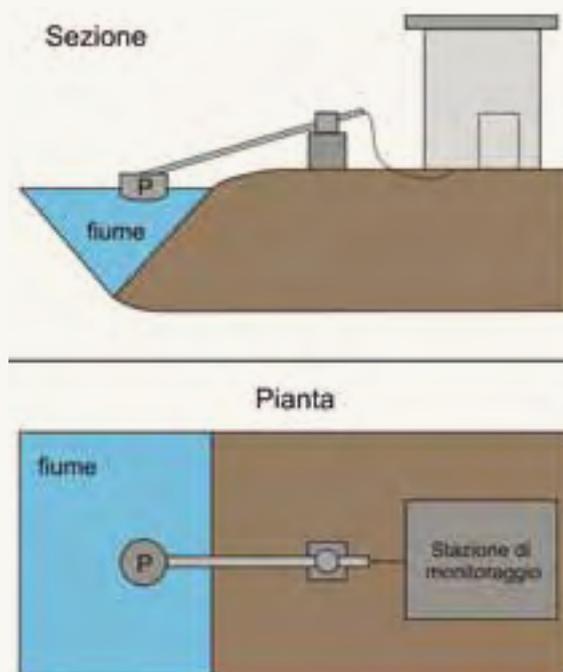
Queste stazioni sono caratterizzate da un sistema di acquisizione che, per esigenze di visualizzazione locale delle serie temporali, non consente la memorizzazione di dati istantanei. Il dato grezzo acquisito con cadenza oraria, pertanto, non è determinato da un valore istantaneo, ma dalla media dei valori riscontrati nei primi 6 minuti dell'ora in esame.

3.2.2 Stazioni munite di sonde multiparametriche

Queste stazioni sono dotate di sonde multiparametriche che racchiudono in

un unico involucro tutte le componenti di misura. Le sonde, a differenza delle stazioni munite di elettrodi separati, comunicano con l'acquisitore attraverso un collegamento seriale, ove tutte le informazioni sono inviate ciclicamente al data-logger attraverso un determinato protocollo di trasmissione. Questa configurazione esclude di fatto la presenza dei trasmettitori, interfacce di configurazione e comunicazione tra gli elettrodi e l'apparato di acquisizione. La calibrazione degli elettrodi avviene instaurando una connessione diretta tra la sonda ed un PC; pertanto, avendo a disposizione un numero di sonde superiore a quelle utilizzate nelle stazioni, le calibrazioni vengono effettuate presso la sede dell'Agenzia: la sonda calibrata viene inserita nella stazione di monitoraggio, ritirando contestualmente quella da calibrare. In questo modo, si evitano tutte le difficoltà legate ai processi di taratura in campo. Di contro, essendo la sonda multiparametrica un sistema di misura unico ed integrato, eventuali guasti alle componenti comuni possono pregiudicare l'affidabilità di tutti i parametri monitorati.

Figura 3.2.2.1 – Sistema di prelievo del campione d'acqua di cui sono dotate alcune stazioni



Le stazioni munite di sonde multiparametriche sono costituite da componenti progettate e realizzate specificamente per il monitoraggio ambientale, dotate di un livello complessivamente superiore di precisione e affidabilità del dato. Tali apparecchiature possono essere ospitate direttamente in carpenterie analoghe a quelle descritte nel paragrafo precedente, oppure in infrastrutture dedicate. In particolare, le cinque stazioni realizzate dalla Regione Umbria nei primi anni '90 e poi cedute in comodato d'uso ad Arpa Umbria (vedere capitolo 1) sono caratterizzate da infrastrutture appositamente realizzate, dotate di bracci mobili di prelievo del campione: questi bracci, sollevabili con martinetti pneumatici, sono in grado di muoversi in ogni direzione, per garantire, in ogni condizione idraulica del corso d'acqua, una posizione ottimale della pompa di prelievo.

La sonda multiparametrica è alloggiata in una cella di misura realizzata in acciaio inox, munita di una lamiera interna di calmierazione. L'afflusso di acqua alla cella è dovuto ad una pompa

ubicata in cima al braccio mobile di prelievo.

La procedura operativa prevede l'accensione della pompa dieci minuti prima della misura, per effettuare un lavaggio accurato della cella; dopo cinque minuti dall'attivazione della pompa, viene alimentata la sonda multiparametrica, per effettuare un corretto warm-up degli elettrodi prima della fase di misura. Terminato il *warm-up*, viene effettuata la misura dei parametri chimico-fisici dell'acqua; il dato memorizzato è costituito dalla media delle determinazioni effettuate dalla sonda negli ultimi 50 secondi del ciclo di misura.

Terminato il ciclo, la pompa viene spenta fino all'attivazione dell'ora successiva. La valvola VI di fig. 3.2.2.2, parzialmente chiusa, evita lo svuotamento istantaneo della cella, affinché vi sia una condizione di umidità perenne sulle parti sensibili degli elettrodi. Tale valvola deve garantire comunque un deflusso minimo d'acqua per evacuare il materiale limoso che, altrimenti, tenderebbe a depositarsi sul fondo della cella.

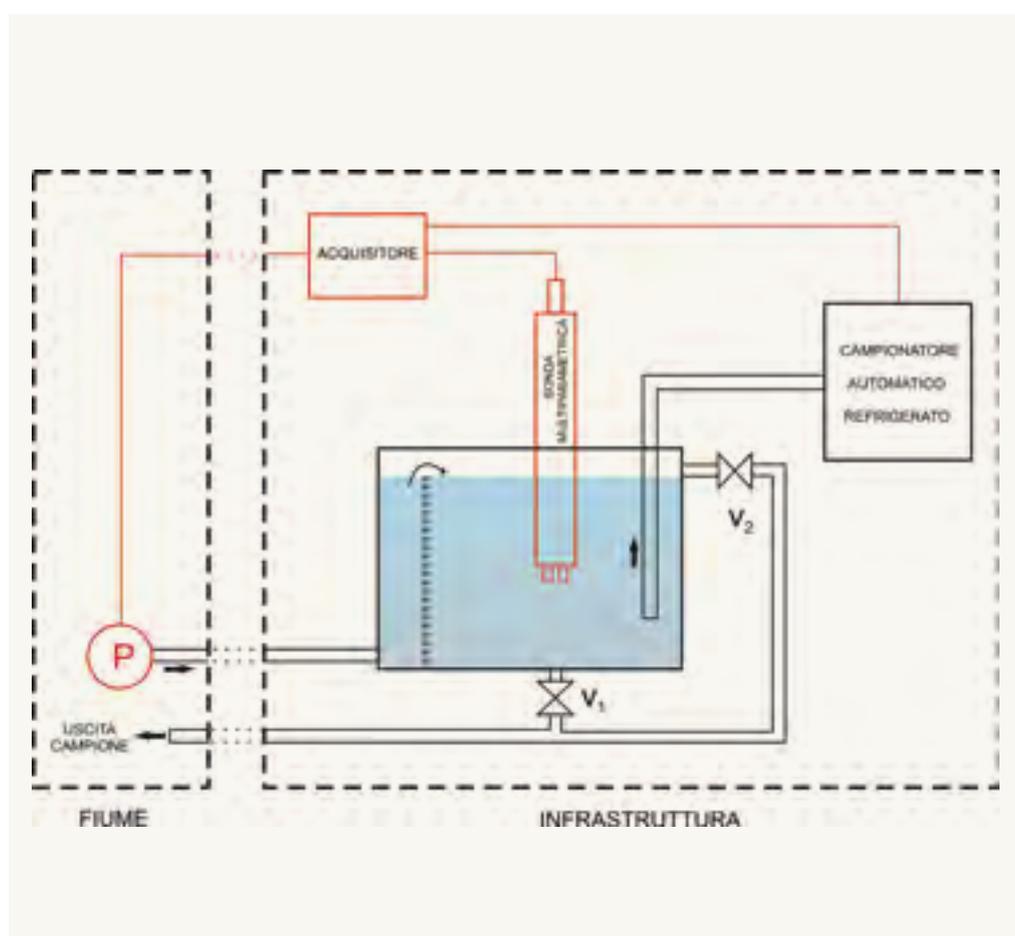


Figura 3.2.2.2 – Schema esemplificativo di una stazione chimico-fisica dotata di sonda multiparametrica

3.3 APPARATI DI MISURA

Le stazioni caratterizzate da elettrodi separati sono, come espresso nel paragrafo 3.2.1, di derivazione industriale.

La temperatura delle acque viene determinata con un termometro a resistenza (RTD), interfacciato direttamente all'acquisitore; vengono utilizzate sonde Pt100 con tecnica di misura a 3 o 4 fili, in classe A. Il principio di funzionamento dei termometri RTD si basa sulla proprietà dei metalli di variare la propria resistenza, in modo più o meno lineare, in funzione della temperatura cui sono sottoposti. Nel campo di linearità, indicando con R_0 la resistenza a 0 °C, la relazione che esprime il rapporto tra resistenza del metallo e temperatura è indicata in figura 3.3.1. Noti i dati di targa, vale a dire la resistenza R_0 e il coefficiente di temperatura (α), per ogni valore di resistenza misurato ai capi del termometro si potrà calcolare la temperatura cui è sottoposto

il metallo. Il platino, largamente utilizzato nei termometri RTD, presenta una buona linearità nel range di temperatura compreso tra -200 e +150 °C. Le sonde Pt100, quindi, sono termometri RTD realizzati in platino, con resistenza a 0 °C (R_0) pari a 100 Ohm.

La precisione di misura del termometro RTD è strettamente legata alla tecnica di misura con la quale si determina la resistenza del metallo (fig. 3.3.2). Vi sono degli elementi di disturbo, costituiti dai cavi di collegamento Pt100-acquisitore, che costituiscono di fatto una resistenza aggiuntiva, posta in serie a quella dell'elemento di misura.

La resistenza del termometro, infatti, viene determinata applicando una corrente nota e misurando, con un voltmetro, la tensione ai capi della resistenza RTD. Adottando la tecnica di misura a due fili, usata comunemente nelle sonde economiche, si misura una tensione ai

Figura 3.3.1 – Relazione esistente nel campo di linearità tra resistenza e temperatura di alcuni metalli (nichel e platino)

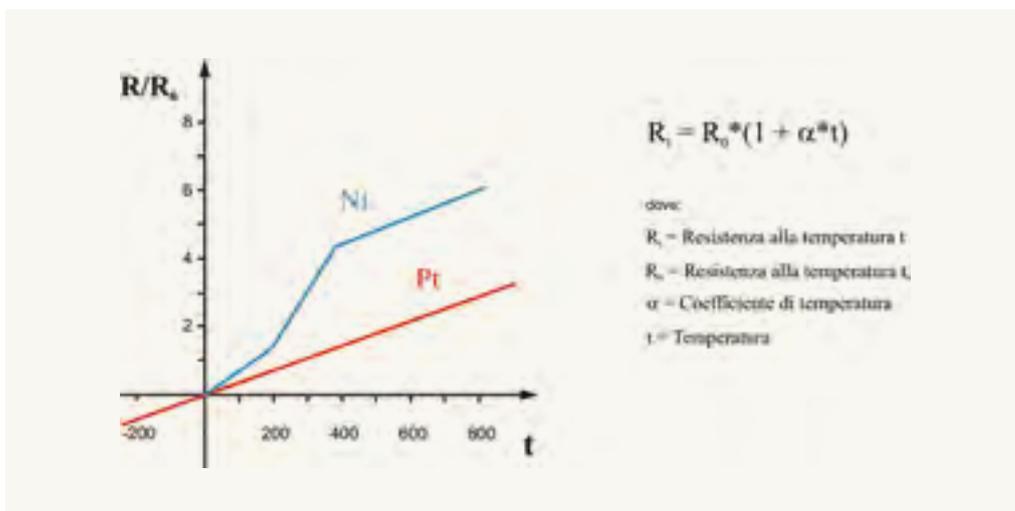
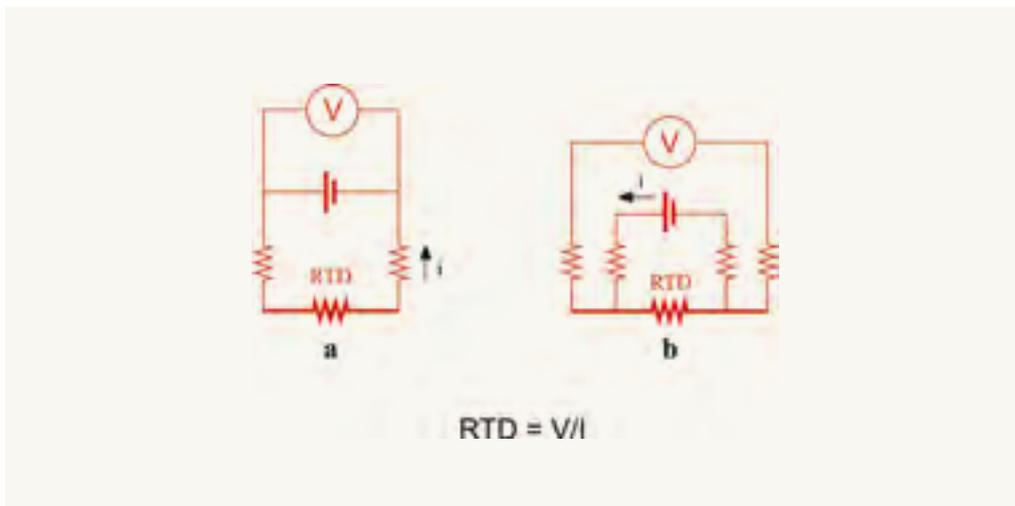


Figura 3.3.2 – Circuito equivalente dei termometri a resistenza RTD. Tecniche di misura a) a due fili b) a quattro fili



capi della resistenza RTD influenzata dalla caduta di potenziale indotta dai cavi di collegamento. Nella tecnica di misura a 4 fili, invece, la tensione misurata dal voltmetro è effettivamente quella presente ai capi della resistenza RTD, in quanto la corrente nota non transita nei cavi utilizzati per il collegamento voltmetrico.

Nelle soluzioni, il trasporto di carica avviene per migrazione ionica. Ogni sostanza che, disciolta in acqua o in altro solvente, si dissocia in ioni, viene chiamata elettrolita. La conducibilità specifica di una qualsiasi soluzione è strettamente legata alla concentrazione dell'elettrolita e alla temperatura, in quanto la mobilità ionica ed il numero di molecole dissociate dipendono dalla temperatura stessa.

Ciò significa che la conducibilità di un campione d'acqua, misurata a diverse temperature, assume valori diversi. Per fornire una misura univoca, indipendente dalla temperatura del sistema, la

conducibilità viene comunemente riferita alla temperatura normalizzata di 25 °C (oppure 20 °C). Per riferire la conducibilità misurata alla temperatura normalizzata si utilizza un parametro, denominato *coefficiente di temperatura*, che dipende dalla concentrazione e dalla composizione della soluzione. Il *coefficiente di temperatura*, in pratica, rappresenta la correzione percentuale da applicare al valore misurato di conducibilità, per ogni grado centigrado esistente tra la temperatura della soluzione e quella normalizzata di riferimento (fig. 3.3.4).

Tale parametro è determinato sperimentalmente, ma si assume che esso, nelle acque superficiali, possa essere considerato, in via approssimativa, pari a 2,1. Nelle stazioni di monitoraggio gestite da Arpa Umbria, i conducimetri utilizzati sono di tipo induttivo, e forniscono direttamente valori di conducibilità specifica riferiti alla temperatura di 25°C, utilizzando un *coefficiente di temperatura* pari a 2,1.

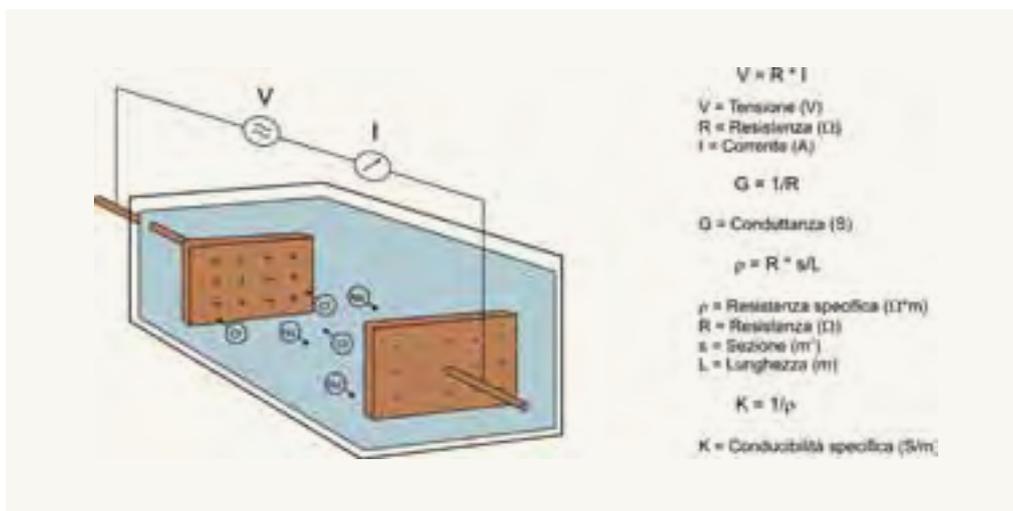


Figura 3.3.3 – Cellula di misura della conducibilità. Applicando una tensione (V) agli elettrodi e misurando la corrente (I) passante nel circuito, si può determinare la conducibilità specifica (K), espressa in S/m

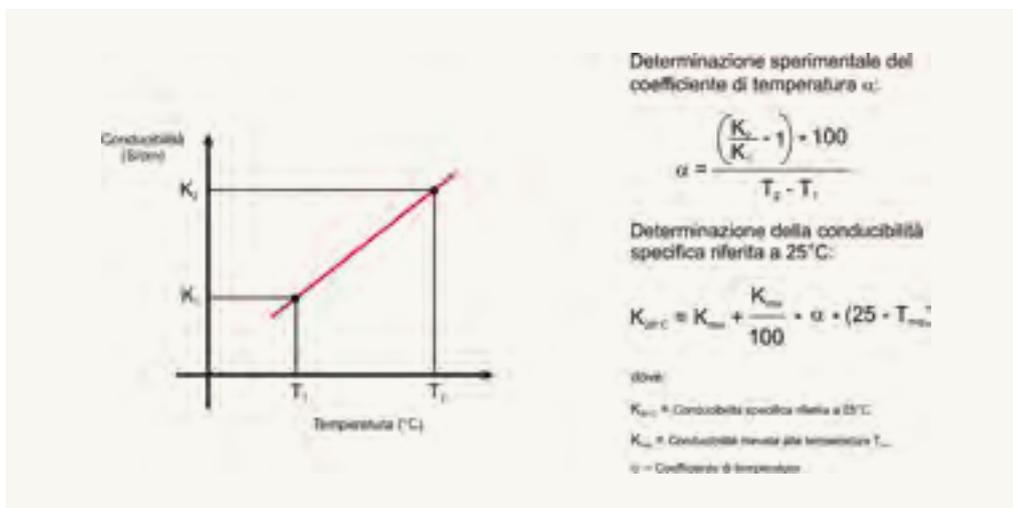


Figura 3.3.4 – Determinazione sperimentale del coefficiente di temperatura

Il pH e il potenziale Redox sono determinati utilizzando elettrodi a vetro di tipo combinato (fig. 3.3.5). Il funzionamento dell'elettrodo a vetro è basato sulla proprietà di alcune membrane di vetro di scambiare ioni Na^+ dei silicati che costituiscono il vetro stesso con ioni idrogeno presenti nella soluzione con cui sono a contatto; quando l'elettrodo viene immerso in una soluzione, esso genera una forza elettromotrice il cui valore è direttamente proporzionale al pH della soluzione stessa.

L'elettrodo combinato per la misura del pH include nello stesso guscio sia l'elettrodo di riferimento che l'elettrodo di misura. Immergendo il bulbo nella soluzione a pH ignoto, l'elettrodo fornisce una f.e.m. proporzionale al valore di pH (fig. 3.3.6); poiché la soluzione interna all'elettrodo di misura è a pH 7, se l'elettrodo viene immerso in una soluzione a pH 7 la f.e.m. generata dovrebbe essere nulla. In realtà, anche se immerso in una soluzione a pH 7, l'elettrodo può fornire una f.e.m. diversa da 0 per impurità nel

Figura 3.3.5 – Elettrodo a vetro per la misura del pH

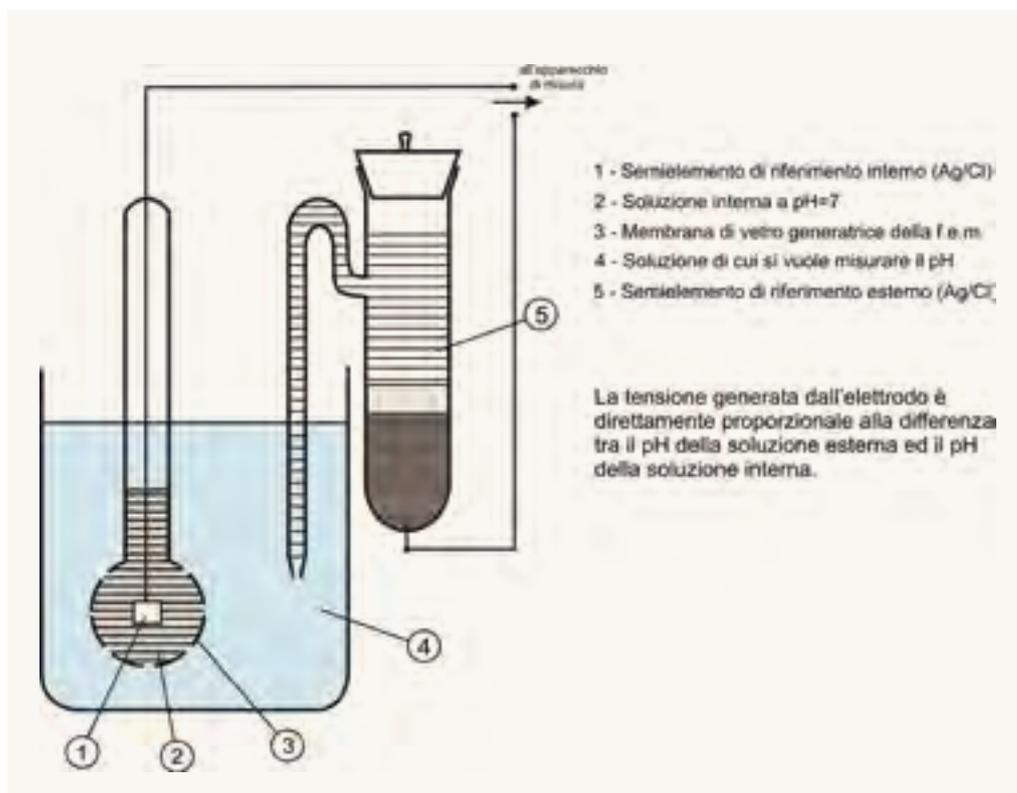
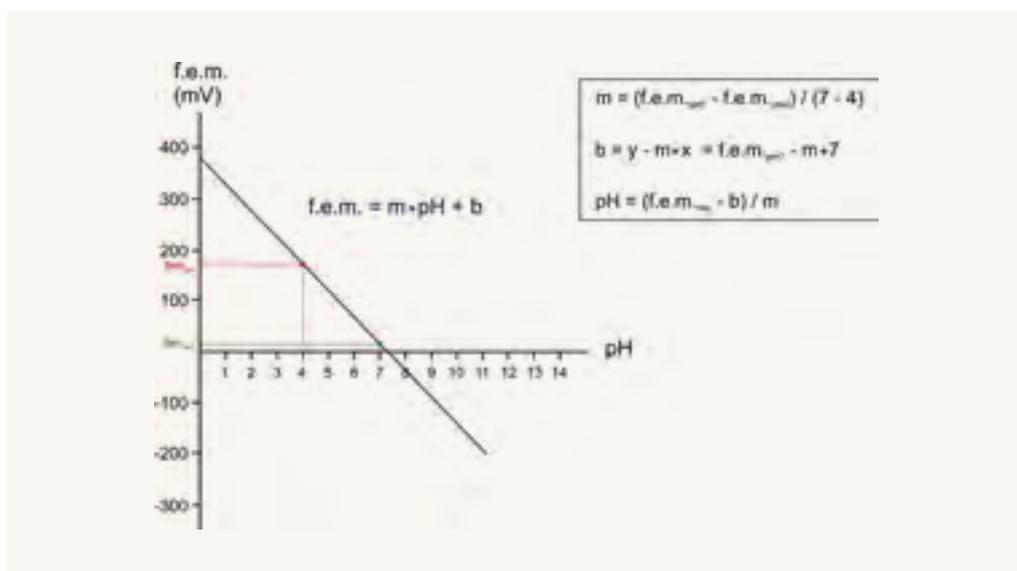


Figura 3.3.6 – Relazione lineare tra forza elettromotrice (f.e.m.) generata dall'elettrodo a vetro e pH



vetro, asimmetria della superficie interna e esterna del vetro, ed altre imperfezioni di carattere costruttivo, che rendono l'elettrodo reale diverso da uno "teorico".

La relazione tra f.e.m. generata dall'elettrodo e il pH è di tipo lineare ed è strettamente legata alla temperatura. Ne consegue che esistono un numero infinito di rette di calibrazione (che rappresentano la relazione tra f.e.m. e pH), ognuna relativa ad una temperatura del contesto di misura, tutte passanti per un punto, detto *isoelettrico* (fig. 3.3.7). Teoricamente, il punto isoelettrico dovrebbe giacere sull'asse delle ascisse, perché la f.e.m. generata in una soluzione a pH 7 dovrebbe essere nulla.

In realtà, per i motivi visti in precedenza, il punto isoelettrico giace spesso lungo la verticale passante per l'ascissa a pH 7. Lo "scostamento" del punto isoelettrico dalla sua posizione "teorica" fornisce di fatto un indicatore della qualità costruttiva dell'elettrodo: se in fase di calibrazione, operando con una soluzione a pH7, un elettrodo nuovo genera una f.e.m. prossima a 0 mV, con uno scostamento di pochi mV in positivo o in negativo, esso sarà sicuramente di ottima qualità, realizzato con accorgimenti che ne rendono il comportamento simile a quello teorico. Di contro, se un elettrodo nuovo, operando

con una soluzione a pH7, risponde con una f.e.m. marcatamente diversa da 0 mV, esso sarà di qualità inferiore.

Per determinare il pH di una soluzione, quindi, si misura la f.e.m. generata dall'elettrodo a vetro e, nota la retta di calibrazione, si risale successivamente al pH. Poiché il valore del pH è strettamente legato alla temperatura, occorre prestare particolare attenzione alla differenza di temperatura esistente tra le soluzioni di calibrazione (sistema di calibrazione) e il liquido monitorato (sistema di misura). In fase di calibrazione, operando con soluzioni certificate aventi temperatura diversa dal liquido che si vuole monitorare in continuo, si otterranno i parametri (coefficiente angolare e intercetta) della retta relativa alla temperatura di calibrazione e non di quella relativa alla temperatura del sistema di misura; di conseguenza, le misure di pH saranno affette da un errore proporzionale alla differenza di temperatura tra i due sistemi e allo scostamento del pH misurato rispetto al valore 7.

Per evitare il problema, sarebbe necessario effettuare le calibrazioni utilizzando soluzioni certificate poste alla stessa temperatura dell'acqua monitorata. Tuttavia, qualora tale accorgimento non sia praticabile, si possono adottare delle formule correttive per determinare il valore di

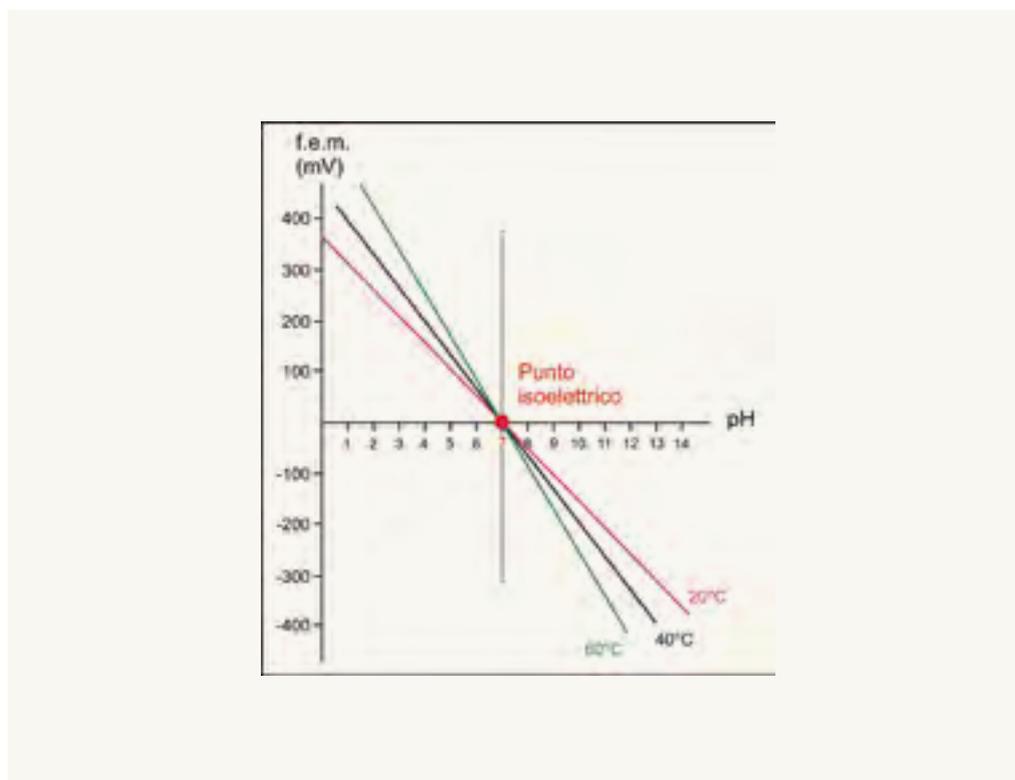


Figura 3.3.7 – Punto isoelettrico di un elettrodo a vetro per la misura del pH

pH misurato, pur avendo a disposizione i parametri di una retta di calibrazione relativa ad un'altra temperatura.

I sistemi attuali per la misura continua del pH, a differenza degli elettrodi da laboratorio, sono provvisti di un'apparecchiatura elettronica (trasmettitore) che trasforma automaticamente la f.e.m. generata dall'elettrodo nel corretto valore di pH, operando le dovute correzioni di temperatura, grazie ad una sonda Pt100 integrata nell'elettrodo a vetro.

Il sensore per il monitoraggio della torbidità misura la quantità di particelle in sospensione, che non si dissociano in ioni, come microorganismi, silice, fanghi, sostanze organiche ecc.. In genere, questi dispositivi utilizzano un principio di

misura di tipo ottico. Uno di questi metodi, definito *scattered light 90°*, consiste nel misurare la luce diffusa dalle particelle in sospensione ad un angolo di 90° rispetto al diodo di emissione, che è direttamente proporzionale alla torbidità (fig. 3.3.8).

In pratica, vi è un diodo che emette luce nel campo dell'infrarosso ed un fotodiodo posto in una direzione specifica rispetto al primo in grado di quantificare la luce diffusa dalle particelle, proporzionale alla torbidità.

La misura di torbidità è piuttosto delicata, a partire dall'installazione dell'elettrodo, che deve rispettare condizioni di posizionamento piuttosto severe. Anche nella fase di utilizzo ordinario, vi sono problemi legati ai depositi che si possono

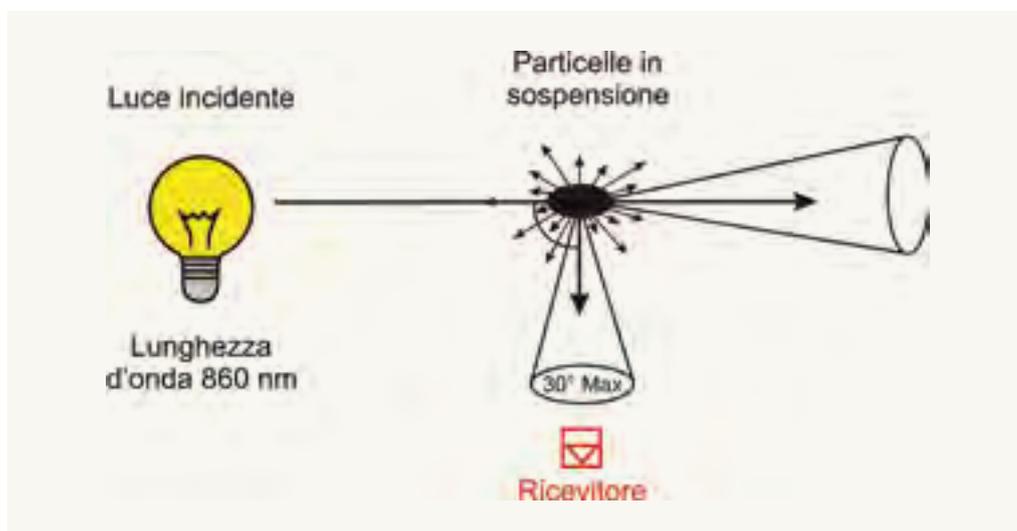
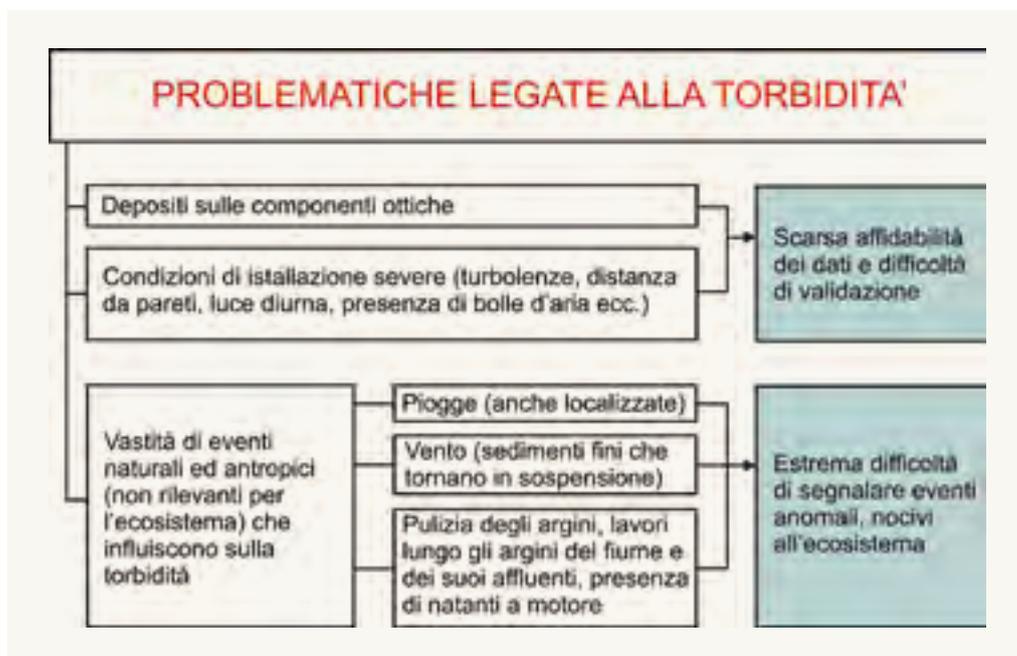


Figura 3.3.8 – Principio di misura della torbidità secondo il metodo Scattered light 90°

Figura 3.3.9 – Difficoltà riscontrate nella misura continua di torbidità delle acque superficiali



creare sulle componenti ottiche, falsando la misura. Per minimizzare questo fenomeno, i torbidimetri sono dotati di spazzole di pulizia che possono essere attivate ad intervalli regolari.

L'ossigeno disciolto viene determinato utilizzando elettrodi di nuova concezione, a chemiluminescenza. Nel classico elettrodo polarografico, l'ossigeno disciolto in soluzione passa attraverso una membrana e si riduce al catodo polarizzato di una cella galvanica, generando una corrente proporzionale all'attività dell'ossigeno disciolto stesso. I sensori ottici per la determinazione dell'ossigeno disciolto differiscono profondamente da quelli tradizionali. La tecnologia interna dipende dalla casa costruttrice. Alcuni di essi sono dotati di un led blu e di un cap rivestito di un materiale luminescente: la luce blu emessa dal led colpisce la sostanza luminescente sulla superficie del cap; tale sostanza si eccita e, tornando allo stato normale, emette luce rossa. La luce rossa viene percepita da un fotodiiodo; inoltre, viene misurato il tempo necessa-

rio al ritorno allo stato normale. Tanto maggiore è la concentrazione di ossigeno, tanto minori sono la luce rossa rilasciata dal sensore e il tempo necessario alla sostanza luminescente per tornare allo stato normale.

Al contrario dei vecchi elettrodi elettrochimici, il sensore LDO non necessita di manutenzione, né di tarature. Occorre solo evitare che il sensore non risulti ricoperto da uno strato di sporcizia che consumi ossigeno e sostituire il cap secondo le tempistiche prescritte dal costruttore.

Infine, i vecchi elettrodi esigevano un certo flusso del campione, in quanto consumavano ossigeno nella fase di misura. Tale esigenza è venuta meno con i nuovi elettrodi a funzionamento ottico

Questa nuova tecnologia ha drasticamente ridotto le fasi di manutenzione e taratura dell'elettrodo e, nel contempo, ha di fatto eliminato il problema dell'intasamento della membrana, particolarmente sentito in acque fluviali, ove è quasi sempre presente materiale fine in sospensione.

Tabella 3.3.1 – Caratteristiche dei sensori chimico-fisici installati nelle stazioni con sonda multiparametrica e nelle stazioni con elettrodi separati

Sonda multiparametrica	
Sensore temperatura	Termistore, range misura -5 / 50°C, risoluzione 0,01 °C, accuratezza ± 0,10 °C.
Sensore conducibilità specifica	Cella a 4 elettrodi contrapposti in grafite, range 0/100 mS/cm, precisione ± 0,5% della misura, compensazione automatica a 25 °C.
Sensore pH	Elettrodo a vetro con riferimento separato, range 0/14 unità pH, accuratezza ± 0,2 unità pH, risoluzione 0,01 unità pH, compensazione automatica della temperatura.
Sensore ossigeno disciolto	Elettrodo a chemiluminescenza Hach-Lange, range 0-20 mg/l, accuratezza 0,1 mg/l, risoluzione 0,01 mg/l, compensazione automatica per temperatura e salinità.
Sensore Redox	Elettrodo a vetro con riferimento separato, range -999 / +999 mV, accuratezza ± 20 mV, risoluzione 1 mV.
Sensore torbidità	Sensore nefelometrico (standard ISO 7027) di tipo autopulente. Range 0-3000 NTU. Accuratezza ± 3 % nel range 100-400 NTU. Risoluzione 0-1 NTU.
Elettrodi separati	
Sensore temperatura	Pt100 3/4 fili - Classe A.
Sensore conducibilità specifica	Elettrodo induttivo con campo di misura: 0-2000 µS/cm e costante di cella 1,98 cm-1. Precisione di misura ± 5 µS/cm del valore misurato. Sensore di temperatura integrato.
Sensore pH e Redox	Elettrodi a vetro combinati. Campo di misura pH: 0-14. Elettrodo di riferimento a giunzione doppia KNO3 e KCl e AgCl. Sensore di temperatura integrato.
Sensore ossigeno disciolto	Elettrodo a chemiluminescenza. Campo di misura 0,05 - 20,00 mg/l. Risoluzione 0,01 mg/l. Sensore di temperatura integrato.
Sensore torbidità	Elettrodo nefelometrico a diffusione di luce a 90° NIR. Campo di misura 0-9999 FNU, lunghezza d'onda 880 nm. Sensore di temperatura integrato.

3.4 APPARATI DI ACQUISIZIONE

Le stazioni sono dotate di due tipologie di acquisitori. Il primo modello, denominato *Memo-graph*, prodotto dalla Ditta *Endress + Hauser*, dotato di otto canali analogici, otto canali digitali e cinque relais di attuazione, è installato nelle stazioni dotate di elettrodi separati. Il secondo modello, realizzato da *Digiteco*, dotato di quattro canali analogici, è munito anche di ingresso seriale per la connessione delle sonde multiparametriche. Gli acquisitori sono dotati di una memoria RAM che consente di stoccare dati per un periodo minimo di 30 giorni nella configurazione prevista da Arpa Umbria. Entrambi accettano segnali standard in ingresso in corrente (4-20 e 0-20 mA), in tensione (0-1 V), diretti per termometri RTD. Gli acquisitori possono essere configurati impostando limiti alti e bassi e memorizzare sempre o al superamento delle soglie impostate; comunicano attraverso interfaccia seriale RS232, con possibilità di connessione diretta a PC o al modem GSM. Gli intervalli di acquisizione coprono il range 1 sec – 24 h, con possibilità di registrare valori istantanei oppure valori minimi, medi e massimi all'interno dell'intervallo di acquisizione impostato.

Solo il modello *Memo-graph* è corredato di display per la visualizzazione in loco dei parametri monitorati.

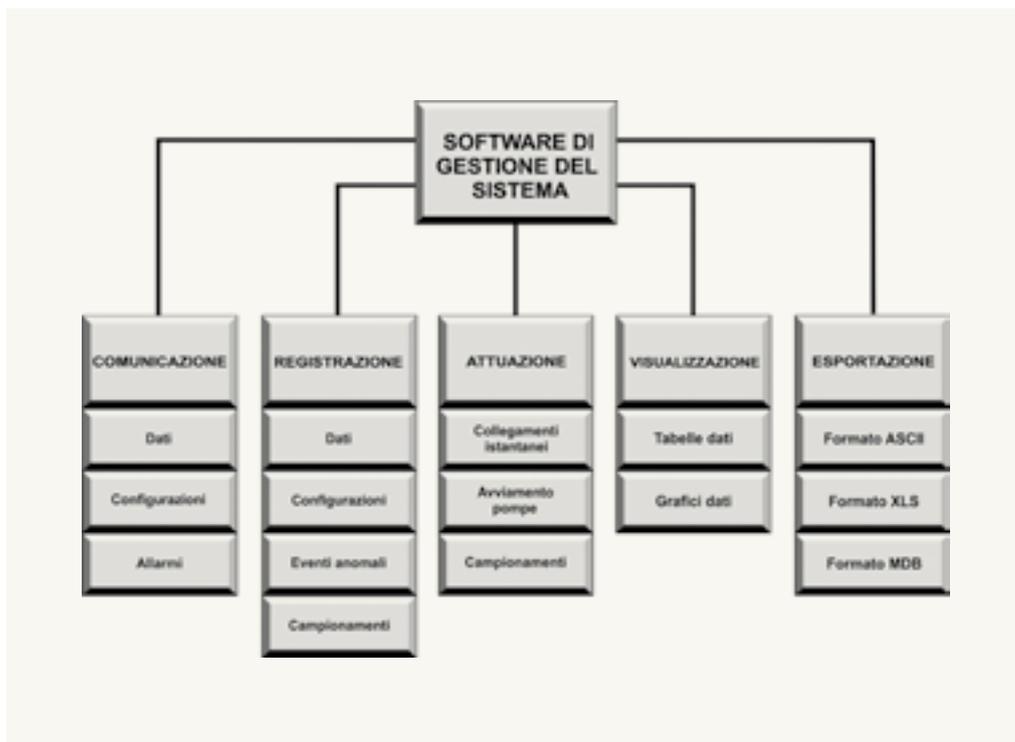
3.5 SOFTWARE DI GESTIONE DEL SISTEMA

I software di gestione del sistema risiedono nel server di acquisizione dell'Agenzia, dotato di una linea telefonica e di un modem GSM in ingresso. Gli stessi programmi, installati nei PC desktop collegati in rete, consentono di accedere al sistema come client dalle varie postazioni di lavoro.

Il primo software, denominato *ReadWin 2000*, realizzato da *Endress + Hauser*, gestisce le stazioni dotate di elettrodi separati, ove sono installati acquisitori *Memo-graph* realizzati dalla stessa azienda. Il secondo software, denominato *Eco-data*, realizzato da *Digiteco*, gestisce le stazioni dotate di sonda multiparametrica. I due programmi differiscono significativamente in alcuni aspetti, quali l'interfaccia utente e le procedure di comunicazione; tuttavia, hanno in comune numerose funzioni di gestione delle unità remote.

I software consentono di comunicare direttamente con tutte le stazioni dislocate nel territorio. Si possono leggere i dati registrati nella memoria data-logger e modificare in remoto le configurazioni delle stazioni (cadenza di acquisizione, ora, data, parametri per la comunicazione seriale, calcoli statistici, unità di misura, valori di fondo scala, filtri, soglie, attivazione di relais, integrazioni ecc.). Si possono impostare delle soglie minime e/o massime per ogni grandezza monito-

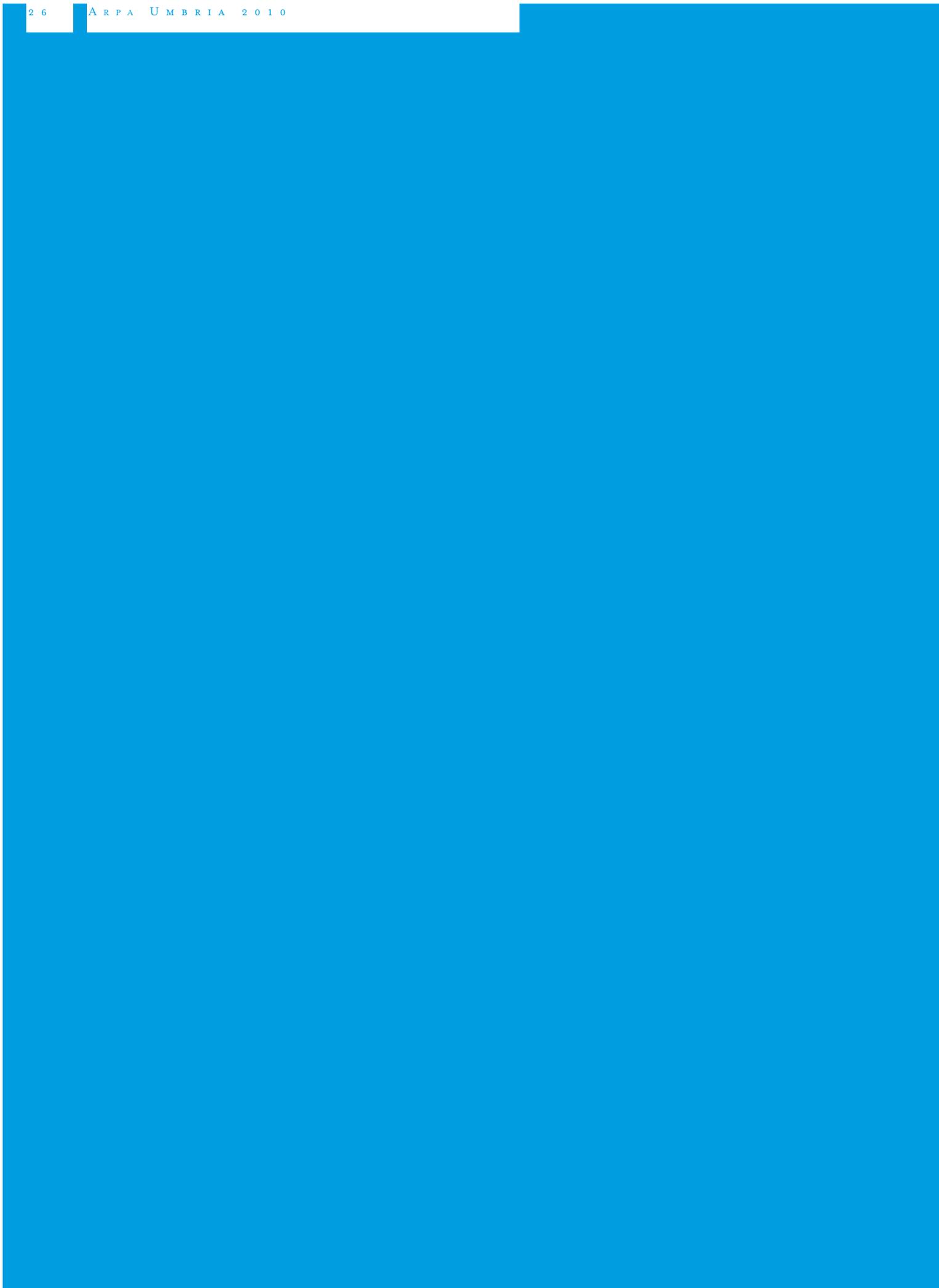
Figura 3.5.1 – Funzioni principali del software di gestione del sistema



rata, al di sotto o al di sopra delle quali la stazione può inviare un messaggio di allarme ad uno o più numeri telefonici prestabiliti. I software sono dotati di specifici database in cui sono memorizzati i dati grezzi, le configurazioni delle singole stazioni e gli eventi anomali registrati nel funzionamento ordinario delle unità remote, come la mancanza e il ritorno della tensione di rete. I dati grezzi acquisiti possono essere visualizzati in forma grafica e in forma tabulare, scegliendo l'intervallo di tempo da rappresentare.

Infine, i dati possono essere esportati nei formati più comuni. Questa possibilità è indispensabile nella fase di validazione e archiviazione definitiva nella banca dati dell'Agenzia.

I software consentono di impostare una procedura automatica di lettura dei dati immagazzinati nella memoria delle stazioni che compongono la rete, che avviene solitamente nelle ore notturne, quando la rete cellulare gestisce un carico limitato di utenze.



4. Procedure di validazione e diffusione dei dati

Il dato grezzo acquisito dal sistema, prima di essere utilizzato per qualsiasi tipo di elaborazione, deve essere opportunamente filtrato e trattato. Le procedure di validazione consentono di epurare il dato grezzo dei disturbi temporanei che ne pregiudicano la validità

Le procedure di validazione dei dati possono essere distinte in due fasi: la prima fase è costituita da tutte le operazioni periodiche di manutenzione ordinaria effettuate in campo, volte alla verifica del corretto funzionamento delle apparecchiature di monitoraggio, e alle tarature periodiche degli elettrodi; la seconda fase consiste in una procedura di controllo delle serie temporali che, a partire dai dati "grezzi", permette di ottenere dati esenti da errori, divulgabili al pubblico.

4.1 TARATURE

La taratura degli apparati di misura costituisce un passo fondamentale nell'acquisizione di dati affidabili. Le operazioni di taratura possono essere effettuate direttamente in campo, con maggiori difficoltà da parte dell'operatore, oppure presso la sede dell'agenzia. Ovviamente, il contesto in cui vengono effettuate le tarature, come specificato nei paragrafi 3.2.1. e 3.2.2, è strettamente legato alla conformazione delle stazioni di monitoraggio.

Gli intervalli temporali di taratura variano anch'essi in funzione della tipologia degli apparati di misura: nelle sonde multiparametriche, per praticità, tutti gli elettrodi sono calibrati con cadenza mensile, con un margine di tolleranza di 15 giorni; nelle stazioni con elettrodi separati, l'intervallo di taratura dipende dal tipo di elettrodo. Le tarature in campo presentano difficoltà logistiche e pratiche non trascurabili; quindi, si è

stabilito di intervenire secondo le ampie scadenze previste dall'azienda produttrice, vale a dire 30 giorni per il pH e 90 giorni per conducibilità e potenziale redox. Non è prevista una taratura periodica degli elettrodi per la misura della torbidità e dell'O.D..

Per verificare il corretto funzionamento delle sonde Pt100 per il monitoraggio della temperatura, si provvede annualmente ad una misura comparativa con un termometro tarato e certificato.

4.2 VALIDAZIONE SETTIMANALE DEI DATI

La seconda fase delle procedure di validazione, effettuata con cadenza settimanale, consiste nell'osservazione dei dati e nella decisione, da parte del personale tecnico, della regolarità e diffusibilità degli stessi. Occorre precisare che i data-logger sono stati programmati per acquisire un dato istantaneo ogni ora; tuttavia, come illustrato nei paragrafi precedenti, il dato orario non deriva da una reale misura istantanea, ma da una media di letture effettuate in 50 secondi o in 6 minuti, a seconda della tipologia di stazione. Questa impostazione, di carattere strutturale, non può essere modificata.

La prima parte del processo consiste nell'esportazione dei dati grezzi dal database dei software di gestione, in formato testo. I dati provenienti dalle stazioni con elettrodi separati vengono esportati in files costituiti da 10 valori per ogni ora, ognuno dei quali rappresenta la media determinata di 6 minuti in 6 minuti. Di

conseguenza, questi files devono essere pre-elaborati con un software specifico, realizzato in visual basic dal Servizio Reti Monitoraggio Acque, che riscrive un file con la stessa struttura di quello di partenza, prendendo solo le medie dei primi 6 minuti di ogni ora. In questo modo, si ottiene una serie storica di dati orari nella quale il valore orario è rappresentato dalla media delle letture effettuate nei primi 6 minuti.

I dati provenienti dalle stazioni dotate di sonde multiparametriche, invece, non devono essere processati, in quanto costituiti da un singolo valore orario, dato dalla media delle letture nei primi 50 secondi della stessa ora.

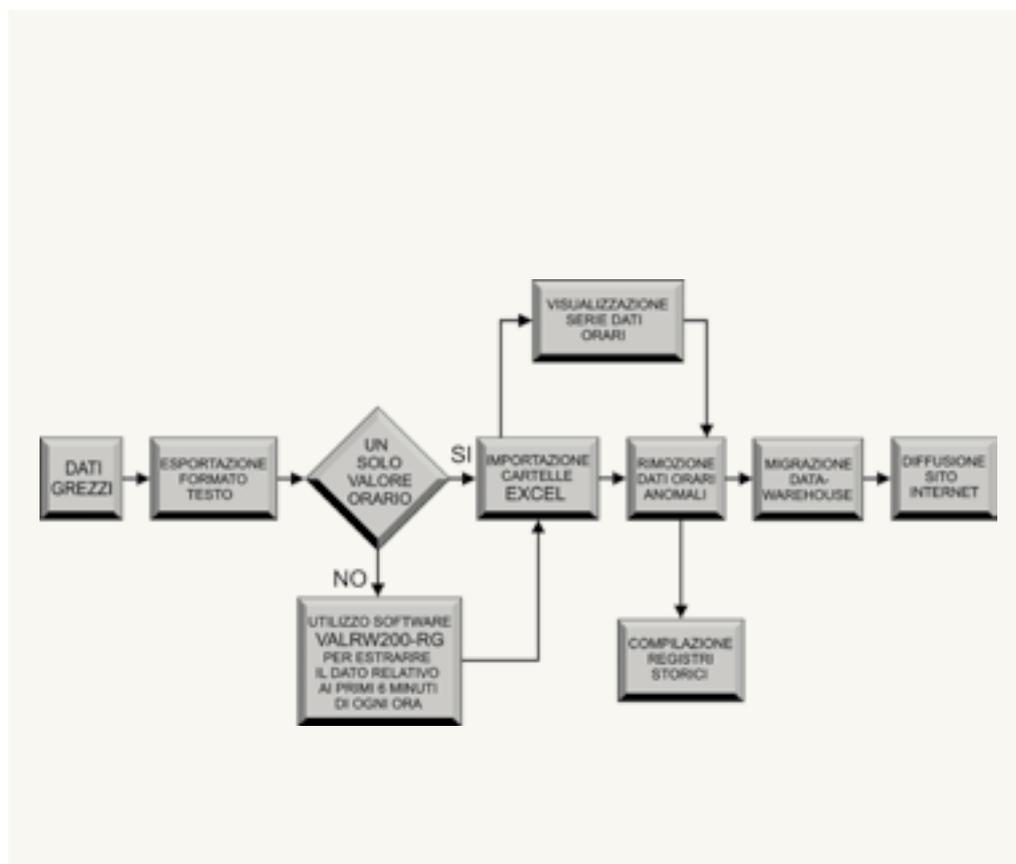
I dati, dopo essere esportati, vengono caricati in apposite cartelle di excel, dove subiscono il vero processo di validazione numerica. Tale processo consiste nell'osservazione dei grafici relativi alle serie temporali, per verificare che non vi siano dati errati. In questo processo, effettuato con grande attenzione, occorre distinguere i dati riconducibili ad eventi anomali (piogge, rilasci volontari o involontari di sostanze inquinanti, ecc.) da quelli riferibili ad errori di carattere strumentale. Questo tipo di controllo non può prescindere

dall'osservazione congiunta dei vari parametri, le cui variazioni concomitanti possono fornire valide informazioni sull'evento perturbante (vedere capitolo 5).

Le serie di dati affette da errori strumentali di qualsivoglia natura (malfunzionamenti degli elettrodi, mancanza di tensione di rete, arresto pompe di prelievo, ecc.), privi di una corrispondenza reale con le caratteristiche chimico fisiche del corso d'acqua monitorato, vengono di fatto escluse. L'estromissione dei dati affetti da errore viene accuratamente segnalata in appositi registri informatizzati dove, per ogni singola stazione, viene annotato l'inizio e la fine della serie non validabile, i parametri affetti dall'errore e il motivo plausibile dell'esclusione. Questi documenti, uniti ai registri di manutenzione delle singole stazioni e agli archivi dei dati grezzi, costituiscono la memoria "storica" della rete di monitoraggio gestita dal Servizio Reti Monitoraggio Acque di Arpa Umbria.

I dati vengono diffusi in forma oraria, senza subire ulteriori elaborazioni. Si ritiene utile ed indispensabile fornire al pubblico una serie storica di dettaglio, in grado di evidenziare variazioni nel breve termine (variazioni notte-giorno).

Figura 4.2.1 – Procedura di validazione dei dati relativi alla rete di monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali, con la quale si determinano i dati da diffondere con cadenza settimanale



Tuttavia, attraverso il sistema di diffusione dei dati mediante il sito internet dell’Agenzia, l’utente può visualizzare le serie storiche sia in forma di valori orari, sia in forma di medie giornaliere, in base alle proprie esigenze.

4.3 INFORMAZIONI AGGIUNTIVE

La taratura degli elettrodi può dar luogo a “gradini” nelle serie di dati, non imputabili a variazioni effettive dei parametri monitorati. Talvolta, anche la semplice operazione di pulizia delle celle di misura e del corpo degli elettrodi, effettuata con cadenza quindicinale, può portare un piccolo “disturbo” della misura, creando piccole discontinuità nelle serie di dati.

Per evitare errori di interpretazione da parte degli utenti, le serie numeriche diffuse attraverso il sito internet dell’Agenzia sono corredate di linee verticali colorate che indicano eventi esterni al sistema di misura in grado di alterare i parametri monitorati: le operazioni di pulizia sono contrassegnate con una riga verticale blu, le tarature con una linea verticale rossa.

Il Servizio Reti Monitoraggio Acque garantisce l’attendibilità dei dati attraverso verifiche periodiche dei dispositivi di monitoraggio e attraverso le procedure di validazio-

ne citate nel paragrafo precedente.

La completa attendibilità del dato può essere accertata soltanto dopo l’esito delle verifiche periodiche effettuate in campo, che avvengono con periodicità maggiore rispetto al processo di validazione e aggiornamento settimanale dei dati sul sito internet. Pertanto, potrebbero essere diffusi dati validati settimanalmente che, in seguito alle verifiche periodiche, non risultano conformi alle tolleranze di errore previste. Vi è quindi la possibilità che il Servizio Reti Monitoraggio Acque possa intervenire sui dati già diffusi attraverso il sito internet, modificandoli e/o invalidandoli in funzione di quanto sopra esposto. Questi dati passibili di modifica, che costituiscono la parte più recente della serie numerica, sono evidenziati con una banda colorata in arancio. Tale banda viene rimossa quando si ha la certezza della validità dei dati, che non potranno più essere invalidati e/o modificati.

Nei casi in cui si debba necessariamente intervenire sui dati diffusi, il Servizio provvede a segnalare attraverso il sito internet le modifiche effettuate e il motivo di tale azione.



Figura 4.3.1 – Visualizzazione di una serie temporale (valori orari di conducibilità) attraverso il sito internet dell’Agenzia. Le linee verticali rosse indicano il momento in cui è stata effettuata la taratura dell’elettrodo; le linee verticali blu indicano il momento in cui è stata effettuata la pulizia della cella di misura e del corpo sensore. La banda arancione contrassegna la finestra di dati già diffusi mediante il sito che potrebbero essere passibili di modifiche

5. Analisi e interpretazione dei dati

Il punto di forza del monitoraggio chimico-fisico delle acque è, nel contempo, il suo punto debole: pochi parametri che forniscono indicazioni complessive e generiche sul sistema le quali, in assenza di informazioni dirette e di dettaglio, necessitano di una corretta chiave di lettura

Le stazioni chimico-fisiche forniscono informazioni importanti sullo stato qualitativo delle acque. Misurando un numero ridotto di parametri "sintetici" si ottengono valide informazioni sullo stato qualitativo complessivo delle acque; i dati ottenuti, come tutte le informazioni di carattere generico, implicano necessariamente una "lettura" che non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche naturali nel corso d'acqua e dalle pressioni antropiche che gravano su di esso. Ne consegue che il punto di forza del monitoraggio chimico-fisico delle acque è nel contempo il suo punto debole: pochi parametri che forniscono indicazioni complessive e generiche sul sistema le quali, in assenza di informazioni dirette e di dettaglio, necessitano di una corretta interpretazione.

L'interpretazione dei dati presenta numerose difficoltà, dovute al fatto che il fiume, come tutti gli ambienti naturali, presenta variazioni sistemiche legate alla vita degli organismi animali e vegetali che lo popolano e agli eventi naturali che si ripercuotono su di esso (piogge, siccità ecc.). L'attività biologica del fiume genera variazioni sul breve e sul lungo termine, che si traducono in oscillazioni giornaliere e stagionali dei parametri monitorati; ad esse si sommano variazioni dovute ad eventi perturbanti di origine naturale, riconducibili principalmente alle precipitazioni atmosferiche sul bacino imbrifero. La situazione può essere ulteriormente complicata da azioni antropiche

esercitate sul regime idraulico del fiume, che possono indurre variazioni di carattere chimico-fisico nelle acque (gestione di centrali idroelettriche, operazioni di svaso/invaso di bacini artificiali, ecc.), e dalle normali operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'alveo e degli argini. Infine, vi sono gli eventi anomali che possono influenzare negativamente lo stato ambientale del corso d'acqua, riconducibili a sversamenti accidentali o dolosi di sostanze inquinanti.

La distinzione di eventi naturali ed antropici, in un contesto così complesso, è tutt'altro che scontata e necessita di informazioni aggiuntive. Innanzitutto, come specificato in precedenza, è necessario conoscere le caratteristiche naturali del corso d'acqua; un fiume che trae origine da un'area sorgiva, popolato da una flora acquatica particolarmente rigogliosa, con un corso naturale ed un habitat incontaminato presenterà caratteristiche chimico-fisiche delle acque e variazioni naturali dei parametri monitorati ben diversi da quelli riscontrabili in un fiume con origine superficiale delle acque, distinto da lunghi tratti canalizzati e carente di vegetazione spontanea e fasce riparie.

Oltre alle caratteristiche naturali, è particolarmente importante conoscere il contesto "antropico" in cui è inserito il corso d'acqua, per sapere quale tipo di perturbazione esterna al sistema può influire sulla qualità delle acque. Sarà necessario conoscere i punti di potenziale

immissione di sostanze inquinanti (scol-matori della rete fognaria, condotte di rilascio di depuratori civili ed industriali, posizione di aziende potenzialmente inquinanti, impianti consortili di trattamento di liquami zootecnici, allevamenti ecc.), la tipologia di inquinanti rilasciabili, la distanza tra i potenziali punti di rilascio e la stazione chimico-fisica di rilevamento.

Queste informazioni sono indispensabili nel processo di osservazione ed analisi delle serie temporali registrate dalle stazioni di monitoraggio, ove si tenta di "distinguere" il dato di base dagli eventi aggiuntivi, di tipo naturale ed antropico, che ad esso si sovrappongono. Il passo successivo consiste nel discernere, in seno agli eventi anomali riscontrati, gli episodi di origine antropica e, in particolare, quelli riconducibili al rilascio di sostanze inquinanti. Ovviamente, sarà possibile identificare solo eventi macroscopici, in quanto i fiumi monitorati, di importanza regionale, sono caratterizzati da portate rilevanti che danno luogo ad elevati rapporti di diluizione.

5.1 INCREMENTO DELLE INFORMAZIONI DESUMIBILI DALLE STAZIONI CHIMICO-FISICHE

Le stazioni chimico-fisiche sono caratterizzate da un livello di informazione generico e complessivo sulla qualità delle acque, legato alla tipologia e al numero di parametri monitorati. Per incrementare le informazioni deducibili dalle stazioni si può procedere in alcune direzioni. Innanzitutto, scegliere la corretta cadenza di acquisizione; ciò consiste nello "stringere" quanto possibile la maglia temporale, adottando una frequenza piuttosto serrata. Occorre premettere che l'intervallo di campionamento determina la massima frequenza osservabile del fenomeno (f_{max}). La relazione tra intervallo di campionamento e f_{max} è dato dal teorema di campionamento di Nyquist (Massart et al., 1988):

$$f_{max} = \frac{1}{2\Delta t}$$

dove Δt è l'intervallo di campionamento. La frequenza di campionamento deve essere quindi determinata in funzione degli obiettivi che l'indagine si pone. Se ad esempio si vuole rilevare una variazione notte/giorno (periodo 24 ore) la frequen-

za di campionamento deve essere almeno di un dato ogni 12 ore. Ovviamente, lo scopo del monitoraggio continuo non può arrestarsi allo studio delle caratteristiche naturali del sistema, che potrebbero essere descritte utilizzando una frequenza di campionamento molto blanda. Volendo spingere il livello di informazione sino al riconoscimento di eventi anomali di breve entità, sarà necessario adottare una cadenza di acquisizione ben più serrata.

Il tempo di permanenza di un fenomeno inquinante, rilevabile in un punto fisso del corso d'acqua, dipende da vari fattori, quali la durata del rilascio, la distanza dal punto di campionamento, la velocità di movimento dell'acqua, la tipologia di inquinante. Naturalmente, al crescere della distanza tra punto di rilascio dell'inquinante e punto di campionamento si avrà una "percezione" dell'evento più blanda e prolungata nel tempo. In base all'esperienza maturata nella gestione della rete, si è potuto constatare che la cadenza di acquisizione oraria consente di "seguire" l'evoluzione di una vasta tipologia di fenomeni di breve entità, sia di origine naturale, sia di origine antropica, con sufficiente livello di dettaglio.

Lavorando sulla cadenza di acquisizione si può quindi migliorare la percezione degli eventi anomali e seguirne nel tempo l'andamento; tuttavia, il serraggio della "maglia temporale" è condizione necessaria, ma non sufficiente, nella comprensione dei processi che generano le anomalie. La definizione di un fenomeno inquinante, infatti, non può prescindere dall'analisi chimica di un campione di acqua prelevato contestualmente al fenomeno stesso. A tale scopo, le stazioni di monitoraggio possono essere dotate di un campionatore manuale refrigerato, in grado di prelevare autonomamente aliquote variabili di acqua e stoccarle in un frigorifero, alla temperatura desiderata.

Tale processo consente di avere a disposizione campioni d'acqua da poter analizzare in laboratorio, per cercare le sostanze chimiche responsabili delle variazioni dei parametri chimico-fisici e capire, ove possibile, il tipo di inquinante e il punto plausibile di rilascio.

L'utilizzo del campionatore automatico implica l'esistenza di una procedura di attivazione che "inneschi" il processo di prelievo; generalmente, tale funzione è svolta dall'acquisitore della stazione, dota-

to di relais attivabili attraverso il software di gestione del sistema. L'attivazione del sistema di campionamento presuppone una logica attuativa legata ai parametri chimico-fisici misurati dalla stazione: solitamente, viene utilizzato un solo parametro giudicato particolarmente significativo nel contesto monitorato; tuttavia, vi è la possibilità di attivare il prelievo in base all'andamento di un numero superiore di parametri. L'attivazione può essere effettuata utilizzando varie tecniche; la prima consiste nel fissare una soglia massima (o minima) di uno o più parametri chimico-fisici, al di sopra o al di sotto della quale viene innescato il programma di campionamento, che può consistere in un unico prelievo oppure in un processo temporizzato di raccolta di varie aliquote d'acqua.

Questo metodo di attivazione presenta limiti evidenti, legati alla valutazione del tetto di soglia: in un sistema fluviale, esistono variabilità diurne, stagionali e occasionali (piogge) dei parametri chimico-fisici che rendono difficile, nonostante la conoscenza approfondita del sistema, decidere un valore limite oltre il quale procedere al campionamento. Spesso, per evitare prelievi intempestivi, si è portati a considerare soglie particolarmente elevate che attivano il processo solo in casi estremi, ignorando alcuni fenomeni degni di attenzione. Questo metodo di attivazione, secondo la nostra esperienza, può essere applicato con successo alla misura dell'ossigeno disciolto (fissando una soglia minima leggermente al di sotto dei minimi storici naturali) oppure, laddove presenti,

a misure dirette di sostanze inquinanti (es. ione ammonio), fissando ovviamente una soglia massima.

Una tecnica alternativa di attivazione, largamente utilizzata dal Servizio Reti Monitoraggio Acque, consiste nell'impostazione di una soglia differenziale; in pratica, si impone un limite massimo nella variazione $\Delta y/\Delta t$, dove Δt è l'intervallo di acquisizione e Δy è la variazione del parametro monitorato nel tempo Δt , oltre il quale viene innescato il processo di campionamento. Questo metodo consente di prelevare campioni quando l'incremento tra i valori misurati in due ore contigue è significativamente elevato, eliminando il problema della soglia assoluta.

La soglia differenziale viene tarata per "cogliere" la fase iniziale nel passaggio dell'inquinante, che spesso origina le variazioni relative più marcate. Ovviamente, non esiste un valore ottimale in grado di percepire tutti gli eventi anomali significativi, in quanto la variazione $\Delta y/\Delta t$ dipende dall'entità e dalla distribuzione nel tempo dell'evento stesso; possiamo dire, a titolo di esempio, che alcune stazioni "strategiche" di Arpa Umbria sono state programmate per attivare il campionatore con una soglia differenziale di conducibilità pari 30 $\mu S/cm$ tra ore consecutive ($\Delta t = 1h$). Per minimizzare il campionamento intempestivo nell'ambito di precipitazioni atmosferiche, che producono normalmente una diminuzione repentina di conducibilità, è stata imposta una soglia differenziale esclusivamente positiva.

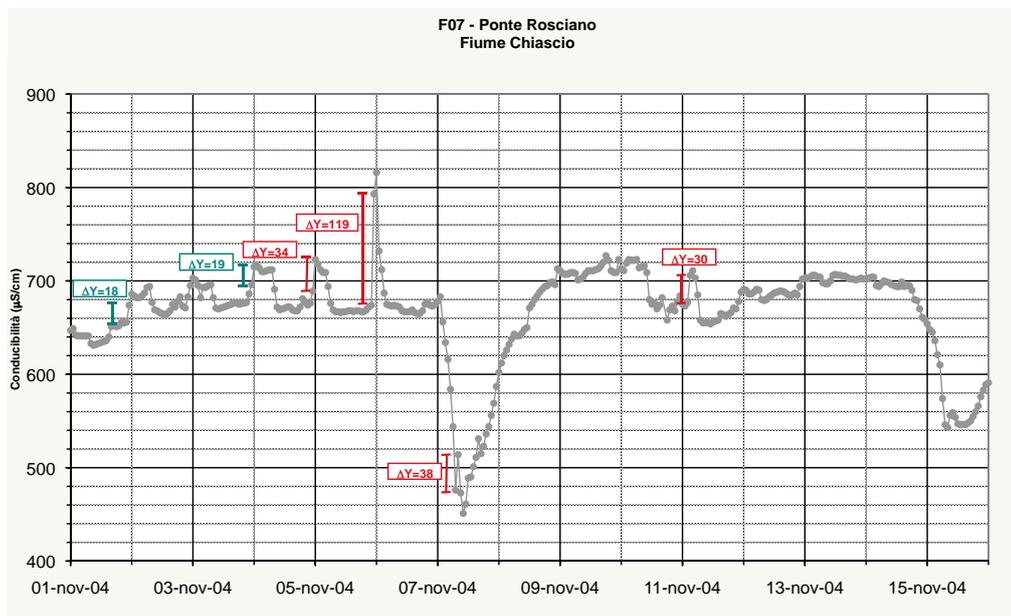


Figura 5.1.1 – Valori orari di conducibilità registrati dalla stazione di Ponte Rosciano nel mese di novembre 2004. Il campionatore è attivato con una soglia differenziale positiva di 30 $\mu S/cm$ tra ore consecutive ($\Delta t = 1h$). In rosso sono indicati i passaggi orari che hanno portato all'attivazione del processo di campionamento. In verde sono evidenziati i passaggi orari che, a discrezione dello scrivente, avrebbero meritato ulteriori approfondimenti, ma nei quali la soglia differenziale di attivazione non è stata raggiunta. L'inserimento di una soglia differenziale positiva ha evitato che nell'ambito di eventi piovosi, caratterizzati da fasi decrescenti di conducibilità, fosse attivato inutilmente il campionatore

5.2 ANDAMENTO NATURALE DI FONDO

Dopo aver superato le problematiche legate all'avviamento della stazione (vedere cap. 3) si passa ad una fase che consiste nell'acquisizione di una lunga serie di dati, durante la quale il personale acquista "sensibilità" nella loro lettura ed interpretazione, in modo da poter distinguere gli eventi anomali dalle fluttuazioni riconducibili alla naturale variabilità del sistema. Questa fase risulta fondamentale per la definizione dell'andamento naturale di fondo dei parametri chimico-fisici monitorati e, di conseguenza, per individuare quali delle loro variazioni siano indotte da agenti estranei al sistema, come ad esempio le sostanze inquinanti. Tra le variazioni naturali suscitano particolare interesse quelle di tipo ciclico, quali le fluttuazioni notte-giorno (breve periodo di oscillazione) e le fluttuazioni stagionali (lungo periodo di oscillazione).

5.2.1 Oscillazioni notte-giorno

L'andamento giornaliero dei parametri chimico-fisici di un corpo idrico superficiale può essere influenzato da diversi processi legati sia alla tendenza della soluzione acquosa a riequilibrarsi con l'ambiente circostante, sia alla presenza di vegetazione acquatica e all'attività biologica ad essa connessa. Quanto tali processi, nel breve periodo, riescano ad incidere sulle proprietà chimico fisiche delle acque superficiali e quanto velocemente la soluzione acquosa reagisca alle sollecitazioni dall'esterno (inerzia del sistema), dipende dalle caratteristiche idromorfologiche del corpo idrico (portata, larghezza e profondità della sezione bagnata, scabrosità del fondo, tempo di residenza delle acque nei laghi).

L'ambiente esterno influisce direttamente sui parametri chimico fisici della soluzione attraverso la temperatura dell'aria, la luce e l'irraggiamento solare, che sono caratterizzati da ciclicità giornaliera. In particolare, la temperatura dell'aria e l'irraggiamento solare influenzano direttamente la temperatura dell'acqua ed indirettamente il pH, la conducibilità ed il potenziale redox. La temperatura dell'acqua segue lo stesso andamento giornaliero della temperatura dell'aria, raggiungendo i valori massimi nelle ore di massima insolazione ed i minimi durante la notte. In generale, alla temperatura della soluzione è legata la solubilità dei

gas come l'anidride carbonica e l'ossigeno, con una relazione di proporzionalità inversa; per questo motivo, teoricamente, la temperatura dell'acqua può influenzare anche le variazioni giornaliere di pH e di conducibilità della soluzione. La CO_2 , infatti, disciogliendosi, acidifica la soluzione (il pH e la pressione parziale di CO_2 sono inversamente proporzionali), rendendola più aggressiva nei confronti delle particelle in sospensione e dei sali precipitati che, entrando in soluzione, ne aumentano la conducibilità.

L'irraggiamento solare, oltre ad influenzare direttamente la temperatura, agisce anche indirettamente sugli altri parametri chimico fisici delle acque superficiali pilotando, insieme alla luce, l'attività biologica delle piante acquatiche. Queste ultime possono influire sulle caratteristiche chimico fisiche della soluzione acquosa sia attivamente che passivamente. La presenza di piante acquatiche e di macrofite in particolare, modifica la morfologia del letto fluviale, accrescendo la scabrosità del fondo e delle rive (Kaene et al., 2000) e variando, di conseguenza, il tipo e la velocità del flusso d'acqua; in particolare, una locale diminuzione della velocità di deflusso favorisce la deposizione e l'accumulo di materiale fine e di sostanza organica, facilitando i processi di scambio tra le diverse matrici a contatto (acqua, aria e sedimento).

Le macrofite, però, svolgono anche un ruolo attivo, modificando i parametri chimico-fisici della colonna d'acqua attraverso i processi di fotosintesi e respirazione, legati al ciclo giornaliero della luce (Nimick et al., 2003). Durante il giorno, attraverso la fotosintesi, l'anidride carbonica viene convertita in materia organica con conseguente produzione di ossigeno; in questo modo la pressione parziale della CO_2 all'interno della soluzione diminuisce, provocando un innalzamento del pH. Al contrario, in assenza di luce, il carbonio organico viene mineralizzato in CO_2 (respirazione), processo che porta ad una produzione di protoni; il pH a questo punto diminuisce, sia per l'aumento della pressione parziale di CO_2 , sia per l'aumento dell'attività degli ioni H^+ (Bourg et al, 1994). Una forte presenza di macrofite può dar luogo anche ad escursioni giornaliere di ossigeno disciolto molto ampie (Kaene et al., 2000). Le variazioni di pH e di ossigeno disciolto comportano varia-

zioni della conducibilità e del potenziale redox.

L'ossigeno, infatti, è un buon accettore di elettroni, soprattutto in soluzioni a pH acidi (elevate concentrazioni di ioni H⁺), per cui, generalmente, i più alti valori di potenziale redox si riscontrano in corrispondenza di pH più acidi (Schlesinger, 1997). Di contro, la diminuzione di ossigeno in soluzione favorisce la riduzione degli ossidi e da luogo ad un ambiente più riducente. In realtà, le acque superficiali monitorate non sono mai particolarmente acide (pH sempre superiori a 6 unità di pH); nonostante ciò, in presenza di macrofite, si osservano generalmente andamenti giornalieri opposti per pH e potenziale redox.

Quanto sopra esposto può essere osservato in figura 5.2.1.1, dove sono riportati i cronogrammi di conducibilità, ossigeno disciolto, potenziale redox, torbidità, temperatura e pH relativi al fiume Clitunno, misurati dalla stazione di Casco dell'Acqua tra il 7 ed il 22 maggio del 2009.

5.2.2 Fluttuazioni stagionali

Le variazioni di lungo periodo dei parametri chimico fisici sono strettamente legate all'andamento meteo-climatico stagionale, all'andamento idrologico, ad eventuali interazioni con le acque sotterranee e al ciclo biologico della vegetazione acquatica.

Nei corsi d'acqua, temperatura e ossigeno disciolto seguono generalmente un andamento stagionale; la temperatura raggiunge i valori minimi tra dicembre e febbraio ed i massimi tra luglio e agosto, a seconda delle caratteristiche idromorfologiche del corpo idrico e di eventuali scambi con acque sotterranee. L'ossigeno disciolto, al contrario, essendo maggiormente solubile alle basse temperature, presenta in inverno i più elevati valori di concentrazione.

In un lago, le variazioni stagionali sono facilmente osservabili anche per gli altri parametri chimico fisici; l'ampiezza delle escursioni dipende dalle caratteristiche idromorfologiche del corpo idrico (superficie, profondità, tipologia di

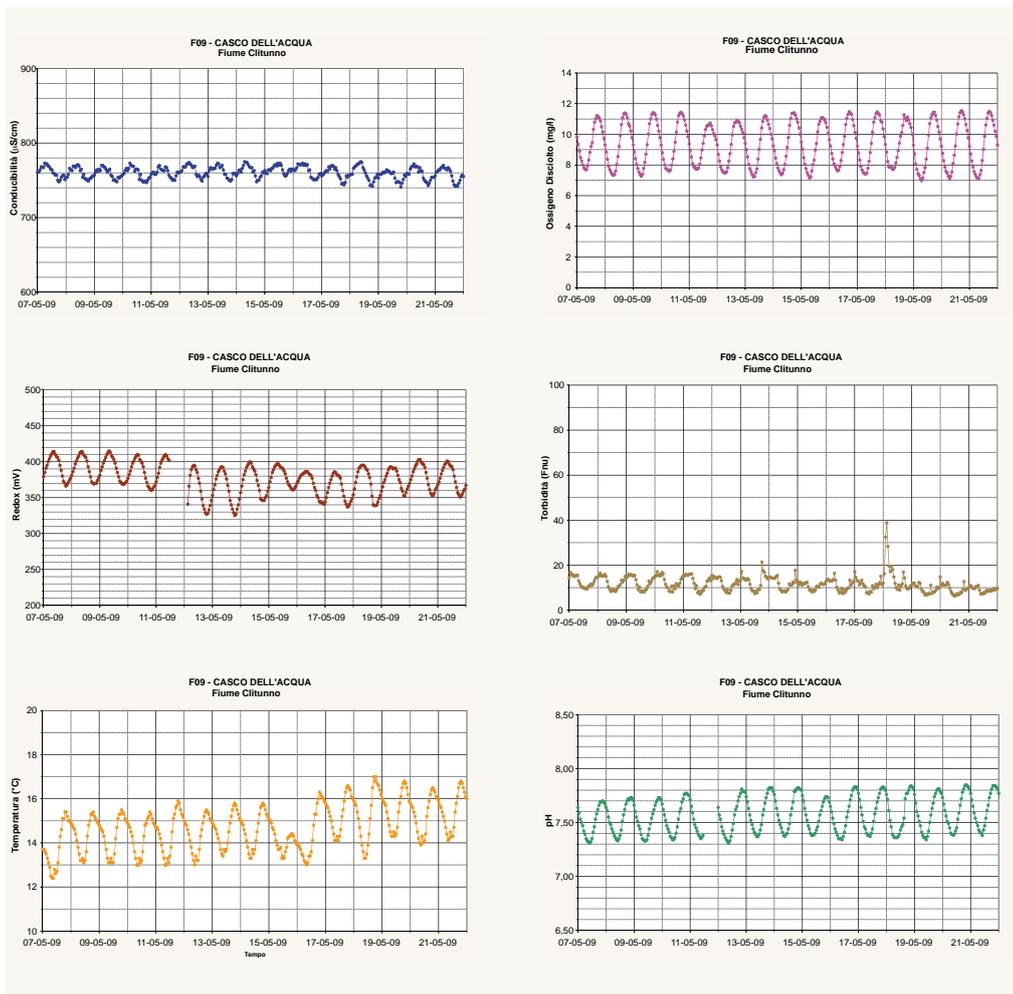


Figura 5.2.1.1 – Serie di dati orari relativi alla stazione di Casco dell'Acqua (fiume Clitunno) che illustrano le oscillazioni giornaliere dei parametri monitorati, riconducibili all'attività biologica del corso d'acqua

fondale), dalla capacità di ricambio delle acque e dalla colonizzazione da parte della vegetazione acquatica. In particolare, la temperatura raggiunge i valori massimi in estate e i minimi in inverno, influenzando anche la concentrazione di ossigeno disciolto. Anche il pH è caratterizzato da una ciclicità stagionale, con valori più alti in inverno e più bassi in estate, quando le elevate temperature favoriscono il massimo sviluppo vegetativo e la decomposizione della sostanza organica. In particolare, le macrofite contribuiscono all'abbassamento del pH producendo più CO₂ di quanta non ne venga consumata attraverso la respirazione, a causa della maggiore durata del giorno rispetto alla notte; a questo apporto di anidride carbonica va aggiunto il contributo derivante dal processo di decomposizione della sostanza organica; questo comporta un consumo di ossigeno, sottratto dalla soluzione acquosa, e la produzione di CO₂ che, al contrario, viene solubilizzata; in questo modo, nella colonna d'acqua si inducono variazioni di pH e di potenziale redox (Forstner, 2004). La conducibilità aumenta generalmente nel periodo estivo, sia perché l'evaporazione dallo specchio d'acqua è particolarmente spinta, sia perché la soluzione è più acida, quindi maggiormente in grado di solubilizzare i sali.

5.3 EVENTI ANOMALI

Possiamo definire come "eventi anomali" tutti gli episodi limitati nel tempo che portano a variazioni atipiche di uno o più parametri monitorati rispetto alle normali fluttuazioni. Gli eventi anomali possono avere origine naturale oppure antropica; tuttavia, vi è la possibilità che particolari malfunzionamenti della stazione di monitoraggio, legati frequentemente ad alcune componenti del circuito idraulico, possano "simulare" un evento anomalo. Il riconoscimento di un evento anomalo non può prescindere da un attento esame dello stato di funzionamento della stazione di monitoraggio, deducibile dalla serie di dati, per evitare allarmi intempestivi.

5.3.1 Malfunzionamenti della stazione che simulano un evento anomalo

Le stazioni di monitoraggio sono affette da malfunzionamenti che possono interessare varie parti che le compongono.

Queste avarie riguardano frequente-

mente gli elettrodi di misura; nelle stazioni dotate di elettrodi separati, ove ogni parametro viene monitorato con una serie di apparecchiature indipendenti, il guasto si ripercuote soltanto sul parametro interessato e le altre componenti di misura continuano a funzionare correttamente, in quanto non vi sono elementi comuni.

Nelle stazioni dotate di sonde multiparametriche costituite da un apparato di misura unico ed integrato, il guasto può anche interessare le componenti comuni, pregiudicando l'affidabilità di tutti i parametri monitorati. In entrambi i casi, il danno è immediatamente riscontrabile dalla semplice osservazione dei dati, che spesso presentano serie continue di valori di fondo scala o di valori nulli.

Le avarie più insidiose sono quelle che interessano il sistema idraulico. Quando si verifica una condizione anomala che non consente all'acqua di fluire regolarmente nella cella di misura, (guasto alla pompa di prelievo o alla tubazione di mandata), possono verificarsi due condizioni: gli elettrodi posti nella cella di misura possono entrare in contatto con l'aria oppure rimanere immersi in acqua, in funzione della conformazione dell'impianto idraulico e del punto in cui è localizzato il guasto. Nel primo caso (elettrodi esposti all'aria), i valori di pH, redox e ossigeno disciolto potrebbero essere insoliti, senza però indurre l'idea di un guasto; i valori di conducibilità e torbidità, invece, sarebbero nulli ed evidenzerebbero immediatamente l'esistenza di una condizione di anormalità.

Nel secondo caso (elettrodi immersi in acqua), non vi sarebbero evidenze immediate del malfunzionamento. Gli elettrodi, immersi in un'acqua priva di ricambio, continuerebbero inizialmente a fornire letture compatibili con la serie di dati precedente al guasto. Successivamente, le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua stantia muterebbero, portando ad una diminuzione dell'ossigeno disciolto, ad un'alterazione più o meno percepibile di pH e potenziale redox. Tuttavia, i valori di conducibilità resterebbero quasi inalterati.

In assenza di un flussostato posto sulla tubazione di mandata, si potrebbe creare una situazione equivocabile, ove il malfunzionamento della stazione potrebbe essere confuso con un evento anomalo nel chimismo delle acque fluviali. In queste

condizioni diventa fondamentale l'osservazione della temperatura dell'acqua; nel caso in cui non vi sia ricambio del fluido, la temperatura monitorata all'interno della cella di misura seguirebbe, con

una piccola inerzia, quella dell'ambiente esterno. Ne conseguirebbe un andamento atipico, caratterizzato da variabilità diurne accentuate, che potrebbe evidenziare il problema.

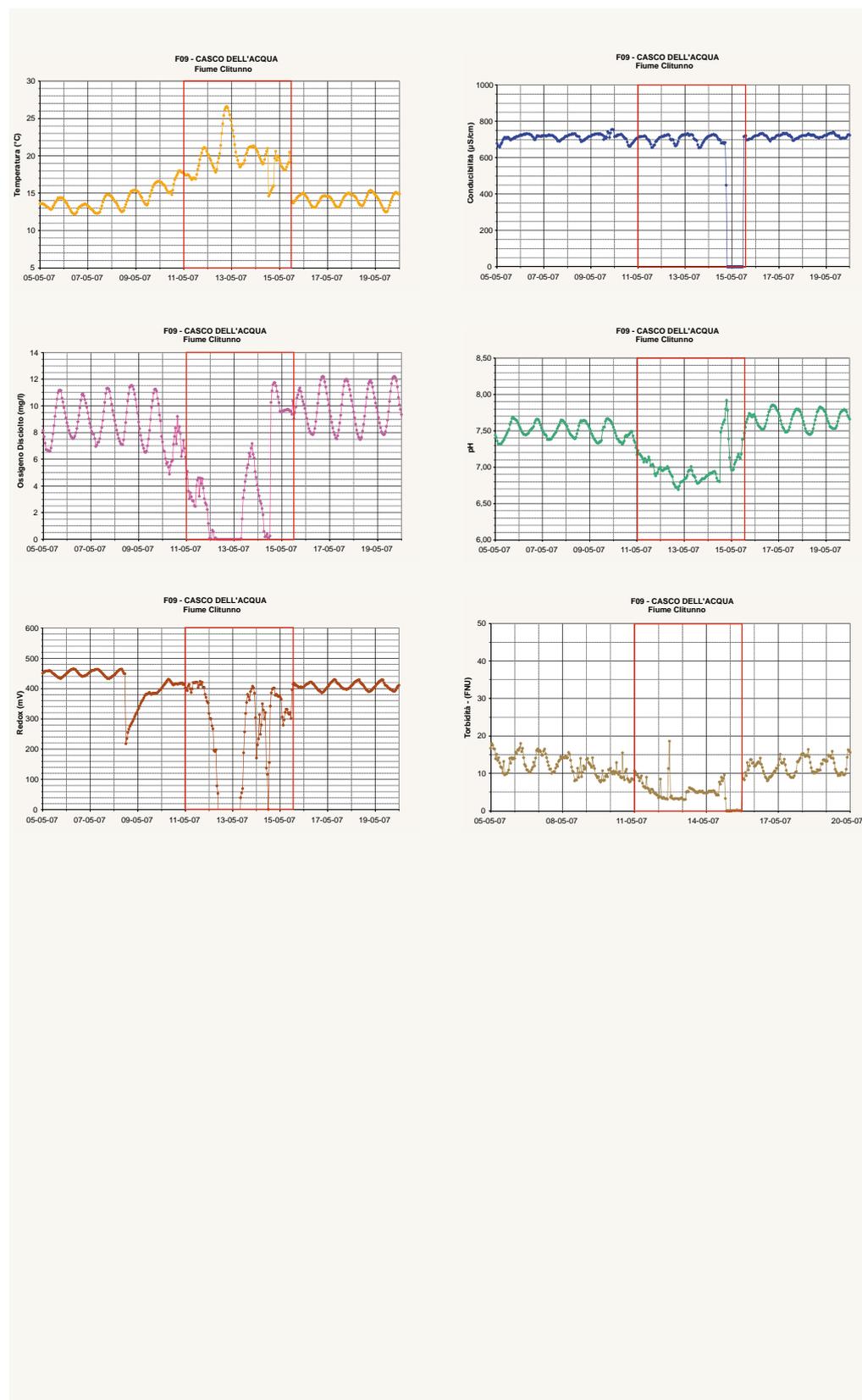


Figura 5.3.1.1 – Serie di dati orari relativi alla stazione di Casco dell'Acqua (fiume Clitunno). I dati delimitati dal rettangolo rosso sono interessati da un malfunzionamento della pompa di prelievo, che ha creato una condizione di acqua stantia nella cella di misura per alcuni giorni. Nel giorno che precede la risoluzione del guasto, la cella di misura si svuota lasciando gli elettrodi esposti all'aria (conduttività nulla)

5.3.2 Eventi di origine naturale

Le perturbazioni indotte dalle piogge si manifestano solitamente con una diminuzione di conducibilità, dovuta all'apporto di acque a minor contenuto salino, associata ad una diminuzione dell'ossigeno disciolto e del pH, ad una variazione di temperatura che può essere positiva o negativa a seconda della stagionalità e ad un incremento di torbidità. Ovviamente, tali eventi possono essere confermati dall'interrogazione delle reti pluviometriche e/o idrografiche regionali.

Le caratteristiche chimico fisiche delle acque fluviali, in un contesto di pioggia, possono essere facilmente perturbate da alcuni fenomeni contestuali, legati all'ingresso in alveo di acque di dilavamento e/o reflui urbani. Nelle aree antropizzate, le precipitazioni atmosferiche costituiscono una fase critica nei processi di depurazione civile. Il problema è rappresentato dal collettamento delle acque meteoriche alle reti fognarie; vi sono degli scolmatori di piena che bypassano l'impianto di depurazione per evitare portate eccessive e carichi organici diluiti rispetto ai normali parametri di funzionamento, facendo fluire in alveo una parte di reflui non trattati. Ad essi si può associare la presenza di acque di dilavamento del manto stradale, con presenza di metalli pesanti, idrocarburi ed altre sostanze disciolte. Pertanto, in caso di pioggia, la curva di discesa "ideale" dei parametri monitorati può essere perturbata dalla sovrapposizione di picchi istantanei, dovuti ai fenomeni precedentemente descritti.

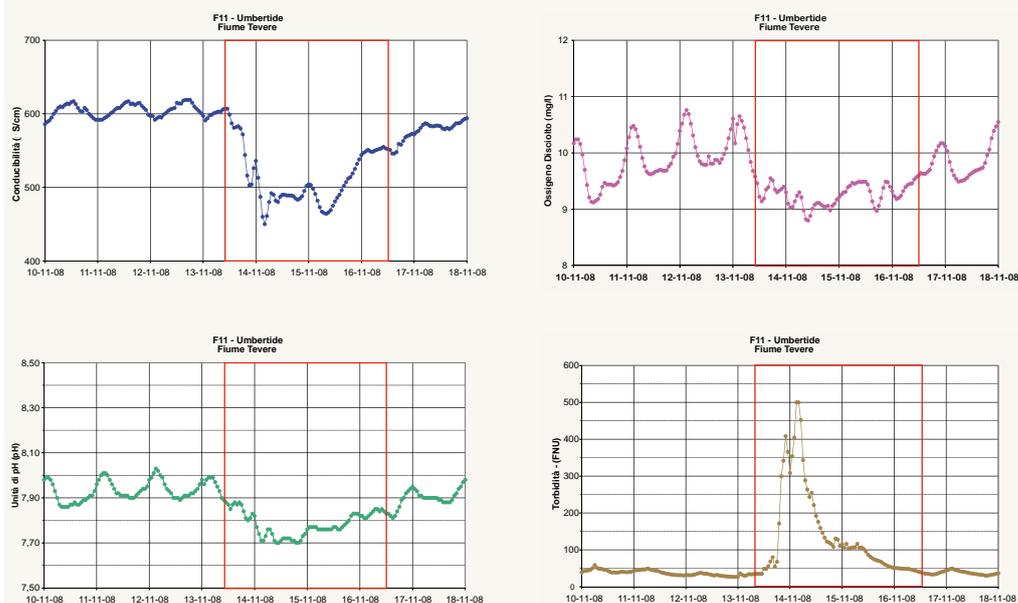
5.3.3 Eventi anomali di origine antropica

I rilasci di sostanze inquinanti sono difficilmente rilevabili; in genere, si riescono a "percepire" soltanto eventi macroscopici, in grado di variare sensibilmente e bruscamente i parametri monitorati. Le interazioni con i parametri monitorati sono strettamente legate al chimismo dell'inquinante e alle quantità rilasciate, e possono indurre alterazioni parziali, spesso difficilmente deducibili. A titolo di esempio vengono illustrati alcune brevi serie di dati acquisite in contesti particolari di rilascio di sostanze inquinanti in alveo.

In fig. 5.3.3.1 è raffigurato il rilascio quotidiano di reflui di origine zootecnica, presumibilmente doloso, che provocavano marcati incrementi di conducibilità specifica associati a variazioni evidenti di pH ed ossigeno disciolto.

Il rilascio di reflui in alveo può essere rilevato utilizzando elettrodi specifici per la misura dello ione ammonio (NH_4^+), dal quale è deducibile immediatamente la concentrazione di azoto ammoniacale nelle acque. Nella stazione di Ponte Rosciano, cui si riferiscono i dati illustrati in fig. 5.3.3.1, questo elettrodo è stato installato nel 2008. Tuttavia, per capire se i reflui sono di origine zootecnica o civile è necessario prelevare dei campioni a tempo costante, da analizzare in laboratorio, che definiscano tutto l'evento anomalo e il ritorno alle condizioni nor-

Figura 5.3.2.1 – Serie di dati relativi alla stazione di Umbertide (fiume Tevere). I dati mostrano l'influenza di un evento piovoso, verificatosi tra il 13 e il 16 novembre 2008, indicato con il rettangolo rosso, sui valori di conducibilità, ossigeno disciolto, pH e torbidità registrati dalla stazione



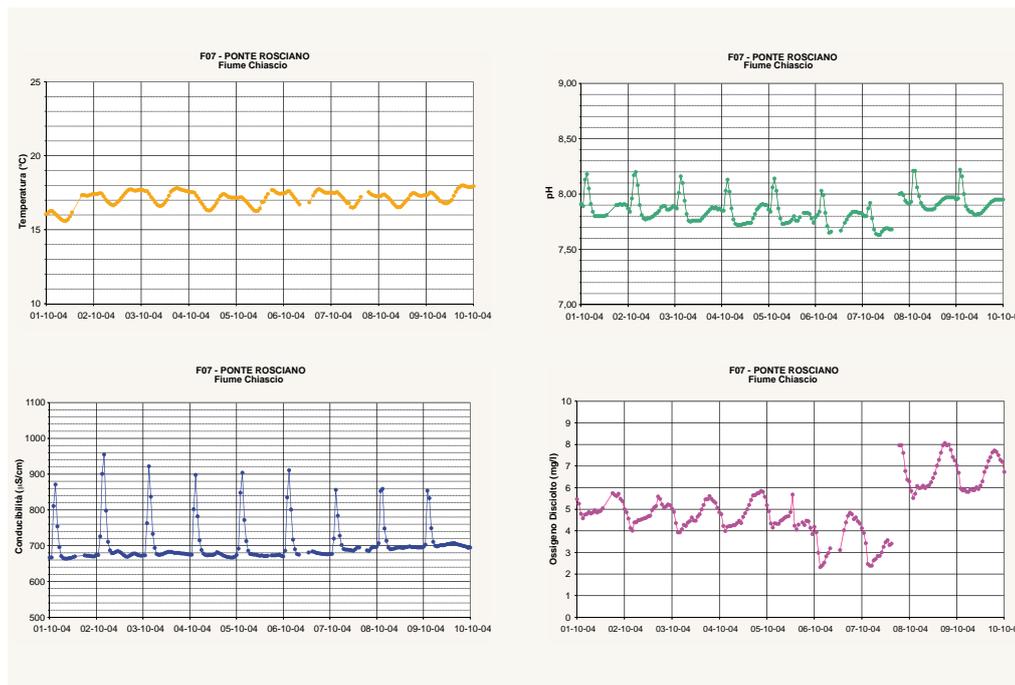


Figura 5.3.3.1 – Serie di dati relativi alla stazione di Ponte Rosciano (fiume Chiascio). I dati mostrano repentine variazioni di conducibilità, pH e ossigeno disciolto. I picchi di conducibilità sono di notevole ampiezza e si presentano regolarmente nelle ore notturne, lasciando supporre un rilascio doloso di sostanze inquinanti

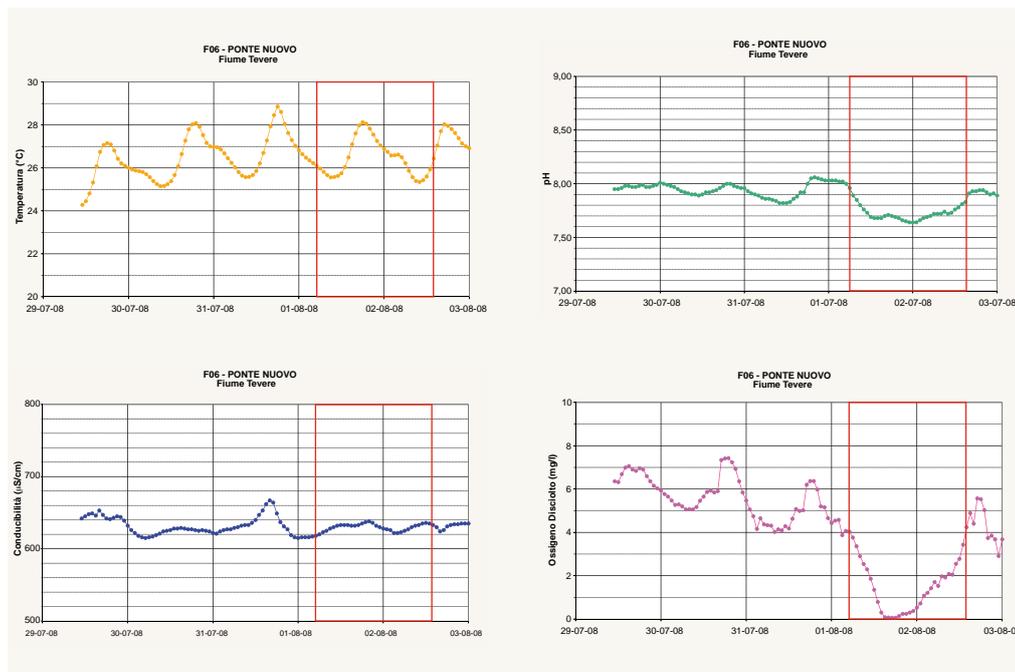


Figura 5.3.3.2 – Serie di dati relativi alla stazione di Ponte Nuovo (fiume Tevere). I dati mostrano l'influenza di un refluo di natura organica facilmente degradabile, verificatosi il giorno 1 agosto 2008, L'evento è contrassegnato da un rettangolo rosso, nei dati relativi a temperatura, pH, conducibilità e ossigeno disciolto

mali, per cercare correlazioni dirette tra il contenuto di azoto ammoniacale e alcuni metalli (rame e zinco) utilizzati come integratori alimentari dei capi di allevamento; tali elementi vengono aggiunti in quantitativi superiori all'efficienza di assimilazione degli animali, determinando un incremento della concentrazione nelle deiezioni e nei reflui; la presenza di quantità rilevanti di azoto ammoniacale associata a tali metalli indica una comune origine delle sostanze e lascia supporre un rilascio di liquami di origine zootecnica.

Anche la determinazione della con-

centrazione di tensioattivi, tipici di reflui civili, può essere utile per individuare l'origine del sostanze rilasciate in alveo.

In figura 5.3.3.2 sono illustrate serie di dati relativi ad un evento anomalo di notevole entità che ha portato ad una diffusa moria di pesci nel fiume Tevere. Nel corso dell'emergenza, sono stati prelevati campioni di acqua che, analizzati, hanno riportato la presenza di reflui di natura organica facilmente degradabili, specifici sottoprodotti di lavorazione industriale. La stazione di monitoraggio, posta ad oltre 20 km dal punto potenziale

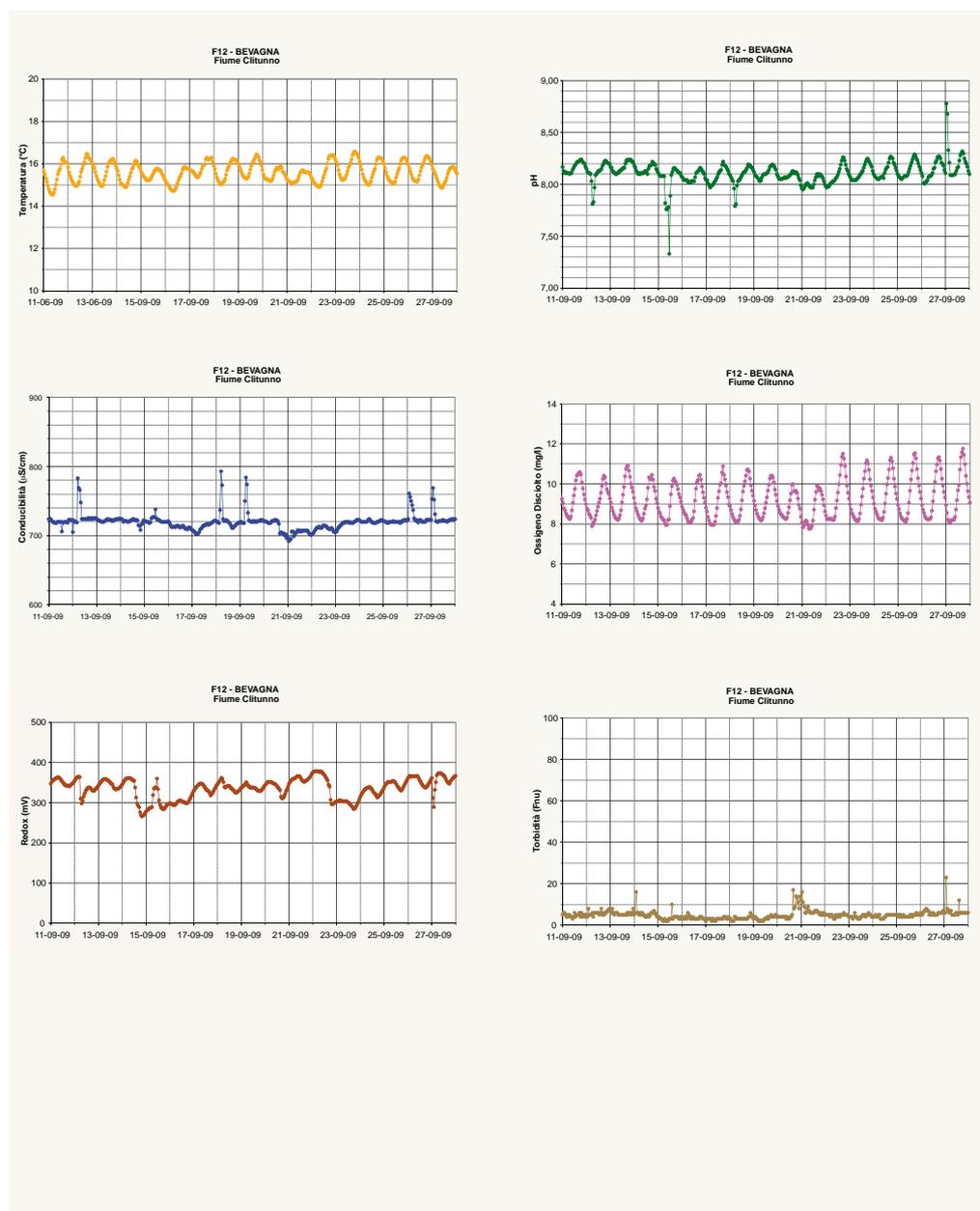
di rilascio delle sostanze inquinanti, ha comunque rilevato l'evento. In questo caso, il parametro che ha avvertito pienamente l'accaduto è l'ossigeno disciolto, sceso praticamente a zero per alcune ore, mentre il pH ha subito solo una modesta flessione.

In fig. 5.3.3.3 è rappresentata una serie di dati registrati dalla stazione di Bevagna, posta sul fiume Clitunno. La serie mostra chiaramente alcuni eventi anomali sporadici, della durata di alcune ore, che si distinguono dall'andamento naturale, dovuti al rilascio non autorizzato di soluzioni residue di lavorazioni industriali. In particolare, si notano incrementi netti di conducibilità associati a (meno evidenti) abbassamenti di poten-

ziale redox e a variazioni notevoli di pH. Le variazioni di pH non sono sempre negative, ma anche positive, e testimoniano il rilascio selettivo in alveo di sostanze non omogenee (acidi o basi forti).

In figura 5.3.3.4 sono illustrati i dati acquisiti dalla stazione di Umbertide, sul fiume Tevere. La stazione è posta in un contesto particolare, a monte di uno sbarramento artificiale costruito recentemente per la produzione di energia elettrica, dove risiede un campo gara per la pesca sportiva. Il tratto di fiume in esame è condizionato pesantemente dallo sbarramento artificiale, che ha provocato un innalzamento del livello fluviale, costituendo un piccolo bacino idrico. In questa zona, l'energia del fiume è diminuita fortemen-

Figura 5.3.3.3 – Serie di dati relativi alla stazione di Bevagna (fiume Clitunno). I dati mostrano l'influenza del rilascio di residui di lavorazione industriale sui parametri monitorati. Il materiale rilasciato, costituito da soluzioni fortemente acide / basiche, influenza sensibilmente i valori di pH, conducibilità e potenziale redox



te, favorendo la deposizione di sedimenti fini. La situazione è gravata ulteriormente dal rilascio controllato delle acque da parte dell'invaso artificiale di Montedoglio, che nei mesi estivi alimenta il Tevere con il minimo deflusso vitale. Proprio nei mesi siccitosi di luglio e agosto si assiste ad un marcato incremento nei valori medi di torbidità, associato ad una forte variabilità diurna, che condiziona pesantemente l'attività di pesca sportiva.

Osservando i dati, si riscontrano valori massimi di torbidità nelle prime ore mattutine, che poi tendono a scendere dopo le ore 09.00. Questa marcata variabilità può essere riconducibile agli attingimenti per uso agricolo, esercitati nelle prime ore del mattino, che, a monte dell'area in

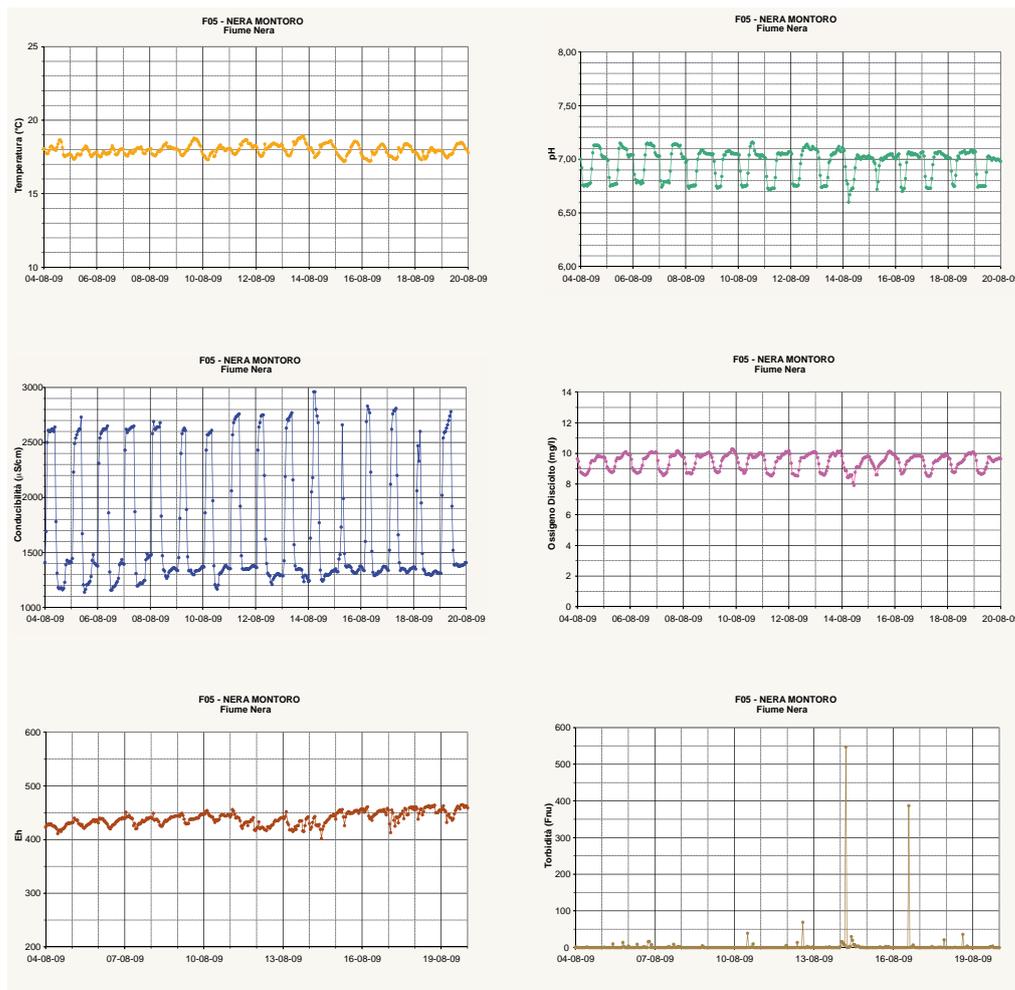
esame, riducono sensibilmente la portata del fiume; contestualmente, le pompe di prelievo potrebbero favorire, agitando localmente le acque, la sospensione di sedimenti fini in prossimità delle sponde. Questa situazione non condiziona particolarmente gli altri parametri monitorati che, a parte una marcata variabilità giornaliera, non evidenziano particolari criticità; in particolare, il contenuto di ossigeno disciolto si mantiene su livelli soddisfacenti.

Nel complesso, le azioni antropiche (rilascio controllato delle acque, sbarramento artificiale, prelievi ad uso agricolo, riduzione delle fasce riparie) hanno condizionato pesantemente questo tratto di fiume, favorendo gli incrementi di torbi-



Figura 5.3.3.4 – Serie di dati relativi alla stazione di Umbertide (fiume Tevere). I dati mostrano fluttuazioni giornaliere piuttosto marcate. In particolare, si notano variazioni notte-giorno di notevole entità anche nei valori di torbidità, dovuti presumibilmente alle particolari condizioni del fiume nell'area monitorata (invaso artificiale) e ai prelievi d'acqua ad uso agricolo

Figura 5.3.3.5 – Serie di dati orari relativi alla stazione di Nera Montoro (fiume Nera). Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sono condizionati dalla gestione idraulica delle centrali idroelettriche, che prevede operazioni quotidiane di accumulo/rilascio delle acque



dità rilevati dalla stazione di Umbertide.

In figura 5.3.3.5 sono illustrati i dati acquisiti dalla stazione di Nera Montoro, sul fiume Nera. La stazione di monitoraggio è posta immediatamente a valle di un grande polo industriale chimico. Osservando i dati, si possono notare repentine variazioni dei valori di conducibilità elettrica, pH e ossigeno disciolto; in particolare, la conducibilità aumenta rapidamente nelle ore notturne per poi portarsi su valori più bassi nelle prime ore del mattino; occorre notare che le variazioni sono di assoluto rilievo, con incrementi/decrementi che superano costantemente il 100% del valore di partenza. Tuttavia, le analisi effettuate sui campioni prelevati dal campionatore automatico non hanno mai fornito dati allarmanti. La presenza di un polo chimico posto a monte della stazione ha ovviamente suscitato una condizione di preoccupazione, che ha dato vita ad una indagine interna, interessando il Dipartimento Provinciale di Terni.

Le ricerche effettuate sull'area in esame hanno offerto una soluzione tran-

quillante. Il Nera, nel tratto esaminato, è alimentato dalle sorgenti di Stifone, che rilasciano circa 15 m³/s di acqua sotterranea attraverso un complesso sistema di sorgenti puntuali ed incrementi in alveo, a quote comprese tra i 90 ed i 70 m s.l.m.. Le sorgenti sono caratterizzate da un chimismo clorurato-sodico, con alta salinità ed alta pCO₂ e rappresentano l'emergenza di un sistema acquifero profondo ed esteso, la cui area di ricarica comprende la dorsale Narnese-Amerina, i Monti Martani e la parte più settentrionale dei Monti Sabini.

Il Nera, a valle di Terni, è caratterizzato da numerose centrali idroelettriche, servite da piccoli bacini di accumulo che fungono da "polmone", posti sia lungo l'asta principale che esternamente ad essa (lago di San Liberato, lago dell'Aia ecc.); la domanda di energia elettrica non è costante e varia in funzione delle ore del giorno, con massimi nelle ore diurne e minimi nelle ore notturne. La gestione idraulica delle centrali prevede pertanto operazioni di accumulo di acqua nelle ore

notturme, quando il fabbisogno di energia è minimo, e di rilascio nelle ore diurne, per la produzione di energia elettrica. Di notte, nella fase di accumulo, aumenta in alveo la percentuale di acqua fornita dalle sorgenti di Stifone, mentre di giorno, nella fase di rilascio, aumenta il contributo delle acque a bassa conducibilità provenienti dalla Valnerina. In questo contesto,

la stazione di monitoraggio "percepisce" le variazioni del chimismo delle acque, ove varia il rapporto percentuale tra le acque di Stifone e quelle della Valnerina.

I picchi istantanei di torbidità illustrati in fig. 5.3.3.5 sono quasi sempre riconducibili alle variazioni di conducibilità e, di conseguenza, alla gestione antropica delle acque a fini produttivi.



6. Prestazioni delle stazioni chimico-fisiche

Le stazioni sono sottoposte a un controllo di *performance* che individua il rendimento delle stazioni stesse, basato sul numero di dati effettivamente prodotti rispetto al numero massimo di dati producibili. Sono illustrati gli indici specifici e generici, che consentono di monitorare nel tempo l'andamento delle prestazioni dell'intera rete di monitoraggio delle acque

Il Servizio Reti Monitoraggio Acque ha ottenuto la certificazione ISO 9001 per tutte le attività relative al monitoraggio continuo delle acque superficiali e sotterranee. La certificazione è stata richiesta dapprima per l'attività relativa al monitoraggio quantitativo delle acque (livelli piezometrici, portate sorgive e portate captate) e, in un secondo momento (2007), per il monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali.

Per monitorare e migliorare nel tempo le prestazioni del Servizio, è emersa la necessità di individuare un indice sintetico che potesse descrivere lo stato delle attività svolte. La "qualità" del dato è garantita dal rispetto delle procedure operative che regolano la manutenzione ordinaria della strumentazione (tarature e verifiche in campo) e dalla correttezza del processo settimanale di validazione.

Pertanto, si è deciso di effettuare un controllo di performance di carattere "quantitativo", basato sul numero di dati effettivamente prodotti dal servizio rispetto al numero massimo di dati producibili. In altre parole, il controllo contempla i dati giornalieri prodotti nell'anno rispetto al totale producibile.

Dal punto di vista matematico, l'indicatore è esprimibile come:

$$I_p = N_p * 100 / N_t$$

dove:

I_p indicatore di performance

N_p numero di valori orari prodotti

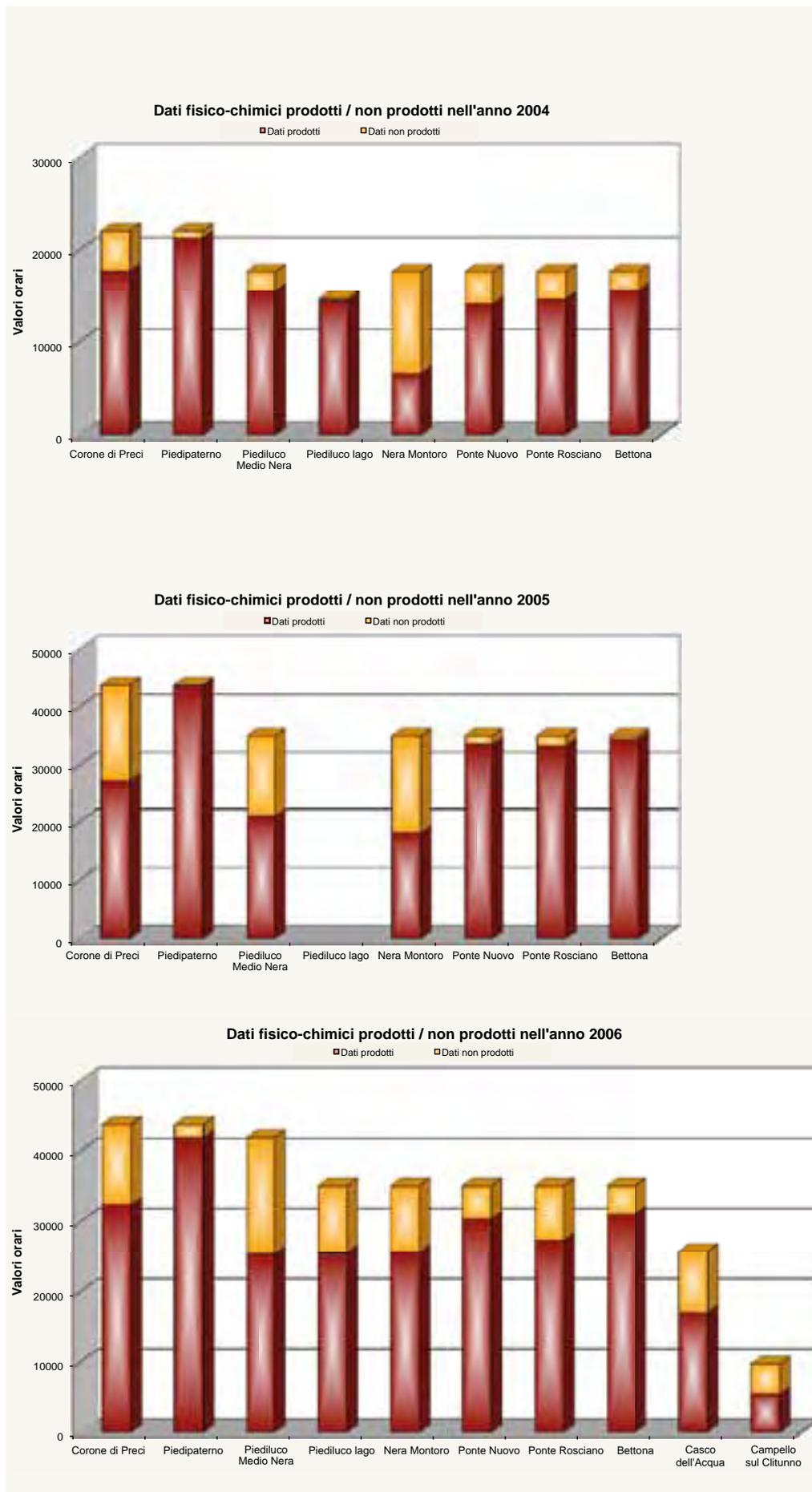
N_t numero di valori orari totali

e rappresenta la percentuale dei dati prodotti rispetto a quelli potenzialmente producibili.

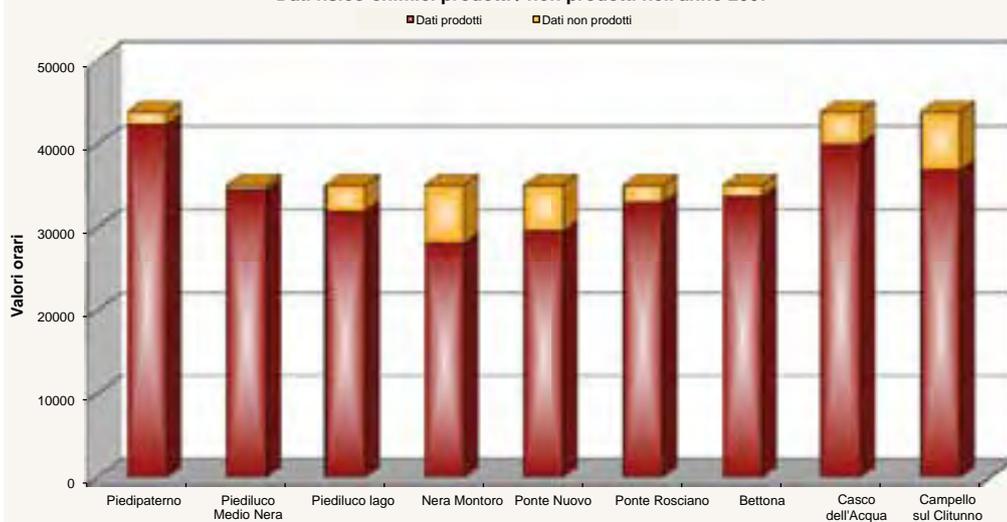
Va sottolineato che l'*indicatore di performance* identificato è rappresentativo non soltanto della funzionalità del servizio, ma anche di una serie di fattori esterni che concorrono di fatto all'efficienza del servizio, pur non essendo ad esso imputabili. Infatti, il corretto funzionamento delle apparecchiature (e di conseguenza il rischio di guasto) dipende da cause esterne quali eventi atmosferici, inondazioni, blackout, furti o manomissioni delle apparecchiature e altre situazioni non prevedibili che possono portare alla mancata acquisizione di dati o ad invalidare i dati acquisiti.

Le prestazioni delle stazioni chimico-fisiche sono state analizzate singolarmente ed espresse in forma grafica attraverso il numero di dati prodotti e non prodotti; sono stati determinati ed evidenziati gli *indicatori di performance* relativi al periodo 2004-2009.

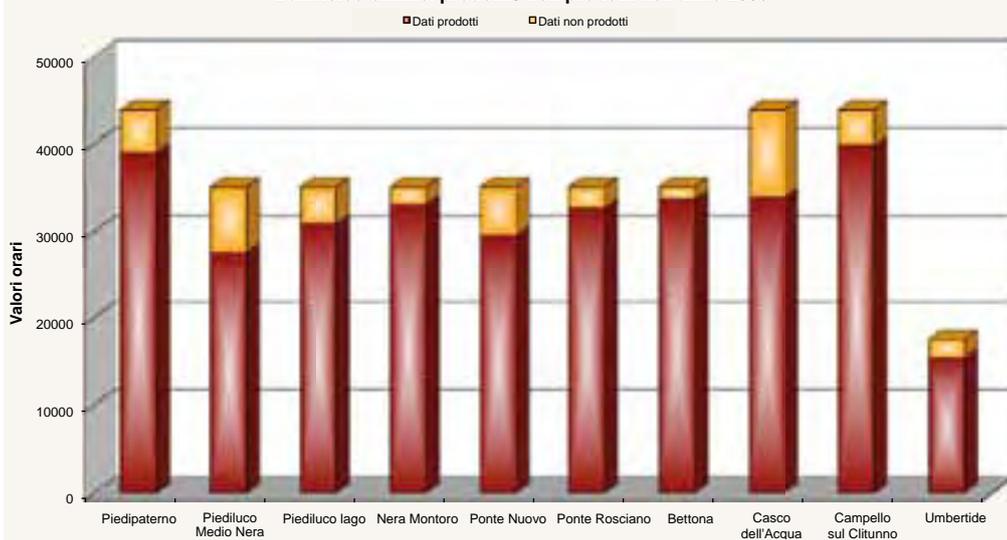
Figura 6.1 – Dati chimico-fisici relativi al periodo 2004-2009: rappresentazioni grafiche delle quantità di dati prodotti e di dati non prodotti, distinti per stazione



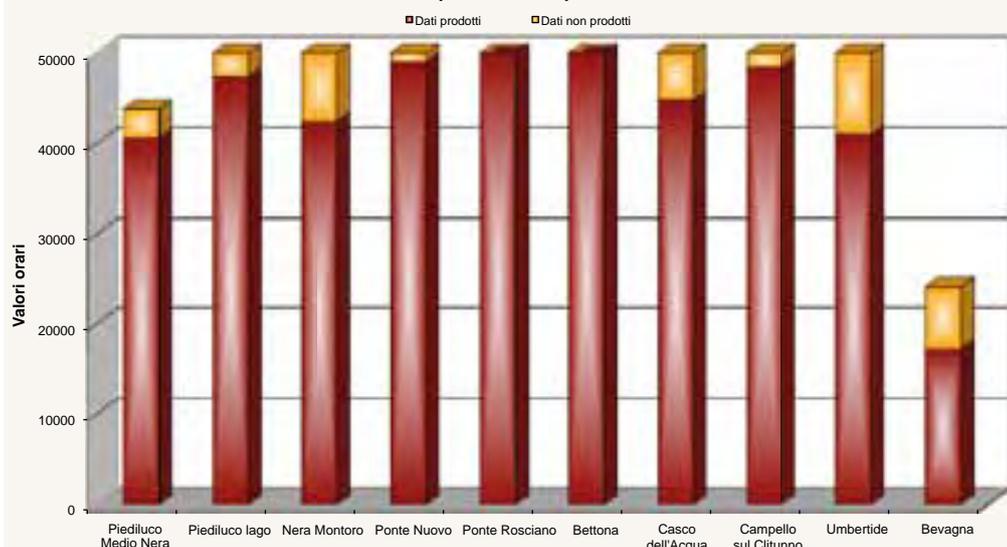
Dati fisico-chimici prodotti / non prodotti nell'anno 2007



Dati fisico-chimici prodotti / non prodotti nell'anno 2008



Dati fisico-chimici prodotti / non prodotti nell'anno 2009

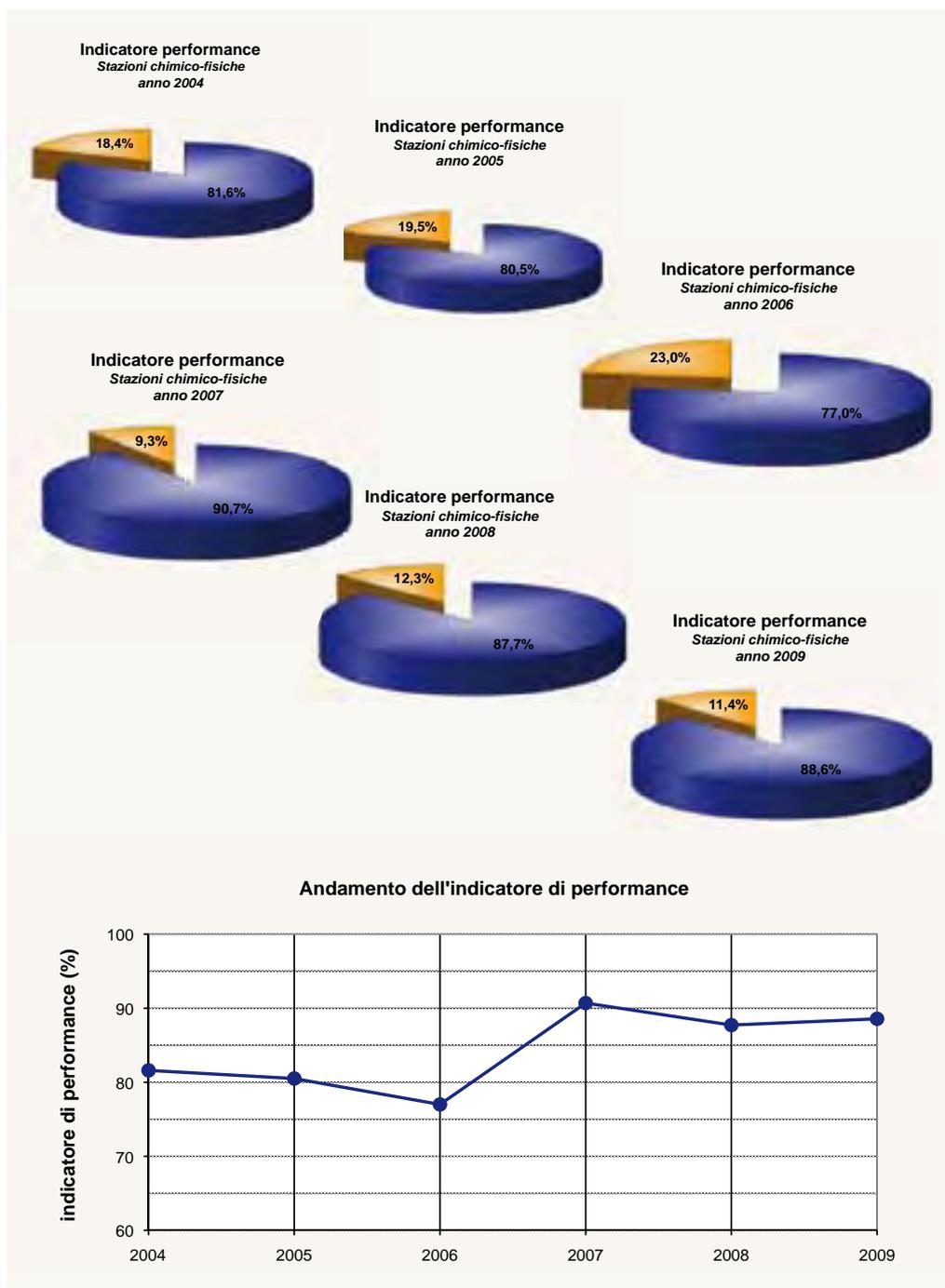


Gli indicatori specifici consentono di verificare le prestazioni delle singole stazioni, evidenziando dove sono concentrati i problemi che hanno caratterizzato le maggiori carenze di dati; gli indicatori generici, invece, consentono di monitorare nel tempo l'andamento delle prestazioni dell'intera rete chimico-fisica (fig. 6.2). Nei primi due anni (2004 e 2005) sono state ottenute prestazioni dignitose, con una perdita di dati inferiore al 20%.

L'anno successivo (2006) è caratterizzato dalla performance peggiore, con perdite di dati lievitare al 23%. Occorre

sottolineare che nell'ambito del triennio 2004-2006, il personale del Servizio Reti Monitoraggio Acque era pesantemente impegnato nelle fasi esecutive dei progetti MIPAR, PIEZO e CMSA (Emergenza idrica della regione Umbria), che hanno portato alla realizzazione di 70 nuove stazioni di tipo quantitativo (monitoraggio livelli di falda, portate sorgive e captate), riducendo sensibilmente la disponibilità nella cura delle stazioni chimico-fisiche. Successivamente, le prestazioni sono nuovamente lievitare verso percentuali prossime al 90%.

Figura 6.2 – Indicatore di performance delle stazioni chimico-fisiche, relativo al periodo 2004-2009 e andamento temporale dello stesso indicatore



Il Servizio Reti Monitoraggio Acque garantisce l'attendibilità dei dati attraverso verifiche periodiche dei dispositivi di monitoraggio. La completa attendibilità del dato può essere accertata soltanto dopo l'esito delle tarature degli elettrodi e delle visite in campo, che avvengono con periodicità maggiore rispetto al processo di validazione e diffusione settimanale dei dati. Pertanto, potrebbero essere diffusi dati validati settimanalmente che, in seguito, non risultano conformi agli standard dell'Agenzia.

Occorre sottolineare che tali evenienze sono rare, vista l'affidabilità e la stabilità di cui sono dotate le moderne apparecchiature di monitoraggio. Comunque, vi è la possibilità di intervenire sui dati già diffusi attraverso il sito internet, modificandoli e/o invalidandoli in funzione di quanto sopra esposto. In tal caso, il Servizio Reti Monitoraggio Acque provvede alla diffusione dei dati corretti, segnalando agli utenti le modifiche apportate. Queste operazioni di correzione sono oggetto di un secon-

do indicatore, denominato indicatore di correzione, che esprime il rapporto percentuale tra il numero di dati corretti e il numero di dati totali. Questo indicatore non esprime una performance e non è utilizzato per porre obiettivi di miglioramento; esso rappresenta semplicemente un indicatore statistico dell'attività svolta dal servizio e non è riferito alle sole stazioni chimico-fisiche, ma a tutta la rete di monitoraggio continuo delle acque:

$$I_c = N_c * 100 / N_t$$

dove:

- I_c indicatore di correzione
- N_c numero di valori giornalieri corretti dopo la diffusione
- N_t numero di valori giornalieri totale

L'indicazione di correzione è stato inserito nei parametri di controllo dell'attività svolta dal servizio a partire dall'anno 2005.

In fig. 6.3 è illustrato l'andamento

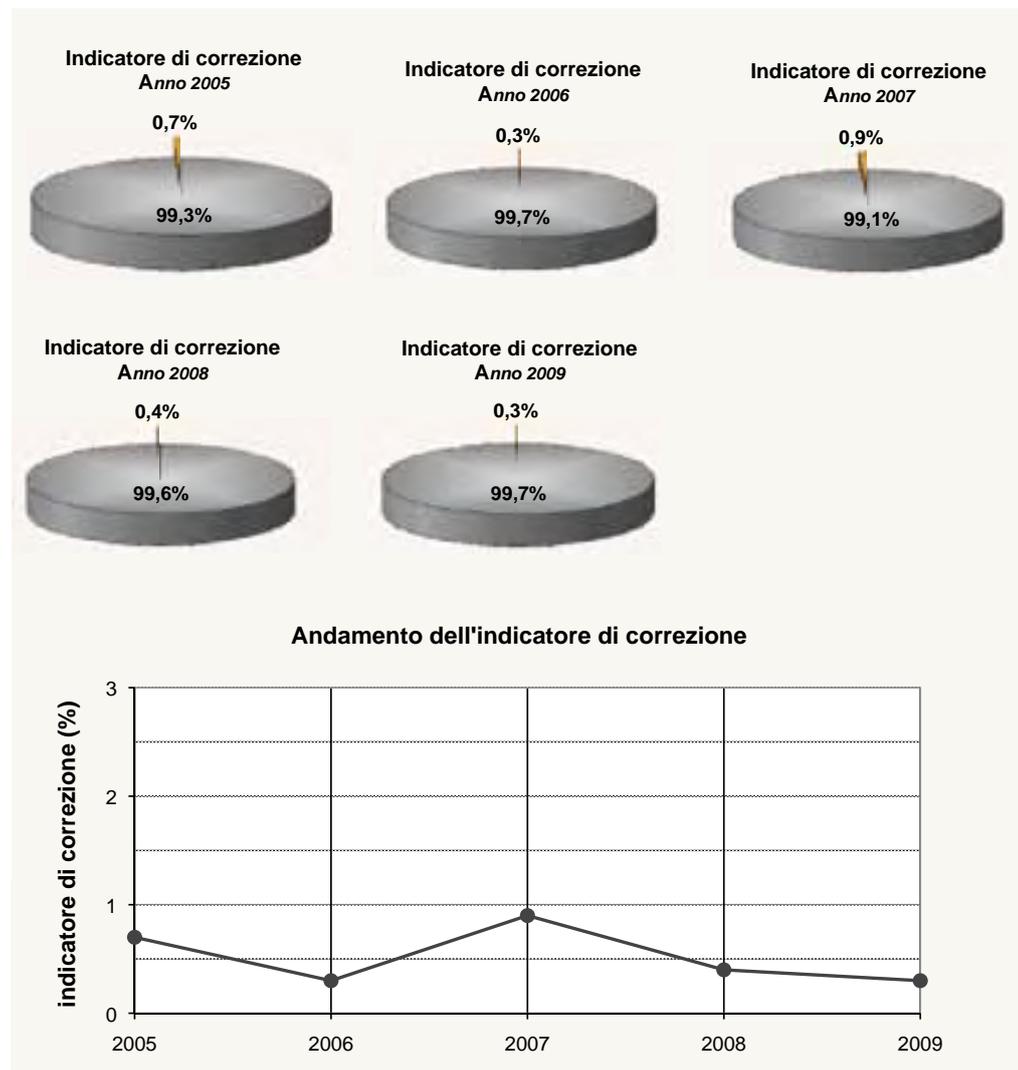


Figura 6.3 – Indicatore di correzione della rete di monitoraggio continuo delle acque, relativo al periodo 2004-2009 e andamento temporale dello stesso indicatore

dell'indicatore di correzione nel periodo 2005-2009; come evidente, la percentuale di dati "ritrattati" dopo la diffusione attraverso il sito internet è molto contenuta e non supera mai l'1% del totale.

Il processo di validazione e diffusione dei dati, effettuato con cadenza settimanale, consente agli utenti di disporre sempre di dati aggiornati. Tuttavia, in condizioni particolari quali ferie, malattie ed impegni gravosi del personale del servizio, il processo settimanale di validazione e diffusione potrebbe essere ritardato oppure non effettuato. Per valutare tali mancanze, è stato identificato un terzo indicatore, denominato indicatore di continuità, che esprime il rapporto percentuale tra le settimane in cui il processo di validazione è

stato effettuato in ritardo (o non è stato effettuato) e il numero totale di settimane.

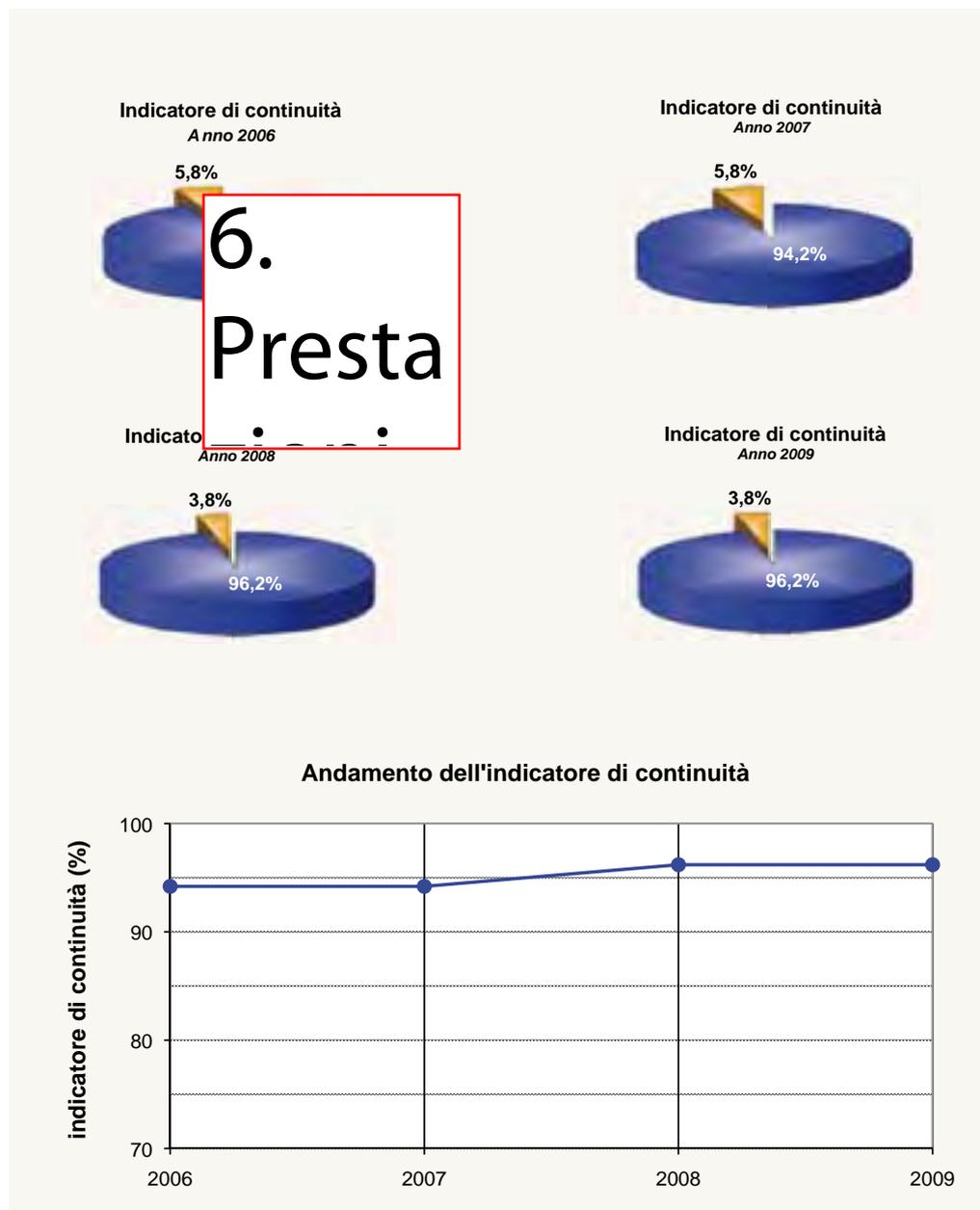
$$I_{cnt} = N_{sn} * 100 / N_t$$

dove:

- I_{cnt} indicatore di continuità
- N_{sn} numero di settimane in cui il processo di validazione e diffusione è stato effettuato in ritardo o non è stato effettuato
- N_t numero di settimane dell'anno

Questo indicatore, introdotto nell'anno 2006, esprime di fatto una performance del servizio, ma non viene utilizzato per porre obiettivi di miglioramento.

Figura 6.4 – Indicatore di continuità relativo al periodo 2004-2009 e andamento temporale dello stesso indicatore.



7. Presentazione dei dati

I dati acquisiti dalle stazioni di monitoraggio nel periodo 2004-2008 sono stati analizzati per poter caratterizzare dal punto di vista chimico-fisico i corpi idrici monitorati e individuare eventuali tendenze, operando un necessario processo di semplificazione e sintesi delle serie temporali

I dati acquisiti dalle stazioni di monitoraggio nel periodo 2004-2008 sono stati analizzati per poter caratterizzare dal punto di vista chimico-fisico i corpi idrici monitorati ed individuare eventuali tendenze. L'analisi dei dati non poteva prescindere da un processo di semplificazione e sintesi delle serie temporali: le stazioni, infatti, acquisiscono i dati con cadenza oraria, fornendo potenzialmente 8.760 dati all'anno per ciascun parametro; considerando un indicatore di performance medio dell'85% (vedere fig. 5.2), si ottengono circa 7.500 dati validati all'anno per ciascun parametro.

La mole di dati disponibili è tale da rendere indispensabile l'utilizzo di indicatori "sintetici", in grado di fornire le necessarie informazioni di carattere statistico in un numero limitato di rappresentazioni grafiche.

Inizialmente, per ciascun parametro, sono stati realizzati dei cronogrammi relativi all'intero periodo di osservazione.

Tuttavia, questo tipo di rappresentazione si è rivelato poco efficace, a causa dell'elevato numero di dati e della presenza di lacune nelle serie temporali, talvolta di notevole entità, dovute alla mancata acquisizione dei dati stessi o alla loro esclusione nel processo di validazione.

Sono stati determinati i parametri statistici di base (media, mediana, varianza, deviazione standard, 2° e 98° percentile) sulle serie di dati validati; per studiare il tipo di distribuzione e le sue variazioni nel tempo, i dati, suddivisi per anno,

sono stati illustrati utilizzando dei box-plot. Il box-plot è un tipo di rappresentazione grafica utilizzata in statistica, ove sono riportati i valori di media, mediana, primo e terzo quartile (la cui distanza indica la dispersione dei dati intorno alla media), i valori di due percentili estremi (2° e 98° oppure 5° e 95°) ed i valori massimo e minimo assunti dalla variabile.

La lunghezza dei due baffi (dovuta alla differenza tra il primo quartile ed il 2° o 5° percentile e tra il 95° o 98° percentile ed il terzo quartile), la posizione della mediana all'interno della scatola e quella della media rispetto alla mediana, forniscono indicazioni sul tipo di distribuzione dei dati, che può risultare o meno simmetrica (figura 7.1).

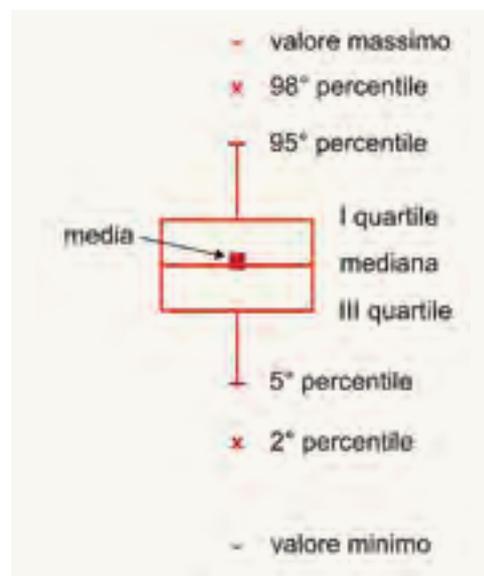


Figura 7.1 – Esempio di box-plot

Successivamente, sono state costruite nuove serie temporali di sintesi, costituite dalle medie mensili di tutti i parametri, considerando soltanto i dati contenuti nell'intervallo 2°-98° percentile, per escludere dal calcolo i valori estremi, ai quali la media risulta molto sensibile.

Le medie mensili sono state utilizzate per costruire cronogrammi relativi a tutto l'intervallo di tempo considerato; in questo modo, per ognuno dei parametri, è stato possibile osservare la presenza di particolari tendenze e le variazioni di lungo periodo (i.e. la stagionalità). Inoltre, prendendo in esame sia i dati orari che le medie mensili, sono state ricercate eventuali correlazioni tra i parametri chimico-fisici, evidenziando alcuni legami di interdipendenza focali temporali.

Le variazioni nel breve periodo (oscillazioni notte-giorno) sono state analizzate prendendo in considerazione un set limitato di dati relativo all'anno più recente, vista la ripetitività del fenomeno.

In particolare, l'elaborazione è stata effettuata costruendo dei cronogrammi che considerano archi temporali di tre giorni (dalle ore 01.00 del primo giorno alle 24.00 del terzo giorno, per un totale di 72 ore), rappresentativi di ogni stagione dell'anno; tendenzialmente, lo studio è stato focalizzato sui primi 3 giorni dei mesi di gennaio, aprile, luglio ed ottobre. In questo modo è stato possibile

osservare l'andamento giornaliero di ogni parametro nei diversi periodi dell'anno e, di conseguenza, valutare l'influenza delle condizioni climatiche stagionali sulle variazioni giornaliere dei parametri monitorati. Gli stessi dati sono stati utilizzati per realizzare diagrammi binari, al fine di individuare, anche nel breve periodo, relazioni di interdipendenza tra i vari parametri.

Lo studio è stato condotto utilizzando dati orari di temperatura, conducibilità, potenziale Redox, pH e ossigeno disciolto, misurati tra luglio 2004 e dicembre 2008 nelle stazioni di Piedipaterno, Piediluco Canale Medio Nera, Piediluco lago, Nera Montoro, Ponte Nuovo, Bettona, e Ponte Rosciano, tra luglio 2004 e dicembre 2006 nella stazione di Corone di Preci e dalla metà del 2006 fino a dicembre 2008 nelle stazioni di Campello sul Clitunno e di Casco dell'Acqua. Non è stato possibile elaborare i dati relativi alle stazioni di recente costruzione (Bevagna e Umbertide), in quanto il set di dati, al dicembre 2008, non era sufficientemente ampio da consentire analisi statistiche sul lungo periodo.

Nelle stazioni di monitoraggio in cui il numero di parametri chimico-fisici è stato ampliato nel gennaio 2009, l'elaborazione è stata effettuata solo sul set di parametri iniziali, per i quali esistono serie di dati sufficientemente lunghe.

8. Stazione di Corone di Preci (torrente Campiano)

La stazione di Preci è posizionata nel canale di adduzione delle acque del torrente Campiano, affluente del Nera, a un allevamento di trote, e ha iniziato ad acquisire dati dal luglio 2004. Dopo alcuni anni di esercizio, a dicembre del 2006, l'unità è stata dismessa e reinstallata in un sito di maggior interesse strategico, nel comune di Umbertide

La stazione di Corone di Preci è stata installata nell'ambito del progetto denominato *Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di trocicoltura in Valnerina*, (vedere cap. I). La stazione era posizionata nel canale di adduzione delle acque del torrente Campiano, affluente del

Nera, ad un allevamento di trote, ed ha iniziato ad acquisire dati dal 01.07.04.

Dopo alcuni anni di esercizio, a dicembre del 2006, l'unità è stata dismessa e reinstallata in un sito di maggior interesse strategico, nel comune di Umbertide.

Figura 8.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Corone di Preci, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2356495 – 4749318)



Figura 8.2 – Vista esterna della stazione di monitoraggio



Figura 8.3 – Particolare dell'interno della carpenteria



Tabella 8.1 – Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici acquisiti dalla stazione di Corone di Preci

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.	Redox
Dati validati	17580	17058	17576	17238	11683
% dati validati	81.3	78.9	81.3	79.7	54.0
min	2	6.96	334	4.9	143
max	19	8.42	623	14.3	474
media	10.1	7.67	493	10.6	379
mediana	10.4	7.7	499	10.5	392
dev std	2.3	0.22	47.1	0.96	54.2
var	5.4	0.05	2215	0.93	2937
2° percentile	4.7	7.22	384	8.9	249
98° percentile	14.4	8.05	580	13.1	450

La stazione è dotata di elettrodi separati. La presenza di una parete verticale in cemento, che delimita il canale, ha consentito di porre gli elettrodi direttamente in acqua, mediante aste in PVC, evitando un sistema di prelievo forzato del campione. L'assenza della pompa di prelievo rappresenta una condizione vantaggiosa per l'affidabilità complessiva della stazione di monitoraggio; tuttavia, la presenza di piccoli organismi acquatici che affollavano stagionalmente gli elettrodi di misura, ha comportato una rilevante perdita di dati.

La percentuale di dati validati rispetto al totale è piuttosto bassa, visti i problemi sopra esposti. Le lacune più ampie riguardano il potenziale redox, soprattutto nel 2005.

Come detto in precedenza, è stato costruito un cronogramma delle medie mensili relative ad ogni parametro, utilizzando i dati compresi nell'intervallo 2°-98° percentile calcolati sull'intero dataset. In questo modo, è stato possibile

valutare quali parametri chimico-fisici sono caratterizzati da un andamento stagionale e quali, al contrario, presentano variazioni apparentemente non relazionabili alle condizioni meteorologiche.

La temperatura dell'acqua, ovviamente, mostra un forte carattere stagionale, con medie mensili massime in luglio-agosto e minime tra gennaio e febbraio (fig. 8.4a). Nel periodo di osservazione il trend è leggermente decrescente. Anche l'ossigeno disciolto è caratterizzato da variazioni di tipo stagionale, con massimi di concentrazione in corrispondenza dei mesi più freddi e minimi in piena estate (fig. 8.4b). Occorre sottolineare la relazione di proporzionalità inversa tra la solubilità dell'ossigeno e la temperatura dell'acqua, che nel caso in esame è rispettata sia in termini di ciclicità stagionale, sia in termini di trend sul lungo periodo; le concentrazioni medie mensili di O.D., infatti, sembrano seguire un andamento leggermente crescente,

contro la lieve diminuzione dei valori medi mensili di temperatura.

I minimi di concentrazione di O.D., tuttavia, vengono raggiunti con un mese circa di ritardo rispetto ai valori massimi di temperatura (e viceversa); ciò lascia presumere la presenza di altri fattori,

non facilmente definibili con i dati a disposizione, in grado di influenzare la solubilità dell'ossigeno.

Il cronogramma di figura 8.4c relativo alla conducibilità, è caratterizzato da variazioni contenute che non sembrano seguire un andamento di tipo stagionale.

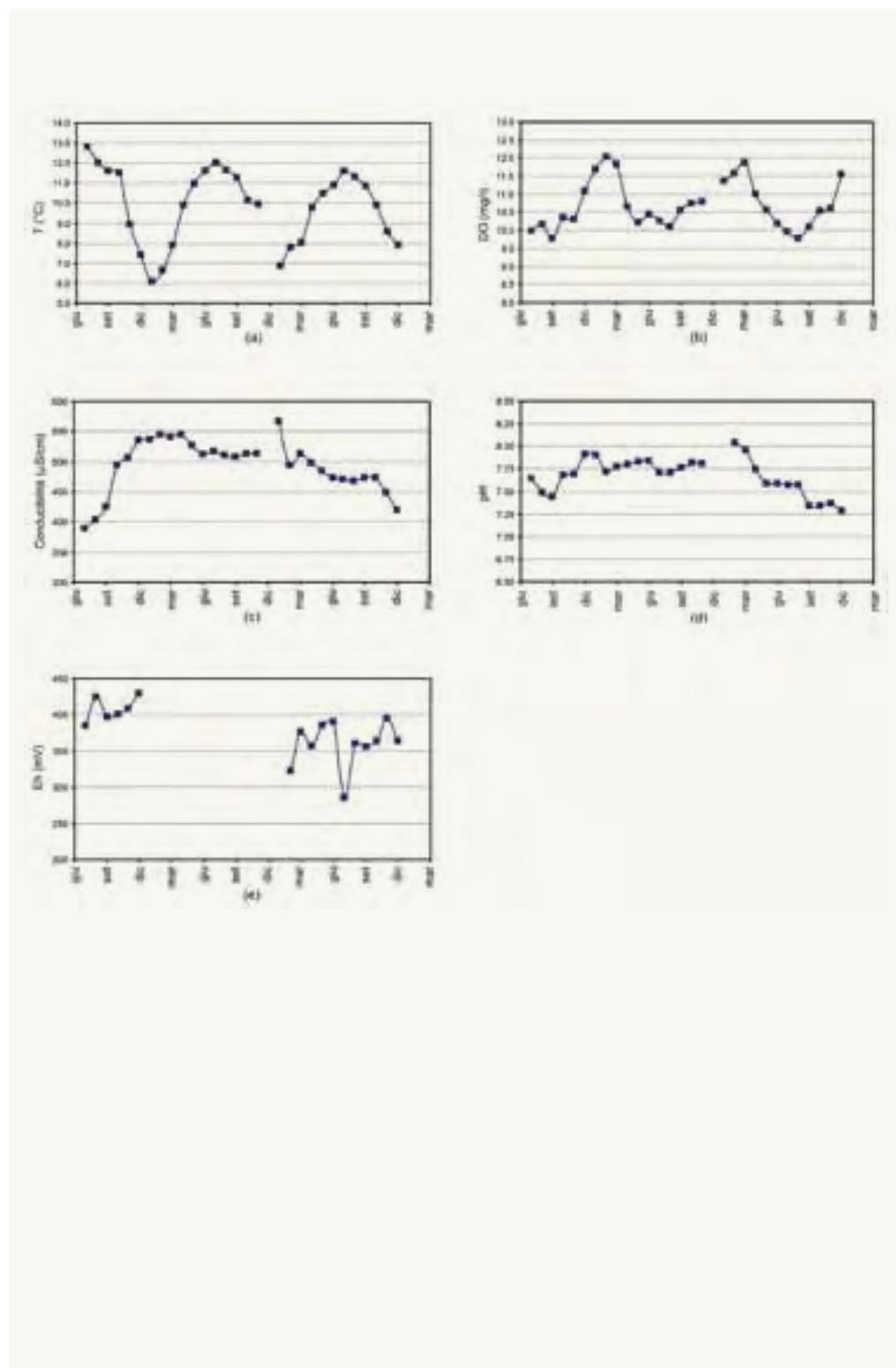


Figura 8.4 –Variazioni delle medie mensili di Temperatura, O.D., Conducibilità, pH e potenziale Redox nel periodo di osservazione

Come la conducibilità, il pH non sembra subire variazioni legate all'andamento meteo-climatico stagionale; si osserva un trend leggermente crescente fino alla fine del 2005, cui segue una tendenza inversa nel resto del periodo.

I dati relativi al potenziale redox, disponibili in numero limitato, non mostrano particolari tendenze. Prendendo in esame l'intero set di dati, non si coglie alcuna correlazione tra i parametri misurati; considerando le medie mensili, invece, è emersa una buona correlazione inversa ($R^2=0.8$) tra la temperatura e l'ossigeno disciolto (fig. 8.5).

Osservando i box-plot relativi alla temperatura (fig. 8.6), si può notare come, dal 2004 al 2006, ci sia una generale tendenza alla diminuzione nei valori misurati (riscontrabile nell'abbassamento dei box-plot rispetto all'asse delle temperature), una diminuzione della dispersione dei dati intorno alla media (la distanza interquartile si riduce sensibilmente rispetto al 2004) ed una evoluzione nel tipo di distribuzione dei dati; i box-plot relativi ai primi due anni, infatti, sono caratterizzati da una asimmetria negativa (negative skewness) che viene meno nel 2006, quando la distribuzione appare pressoché simmetrica (media e mediana coincidono e sono circa equidistanti dal I e III quartile; i baffi, inoltre, hanno la stessa lunghezza).

Nel corso degli anni i dati di pH hanno conservato più o meno lo stesso tipo di distribuzione, che appare sempre

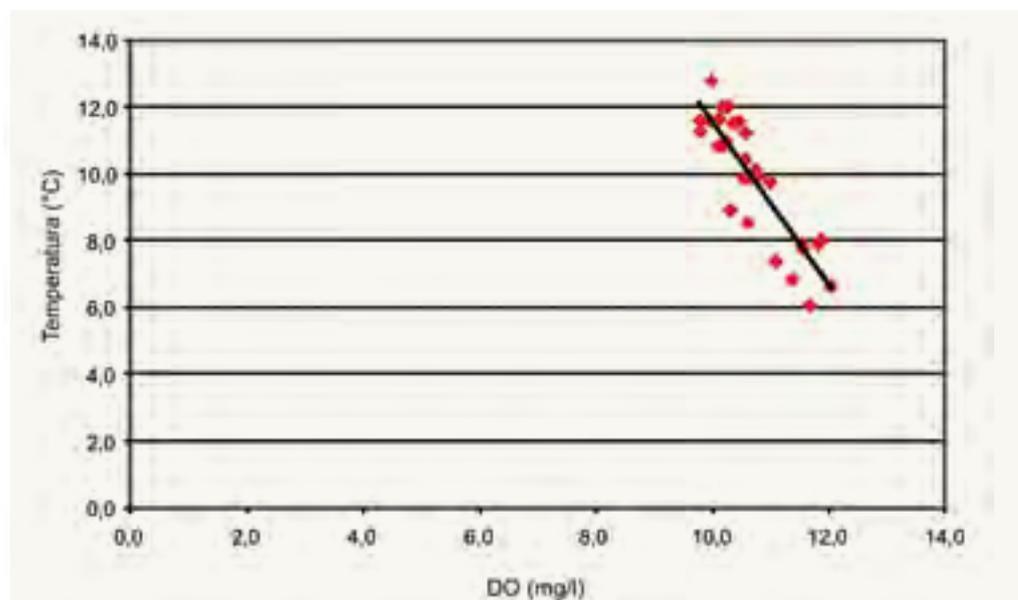
prossima alla simmetria; è cambiata in modo evidente, però, la loro dispersione intorno alla media: in corrispondenza del secondo diagramma infatti, si osserva una drastica riduzione della distanza interquartile, dovuta ad un aumento di circa 0,2 unità nei valori più bassi di pH.

I dati di conducibilità mostrano di anno in anno forti variazioni, sia nei valori sia nella forma della distribuzione; le misure effettuate nel 2004 sono distribuite in modo pressoché simmetrico intorno alla media, ma sono caratterizzate da una forte dispersione. Quest'ultima, nei due anni successivi si riduce notevolmente, ma insorge una lieve asimmetria positiva. Da un anno all'altro, vi sono variazioni mediamente comprese tra 50 e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$; nel 2005 sono stati rilevati i valori più elevati del periodo monitorato.

Le concentrazioni di ossigeno disciolto sono generalmente aumentate nei tre anni di osservazione, in accordo con la diminuzione della temperatura dell'acqua. La distribuzione dei dati subisce una lieve variazione a partire dal secondo anno di monitoraggio, quando insorge una leggera asimmetria positiva.

I valori del potenziale redox sono soggetti ad una generale diminuzione. Il tipo di distribuzione non cambia negli anni, mostrando sempre un'evidente asimmetria negativa; si nota, però, un costante aumento nella dispersione dei dati intorno alla media, legato probabilmente alle difficoltà riscontrate nella misura di questo parametro.

Figura 8.5 – Correlazione tra ossigeno disciolto e temperatura, sulla base delle medie mensili



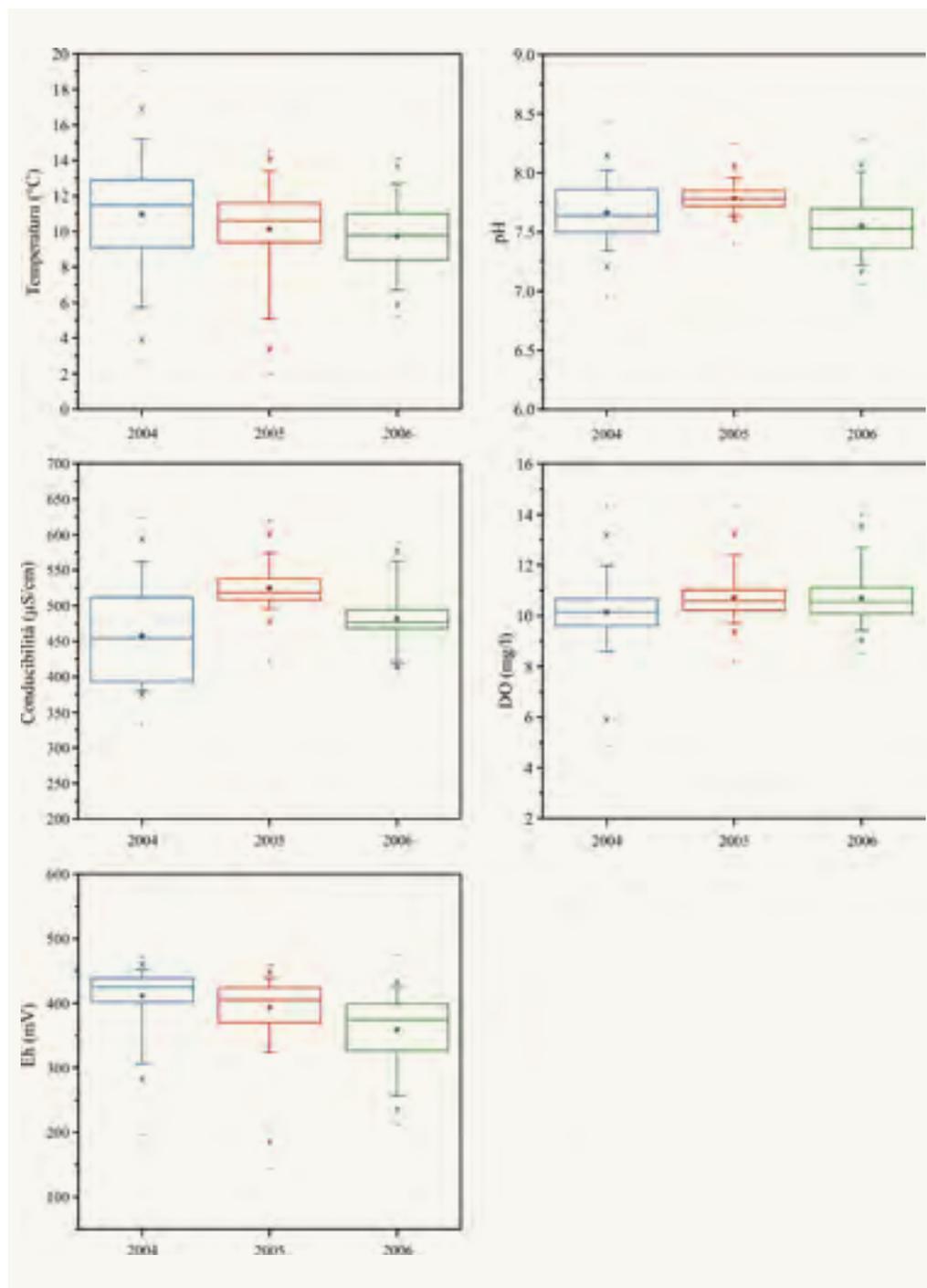


Figura 8.6 – Distribuzione dei dati di Temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox relativi agli anni 2004, 2005 e 2006

9. Stazione di Piedipaterno (fiume Nera)

La stazione di Piedipaterno è collocata a valle delle confluenze del Corno e del Vigi con il Nera, nella parte intermedia della Valnerina, e ha iniziato ad acquisire dati dal luglio 2004. Dopo alcuni anni di esercizio, alla fine del 2008, l'unità remota è stata dismessa per essere reinstallata in un sito di maggior interesse strategico, nel comune di Città di Castello

Il fiume Nera ha origine nei Monti Sibillini ad una quota di circa 1.800 m s.l.m. e scorre per circa 125 chilometri fino alla sua confluenza con il fiume Tevere, nella porzione più meridionale della regione.

Nel tratto montano riceve i contributi dei suoi affluenti principali: in sinistra idrografica, il fiume Velino e il fiume Corno, che a sua volta riceve le acque del fiume Sordo, e in destra idrografica il torrente Vigi. Il Corno e il Velino hanno bacini idrografici molto estesi che si sviluppano prevalentemente al di fuori dei confini regionali.

La stazione di Piedipaterno è collocata a valle delle confluenze del Corno e del Vigi, nella parte intermedia della Valnerina. La stazione è stata installata nell'ambito del progetto denominato Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di tricoltura in Valnerina, (vedere capitolo 1); era posizionata in un allevamento di trote, nel canale di derivazione dal fiume Nera, ed ha iniziato ad acquisire dati dal 01.07.04. Dopo alcuni anni di esercizio, il 31.12.08, l'unità remota è stata dismessa per essere reinstallata in un sito di maggior interesse strategico, nel comune di Città di Castello.



Figura 9.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Piedipaterno, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2345033 – 4736886)

Figura 9.1 – Vista esterna della stazione di monitoraggio



Tab. 9.1- Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici acquisiti dalla stazione di Piedipaterno.

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.	Redox
Dati validati	39220	35329	39164	35848	39209
% dati validati	99.3	89.5	99.2	90.8	99.3
min	5.8	7.29	271	7.9	479
max	16.2	8.96	619	16	509
media	11.3	7.92	510	11.1	366
mediana	11.3	7.94	520	11.1	361
dev std	1.7	0.21	46.1	0.76	52.3
var	2.7	0.04	2126	0.58	2735
2 percentile	8.2	7.48	377	9.7	262
98 percentile	14.8	8.45	600	12.8	466

La stazione è dotata di elettrodi separati. Analogamente alla stazione di Corone di Preci, la presenza di una parete verticale in cemento, che delimita la vasca, ha consentito di porre gli elettrodi direttamente in acqua, mediante aste in PVC, evitando un sistema di prelievo forzato del campione.

Nella fase attiva di monitoraggio la stazione ha fornito ottime performance, con una percentuale di dati validi rispetto al totale prossima al 90%.

Gli unici parametri caratterizzati da una chiara variabilità stagionale sono la temperatura e l'ossigeno disciolto (figura 9.3); la prima mostra un andamento ciclico piuttosto regolare nell'intero periodo, con minimi in gennaio e massimi in luglio. L'ossigeno disciolto raggiunge le concentrazioni più elevate in gennaio-febbraio e le più basse in luglio; il suo andamento, però, appare molto meno regolare ed è probabilmente per questo che la correlazione tra i due parametri risulta piuttosto bassa.

I cronogrammi di pH, conducibilità e potenziale Redox non mostrano particolari trend evolutivi. Osservando i box-plot di fig. 9.4, si nota che la temperatura ha un andamento altalenante, con valori generalmente più bassi nel 2005 ed i più alti nel 2007. Nonostante queste variazioni, la distribuzione dei dati non ha subito sostanziali modifiche negli anni.

Il pH sembra ricalcare l'andamento della temperatura ma, di anno in anno, cambia la forma ed il tipo di distribuzione dei dati, come evidenziato in particolare modo dalle variazioni nella dispersione.

I valori di conducibilità sono caratterizzati da un andamento altalenante, con una continua variazione nella distribuzione dei dati: da un anno all'altro, infatti, cambia il segno dell'asimmetria, che in corrispondenza degli anni centrali del monitoraggio si annulla totalmente, per poi ricomparire nel 2008. Il fenomeno più evidente è rappresentato dalle variazioni nella dispersione dei dati; in particolare, la forte dispersione che con-

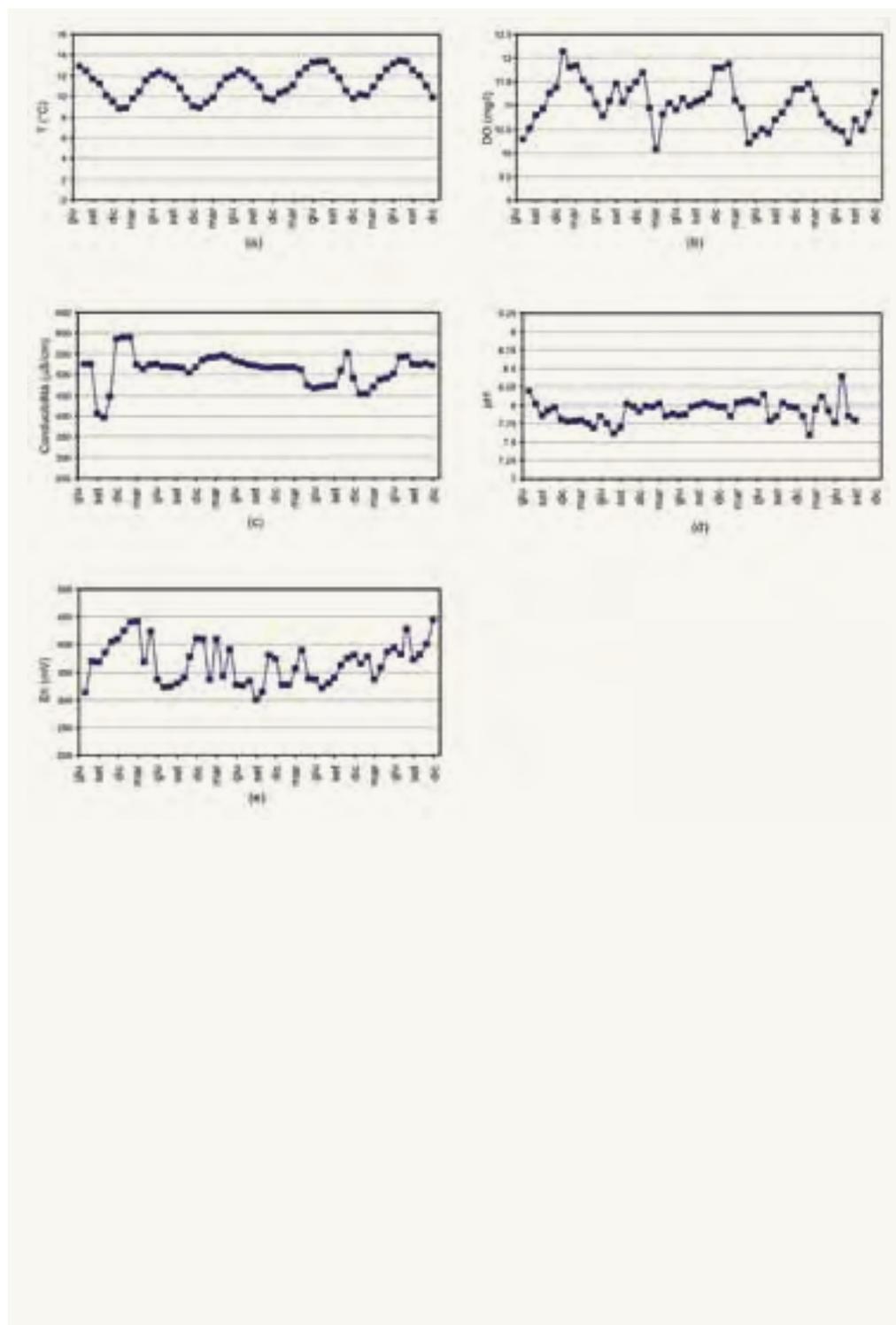


Figura 9.3 – Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità, pH e potenziale redox nel periodo di monitoraggio

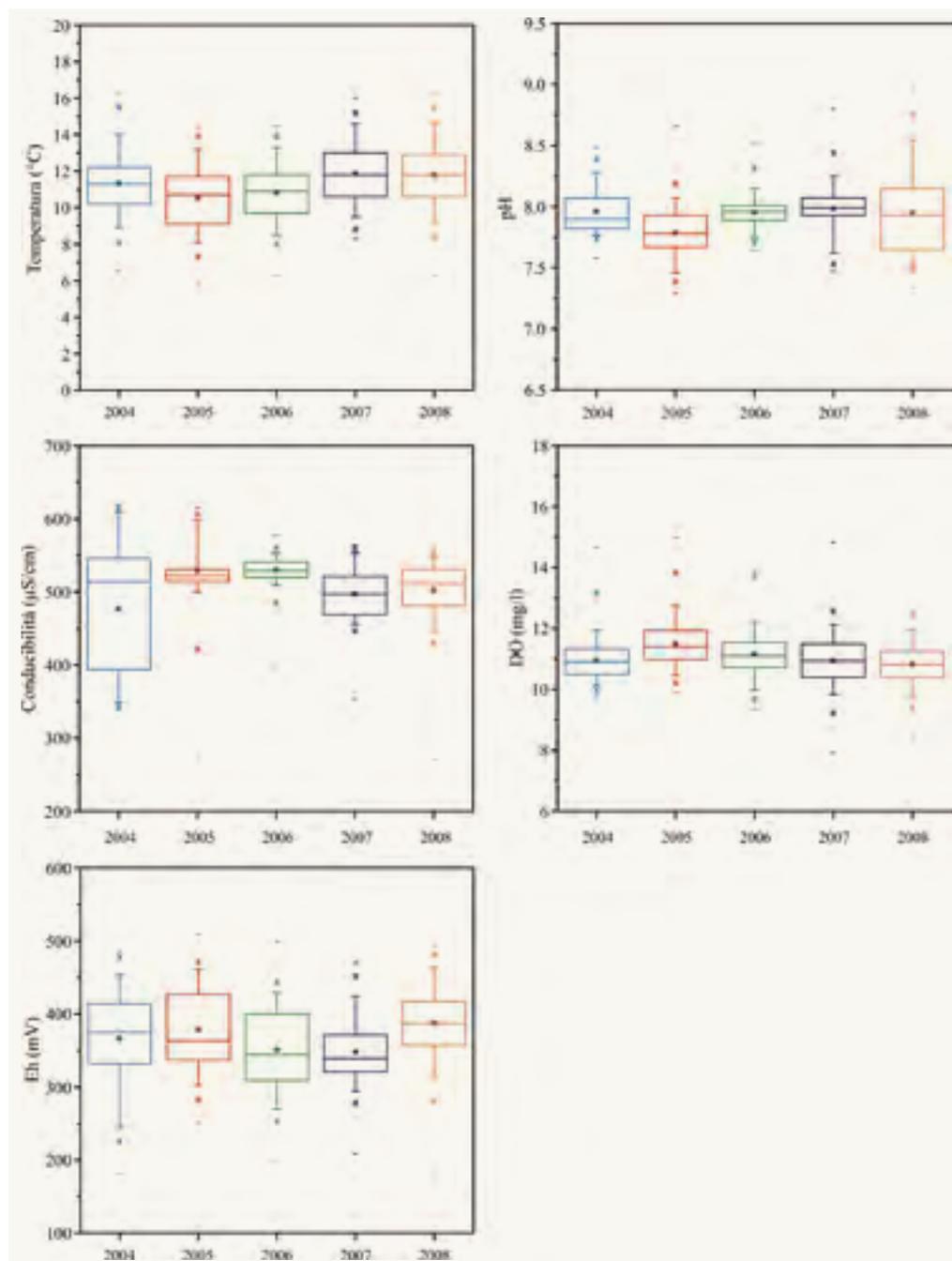
traddistingue la distribuzione del 2004 appare anomala, soprattutto in relazione alle distribuzioni degli anni successivi. Probabilmente, il fenomeno è imputabile ad una eccessiva deriva dello strumento nei primi mesi di attivazione.

L'ossigeno disciolto presenta naturalmente un andamento opposto a quello della temperatura, ma con variazioni contenute. La distribuzione, prossima alla

simmetria, rimane praticamente invariata nell'intero periodo.

I valori di potenziale redox sono caratterizzati da una limitata variabilità e da una distribuzione che cambia negli anni, con un'asimmetria che da negativa diventa positiva e che viene meno nel 2008, quando la distribuzione diventa simmetrica. Dal 2007, inoltre, si assiste ad una consistente riduzione della dispersione.

Figura 9.4 – Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008



I cronogrammi riportati in figura 9.5 mostrano il comportamento nel breve periodo di tutti i parametri misurati, nelle quattro stagioni. L'elaborazione è stata effettuata utilizzando i dati relativi ai primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio ed ottobre del 2008, per un totale di 72 dati orari consecutivi (dalle 01.00 del primo alle 24.00 del terzo giorno).

I grafici mostrano chiaramente i parametri caratterizzati da una ciclicità giornaliera (variazioni notte-giorno) e l'influenza stagionale su di essa.

La temperatura dell'acqua, ovviamente

te, è caratterizzata da evidenti escursioni giornaliere, che risultano amplificate in primavera ed estate, quando l'irraggiamento solare è più intenso e le escursioni nella temperatura dell'aria sono maggiori. Indipendentemente dal periodo dell'anno considerato, all'interno del cronogramma le fasi ascendenti risultano molto più brevi di quelle discendenti ed i massimi e i minimi si riscontrano più o meno nelle stesse ore della giornata; le condizioni climatiche stagionali, quindi, incidono soltanto sui valori assoluti della temperatura dell'acqua ma non sul suo andamento giornaliero.

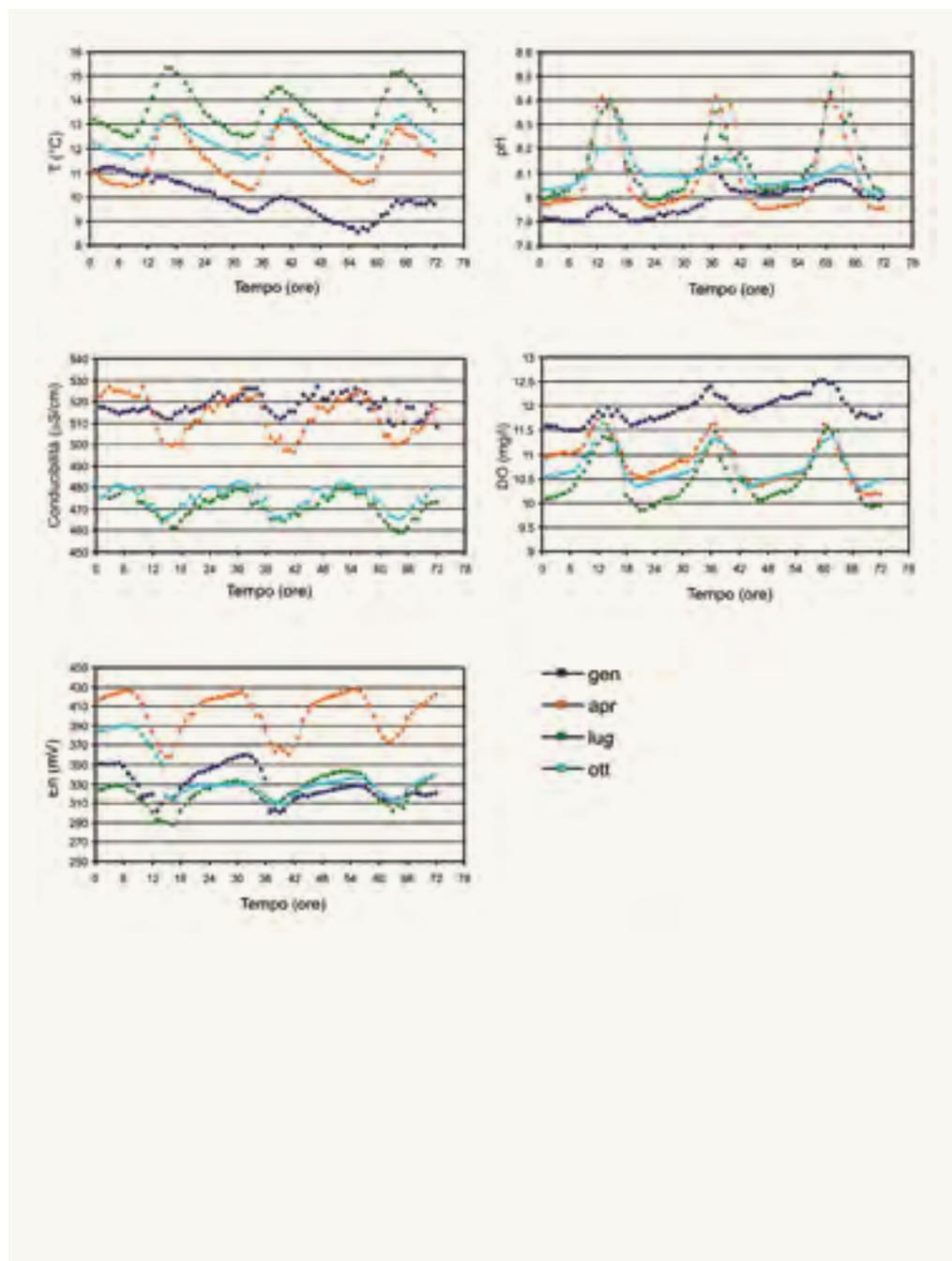


Figura 9.5 -Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008

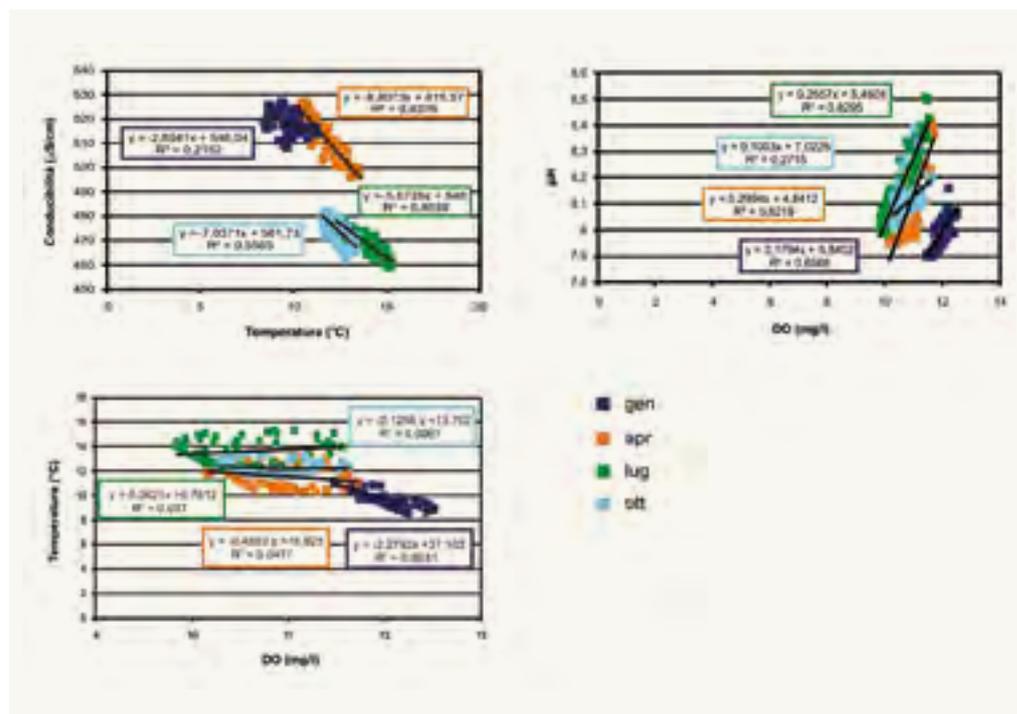
I cronogrammi di pH sono caratterizzati dalla presenza di picchi in corrispondenza dei valori massimi, che vengono raggiunti nelle prime ore pomeridiane.

L'ampiezza dei picchi, piuttosto ridotta in inverno, è particolarmente accentuata in primavera e in estate. Tale fenomeno può essere giustificato dall'attività biologica delle macrofite le quali, attraverso la fotosintesi (processo che agisce maggiormente nel periodo primaverile-estivo), assumono un ruolo chiave negli equilibri chimico-fisici della soluzione acquosa (vedere paragrafo 5.2.1). Nelle ore diurne, infatti, il consumo di anidride

carbonica disciolta in soluzione in favore della produzione di ossigeno, porta ad una diminuzione dell'acidità della soluzione acquosa, con conseguente aumento del pH. Durante la notte si instaura il processo inverso: viene consumato ossigeno per la produzione di CO₂ che, entrando in parte in soluzione, ne fa diminuire il pH.

La conducibilità segue un andamento ciclico giornaliero, meno evidente nella stagione invernale. Le sue variazioni sono dovute all'andamento del pH: la maggiore conducibilità è dovuta a un aumento della concentrazione dei sali in soluzione (in particolare dei bicarbonati), mag-

Fig 9.6 - Correlazioni tra i parametri chimico-fisici, sulla base di 72 dati orari relativi ai primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



giormente solubili in corrispondenza dei minimi di pH. Questi processi risultano amplificati in primavera e in estate, a causa dell'intensa attività biologica che favorisce variazioni più marcate di pH.

I valori di conducibilità misurati in inverno e in primavera, risultano più elevati rispetto a quelli riscontrati in estate ed autunno (circa 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ di differenza). Probabilmente, questo fenomeno è legato alla presenza stagionale di acque più "fredde" e ricche di CO_2 che, nel processo di infiltrazione, portano in soluzione un maggior quantitativo di bicarbonati, aumentando di conseguenza la conducibilità delle acque. Occorre sottolineare che il fiume Nera, a monte della stazione di Piedipaterno, è alimentato quasi esclusivamente da acqua sorgiva; la soluzione acquosa, nel percorso verso valle si è riequilibrata in parte con l'ambiente esterno, assumendo in prossimità della stazione valori più elevati di pH (dovuti a perdita di CO_2) rispetto a quanto riscontrabile presso la sorgente.

Le variazioni nel breve periodo di ossigeno disciolto sembrano influenzate prevalentemente dai processi precedentemente, piuttosto che dalla temperatura dell'acqua, poiché i valori più elevati si registrano nelle ore di massimo irraggiamento solare, durante le quali l'attività fotosintetica è più marcata. La proporzionalità inversa tra i due parametri, invece, appare evidente se si considerano i

valori assoluti dell'ossigeno, decisamente più alti in inverno che in estate.

Le variazioni giornaliere del potenziale di ossido-riduzione rimangono simili in tutte le stagioni, con valori massimi nelle prime ore del mattino e minimi nel tardo pomeriggio; l'ampiezza massima di oscillazione si verifica in primavera.

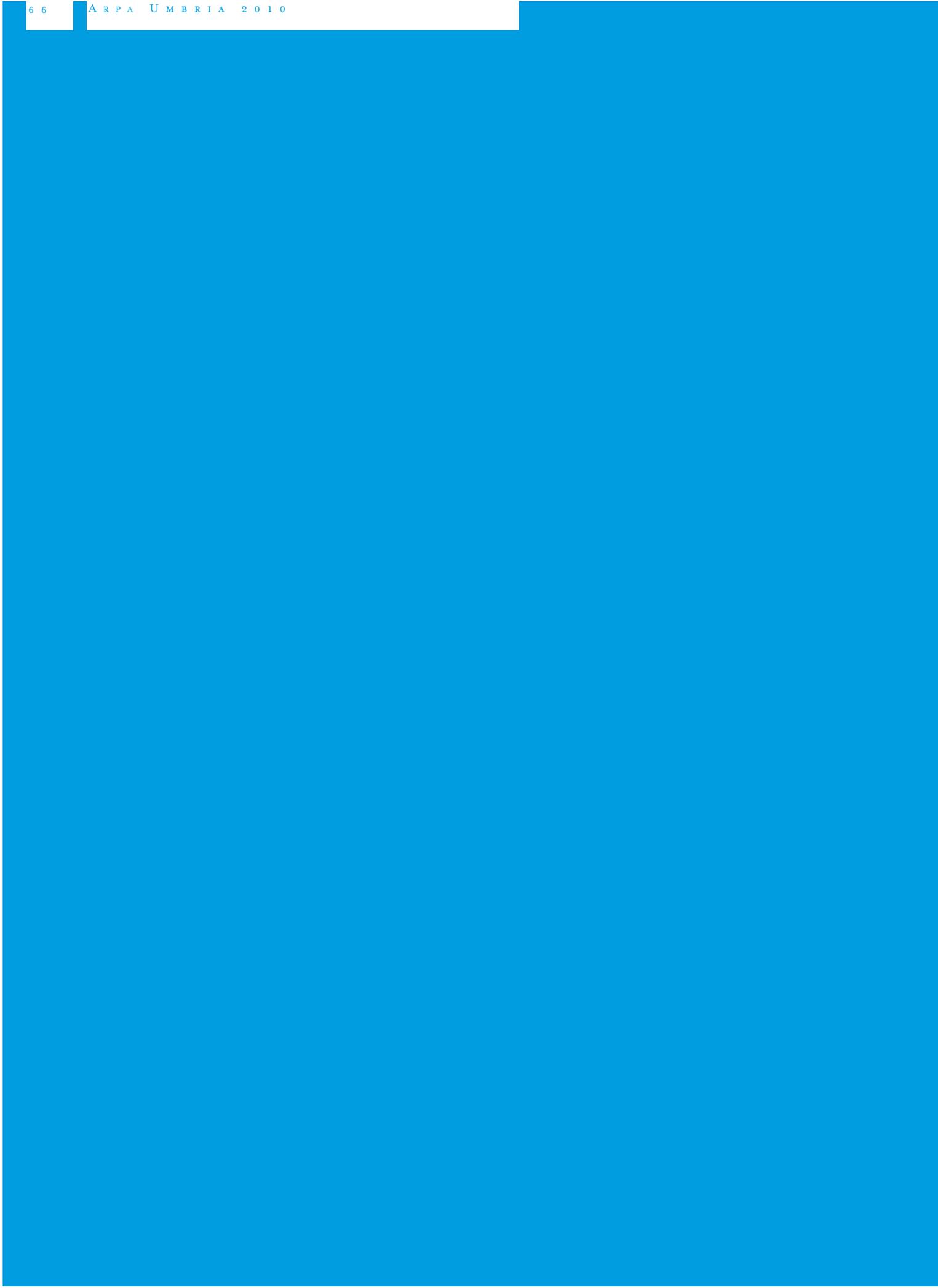
L'andamento risulta singolare, con variazioni molto limitate nelle ore notturne e piuttosto consistenti nelle ore di luce. Tenzialmente, l'andamento è opposto a quello di pH e ossigeno disciolto, perché in presenza di ossigeno, accettore di elettroni, i più alti valori di potenziale redox si osservano in corrispondenza dei più bassi valori di pH. Questo processo giustifica valori di potenziale redox più contenuti nella stagione estiva.

Gli stessi dati orari sono stati utilizzati per cercare eventuali correlazioni tra i parametri monitorati, anche nel breve periodo (72 ore). È stata riscontrata una buona correlazione tra conducibilità e temperatura, nonché tra pH e ossigeno disciolto (vedere fig. 9.6). Tuttavia, la consistenza di questi legami varia a seconda della stagione considerata: la correlazione inversa tra pH e ossigeno disciolto risulta piuttosto marcata in primavera e in estate ($R^2 > 0,8$), ma si riduce drasticamente in autunno e soprattutto in inverno, quando i due parametri risultano totalmente indipendenti. pH e ossigeno disciolto, ad esclusione dell'autunno, mostrano una

buona correlazione diretta, soprattutto in corrispondenza dei mesi più caldi, quando il coefficiente di correlazione risulta pari a 0,83.

Considerando che tra pH e conducibilità è emersa una buona correlazione inversa solamente in corrisponden-

za dell'estate e che ossigeno disciolto e temperatura sono legati, tramite correlazione inversa, solamente in inverno, si può intuire quanto l'attività biologica delle piante acquatiche possa condizionare l'andamento dei parametri chimico-fisici, soprattutto a scala giornaliera.



IO. Stazione di Piediluco Medio Nera (Canale Medio Nera)

Il Canale del Medio Nera è un'imponente opera idraulica, realizzata prevalentemente in galleria, che consente di alimentare il lago di Piediluco con le acque della Valnerina, ampliando il bacino imbrifero del lago fino a 2.097 km², contro i 74 km² originari. La stazione chimico-fisica è collocata in prossimità della confluenza del Canale del Medio Nera con lago di Piediluco

Il Canale del Medio Nera è un'imponente opera idraulica, completata nel 1931, che consente di alimentare il lago di Piediluco con le acque della Valnerina. Il Canale ha origine a Triponzo, nell'Alta Valnerina, dove recepisce le acque di scarico dell'omonima centrale idroelettrica e, dopo un percorso di 42 chilometri, la maggior parte dei quali in galleria, sfocia nel lago di Piediluco.

La sua funzione è quella di derivare verso il lago, per scopi idroelettrici, parte delle acque del fiume Nera e dei suoi affluenti Corno e Vigi, per una portata variabile tra 12 e 20 m³/s. Con l'apertura del Canale del Medio Nera, il bacino imbrifero naturale del lago è stato fortemente ampliato, raggiungendo un superficie di 2.097 km², contro i 74 km² originari.

Figura 10.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Piediluco Medio Nera, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2335765 – 4712407)



La stazione chimico-fisica è collocata in prossimità della confluenza del Canale del Medio Nera con lago di Piediluco (Voc. Colle dei Frati, comune di Terni). Anch'essa è stata installata nell'ambito del

progetto denominato *Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di tricotitura in Valnerina*, (vedere cap. I). La stazione è posta sulla riva destra del canale, ad una quota di circa 369 m s.l.m..

Figura 10.2 - Vista esterna della stazione



Figura 10.3 - Circuito idraulico che ospita le celle di misura della stazione



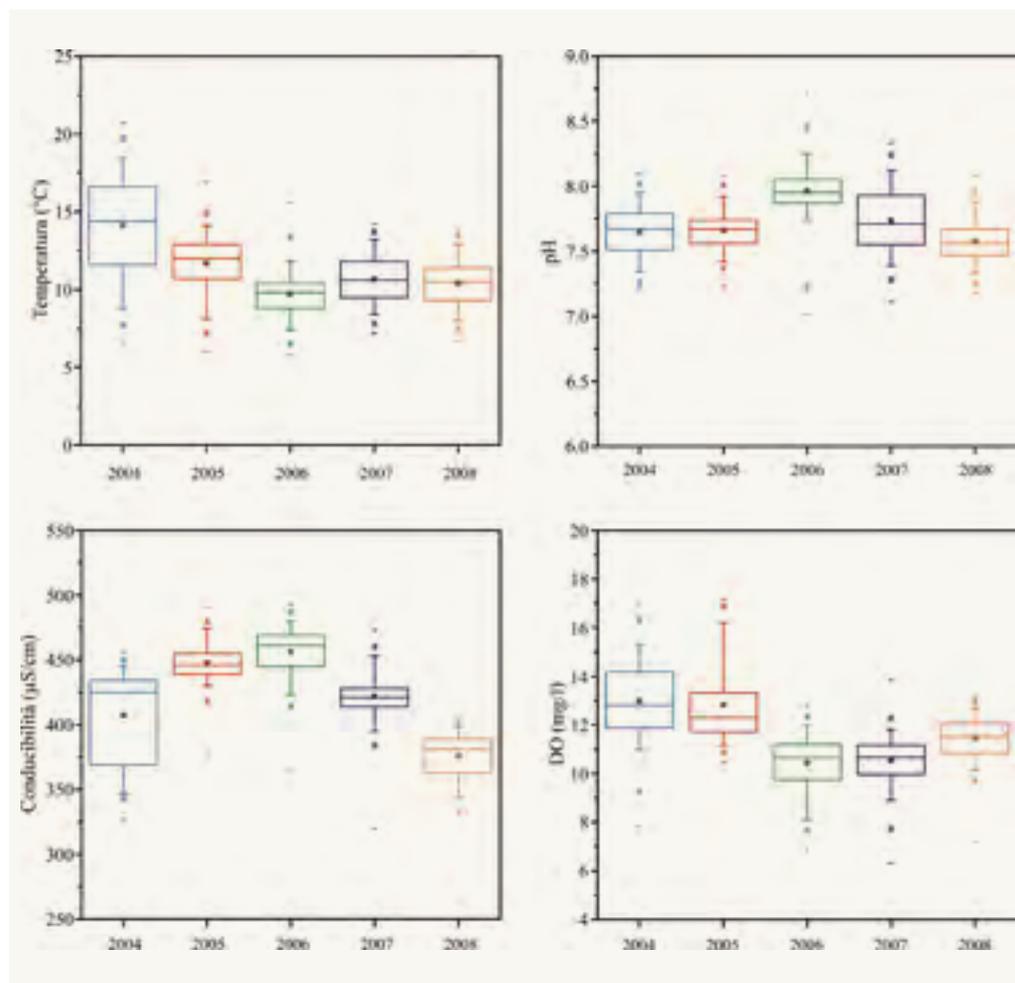
Figura 10.4 - Sistema di prelievo forzato delle acque del canale



Tab 10.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	32822	31874	33372	27999
% dati validati	83.1	80.7	84.5	70.9
min	5.8	7.01	261	6.3
max	20.7	8.71	493	17.2
media	11.1	7.70	420	11.6
mediana	10.9	7.68	425	11.4
dev std	2.2	0.22	35.5	1.7
var	5	0.05	1261	2.7
2 percentile	7.6	7.31	345	8.4
98 percentile	17.5	8.19	476	16.01

Figura 10.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008



Tale andamento rivela un forte legame tra i quattro parametri; tuttavia, il fatto che ad un abbassamento della temperatura corrisponda una diminuzione della quantità di ossigeno disciolto in soluzione e, soprattutto, che ad una maggiore acidità delle acque corrisponda una diminuzione della quantità di sali disciolti, fa supporre che le variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque non siano riconducibili ai soli processi tipici di un corso d'acqua naturale.

La distribuzione dei dati di temperatura, conducibilità e ossigeno disciolto è caratterizzata da una forte dispersione in corrispondenza del primo anno di monitoraggio, che si riduce sensibilmente nel periodo successivo; probabilmente, il fenomeno è imputabile ad alcune modifiche strutturali nel sistema di prelievo e nel circuito idraulico che hanno migliorato, dopo il primo anno di attività, il funzionamento complessivo della stazione.

In fig. 10.7 sono rappresentati, per ogni stagione, gli andamenti nel breve periodo (72 ore) dei parametri monitorati.

Le variazioni di temperatura seguono un andamento sinusoidale, con ampiezza di oscillazione diversa a seconda della stagione; indipendentemente dal periodo dell'anno, i valori massimi vengono raggiunti in corrispondenza delle prime ore della notte ed i minimi all'inizio del pomeriggio, con un ritardo di almeno 6 ore rispetto a quanto generalmente osservabile in un corso d'acqua naturale con percorso a cielo aperto. Questo sfasamento è dovuto presumibilmente alla tipologia del canale monitorato che, come detto, corre quasi esclusivamente in cunicolo sotterraneo: la stazione, posizionata all'ingresso del canale nel lago di Piediluco, esamina acque che hanno transitato per decine di chilometri in galleria, dove la temperatura ambientale rimane costante nell'arco della giornata. Il passaggio in un ambiente a temperatura costante provoca presumibilmente due effetti sulla temperatura delle acque in ingresso: un'azione di "inerzia" termica che attenua le variazioni giornaliere e, nel contempo, uno sfasamento nell'andamento oscillatorio. Tuttavia, vista la lunghezza

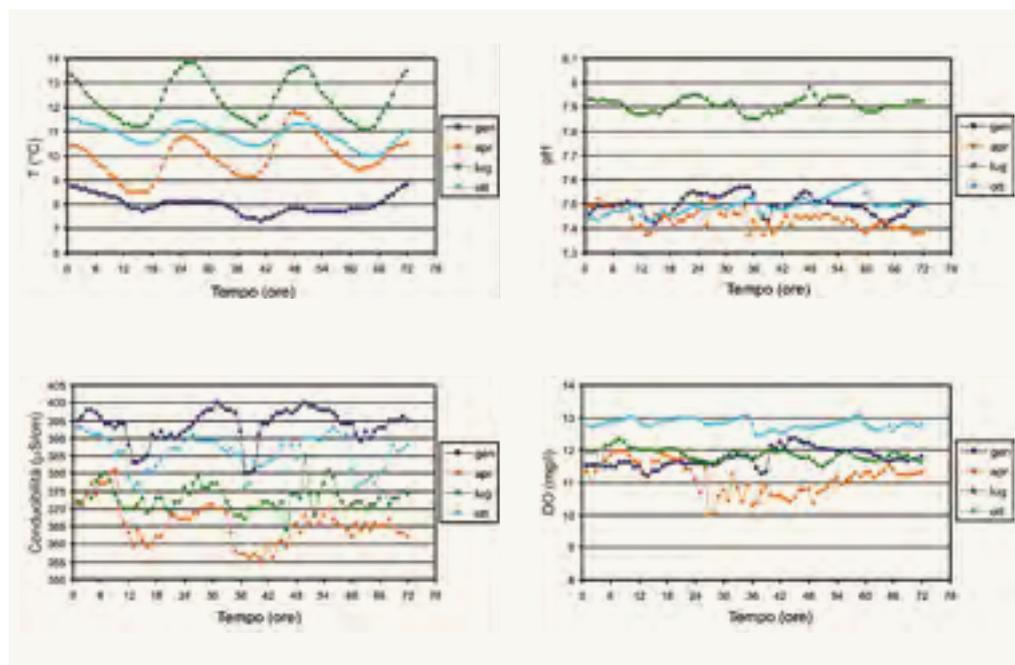


Figura 10.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008

del canale del Medio Nera, lo sfasamento di 6 ore potrebbe essere giustificato soltanto con una velocità di scorrimento di circa 2-3 m/s, mentre la velocità reale del flusso è più elevata (4-5 m/s), per un tempo di percorrenza delle acque in galleria inferiore a 6 ore; è possibile, quindi, che intervengano altri fattori, non facilmente definibili con i dati in nostro possesso.

Anche le variazioni degli altri parametri monitorati risultano di difficile interpretazione, vista la scarsità di informazioni disponibili; pertanto, ci limiteremo ad un semplice processo di descrizione.

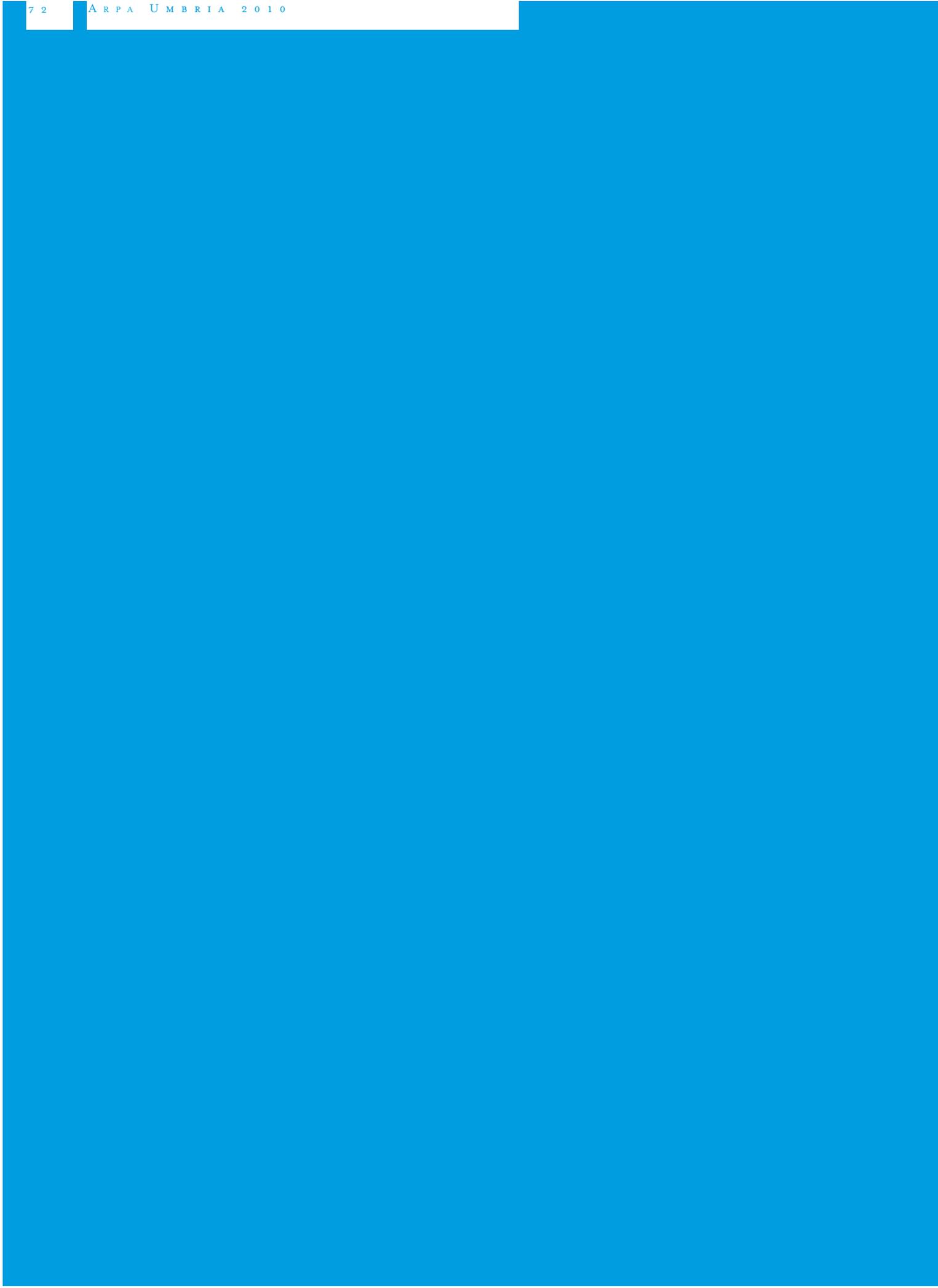
Il pH subisce delle variazioni contenute nell'arco della giornata, soprattutto in autunno e primavera (<0,1 unità di pH); si osservano delle oscillazioni giornaliere con valori minimi intorno a mezzogiorno e

massimi intorno a mezzanotte. Dalla figura si nota che in estate il pH è sensibilmente più elevato (0,5-0,6 unità) in rapporto alle altre stagioni.

La conducibilità mostra delle chiare variazioni giornaliere, ma il suo andamento non è di tipo armonico. Le oscillazioni tra massimi e minimi sono generalmente nell'ordine di 15-20 µS/cm, con una sensibile riduzione nel periodo estivo.

L'andamento dell'ossigeno disciolto, infine, non mostra variazioni di tipo notte-giorno; le differenze tra valori massimi e minimi sono molto contenute, generalmente inferiori ad 1 mg/l.

Non è emersa alcuna correlazione tra i diversi parametri monitorati, indipendentemente dal periodo dell'anno preso in esame.



II. Stazione di Piediluco lago (lago di Piediluco)

Il lago di Piediluco è collocato nella porzione sud-orientale del bacino del fiume Nera; lo specchio lacustre ha una superficie di 1,7 km² e un perimetro di circa 15 km, con una profondità massima di circa 20 metri, ed è alimentato dal Canale del Medio Nera e dal fiume Velino. La stazione chimico-fisica è collocata in località I Quadri, nel settore nord-orientale del lago

Il lago di Piediluco è collocato nella porzione sud-orientale del bacino del fiume Nera. Lo specchio lacustre ha una superficie di 1,7 km² e un perimetro di circa 15 km, con una profondità media di 10 metri e una profondità massima prossima ai 20 metri. Il lago, alimentato dal Canale del Medio Nera (vedere capitolo 10) e dal fiume Velino, ha una capacità di invaso compresa tra 17 Mm³ (quota di max invaso 369 m s.l.m.) e 15 Mm³ (quota di minimo invaso 367,5 m s.l.m.).

Un canale artificiale lungo circa 400 metri collega il lago di Piediluco al fiume Velino. Il fiume Velino, a sua volta, con un salto di circa 200 metri, confluisce

nel fiume Nera dando luogo alla cascata delle Marmore.

Il deflusso delle acque del lago verso le centrali idroelettriche è regolato da una diga presente a monte della cascata. Pertanto, il lago di Piediluco funziona da bacino di accumulo, mentre il fiume Velino agisce alternativamente da immissario o da emissario in funzione delle esigenze della centrale idroelettrica di Galleto Monte S. Angelo. In dettaglio, il Canale del medio Nera alimenta il lago con una portata media continua di circa 15 m³/s, mentre il fiume Velino lo alimenta soltanto nelle ore notturne con una portata media di circa 10 m³/s.



Figura 11.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Piediluco lago, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2336640 - 4711531)

Figura 11.2 - Vista del sistema idraulico di prelievo



Figura 11.3 - Cella di misura per l'alloggiamento della sonda multiparametrica

Tab 11.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici.

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	34069	32944	34069	29141
% dati validati	89.2	86.2	89.2	76.3
min	5.8	6.82	408	0.05
max	17.2	8.37	658	10.84
media	12.1	7.67	503	4.8
mediana	12.5	7.64	507	4.6
dev std	2.8	0.25	47	2.6
var	7.9	0.06	2220	6.9
2 percentile	6.8	7.15	419	0.6
98 percentile	16.5	8.17	600	9.3

La stazione chimico-fisica è collocata nell'omonimo lago, in località *I Quadri* – Centro Remiero – (comune di Terni), nel settore nord-orientale del lago, alla quota di massimo invaso. Originariamente, la stazione di monitoraggio era stata realizzata con un doppio sistema di prelievo, a 20 cm dalla superficie (in prossimità della sponda) e a una profondità di alcuni metri. Attualmente, viene utilizzato solo il secondo sistema di prelievo. La stazione è dotata di un campionatore automatico refrigerato che, all'occorrenza, può essere attivato con diverse modalità di prelievo (tempo costante, superamento di una soglia impostata, ecc.).

La stazione, attivata nel dicembre 2004, ha fornito ottime prestazioni, con qualche difficoltà legata al funzionamento dell'elettrodo per la misura dell'ossigeno disciolto, come dimostrano le percentuali indicate in tabella II.1.

Occorre considerare che la stazione di monitoraggio è localizzata a ridosso della sponda (circa 10 m), in una porzione di lago poco profonda, interessata da un limitato ricambio d'acqua. Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque, in questo

settore del lago, risentono delle variazioni meteo-climatiche stagionali, come testimonia l'andamento di tutti i parametri monitorati (fig. II.4).

La temperatura dell'acqua è fortemente influenzata dalla temperatura dell'aria, raggiungendo i valori massimi in luglio ed i minimi in dicembre. La solubilità dell'ossigeno disciolto sembra dipendere prevalentemente dalla temperatura della soluzione: tra i due parametri esiste una buona correlazione inversa, con un coefficiente di correlazione pari a 0,84. Anche il pH risulta correlato alla temperatura ($R^2 = 0,73$), subendo delle variazioni stagionali che vedono valori più acidi delle acque nel periodo estivo. Tale andamento può dipendere da diversi fattori, come la decomposizione della materia organica, favorita dalle temperature più alte, che porta ad una produzione di anidride carbonica; quest'ultima, entrando in parte in soluzione, ne aumenta l'acidità. È stata riscontrata anche una buona correlazione diretta tra il pH e l'ossigeno disciolto, ma la forza di questo legame risulta leggermente inferiore rispetto a quella dei primi due (fig. II.5).

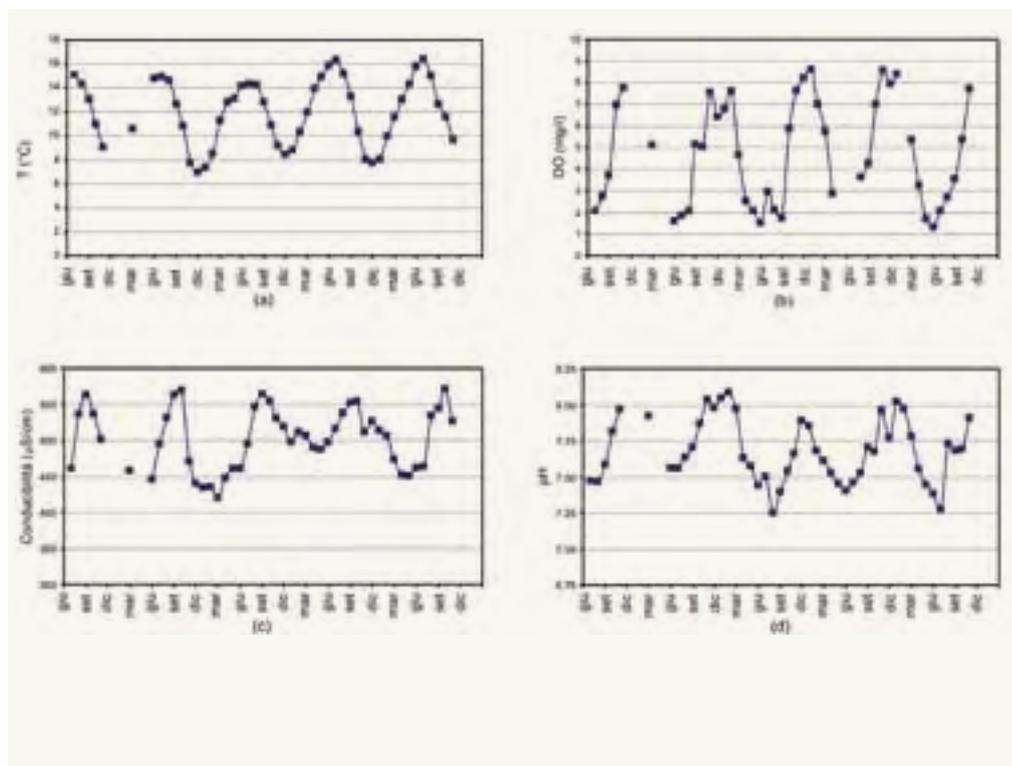


Fig 11.4 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità e pH nel periodo di osservazione

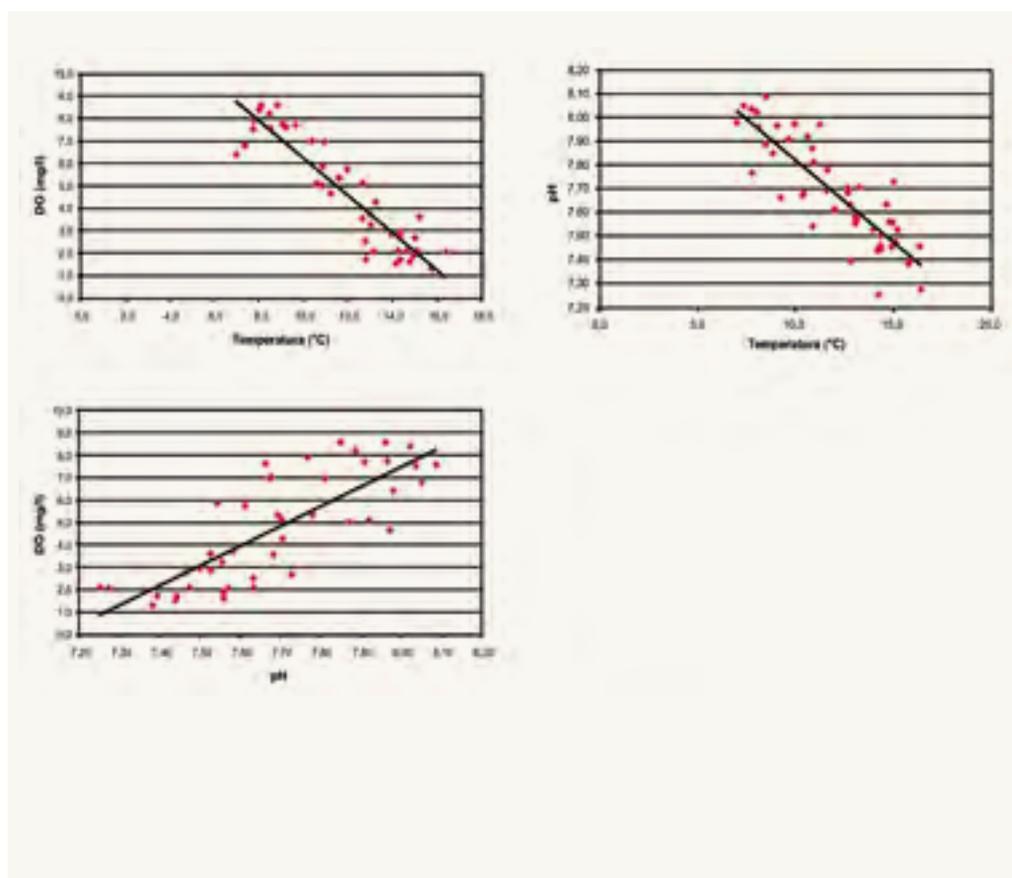


Figura 11.5 – Correlazione tra ossigeno disciolto, temperatura e pH sulla base delle medie mensili

La conducibilità raggiunge i valori massimi a fine estate e i minimi in primavera. L'aumento di conducibilità in estate può essere dovuto alla concomitanza di

due effetti: il processo di evaporazione e la maggiore solubilizzazione dei sali (dei bicarbonati, in particolare) dovuta all'abbassamento del pH.

In figura II.6 è possibile osservare la forte dispersione che contraddistingue i dati di temperatura e di ossigeno disciolto durante tutto il periodo di monitoraggio; questo indica che, nell'arco dell'anno, tali parametri assumono naturalmente un ampio range di valori. La distribuzione dei dati di temperatura è caratterizzata da una leggera asimmetria negativa, che risulta più evidente nel 2006, in corrispondenza di un sensibile generale abbassamento dei valori misurati. Le distribuzioni dei dati annuali di ossigeno disciolto, invece, appaiono sempre differenti, con un'alternanza nel segno dell'asimmetria. A questo si aggiunge anche una continua e consistente variazione, da un anno all'altro, delle concentrazioni misurate.

Le distribuzioni dei dati di pH, caratterizzate da una ridotta dispersione, si mantengono simili nei primi tre anni, ma dal 2007 l'asimmetria positiva si riduce, scomparendo totalmente nell'anno successivo.

La conducibilità è il parametro che negli anni varia di più, sia nei valori che nel tipo e nella forma della distribuzione.

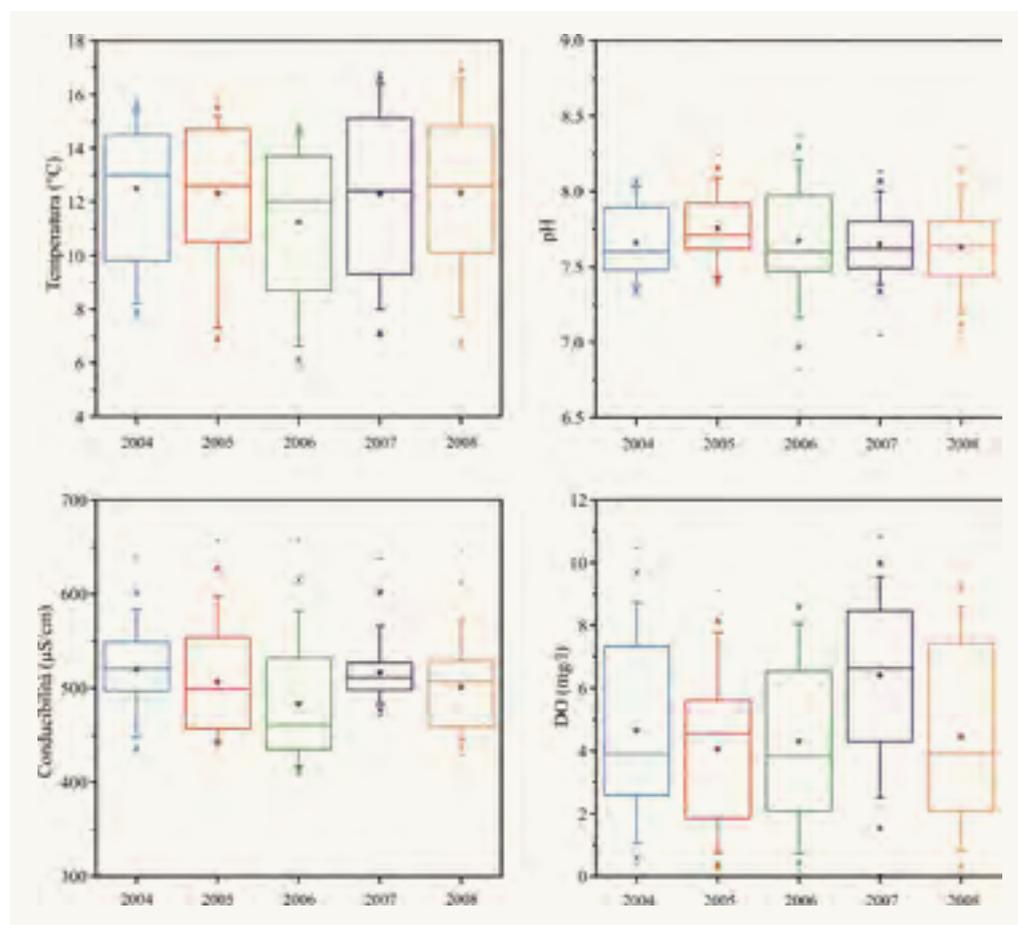
La temperatura dell'acqua sembra risentire limitatamente delle variazioni

giornaliere di temperatura dell'aria, tanto che anche in estate l'ampiezza delle oscillazioni appare molto contenuta, inferiore ad 1° C (figura II.7).

Gli altri parametri monitorati non sembrano seguire andamenti di tipo notte-giorno, indipendentemente dalla stagione di riferimento; le variazioni molto contenute indicano che il lago, nel breve periodo, ha un'elevata inerzia nei confronti delle variazioni meteo-climatiche. I parametri monitorati variano solo nel lungo periodo, come mostrano i grafici di fig. II.4 e II.6 e, in fig. II.7, le diverse posizioni delle curve stagionali lungo l'asse delle ordinate.

Considerando gli stessi dati orari, sono emersi dei legami di interdipendenza tra pH e ossigeno disciolto e tra ossigeno disciolto e conducibilità; la forza della correlazione tra i parametri, però, è prettamente stagionale: il pH e l'ossigeno, infatti, sono quasi perfettamente correlati in modo diretto in primavera ed autunno, mentre variano in modo apparentemente indipendente durante l'estate e l'inverno; conducibilità e ossigeno disciolto sono inversamente correlati solamente in autunno e in inverno.

Fig II.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008



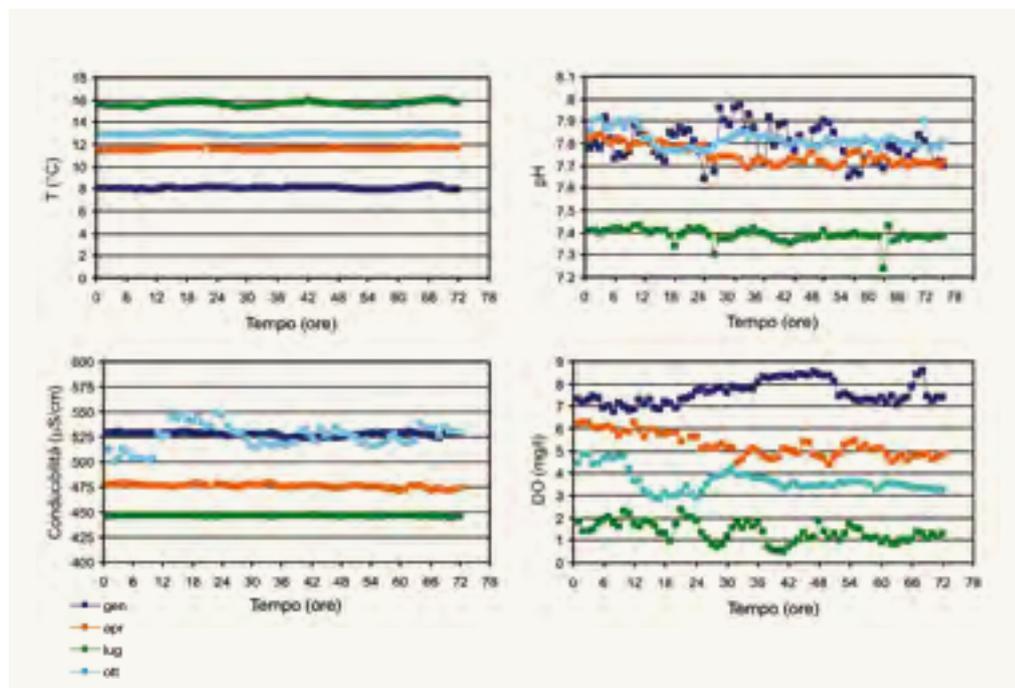
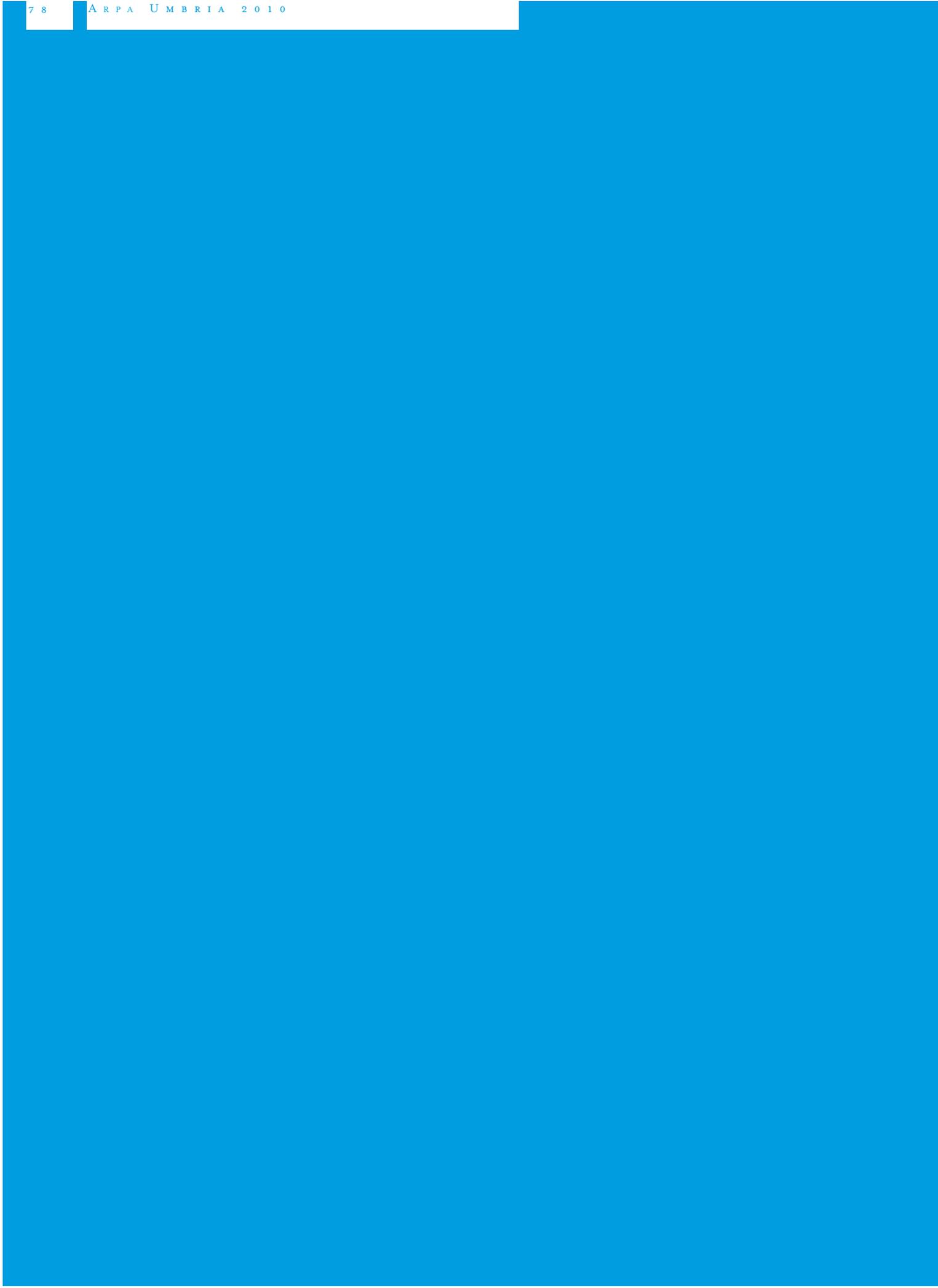


Fig 11.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



I2. Stazione di Nera Montoro (fiume Nera)

La stazione chimico-fisica di Nera Montoro è stata realizzata nel tratto compreso tra la centrale idroelettrica di Nera Montoro e quella di San Liberato, a valle del polo chimico, sulla riva destra del fiume Nera

Il fiume Nera è stato modificato per scopi idroelettrici anche a valle della città di Terni. In particolare, a S. Maria Magale il fiume subisce una prima derivazione con un canale artificiale lungo 8 km, denominato Recentino, che alimenta il lago dell'Aia; da qui, attraverso una galleria forzata lunga 2.585 m, l'acqua viene convogliata inizialmente verso la centrale idroelettrica del Recentino (posta in caverna sotto il Monte Maggiore, su cui sorge Narni) e successivamente, attraverso un canale lungo 3 Km, verso la Centrale di Nera Montoro. Questa centrale riceve acqua anche da un altro canale artificiale, posto in prossimità dello sbarramento artificiale di Stifone.

Infine, all'altezza di San Liberato, il corso naturale del Nera è modificato da una diga in terra battuta, realizzata per creare un invaso (lago di S. Liberato) con una capienza di circa 6 milioni di m³, a servizio della centrale idroelettrica adiacente (ACEA). Più a valle, il Nera entra nel territorio laziale e confluisce nel fiume Tevere.

In questo complesso mosaico di prelievi e restituzioni, è stata realizzata la stazione chimico-fisica di Nera Montoro. La stazione è collocata nel tratto compreso tra la centrale di Nera Montoro e quella di San Liberato, a valle del polo chimico, sulla riva destra del fiume Nera, ad una quota di circa 73 m s.l.m.



Figura 12.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Nera Montoro, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2311800 – 4707439)

Figura 12.2 - Vista esterna della stazione di monitoraggio



Figura 12.3 - Braccio idraulico basculante per il sostegno della pompa di prelievo



Figura 12.4 - Cella di misura per l'alloggiamento della sonda multiparametrica



Tabella 12.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	32106	16061	30016	27710
% dati validati	82.1	41.1	76.8	70.9
min	7.9	6.6	269	2.63
max	21.1	7.77	3851	14.28
media	14.8	7.0	1578.5	8.5
mediana	15.3	7.05	1319	8.57
dev std	2.5	0.22	764	1.8
var	6.4	0.05	584298	3.1
2 percentile	9.8	6.67	439	4.97
98 percentile	19.1	7.45	3080	12.46

A monte della stazione, lungo un tratto di circa 3 km, vi sono alcune sorgenti in alveo, puntuali e lineari (La Carestia, Lecinetto, Stifone, Nera Montoro), che incrementano la portata del fiume con acque di origine profonda caratterizzate da elevate salinità (Di Matteo et alii, 2009).

Le variazioni dei parametri chimico-fisici monitorati sono fortemente condizionate dalla gestione delle acque, che comporta un accumulo nelle ore notturne, quando la richiesta di energia elettrica è minima, ed un rilascio in quelle diurne, quando si ha una forte richiesta di energia e le centrali idroelettriche lavorano a pieno regime (vedere cap. 5.3.3).

Nel lungo periodo di osservazione, solamente la temperatura sembra caratterizzata da variazioni di tipo stagionale, raggiungendo i valori medi mensili più elevati in estate ed i minimi in inverno (fig. 12.5). Nell'arco di tempo considerato la temperatura segue un trend crescente, dovuto soprattutto ad un rilevante aumento dei valori verificatosi a partire dalla fine del 2006.

Gli altri parametri non sembrano seguire particolari andamenti; soltanto il cronogramma relativo all'ossigeno disciolto mostra un trend, che risulta crescente a partire dalla primavera del 2006.

In figura 12.6 sono illustrati i grafici che rappresentano le distribuzioni dei dati annuali.

Dal 2004 al 2006 i dati di temperatura mantengono lo stesso tipo di distribuzione, anche se si riscontra un consistente aumento della dispersione ed una diminuzione nei valori misurati; dal 2007 si verifica una variazione della distribuzione che si avvicina alla simmetria, accompagnata da aumento dei valori, che tornano ai livelli registrati all'inizio del monitoraggio.

Per quanto riguarda il pH, non si hanno variazioni rilevanti né nei valori misurati, né nel tipo di distribuzione.

Le distribuzioni di ossigeno disciolto e conducibilità, invece, subiscono variazioni rilevanti, soprattutto in relazione alla dispersione. In particolare, i dati di conducibilità risultano distribuiti in modo spiccatamente asimmetrico durante i cinque anni di osservazione ma, a partire dal 2007, aumenta fortemente sia il loro valore medio, sia la dispersione intorno ad esso.

I valori medi annuali di conducibilità sembrano seguire negli anni lo stesso andamento delle medie annuali di temperatura, anche se le loro variazioni relative risultano decisamente più consistenti.

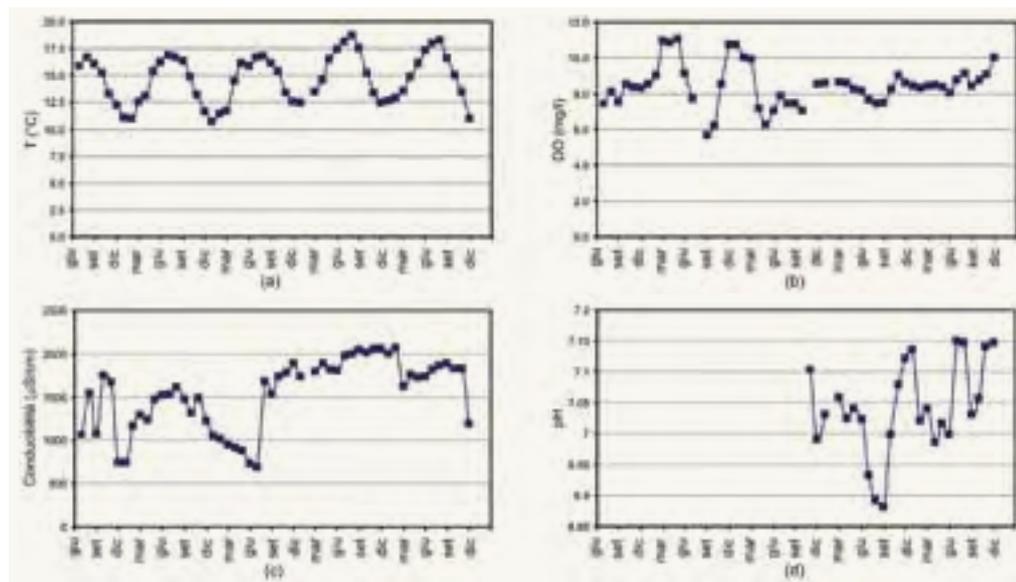


Fig 12.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità e pH nel periodo di osservazione

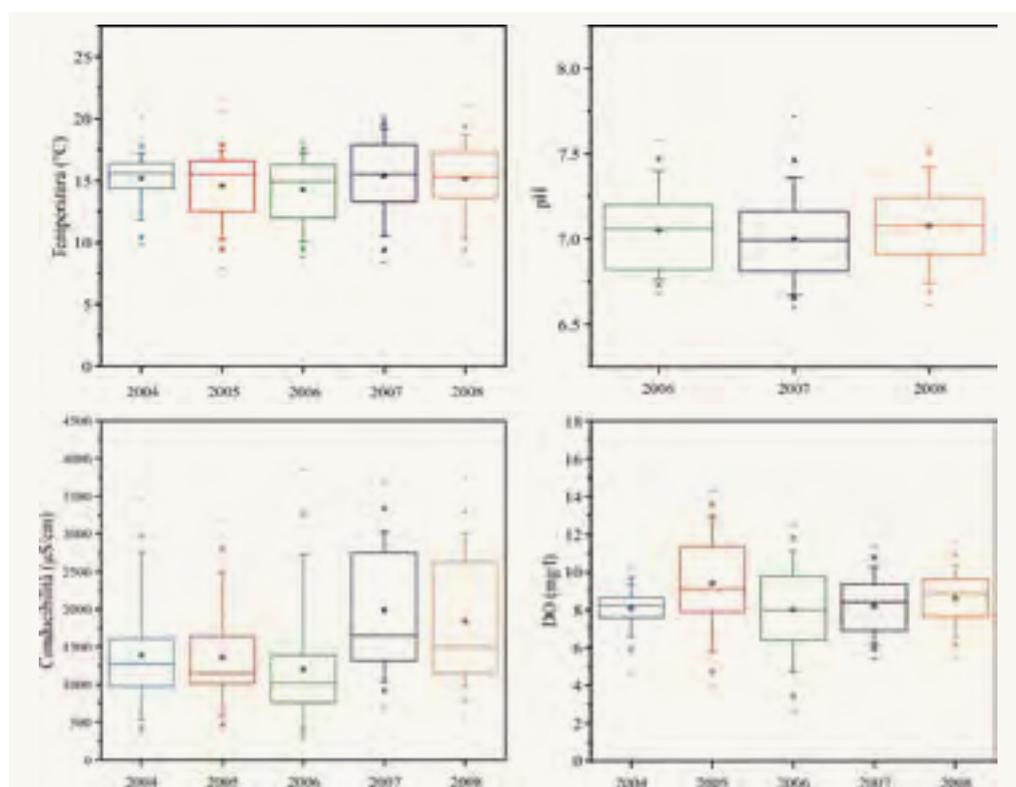


Fig 12.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008

Osservando le curve illustrate in fig. 12.7, risulta evidente quanto la gestione delle acque a fini idroelettrici possa influenzare l'andamento giornaliero dei parametri chimico-fisici monitorati.

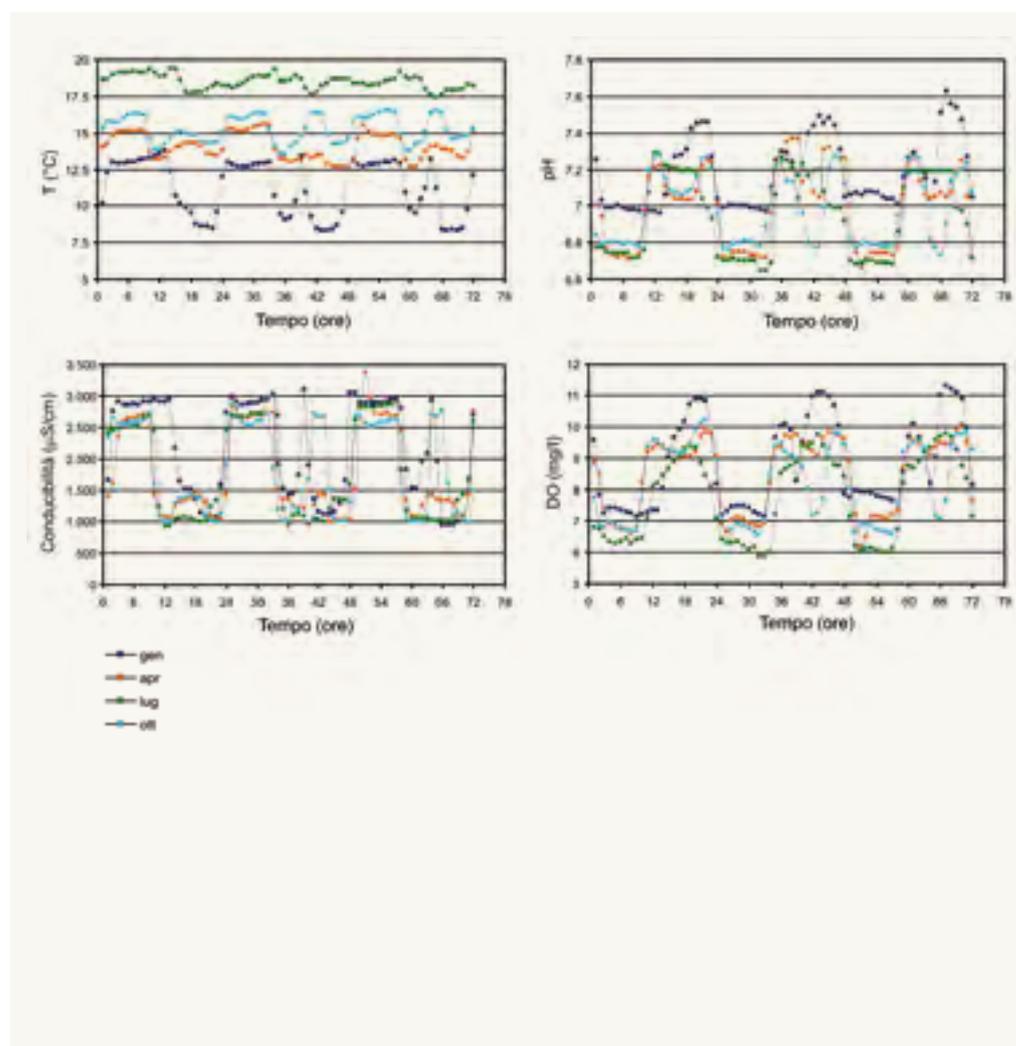
I cronogrammi riportati in figura non sono caratterizzati da variazioni graduali, ma piuttosto da passaggi repentini tra lunghe fasi di massimo e lunghe fasi di minimo, all'interno delle quali i valori dei parametri cambiano in modo limitato; fanno eccezione il pH e l'ossigeno disciolto in corrispondenza delle sole fasi di massimo.

I cronogrammi stagionali di pH, ossigeno disciolto e conducibilità mostrano questo tipo di andamento indipendentemente dal periodo dell'anno considerato; tuttavia, si trovano a diverse altezze rispetto all'asse delle ordinate. Ciò potrebbe indicare che l'andamento climatico stagionale è in grado di influenzare i parametri chimico-fisici monitorati nei valori assoluti, ma non nell'andamento.

Occorre sottolineare il comportamento singolare della temperatura: i suoi valori stagionali sono influenzati dalle condizioni climatiche, tanto che le temperature invernali sono più basse di quelle estive, ma a differenza di quanto accade per gli altri parametri, tra una stagione e l'altra varia sensibilmente anche il tipo di andamento giornaliero. La temperatura, quindi, rispetto agli altri parametri, è condizionata anche da altri fattori. Tra questi va considerata la repentina variazione nella percentuale dei contributi provenienti dalla Valnerina e dalle sorgenti di Stifone, dovuta all'attività delle centrali idroelettriche.

I parametri monitorati appaiono fortemente correlati. In particolare, ossigeno disciolto, pH e conducibilità risultano influenzati dalla temperatura dell'acqua, anche se in modo differente, sia a scala stagionale che giornaliera. A scala stagionale esiste una correlazione inversa tra la temperatura e gli altri tre parametri;

Fig 12.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



i loro valori più elevati, infatti, vengono raggiunti durante la stagione fredda ed i più bassi durante l'estate (vedere posizione dei cronogrammi blu e verdi di fig. 12.7). A scala giornaliera, invece, vi è una chiara correlazione inversa tra temperatura, ossigeno disciolto e pH che si riscontra solamente in inverno, quando i cronogrammi appaiono quasi perfettamente speculari; in primavera ed in autunno questo legame appare meno forte e viene addirittura meno durante i mesi più caldi.

Inoltre, cambiano i rapporti tra temperatura e conducibilità: quest'ultima, nelle sue variazioni giornaliere, sembra essere maggiormente influenzata dal pH, seguendo sempre un andamento ad esso opposto, indipendentemente dalla stagione considerata. Di conseguenza, ad esclusione dell'estate, la conducibilità risulta correlata positivamente alla temperatura, contrariamente a quanto riscontrato in altre situazioni.

Queste correlazioni sono visibili anche

in figura 12.8, dove sono stati riportati i diagrammi binari tra i diversi parametri monitorati, costruiti utilizzando gli stessi dati orari di fig. 12.7; i diagrammi consentono di visualizzare i rapporti di interdipendenza tra i diversi parametri, nel breve periodo di osservazione.

Dall'osservazione delle figure 12.7 e 12.8 emerge chiaramente che gli andamenti giornalieri di pH, ossigeno disciolto e conducibilità, molto simili da una stagione all'altra, non possono essere legati solo alle variazioni giornaliere di temperatura, che variano sensibilmente di stagione in stagione. Sicuramente intervengono altri fattori, quali la variazione quantitativa delle componenti d'acqua provenienti dalla Valnerina e dalle sorgenti di Stifone, dovuta alla gestione delle acque a fini idroelettrici. Probabilmente, vi sono anche altri processi che contribuiscono alle variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche della acque, ma non vi sono dati sufficienti per poterli identificare.

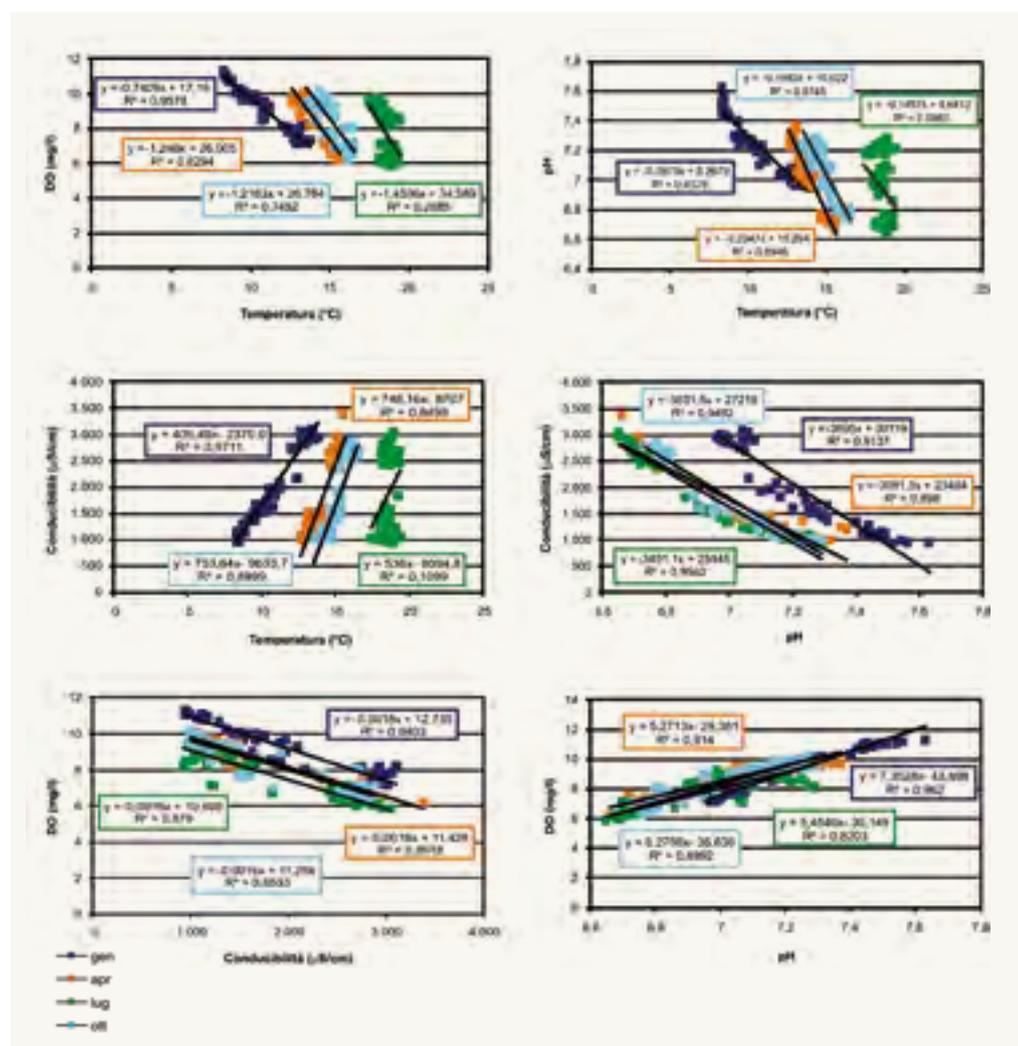
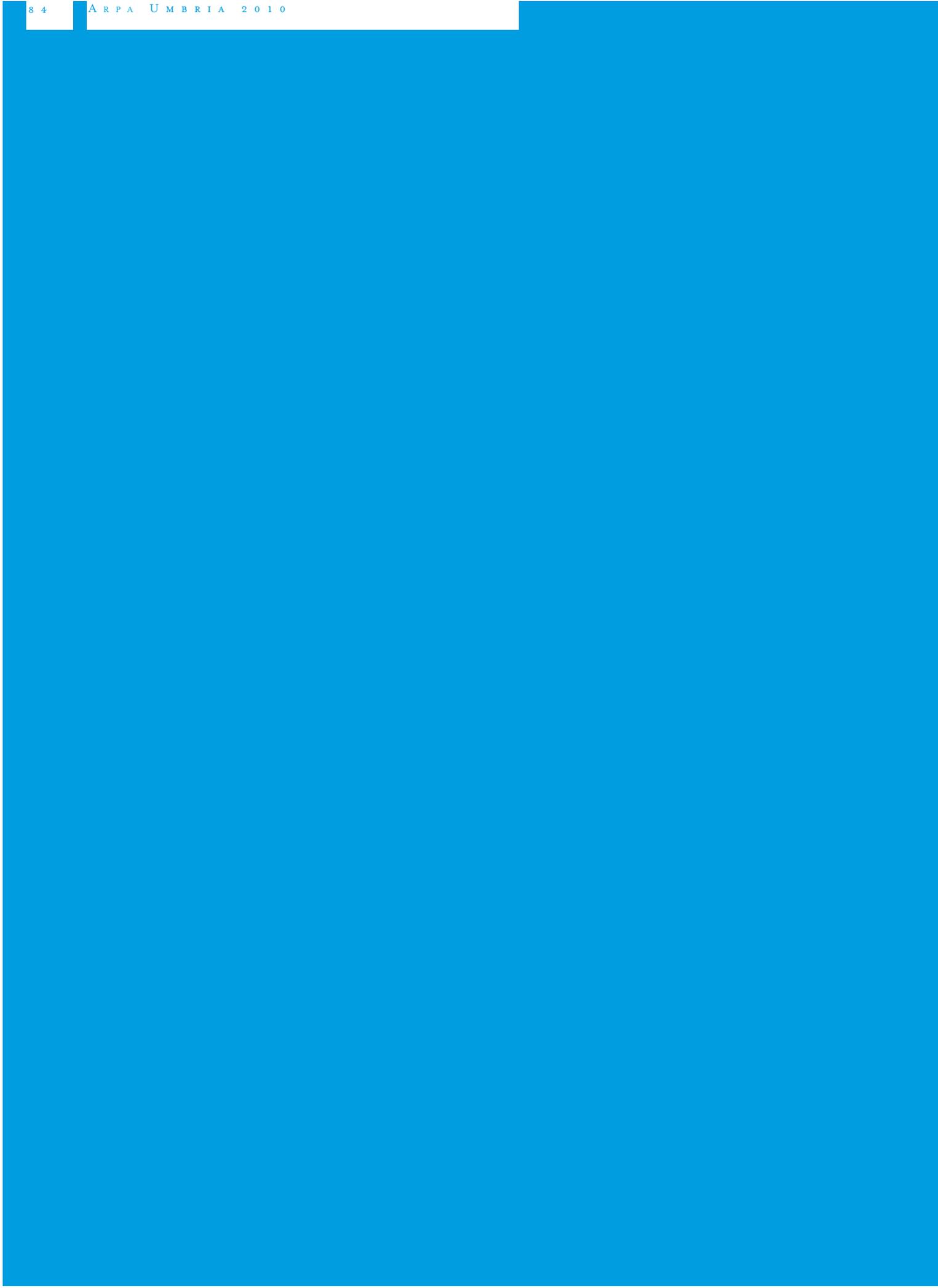


Fig 12.8 - Correlazioni tra i parametri chimico-fisici, sulla base di 72 dati orari relativi ai primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



13. Stazione di Ponte Nuovo (fiume Tevere)

La stazione di Ponte Nuovo è collocata nell'omonima località (comune di Deruta), sulla riva sinistra del fiume Tevere. La stazione, operativa dal luglio 2004, è localizzata immediatamente a valle della confluenza con il fiume Chiascio, dove il Tevere ha già recepito i principali torrenti dell'Umbria settentrionale

La stazione di Ponte Nuovo è collocata nell'omonima località (comune di Deruta), sulla riva sinistra del fiume Tevere, a una quota di circa 170 m s.l.m.. Questa stazione risulta strategica ai fini del monitoraggio, essendo localizzata im-

mediatamente a valle della confluenza con il fiume Chiascio, dove il Tevere ha già recepito i principali torrenti dell'Umbria settentrionale (Cerfone, Néstore, Niccone, Nese, Carpina e Assino).



Figura 13.1 –Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Ponte Nuovo, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2310459 – 4765113)

Figura 13.2 - Vista esterna della stazione di monitoraggio



Figura 13.3 - Braccio idraulico basculante per il sostegno della pompa di prelievo

Figura 13.4 - Cella di misura per l'alloggiamento delle sonde multiparametriche



Tab 13.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	34825	34574	34798	32811
% dati validati	92	92	92	87
min	2	7.31	325	0.06
max	29.8	8.7	807	13.7
media	15.0	8.1	623	7.5
mediana	15	8.11	628	7.7
dev std	6.7	0.2	53	2.5
var	44.7	0.03	2844	6.3
2 percentile	4.1	7.60	487	1.9
98 percentile	26.5	8.40	739	12

Da luglio 2004 a dicembre 2008 sono stati validati circa 35.000 dati di temperatura, pH e conducibilità e quasi 33.000 dati di ossigeno disciolto, con percentuali di validazione molto elevate, indice di un buon funzionamento della stazione.

Tra i parametri monitorati, gli unici a mostrare chiare variazioni di carattere stagionale sono la temperatura e l'ossigeno

disciolto (fig. 13.5). I valori medi mensili della temperatura risultano massimi in luglio e minimi tra dicembre e febbraio, con scarti molto ampi, dell'ordine di 20°C. Nel periodo di osservazione non si evidenziano particolari trend evolutivi.

L'ossigeno disciolto, pur essendo chiaramente influenzato dalla temperatura dell'acqua (aumentando in inverno

e riducendosi in estate), mostra un andamento poco regolare, con valori medi mensili che differiscono sensibilmente da un anno all'altro. Verso la fine del 2006 è stata effettuata la sostituzione dello strumento di misura; in seguito a questo intervento di manutenzione si è verificato un generale aumento dei valori misurati. Per questo motivo, il trend crescente è, in realtà, solo apparente.

La conducibilità e il pH, invece, non mostrano particolari andamenti; le loro variazioni sono molto contenute, con oscillazioni massime inferiori rispettivamente a 100 µS/cm e 0,4 unità di pH.

I dati relativi alla temperatura (fig. 13.6) sono distribuiti sempre in modo simmetrico intorno alla media; l'elevata dispersione che caratterizza le distribuzioni annuali è dovuta all'ampio range di valori che la variabile assume naturalmente nell'arco dell'anno. Si riscontra una generale consistente diminuzione (4-5 °C) subita dai valori di temperatura

tra il 2005 e il 2006, che non emerge nel cronogramma della figura precedente (fig. 13.5).

L'ossigeno disciolto, di anno in anno, ha subito le maggiori variazioni, sia nei valori delle concentrazioni, che nel tipo di distribuzione.

La distribuzione dei dati di pH, invece, varia in modo molto limitato, presentando sempre una leggera asimmetria negativa, che nel 2008 sembra annullarsi. Nell'intero periodo, però, si riscontra un leggero aumento della dispersione dei dati intorno alla media.

Le distribuzioni dei dati di conducibilità, infine, presentano sempre una lieve asimmetria negativa e valori simili di dispersione. Nel 2007, però, si assiste ad un aumento generalizzato dei valori, che si distribuiscono in modo simmetrico intorno alla media; a questo si aggiunge anche un aumento della dispersione, che raggiunge il valore massimo di tutto il periodo di osservazione.

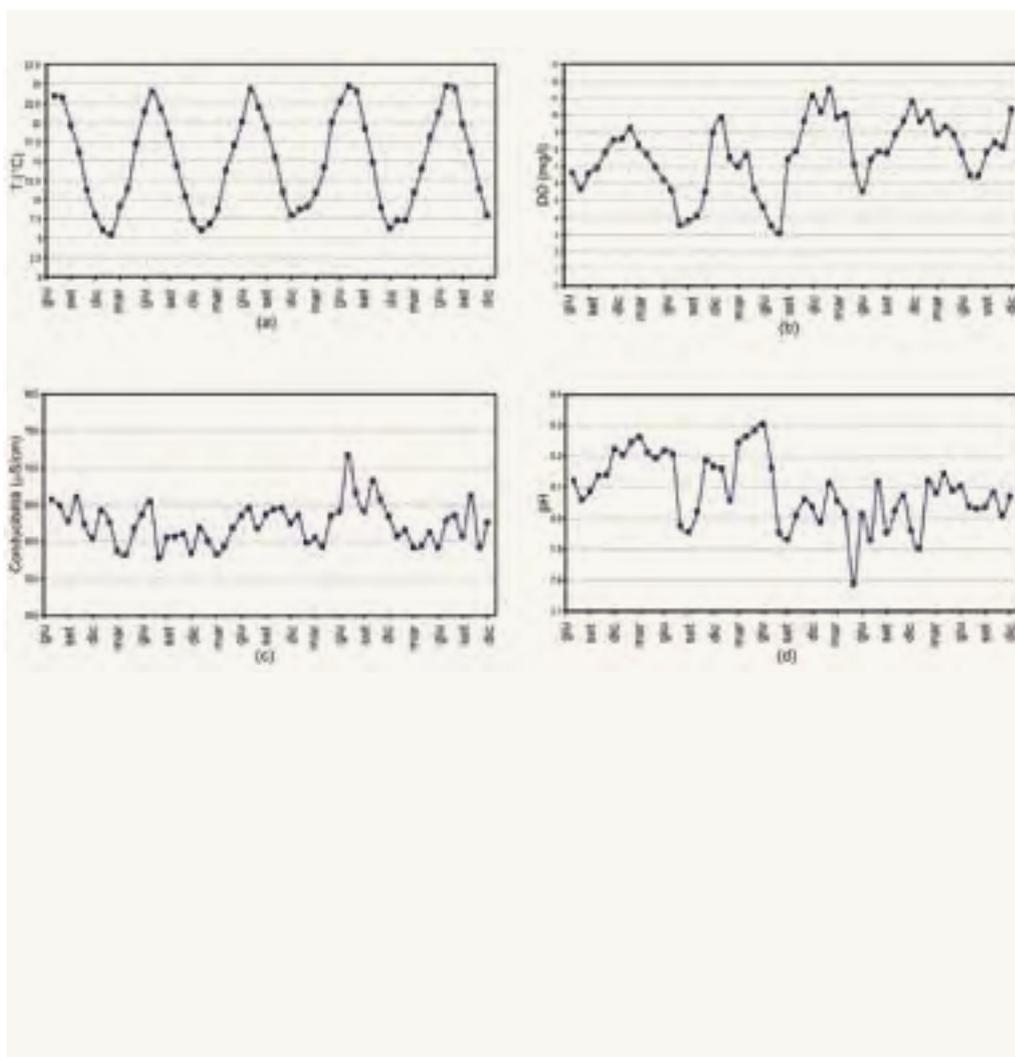
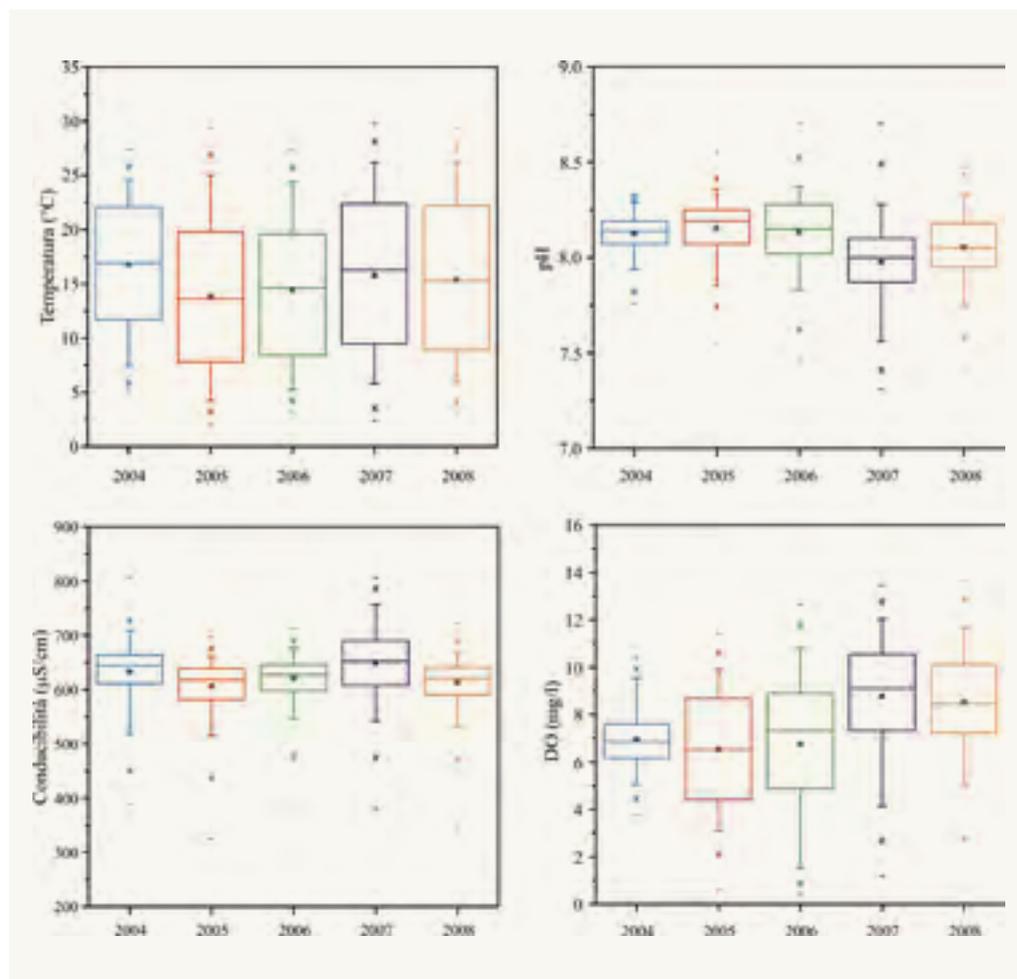


Fig 13.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità e pH nel periodo di osservazione

Fig 13.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008



Esaminando i quattro grafici di fig. 13.6, si nota che l'andamento seguito dai valori medi annuali di temperatura, conducibilità e ossigeno disciolto è concorde ed opposto a quello delle medie del pH. A questa scala di osservazione, emerge un evidente legame tra i quattro parametri, la cui natura è di difficile interpretazione.

L'azione di processi diversi è supportata anche dal comportamento di ossigeno e pH; la solubilità dei gas (ossigeno e anidride carbonica) non sembra dipendere dalla sola temperatura della soluzione acquosa: la media annuale della concentrazione di ossigeno disciolto, infatti, invece di aumentare all'abbassarsi della temperatura media, sembra avere un andamento opposto. Analogamente, la concentrazione di CO_2 tende a ridursi al diminuire della temperatura, dando luogo ad un aumento del valore medio annuo del pH.

Dalla figura 13.7 si può notare come tutti i parametri monitorati siano caratterizzati da una ciclicità giornaliera, più o meno marcata a seconda della stagione.

Le variazioni di temperatura, ad esempio, sono quasi impercettibili in inverno, ma ben visibili nelle altre stagioni, con minimi nelle prime ore del mattino e massimi nel pomeriggio. I cronogrammi relativi alla temperatura, pur mantenendo un andamento analogo, mostrano uno sfasamento (ritardo) di circa 3 ore in primavera / estate rispetto ai periodi autunnale / invernale.

Il pH è caratterizzato da oscillazioni giornaliere più evidenti in inverno e in estate, raggiungendo valori massimi intorno alla mezzanotte e minimi a mezzogiorno, con variazioni non graduali nell'arco delle 24 ore.

La conducibilità mostra variazioni cicliche giornaliere solo nella stagione invernale, in corrispondenza della quale segue un andamento opposto al pH.

La concentrazione di ossigeno disciolto è sempre caratterizzata da variazioni notte-giorno piuttosto evidenti, ad eccezione della primavera. I cronogrammi sono diversi a seconda della stagione: in inverno e in estate la fase ascendente

risulta molto breve, passando dal valore minimo, intorno a mezzogiorno, a quello massimo nell'arco di sole di 5-6 ore; da qui l'ossigeno in soluzione inizia a diminuire molto lentamente, fino a raggiungere nuovamente la concentrazione minima alle 12 del giorno seguente. In autunno, invece, le fasi ascendente e discendente hanno mediamente la stessa durata.

Considerando il breve periodo, emergono nuovi e diversi rapporti tra i vari parametri, che risultano fortemente influenzati dalle condizioni climatiche stagionali (figura 13.8).

La natura del legame tra la temperatura e l'ossigeno disciolto, ad esempio,

risulta molto variabile da una stagione all'altra: in inverno, infatti, si rileva la caratteristica correlazione negativa, anche se appare piuttosto debole; in autunno e in estate, invece, la correlazione diventa positiva e particolarmente forte nei mesi più caldi (chiara influenza dell'attività biologica delle piante acquatiche).

L'ossigeno disciolto appare legato anche al pH, anche se solamente in inverno e in estate, ma al contrario di quanto visto con le distribuzioni annuali, la correlazione risulta positiva.

Emerge, infine, anche una forte correlazione inversa tra il pH e la conducibilità, ma solamente in corrispondenza della stagione fredda.

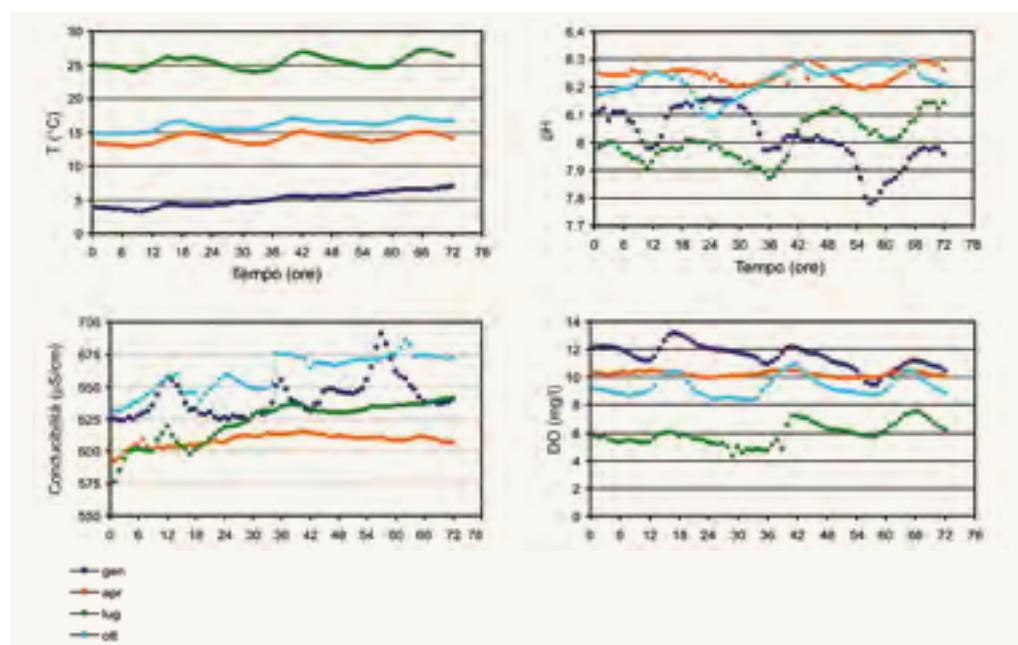


Fig 13.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008

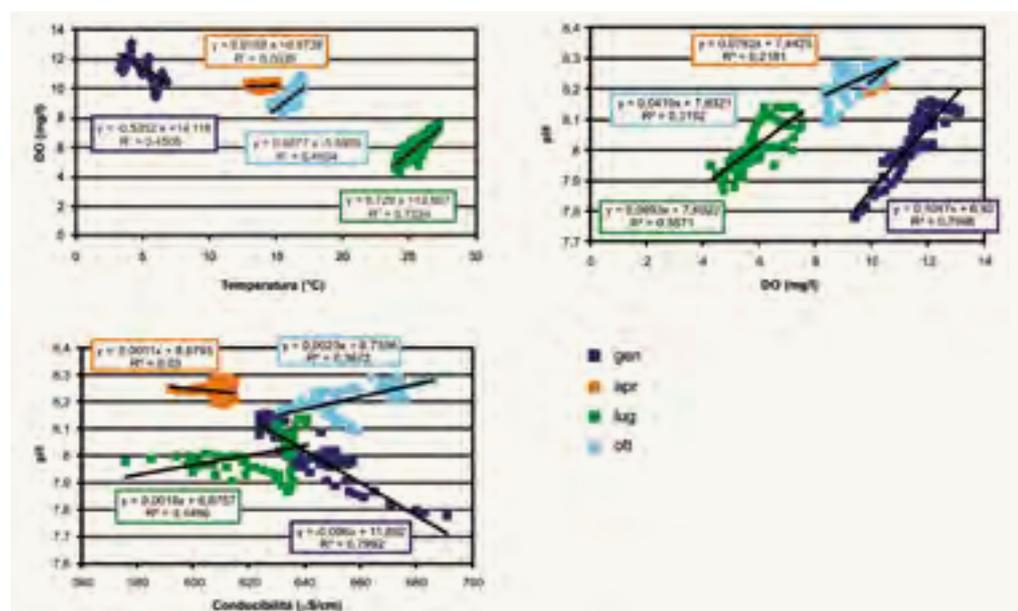


Fig 13.8 - Correlazioni tra i parametri chimico-fisici, sulla base di 72 dati orari relativi ai primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008

I4. Stazione di Ponte Rosciano (fiume Chiascio)

La stazione di Ponte Rosciano è collocata nel comune di Torgiano lungo la riva destra del fiume Chiascio, a monte della confluenza con il fiume Tevere. È operativa dal luglio 2004

La stazione di Ponte Rosciano è collocata nel Comune di Torgiano a una quota di 167 m s.l.m., lungo la riva destra del fiume Chiascio, a monte della confluenza con il fiume Tevere.

Il sistema di prelievo è costituito da un braccio lungo 2 metri, basculante,

issabile con un martinetto pneumatico, che garantisce una profondità di posa costante della pompa ad immersione. Il flusso d'acqua viene convogliato in una cella in acciaio inox, che ospita la sonda multiparametrica di misura.

Figura 14.1 - Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Ponte Rosciano, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2311820 – 4766795)



Figura 14.2 - Vista esterna della stazione di monitoraggio



Figura 14.3 - Braccio idraulico basculante che ospita la pompa di prelievo



Figura 14.4 - Cella di misura per l'alloggiamento delle sonde multiparametriche



Tab 14.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	36121	36144	36259	32191
% dati validati	92.2	92.3	92.6	82.2
min	2.4	7.28	297	1.86
max	28.6	8.78	955	14.42
media	14.9	8.04	650	7.87
mediana	14.8	8.04	654	7.91
dev std	6.2	0.2	54.9	2.3
var	38.6	0.03	3010	5.5
2 percentile	4.8	7.66	518	3.23
98 percentile	25.8	8.37	771	12.21

L'apparato di misura è costituito da una sonda multiparametrica che ospitava gli elettrodi per la misura di temperatura, conducibilità, pH e ossigeno disciolto.

A questi, dal 2008, sono stati aggiunti anche gli strumenti per la determinazione del potenziale redox e della torbidità e, vista l'importanza strategica della stazione, anche un elettrodo specifico per la misura della concentrazione di ammoniaca.

La stazione è dotata di un campionario automatico refrigerato che, all'occorrenza, può essere attivato con diverse modalità di prelievo.

La stazione, tra luglio 2004 e dicembre 2008, ha garantito ottime prestazioni, con percentuali di dati validati molto elevate.

L'andamento della temperatura è stagionale (figura 14.5) e presenta il massimo

nei valori medi mensili in luglio / agosto e minimo tra dicembre e febbraio, con escursioni tra estate e inverno piuttosto marcate, nell'ordine di 16-17°C.

Anche l'ossigeno disciolto ha un andamento ciclico, con concentrazioni più elevate nelle stagioni fredde e più basse in quelle calde. Nonostante questo, i cronogrammi di temperatura e ossigeno disciolto non sono speculari e la correlazione tra i due parametri è piuttosto bassa.

Al contrario di quanto avviene per la temperatura, infatti, il cronogramma relativo all'ossigeno disciolto è caratterizzato da fasi di massimo che possono durare anche per diversi mesi.

Conducibilità e pH non mostrano un andamento di tipo stagionale e, nel periodo considerato, non sembrano seguire alcun tipo di trend.

Nella figura seguente (fig. 14.6) sono illustrate le distribuzioni dei dati annuali relativi a temperatura, pH, conducibilità e ossigeno disciolto.

La distribuzione dei dati di temperatura rimane molto simile durante il monitoraggio anche se, negli ultimi due anni, insorge una lieve asimmetria, prima negativa e poi positiva. I valori misurati diminuiscono gradualmente fino al 2006, ma tornano ad aumentare nei due anni successivi, attestandosi nuovamente sui livelli osservati all'inizio del periodo.

Anche la distribuzione dei dati di pH rimane pressoché invariata, fatta eccezione per la distanza interquartile che, in corrispondenza del solo anno 2006, subisce una sensibile riduzione. Per quanto riguarda il valore della media, si assiste ad un suo iniziale innalzamento tra il primo ed il secondo anno di monitoraggio, seguito da una graduale riduzione che lo riporta, nel 2008, ai valori misurati durante il primo anno di osservazione.

La distribuzione dei dati di conducibilità, invece, varia sensibilmente da un

anno all'altro; durante i primi tre anni, infatti, l'asimmetria cambia di segno per poi annullarsi a partire dal 2007. Varia anche il valore della dispersione, anche se non in modo eclatante. Si riscontra, inoltre, una riduzione contenuta e graduale del valore della media nei primi tre anni, ai quali segue dapprima un incremento, poi una nuova diminuzione (2008), che porta il valore al minimo del periodo osservato.

Non si riscontrano grandi differenze nelle distribuzioni dei dati annuali di ossigeno disciolto, se non una riduzione della loro dispersione in corrispondenza del secondo e terzo anno di osservazione; dal 2007 al 2008 si assiste ad un aumento generalizzato delle concentrazioni.

La temperatura è caratterizzata da un ciclo giornaliero evidente in primavera e in estate (fig. 14.7), ma appena percettibile in autunno. In inverno le variazioni giornaliere sono estremamente ridotte (inferiori a 0,4° C) e non sembrano seguire un vero e proprio andamento di tipo notte-giorno.

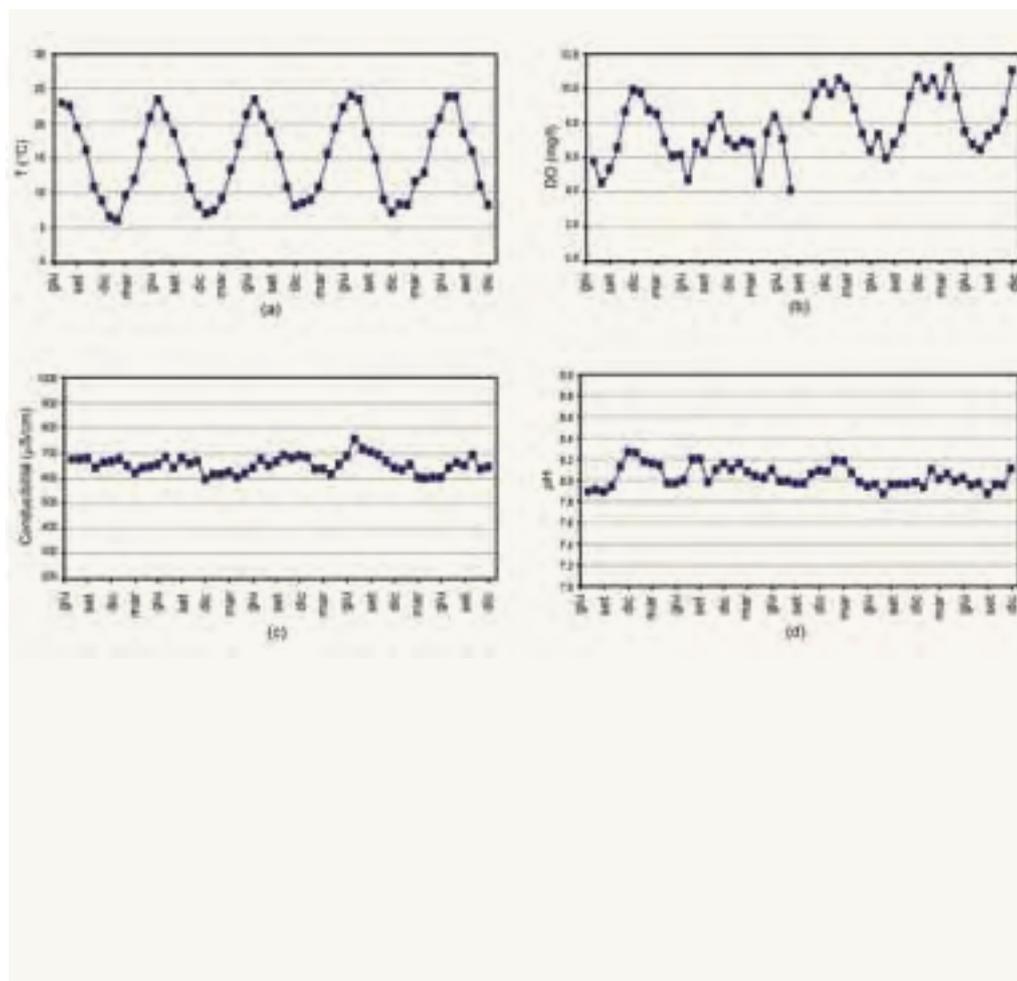


Fig 14.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità e pH nel periodo di osservazione

I cronogrammi relativi al pH mostrano un andamento ciclico giornaliero solo nelle stagioni estiva e primaverile, durante le quali vengono raggiunti i valori massimi in corrispondenza delle prime ore serali, ed i minimi all'incirca a metà mattinata; in estate, le oscillazioni sono molto evidenti, con differenze tra valori massimi e minimi di circa 1 unità di pH. In primavera, invece, le variazioni sono graduali e molto limitate, nell'ordine di 0,1 unità di pH.

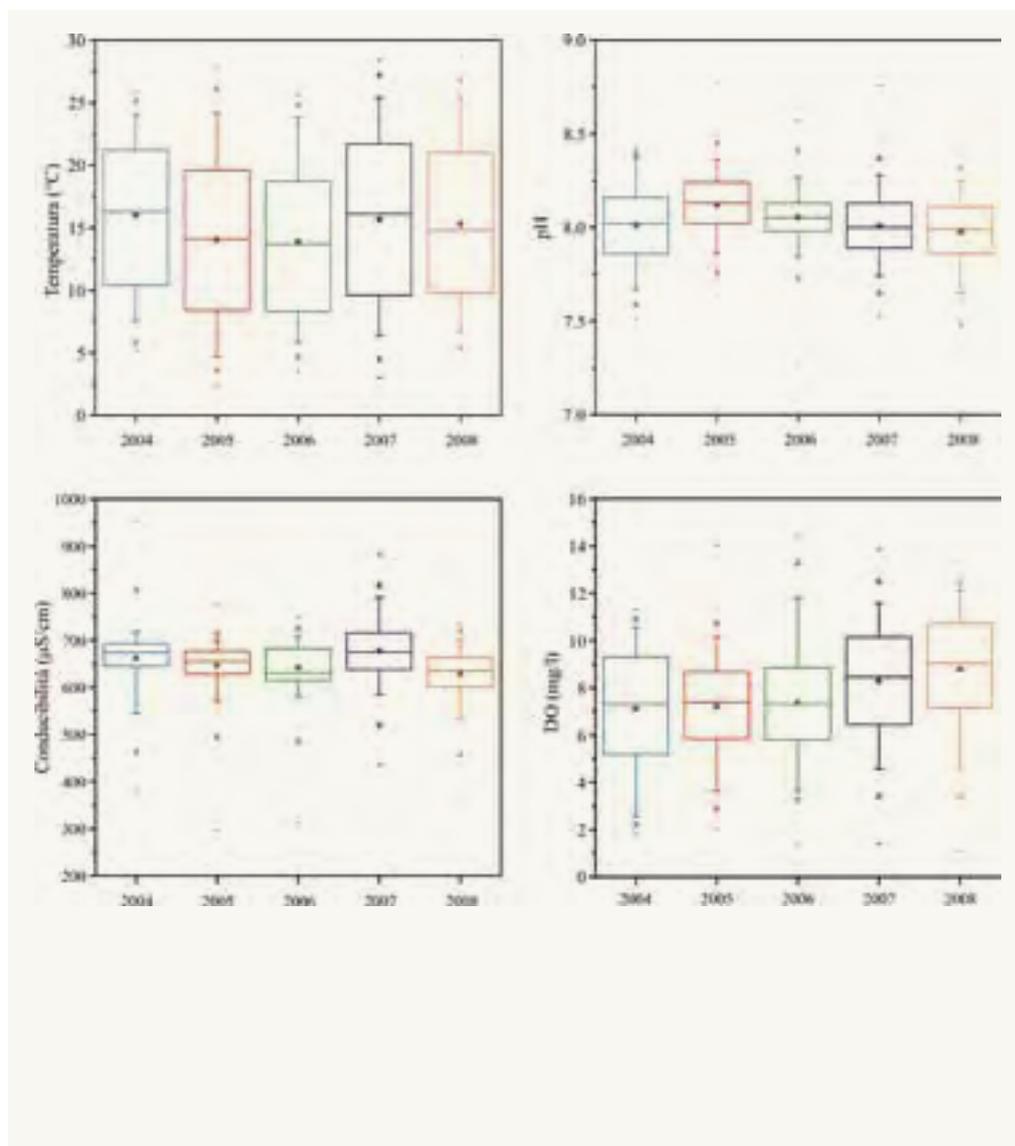
L'ossigeno disciolto segue sempre un andamento di tipo notte-giorno, più o meno evidente a seconda della stagione. Le variazioni massime (circa 9 mg/l) si riscontrano in estate, le minime, inferiori a 1 mg/l, in primavera.

Le variazioni giornaliere di conducibilità non mostrano andamenti perio-

dici; i cronogrammi relativi ai dati estivi e primaverili sono caratterizzati da forti variazioni, dovute probabilmente ad eventi piovosi; tale ipotesi è confermata dall'andamento delle curve primaverili ed estive riferite agli altri parametri, che mostrano andamenti concordi: alle diminuzioni di conducibilità corrispondono abbassamenti nei valori di temperatura, pH e ossigeno disciolto (cronogrammi in verde).

Considerando il breve periodo, sono emersi legami piuttosto forti tra l'ossigeno disciolto, il pH e la temperatura, anche se esclusivamente in corrispondenza della stagione estiva, quando questi parametri risultano correlati positivamente. Da ciò si desume l'influenza dell'attività biologica in questo tratto di fiume.

Fig 14.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008



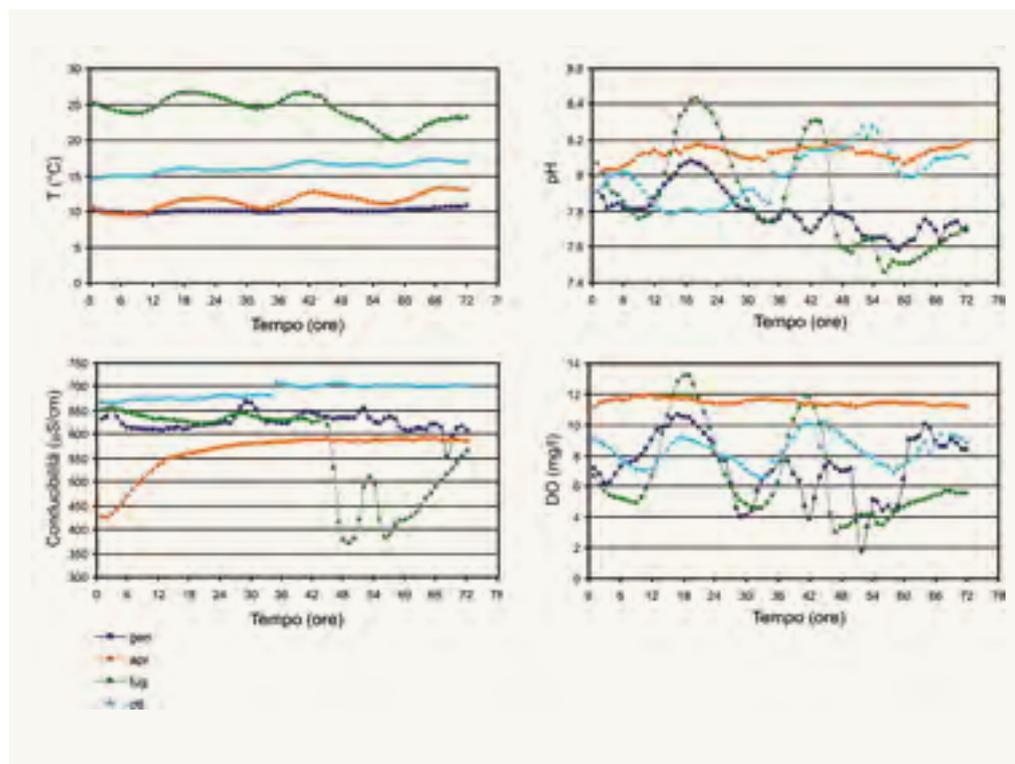
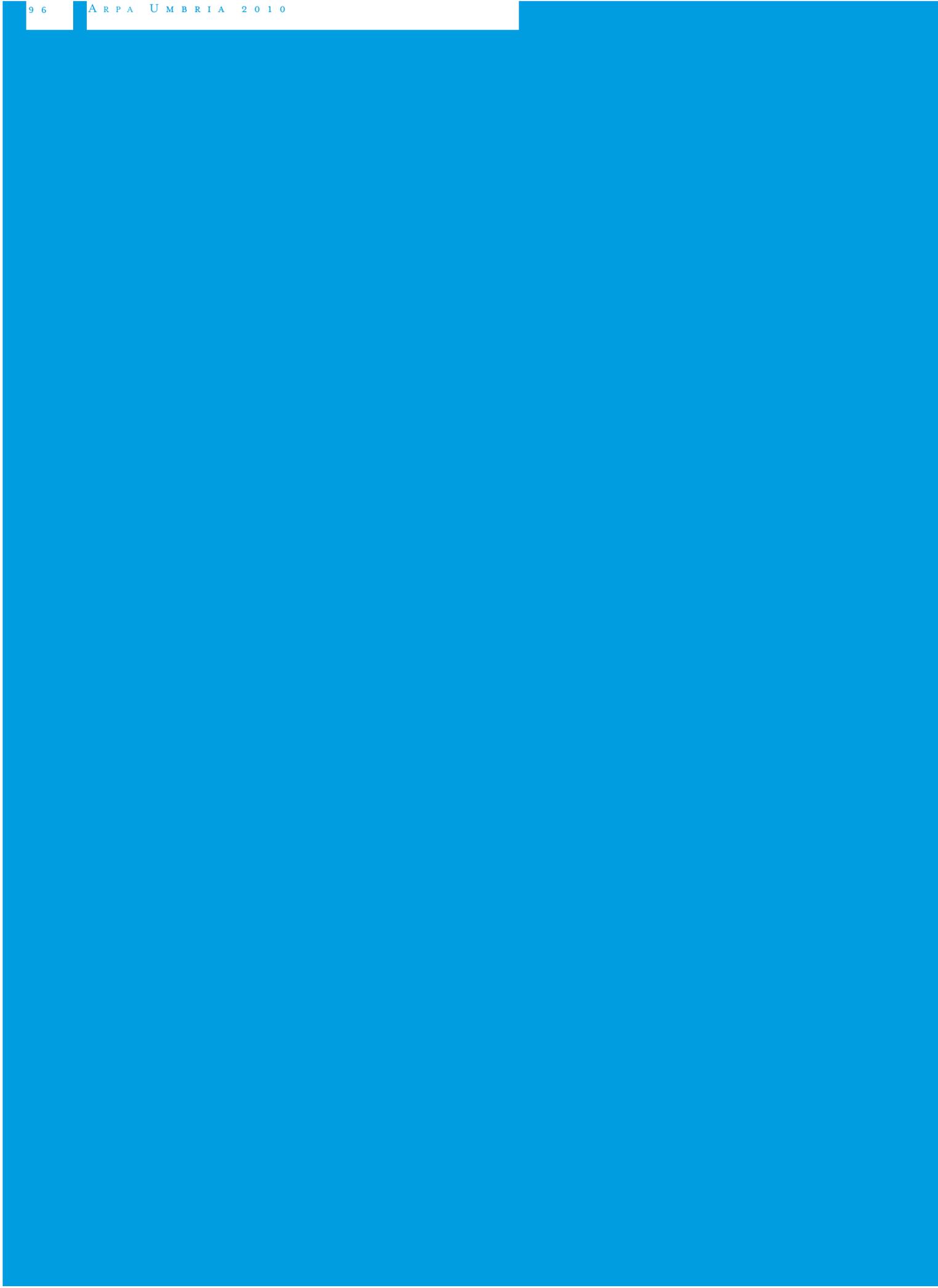


Fig 14.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



15. Stazione di Bettona (fiume Topino)

La stazione è posizionata lungo la riva destra del fiume Topino in località Passaggio di Bettona (Comune di Bettona), a monte della confluenza con il fiume Chiascio. La stazione è operativa dal luglio 2004

La stazione è posizionata lungo la riva destra del fiume Topino in località Passaggio di Bettona (Comune di Bettona), ad una quota di circa 180 m s.l.m., a monte della confluenza con il fiume Chiascio.

Il sistema di prelievo ed il ciclo di misura sono gli stessi adottati nella stazione di Ponte Rosciano, sul fiume Chiascio (vedere capitolo 14).

In questa stazione venivano inizial-

mente monitorati la temperatura, la conducibilità, il pH e l'ossigeno disciolto; dal 2008, vista l'importanza strategica della stazione, sono stati aggiunti anche gli strumenti per la misura del potenziale redox, della torbidità e della concentrazione di ione ammonio.

La stazione di Bettona è dotata di un campionatore automatico refrigerato che, all'occorrenza, può essere attivato con diverse modalità di prelievo.

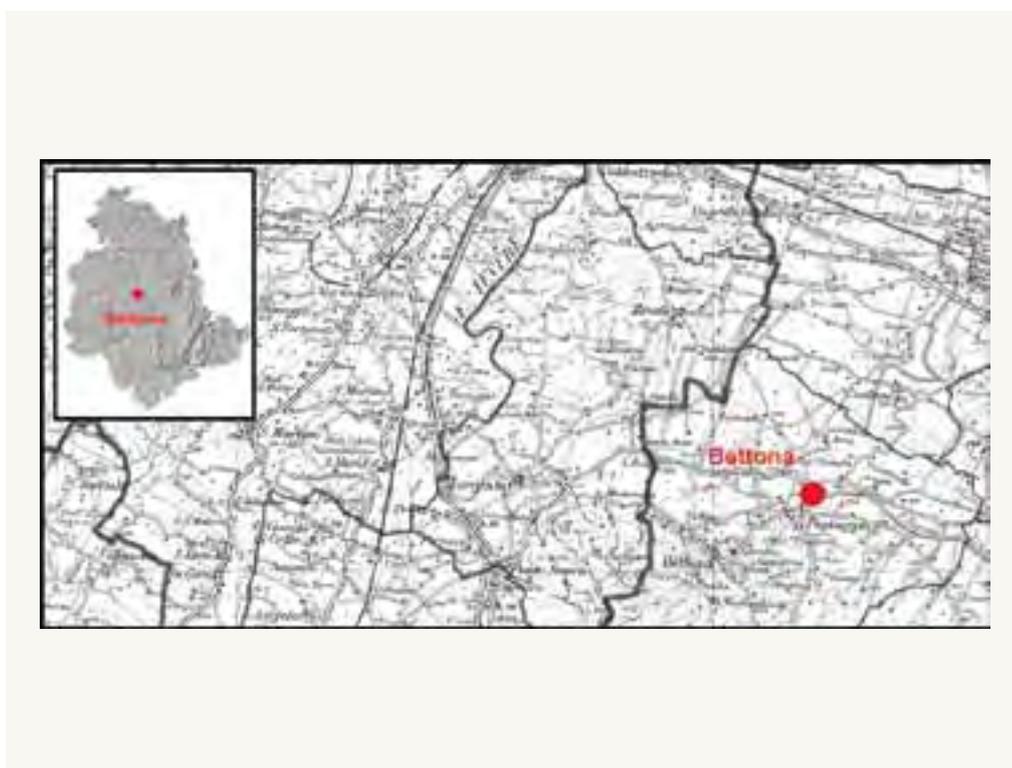


Figura 15.1 - Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Bettona, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss Boaga 2317076 – 4766795)

Figura 15.2 - Vista esterna della stazione di monitoraggio



Figura 15.3 - Braccio idraulico basculante per il sostegno della pompa di prelievo



Figura 15.4 - Cella di misura per l'alloggiamento delle sonde multiparametriche



Tab 15.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Temperatura	pH	Conducibilità	O.D.
Dati validati	38156	37444	38156	34747
% dati validati	97.4	95.6	97.4	88.7
min	2.3	7.04	286	0.53
max	29.1	10.31	845	14.5
media	14.7	8.06	658	6.9
mediana	14.6	8.05	659	6.85
dev std	5.9	0.3	48.6	2.6
var	34.9	0.1	2360.7	6.9
2 percentile	5	7.58	545	2.22
98 percentile	25.4	8.72	752	11.92

Dalla metà di luglio del 2004 alla fine del dicembre 2008 sono stati validati circa 38000 dati di temperatura, pH, conducibilità e circa 35000 dati di ossigeno disciolto, con performance molto elevate.

Dall'osservazione dei cronogrammi delle medie mensili (figura 15.5), emerge un chiaro carattere stagionale della temperatura, dell'ossigeno disciolto e della conducibilità.

La temperatura è caratterizzata da un andamento di tipo armonico, al contrario dell'ossigeno disciolto e della conducibilità, che variano in modo differenziato durante il periodo considerato. L'ossigeno raggiunge le massime concentrazioni tra gennaio e febbraio e le minime in tarda estate; i più alti valori di conducibilità, invece, si riscontrano in autunno ed i minimi tra aprile e maggio.

Le variazioni nei valori medi mensili

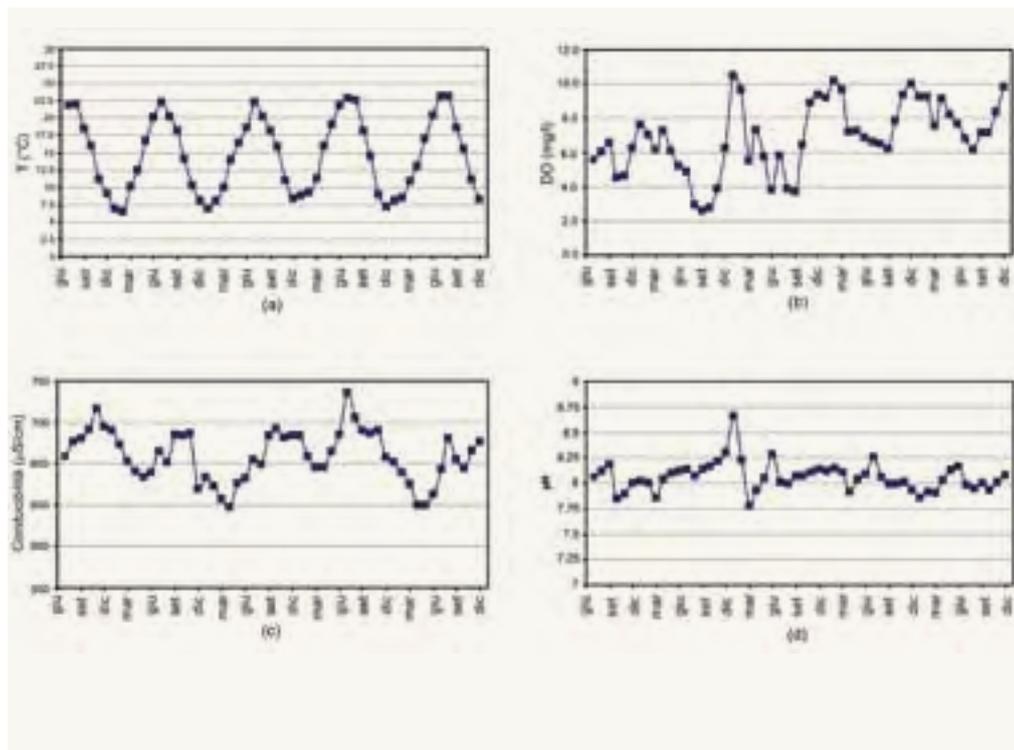


Fig 15.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità e pH nel periodo di osservazione

di pH sono generalmente contenute e non sembrano seguire alcun particolare andamento.

Considerando l'intero periodo, emerge un trend decrescente per la temperatura e, soprattutto per la conducibilità; la concentrazione di ossigeno disciolto, al contrario, tende a crescere.

Osservando i box-plot riportati in figura 15.6, si può notare come la distribuzione dei dati di temperatura rimanga molto simile negli anni, mantenendosi sempre pressoché simmetrica e con valori simili di dispersione. Tra il 2005 ed il 2006, nel fiume Topino si è verificato un abbassamento delle temperature che, nello stesso biennio, era già stato riscontrato anche nei fiumi Nera, Chiascio e Tevere in corrispondenza delle stazioni di Piedipaterno, Ponte Rosciano e Ponte Nuovo.

Le distribuzioni dei dati annuali di pH non variano molto; nel 2006, però, si osserva la perdita della simmetria, accompagnata da un lieve aumento della dispersione. In questo anno sono stati misurati i valori più elevati di pH di tutto il periodo analizzato.

La conducibilità subisce evidenti variazioni nel periodo in esame, come suggerito dai diversi tipi di distribuzione.

I dati di ossigeno disciolto, invece, mantengono negli anni più o meno lo stesso

tipo di distribuzione, con un aumento della dispersione intorno alla media, che risulta massima tra il 2005 e il 2006. Dal 2006, inoltre, si verifica un sensibile innalzamento nei valori di concentrazione misurati.

Tutti i parametri, ad esclusione della conducibilità, mostrano delle chiare variazioni notte-giorno, più o meno accentuate a seconda della stagione (figura 15.7). L'influenza delle condizioni meteorologiche sull'andamento dei parametri misurati si riflette sia nello sfasamento temporale tra i quattro cronogrammi stagionali, sia nella differenza di ampiezza delle oscillazioni che li caratterizzano. Lo sfasamento relativo è chiaramente desumibile osservando i grafici relativi a pH e ossigeno disciolto: in autunno, infatti, questi parametri raggiungono il loro valore massimo giornaliero con circa un'ora di ritardo rispetto all'estate e circa 3-4 ore di ritardo rispetto ai mesi più freddi.

La temperatura non sembra in grado di influenzare la concentrazione di ossigeno disciolto in soluzione ma, ad eccezione dell'inverno, stagione nella quale non presenta un andamento ciclico giornaliero, appare correlata positivamente al pH. Considerando, inoltre, la forte correlazione positiva tra l'ossigeno disciolto e il pH, si intuisce il peso dell'attività biologica sugli equilibri chimico-fisici della soluzione acquosa.

Osservando i quattro cronogrammi primaverili (fig. 15.7, color arancio) si notano, nella porzione iniziale, gli effetti di tre eventi piovosi, il primo dei quali verificatosi presumibilmente nelle ore precedenti l'inizio del periodo osservato.

Fig 15.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità e O.D. relativi agli anni 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008

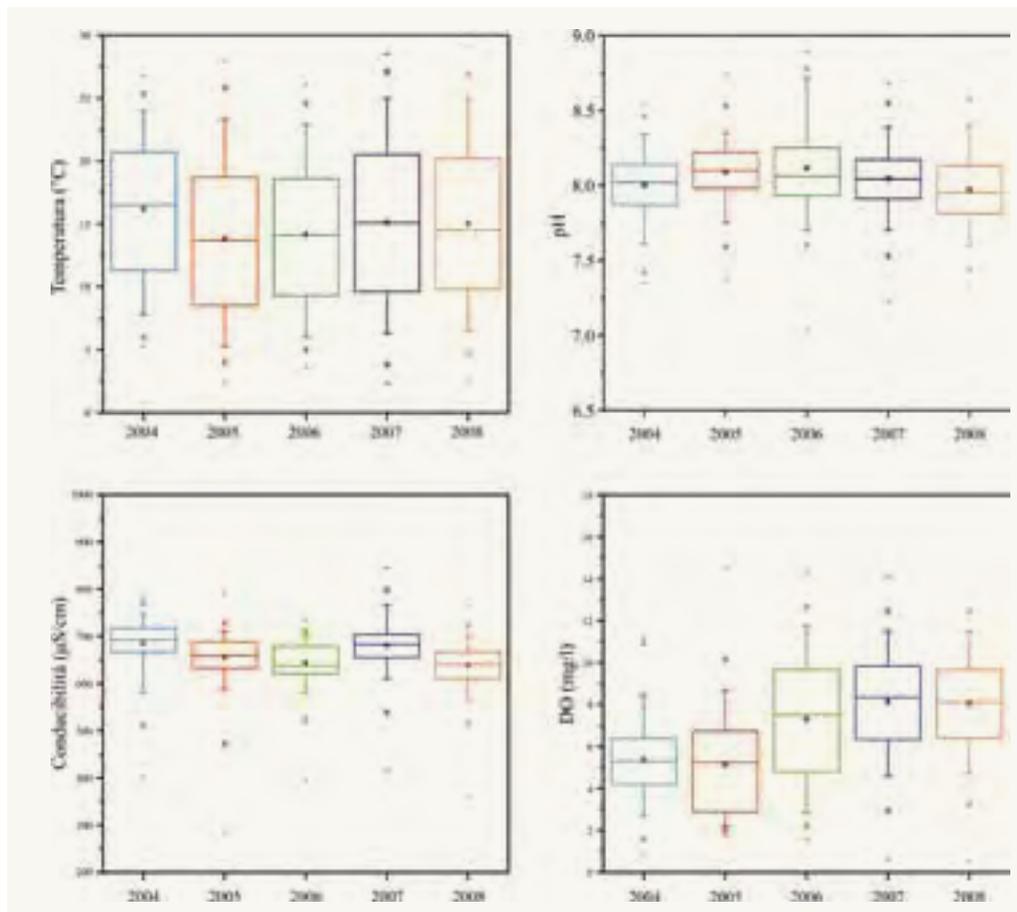
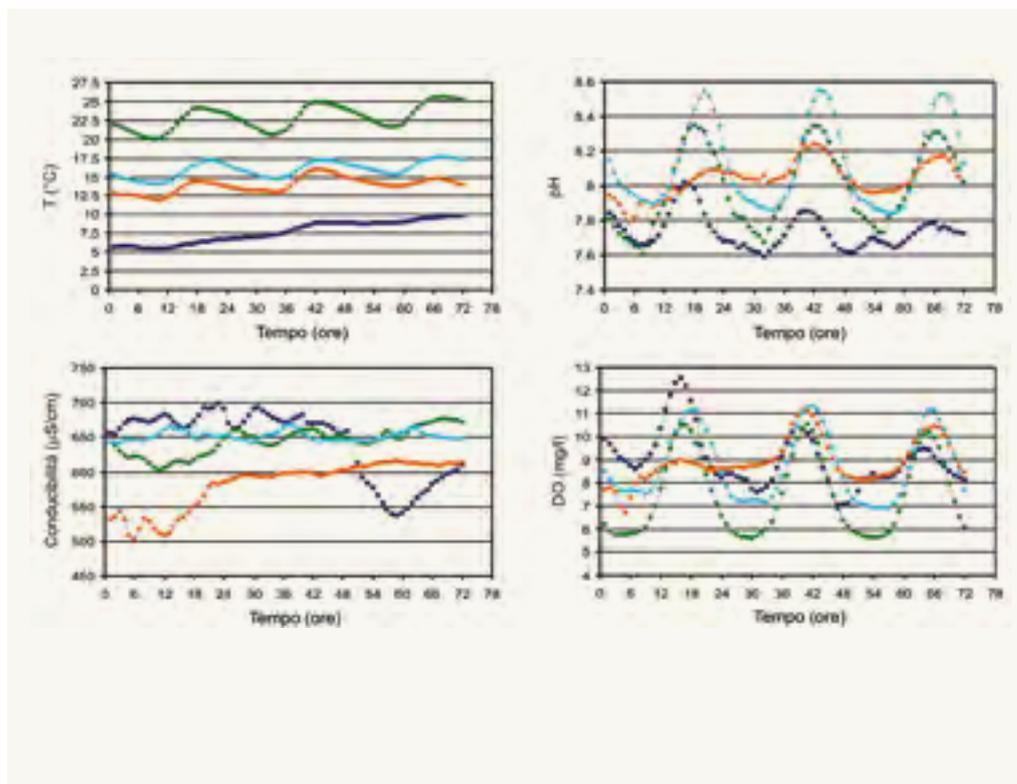


Fig 15.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità e O.D. costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



I6. Stazione di Casco dell'Acqua (fiume Clitunno)

La stazione chimico-fisica di Casco dell'Acqua è collocata nell'omonima località nel comune di Trevi, sulla sponda destra del fiume Clitunno. La stazione è operativa dal giugno 2006

La stazione chimico-fisica di Casco dell'Acqua è collocata nell'omonima località nel comune di Trevi, a una quota di 210 m s.l.m., sulla sponda destra del fiume Clitunno. Il sistema di prelievo è costituito da una pompa ad immersione che preleva acqua dal fiume e la spinge in una cella di misura, ove sono alloggiati tutti gli elettrodi specifici.

Il ciclo di acquisizione consiste nel memorizzare i dati ogni ora per tutti i

parametri monitorati; il dato orario è costituito dalla media delle letture effettuate nei primi 6 minuti di ogni ora.

La stazione è dotata di un campionatore automatico refrigerato che, all'occorrenza, può essere attivato al superamento di soglie di valori, impostabili per tutti i parametri monitorati. Allo stesso tempo, la stazione può segnalare il superamento di tali soglie tramite l'invio di un messaggio SMS ad un telefono cellulare.

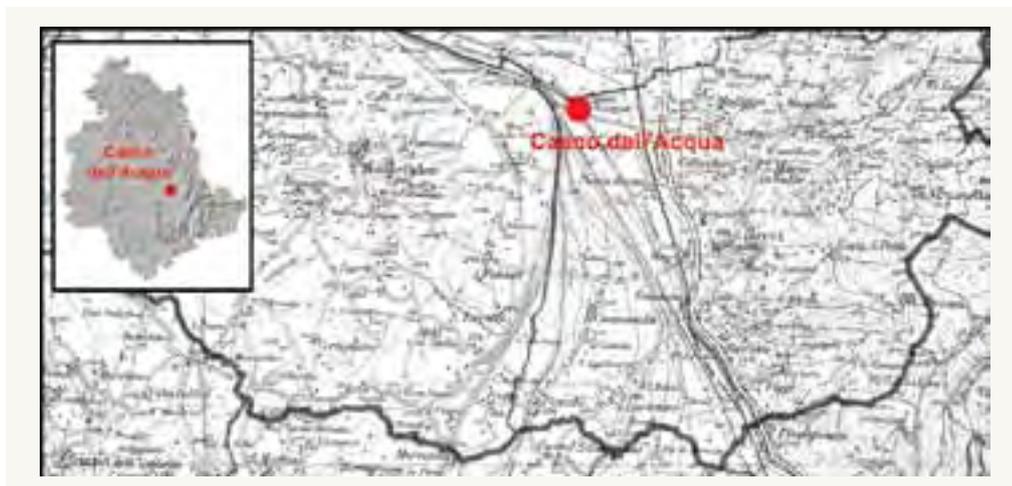


Figura 16.1 – Localizzazione geografica della stazione di Casco dell'Acqua, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2332859 – 4752400)



Figura 16.2 – Stazione di monitoraggio

Figura 16.3 – Particolare del sistema di prelievo

Figura 16.4 – Campionatore automatico refrigerato

La stazione ha iniziato a fornire dati dal mese di giugno del 2006. Sono stati elaborati dati di temperatura, ossigeno disciolto, conducibilità, pH e potenziale di ossido-riduzione. Come riportato in tabella I6.1, le percentuali di validazione risultano elevate solamente per i dati di temperatura e di conducibilità; la misura del potenziale redox è quella che, in generale, ha presen-

tato le maggiori difficoltà.

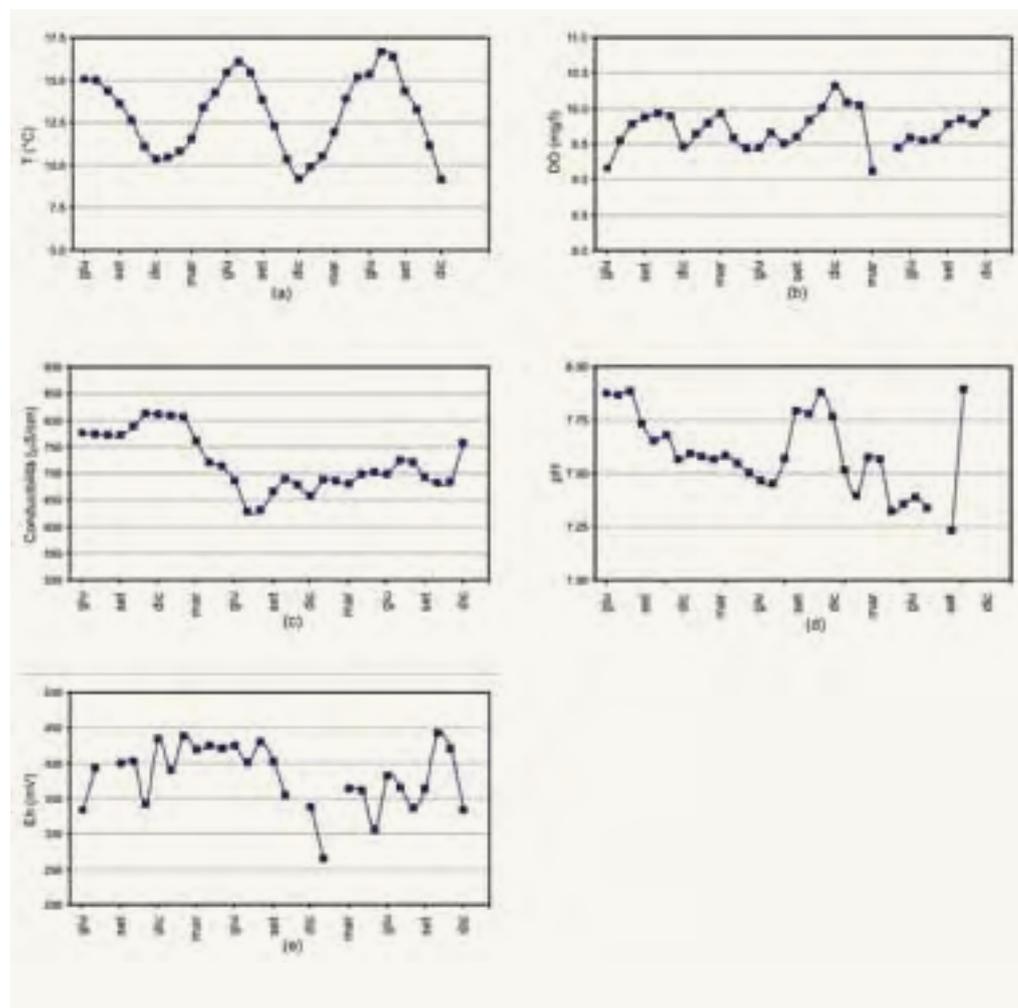
Il fiume Clitunno è alimentato da acque sotterranee tramite una sorgente puntuale ed alcune sorgenti lineari distribuite lungo il suo tratto iniziale, che contribuiscono all'incremento della portata in alveo.

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sorgive sono differenti a seconda dell'estensione del bacino idrogeologico,

Tab 16.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Conducibilità	O.D.	pH	Redox	Temperatura
Dati validati	20459	18692	16722	13988	20703
% dati validati	92.1	84.2	75.3	63.0	93.2
min	441	4.9	6.65	55	6.6
max	869	13.9	8.36	491	20.6
media	717	9.7	7.59	387	13.0
mediana	706	9.7	7.6	407	13.1
dev std	57	1.4	0.23	70.4	2.6
var	3293	1.8	0.05	4955	6.5
2 percentile	615	7.12	7.09	166.7	8
98 percentile	825	12.27	8.04	463	17.5

Fig 16.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità, pH e potenziale redox registrate nel periodo di osservazione



della lunghezza del circuito sotterraneo e del tempo che impiegano a percorrerlo.

La sorgente principale (Fonti del Clitunno), che ha una portata media di 1,25 m³/s (Boni et al., 2005), viene alimentata da un acquifero molto esteso e "profondo". Le sorgenti lineari, di cui Vene del Tempio è la più importante, con una portata media di 0,5 m³/s, sono distribuite lungo un tratto di circa 3 km, con un incremento totale medio di portata pari a circa 0,8 m³/s (Boni et al., 2005); le acque delle emergenze alimentate da acquiferi più piccoli e con circuiti più superficiali (Giaquinto et al., 1991), effettuando dei percorsi sotterranei più brevi, risentono maggiormente sia dell'andamento delle precipitazioni sia delle variazioni stagionali della temperatura dell'aria.

Il fiume Clitunno è quindi una miscela di tutti questi apporti sotterranei dalle caratteristiche quali-quantitative differenti. Di conseguenza, anche le modalità ed il tipo di variazioni dei parametri chimico-fisici misurati dalla stazione posta a valle, sono il risultato della "sovrapposizione" delle variazioni dei parametri caratteristici dei singoli contributi. E' probabilmente per questo motivo che i parametri del fiume sembrano poco influenzati dalle variazioni meteorologiche stagionali (vedi figura 16.5), ad eccezione della temperatura: il suo andamento, infatti, è di tipo periodico, con valori medi mensili più bassi in dicembre e più alti in luglio; tuttavia, le differenze sono molto contenute (6-7° C), se paragonate alle oscillazioni riscontrate nei corsi d'acqua trattati in precedenza. La differenza tra i comportamenti nel lungo periodo dei diversi parametri monitorati, può essere legata alle cinetiche dei processi che portano la soluzione acquosa a riequilibrarsi con l'ambiente esterno, lungo il percorso superficiale. Probabilmente, lo scambio di calore tra acqua e aria è un processo più veloce rispetto a quelli che fanno variare il pH della soluzione o la concentrazione di ossigeno in essa disciolto; per questo motivo, la temperatura dell'acqua è il parametro più "sensibile" alle condizioni climatiche e il tempo necessario a percorrere il tratto in superficie fino alla stazione di monitoraggio è sufficiente a farla variare. Di conseguenza le sue variazioni, seppur limitate, seguono l'andamento climatico stagionale.

Le distribuzioni dei dati annuali di

temperatura e di ossigeno disciolto si mantengono sempre simmetriche nel periodo di osservazione, ma aumenta la loro dispersione intorno alla media, il cui valore rimane pressoché invariato (figura 16.6).

Anche le misure di pH mantengono lo stesso tipo di distribuzione (simmetrica) da un anno all'altro, ma la media diminuisce negli anni. Questo trend decrescente è chiaramente visibile anche nel cronogramma delle medie mensili di figura 16.5.

La conducibilità è il parametro che subisce le maggiori variazioni, sia nel tipo di distribuzione, sia nei valori. Questo fenomeno è dovuto principalmente al fatto che, in base all'andamento delle precipitazioni, variano i rapporti quantitativi tra i diversi apporti sotterranei, aventi composizioni chimiche differenti (Giaquinto et al., 1991).

Le distribuzioni dei dati relativi al potenziale di ossido-riduzione sono caratterizzate da una forte asimmetria negativa, che si riduce sensibilmente nel 2008.

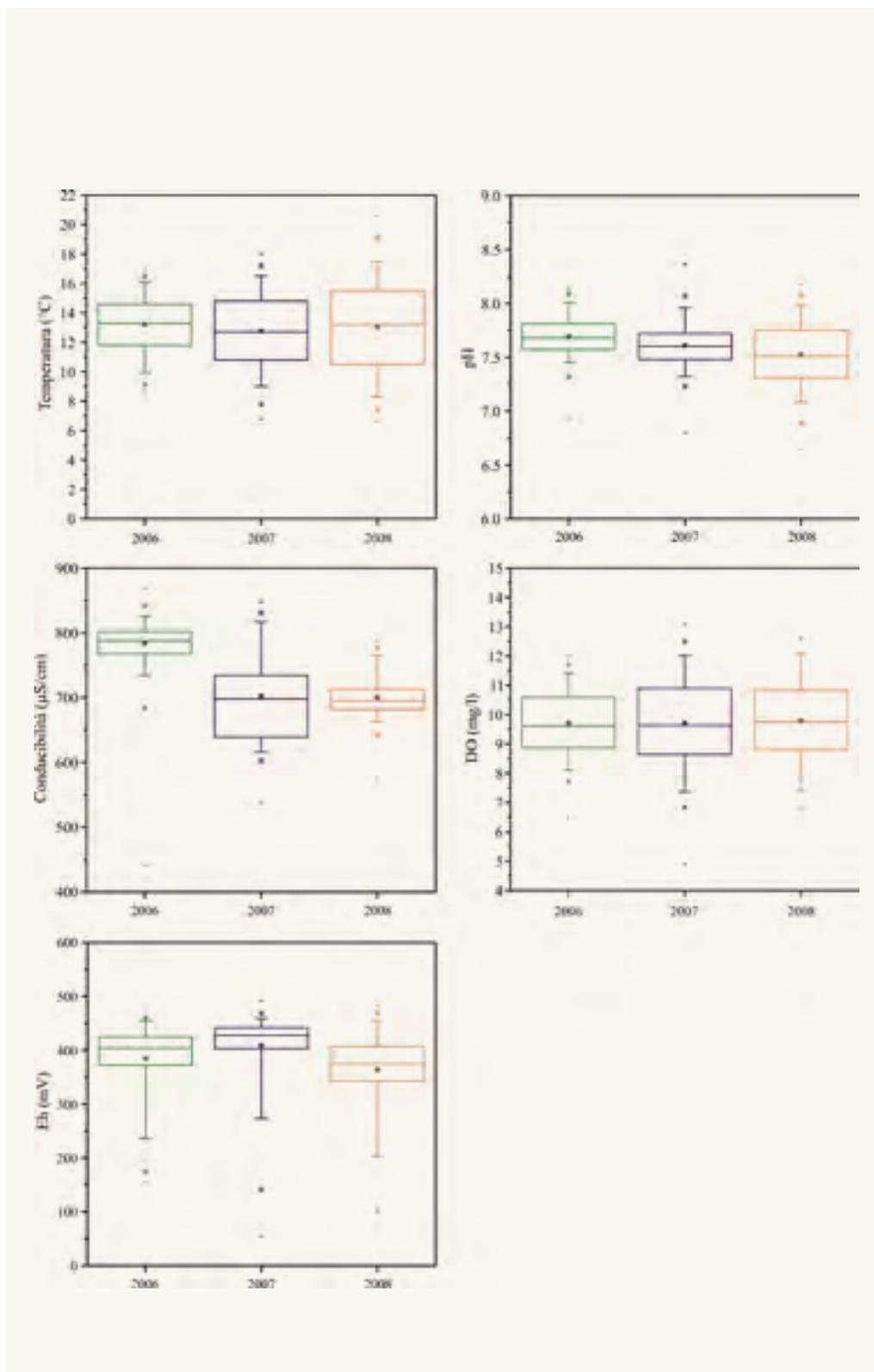
La stazione di Casco dell'Acqua non ha fornito, per tutti i parametri monitorati, serie di dati validati continui durante i primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio e ottobre del 2008. Pertanto, l'analisi della variabilità giornaliera è stata effettuata sugli stessi intervalli temporali, riferiti però all'anno 2007, quando si ha una maggiore continuità nei dati validati.

Tutti i parametri mostrano variazioni cicliche giornaliere ben visibili in tutte le stagioni (figura 16.7); fa eccezione il potenziale redox, caratterizzato da questo tipo di andamento solo in primavera e, in misura minore, in estate. Le differenze tra i massimi e minimi giornalieri di temperatura sono ridotte in ogni stagione e, da sole, non sembrano sufficienti a spiegare le forti variazioni di ossigeno disciolto, pH e conducibilità. Probabilmente, gioca un ruolo fondamentale l'attività svolta dalle piante acquatiche; questa ipotesi trova supporto nella minore ampiezza delle oscillazioni giornaliere che caratterizza i cronogrammi invernali di alcuni parametri, nonché dal confronto tra le variazioni giornaliere di ossigeno disciolto e temperatura: infatti, i valori massimi nella concentrazione di ossigeno disciolto vengono raggiunti durante le ore più calde, quando è massima l'insolazione e l'attività fotosintetica.

I valori minimi, invece, si riscontrano nelle ore notturne, quando l'ossigeno viene consumato a favore della produzione di anidride carbonica che, entrando in parte in soluzione, ne aumenta l'acidità; tuttavia, questo processo non è immediato, tanto che il pH della soluzione risponde alle variazioni di ossigeno

con circa due ore di ritardo. Anche i valori massimi di conducibilità, dovuti alla maggiore solubilità dei sali (dei bicarbonati in particolare) per l'aumento di anidride carbonica in soluzione, vengono raggiunti durante le prime ore del mattino, con una certa "inerzia" rispetto alle variazioni di pH.

Fig 16.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox relativi agli anni 2006, 2007 e 2008



Il potenziale redox, come osservato nel fiume Nera all'altezza di Piedipaterno, è caratterizzato da variazioni opposte a quelle del pH. Questo tipo di andamento si riscontra solamente in primavera e in estate; in inverno e in autunno le variazioni non sembrano legate a quelle degli altri parametri. Occorre notare la presenza di alcune diminuzioni di conducibilità elettrica, cui corrispondono variazioni contenute degli altri parametri, riconducibili presumibilmente a precipitazioni atmosferiche; nonostante il fiume Clitunno sia alimentato da acque sorgive, le piogge che cadono sui campi attigui fluiscono in alveo attraverso una fitta rete di dreni irri-

gui, condizionandone le caratteristiche chimico-fisiche.

Considerando i dati orari dei parametri nel breve periodo, è emersa una buona correlazione diretta tra il pH e l'ossigeno disciolto, soprattutto in inverno e in primavera. Il pH, inoltre, appare inversamente correlato al potenziale di ossidriduzione (solamente in primavera) ma non alla conducibilità, con la quale, in realtà, il legame risulta piuttosto blando, indipendentemente dalla stagione di osservazione.

Una buona correlazione inversa, invece, è emersa tra la conducibilità e l'ossigeno disciolto, anche se solo in corrispondenza delle stagioni primaverili ed estive.

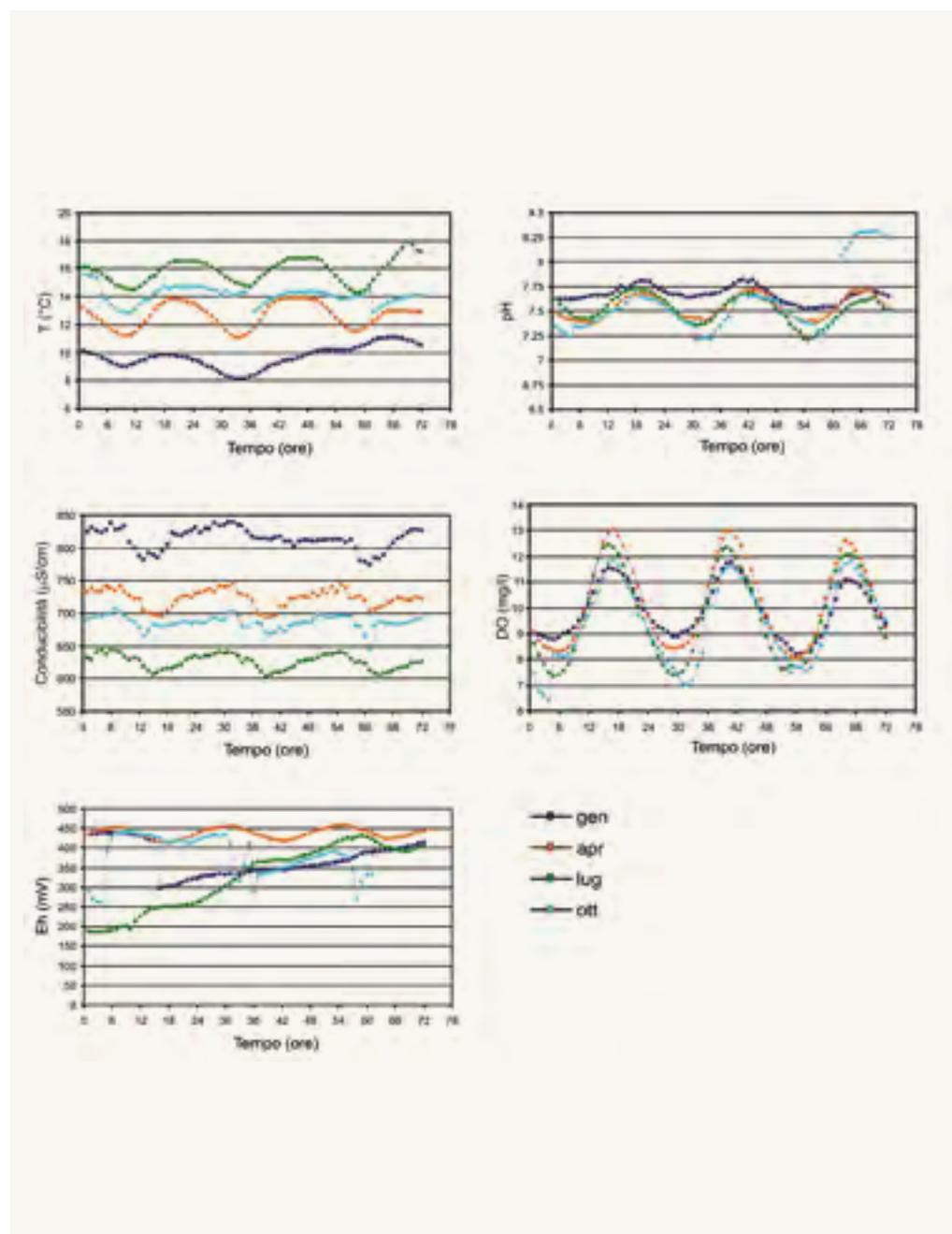


Fig 16.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox costruiti per i primi tre giorni (72 ore) di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2007

17. Stazione di Campello sul Clitunno (canale Fossa Nuova)

La stazione chimico-fisica di Campello sul Clitunno è collocata lungo la sponda destra del canale Fossa Nuova in località Pissignano. Il canale, alimentato da alcune emergenze naturali di circuiti sotterranei, alimenta il fiume Clitunno

La stazione chimico-fisica di Campello sul Clitunno, è collocata lungo la sponda destra del canale Fossa Nuova a una quota di circa 228 m s.l.m. in località Pissignano.

La stazione è dotata di elettrodi specifici per il monitoraggio continuo di temperatura, conducibilità, pH, potenziale redox, ossigeno disciolto e torbidità. Il sistema

di prelievo è costituito da una pompa ad immersione che preleva acqua dal fiume e la convoglia in una cella di misura, che ospita tutti gli elettrodi. La stazione è dotata di un campionatore automatico refrigerato che, all'occorrenza, può essere attivato al superamento di soglie di valori impostabili su tutti i parametri monitorati.

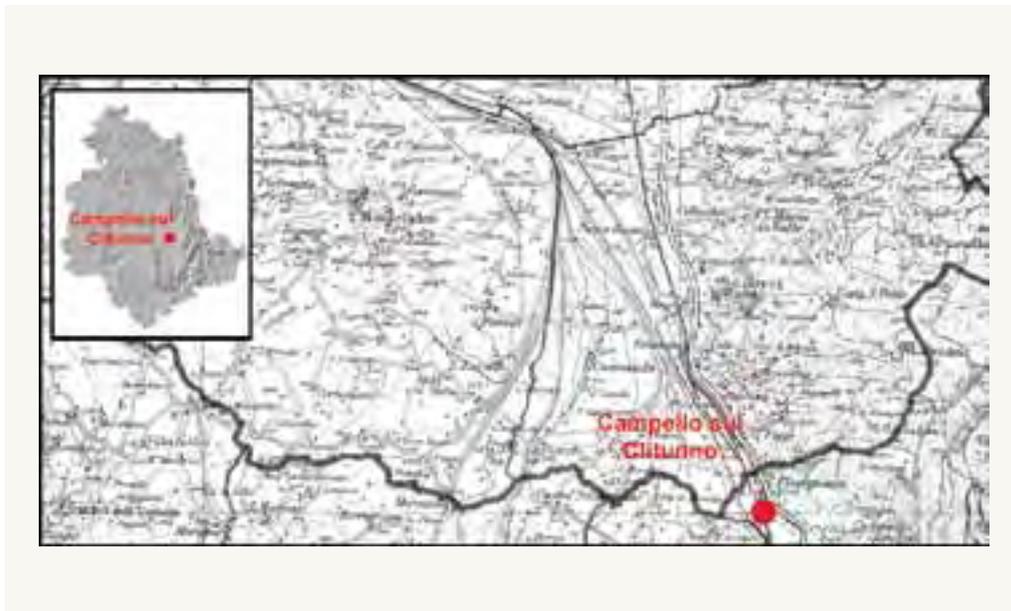


Figura 16.1 – Localizzazione geografica della stazione di Casco dell'Acqua, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2332859 – 4752400)



Figura 17.2 – Stazione di monitoraggio

Figura 17.3 – Particolare del sistema di prelievo

Figura 17.4 – Cella di misura

La stazione ha avuto alcuni problemi di funzionamento, soprattutto in fase di rodaggio, che hanno portato ad una percentuale di dati validati contenuta.

Il canale Fossa Nuova è alimentato da alcune emergenze naturali di circuiti sotterranei, localizzate nell'area di Campello sul Clitunno. Il suo percorso in superficie è molto breve, inferiore a due chilometri: attraverso il fosso dei Tre Ponti e il Marroggiola, alimenta il fiume Clitunno.

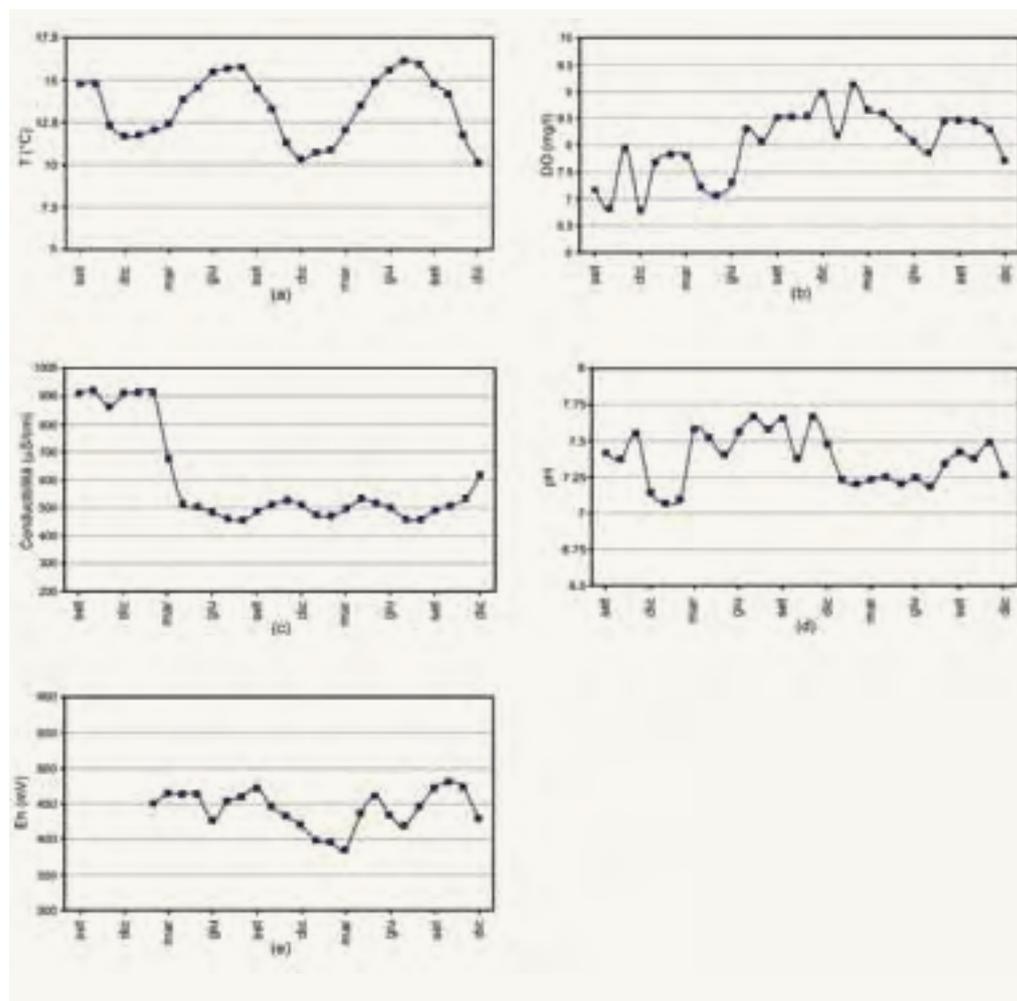
Solo la temperatura mostra un andamento legato alle variazioni meteorologiche stagionali (figura 17.5), con valori massimi in agosto e minimi in dicembre, ma le differenze riscontrate tra la stagione estiva e quella invernale sono molto contenute, inferiori a 6°C.

Non si riscontrano particolari variazioni o andamenti, né alcuna correlazione tra i parametri monitorati.

Tab 17.1 - Statistica descrittiva dei parametri chimico-fisici

	Conducibilità	O.D.	pH	Redox	Temperatura
Dati validati	17100	16778	14805	14908	17011
% dati validati	86.5	84.9	74.9	75.4	86.1
min	215	0.8	6.37	-69	6.2
max	1095	14	8.27	527	20.3
media	570	8.1	7.37	438	13.3
mediana	509	8.0	7.35	450	13.2
dev std	162	1.7	0.3	59.9	2.5
var	26341	2.9	0.1	3585	6.3
2 percentile	436	4.5	6.96	259	8.4
98 percentile	963	11.7	7.99	509	18.7

Fig 17.5 - Variazioni delle medie mensili di temperatura, O.D., conducibilità, pH e potenziale redox nel periodo di osservazione



I dati di temperatura sono caratterizzati da una distribuzione sempre pressoché simmetrica, ma dall'inizio del monitoraggio si osserva un trend crescente sia nei valori misurati, sia nella loro dispersione intorno alla media (figura 17.6).

Nel primo e nell'ultimo anno di monitoraggio i dati di pH mostrano distribuzioni e valori piuttosto simili. In corrispondenza del 2007, invece, si osserva un aumento dei valori misurati ed un cambiamento nel tipo di distribuzione, con la perdita dell'asimmetria.

La conducibilità è il parametro che

mostra variazioni più significative: oltre al forte abbassamento dei valori (legato, in realtà, alla sostituzione dello strumento di misura), si osserva una grande variabilità nella distribuzione dei dati, sempre nettamente asimmetrica.

I valori di ossigeno disciolto aumentano nel triennio, ma il tipo di distribuzione rimane sempre pressoché invariato, con una riduzione della dispersione.

Il potenziale di ossido-riduzione subisce una lieve diminuzione negli anni, ma il tipo di distribuzione rimane invariato.

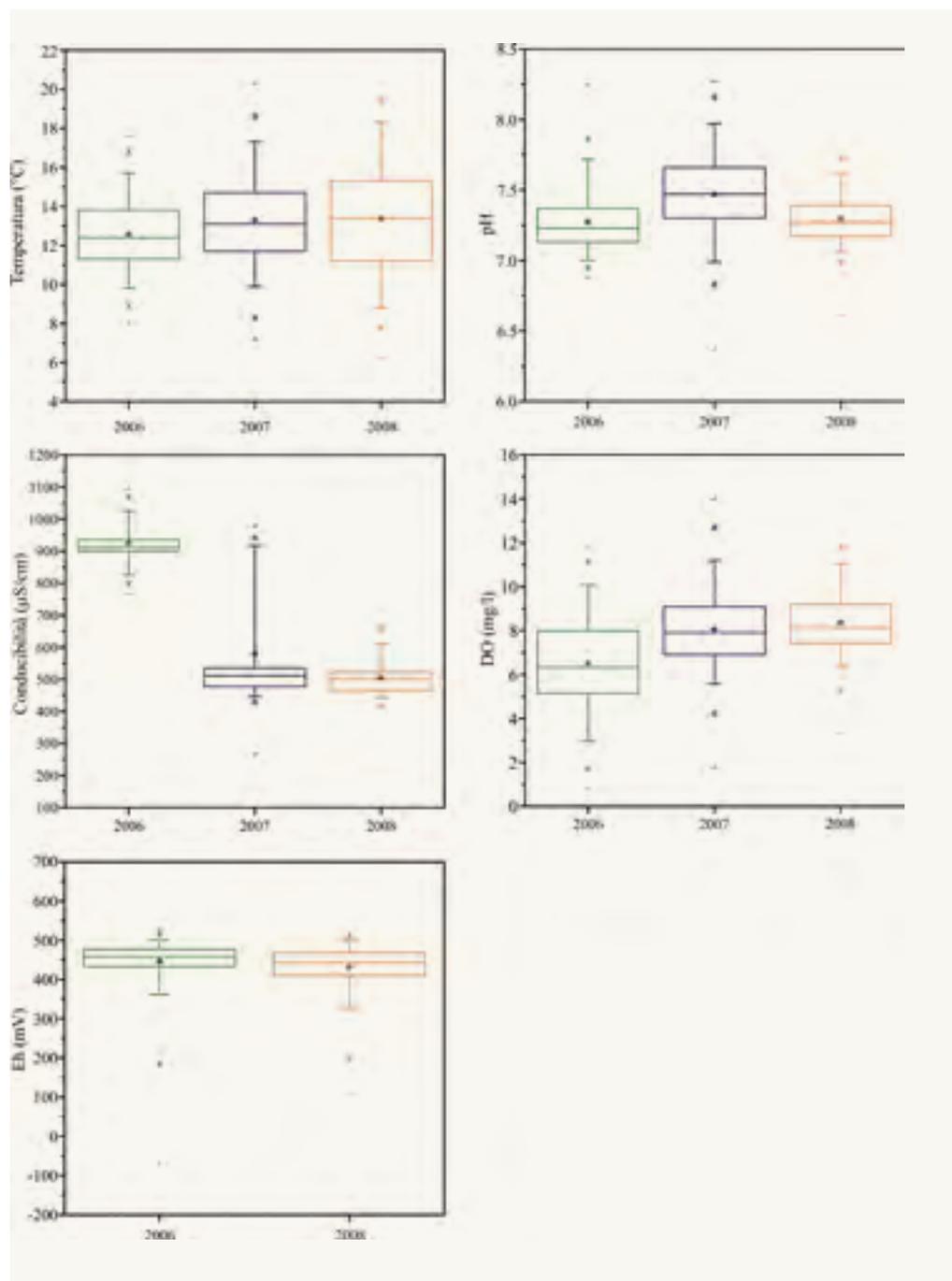


Fig 17.6 - Distribuzione dei dati di temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox relativi agli anni 2006, 2007 e 2008

Tutti i parametri monitorati mostrano evidenti variazioni di tipo notte-giorno, in tutte le stagioni (fig. 17.7). L'andamento della temperatura è sempre caratterizzato da oscillazioni asimmetriche, dovute ad una maggiore durata delle fasi discendenti (circa 16 ore) rispetto alle ascendenti.

Il tipo di variazione giornaliera rimane sempre lo stesso nell'arco dell'anno, con massimi e minimi che vengono raggiunti sempre negli stessi momenti della giornata. Gli effetti dell'andamento climatico stagionale si riflettono solamente nella variazione dell'ampiezza di oscillazione, che risulta maggiore in primavera e in estate.

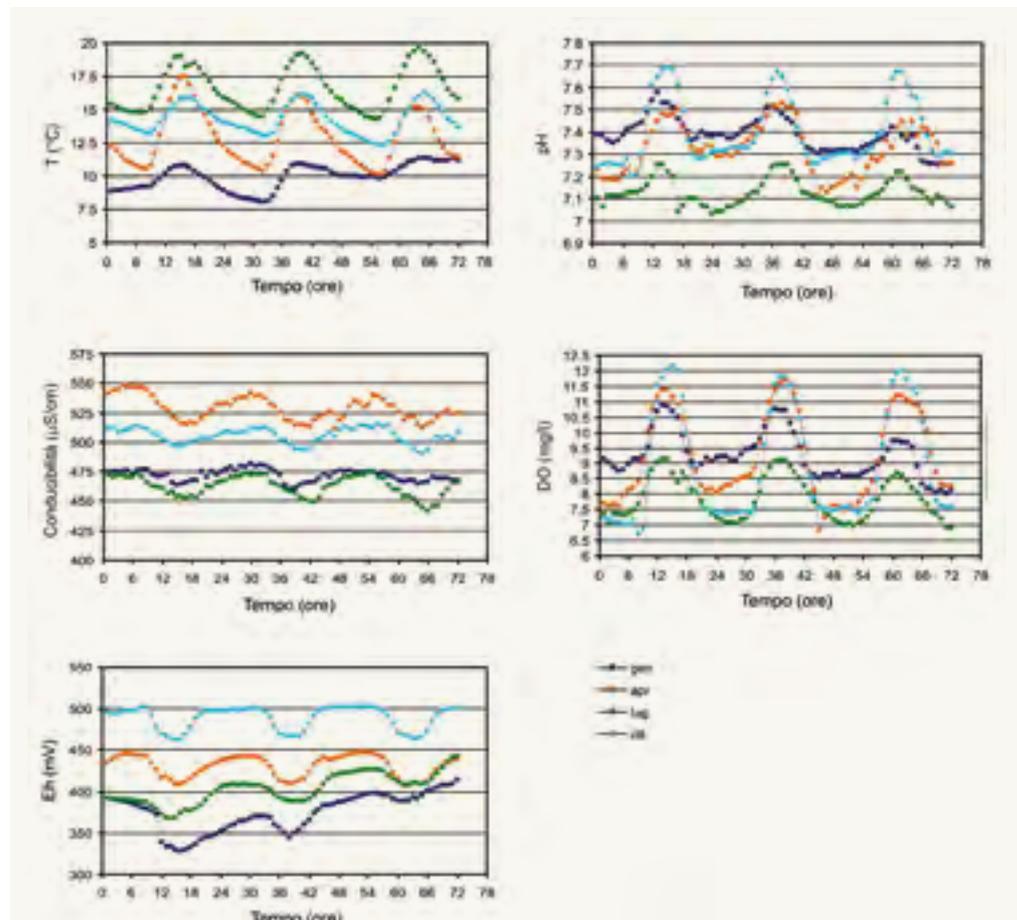
Come la temperatura, il pH e l'ossigeno disciolto raggiungono i valori massimi nelle prime ore del pomeriggio; il loro andamento, però, è contraddistinto da oscillazioni simmetriche e fasi di minimo particolarmente lunghe, soprattutto in corrispondenza della stagione invernale.

L'andamento della conducibilità, come prevedibile, è contrario a quello del pH; tuttavia, si riscontra sempre un ritardo di 2-3 ore tra il raggiungimento dei massimi di pH e quello dei minimi di conducibilità.

Il potenziale redox, infine, è caratterizzato da un andamento speculare a quello dell'ossigeno disciolto e del pH, con fasi di massimo molto lunghe, soprattutto in autunno e in primavera, stagioni nelle quali si osservano anche le più ampie oscillazioni giornaliere; in queste stagioni, la soluzione acquosa si trova in condizioni maggiormente ossidanti ed i valori di ossigeno disciolto subiscono escursioni giornaliere più marcate.

Confrontando l'andamento dei parametri monitorati nelle diverse stagioni, appare chiaro che in questo sistema entrano in gioco contemporaneamente processi differenti, i cui effetti sono più o meno visibili a seconda della scala temporale di osservazione. La temperatura dell'acqua, infatti, condiziona in modo preponderante la solubilità dell'ossigeno disciolto soltanto a scala stagionale (le concentrazioni di ossigeno sono generalmente più elevate in inverno che in estate), ma non a scala giornaliera, dove sembrano prevalere gli effetti dell'attività fotosintetica delle piante acquatiche. La conducibilità, nell'arco della giornata, sembra dipendere strettamente dal pH

Fig 17.7 - Cronogrammi relativi a temperatura, pH, conducibilità, O.D. e potenziale redox costruiti per i primi tre giorni (72 ore) dei mesi di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008



della soluzione, indipendentemente dal periodo dell'anno considerato. Tale relazione non sembra presente a scala stagionale: i valori più bassi, al contrario di quanto ci si aspetterebbe, si riscontrano in corrispondenza dei mesi estivi, proprio quando la soluzione acquosa risulta più acida; probabilmente, entrano in gioco gli equilibri fra i diversi contributi sotterranei, caratterizzati da un differente contenuto salino.

Considerando il breve periodo, emergono delle importanti correlazioni tra i diversi parametri monitorati. Il pH e l'ossigeno disciolto, ad esempio, risultano

sempre correlati positivamente, in particolare modo in estate quando il fattore R^2 risulta pari a 0,94. Forti legami di interdipendenza sono emersi anche tra conducibilità, temperatura e potenziale redox; in particolare, tra le prime due esiste sempre una correlazione negativa, particolarmente forte in autunno ($R^2 = 0,87$).

Anche tra temperatura e potenziale redox si ha lo stesso tipo di legame, ma solo in corrispondenza delle stagioni primaverile ed autunnale. In queste stesse stagioni, anche il potenziale redox e la conducibilità sembrano interdipendenti, ma la forza della correlazione (positiva) è minore.

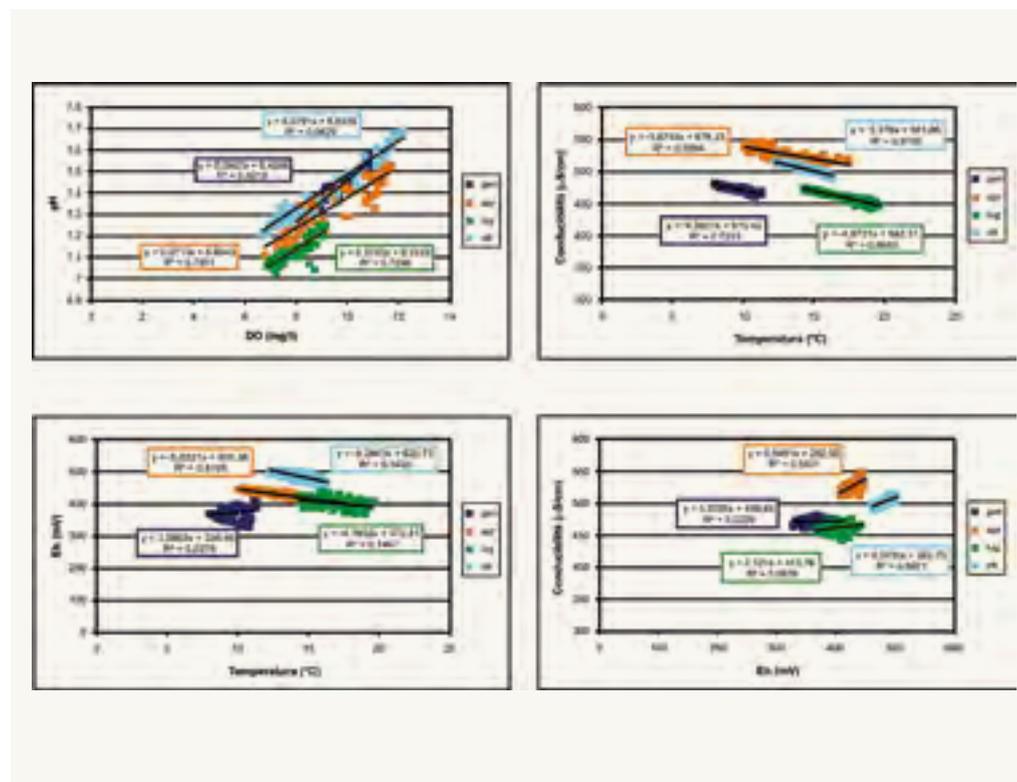


Fig 17.8 - Correlazioni tra i parametri chimico-fisici, sulla base di 72 dati orari relativi ai primi tre giorni di gennaio, aprile, luglio e ottobre 2008

I8. Stazione di Umbertide (fiume Tevere)

La stazione chimico-fisica di Umbertide è ubicata nell'omonimo centro abitato, sul ponte della S.S. 221. La stazione è posta in un contesto particolare, a monte di uno sbarramento artificiale costruito recentemente per la produzione di energia elettrica, dove risiede un campo gara per la pesca sportiva

La stazione chimico-fisica di Umbertide è ubicata nell'omonimo centro abitato, sul ponte della S.S. 221, a una quota di circa 247 m s.l.m.

Il sistema di prelievo è costituito da una pompa ad immersione che preleva acqua dal fiume Tevere, all'altezza del campo di gara per la pesca sportiva, e la spinge sopra il ponte, dove è collocata la stazione di monitoraggio. L'acqua transita in una cella di misura che ospita tutti gli elettrodi specifici.

Il ciclo di acquisizione consiste nel memorizzare 1 dato ogni ora per tutti i parametri monitorati; il dato orario è costituito dalla media delle letture effettuate nei primi 6 minuti di ogni ora.

La stazione monitora i seguenti parametri: temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto, pH, potenziale redox e torbidità, a partire dall'agosto del 2008.

Non vi sono serie temporali sufficientemente lunghe per procedere all'analisi dei dati.



Figura 18.1 – Localizzazione geografica della stazione di Umbertide, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2303134 – 4798244)



Figura 18.2 – Particolare del sistema di prelievo

Figura 18.3 – Stazione di monitoraggio di Umbertide

19. Stazione di Bevagna (fiume Clitunno)

La stazione di Bevagna è collocata in prossimità dell'omonimo centro abitato, lungo la riva sinistra del fiume Clitunno, a monte della confluenza con il fiume Timia

La stazione di Bevagna è collocata in prossimità dell'omonimo abitato, lungo la riva sinistra del fiume Clitunno, a monte della confluenza con il fiume Timia, a una quota di circa 205 m s.l.m..

Il sistema di prelievo è costituito da una pompa aspirante, posta all'interno

della stazione, che funziona in continuo.

Il circuito idraulico è dotato di un apparato filtrante con scarico di fondo e di alcuni bypass, in modo da poter tarare, tramite le valvole presenti, il corretto flusso in ingresso alla cella di misura.

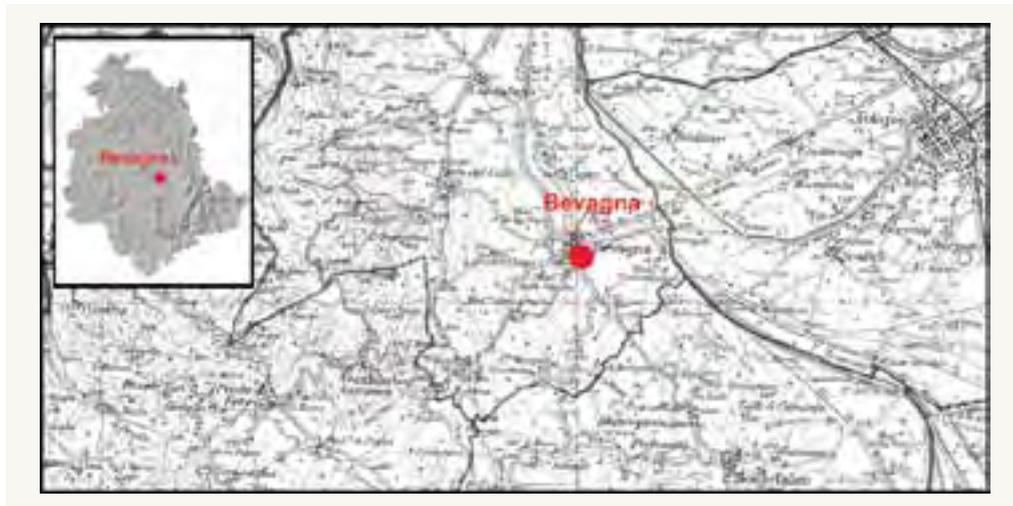


Figura 19.1 – Localizzazione geografica della stazione di monitoraggio di Bevagna, in scala 1:100.000 (coordinate Gauss-Boaga 2325067 – 4756142)



Figura 19.2 - Vista esterna della stazione di monitoraggio

Figura 19.3 – Tubazioni di prelievo e di rilascio del campione d'acqua

Figura 19.4 – Dettaglio dell'impianto idraulico

L'apparato filtrante non è attualmente utilizzato, pertanto non vi sono effetti perturbanti sulla misura di torbidità.

Il circuito è dotato di due flussometri elettronici, in grado di percepire il passaggio d'acqua all'ingresso della stazione e all'uscita della cella di misura; quando i flussometri rilevano l'assenza di acqua nel circuito, la pompa si arresta e viene inviato un messaggio d'allarme diagnostico ai cellulari dei tecnici che curano la manutenzione della stazione. In questo modo è possibile sapere in tempo reale se vi sono dei problemi e quale dispositivo è intervenuto, accorciando notevolmente i tempi di

intervento. La pompa può essere arrestata o avviata in remoto; il sistema consente anche di visualizzare, sempre in remoto, le anomalie presenti nel flusso d'acqua.

L'apparato di misura è costituito da una sonda multiparametrica che ospita tutti gli elettrodi per la misura di temperatura, conducibilità, pH, ossigeno disciolto, potenziale redox e torbidità. I dati sono acquisiti con cadenza oraria e trasmessi alla sede dell'Agenzia ogni notte.

Non vi sono serie temporali sufficientemente lunghe per procedere all'analisi dei dati.

Bibliografia

- BONI C. ET ALII (2005). *Carta idrogeologica delle dorsali interne umbro marchigiane*, Pubblicazione GNDCI-CNR n.2865, Roma.
- BOURG A.C.M., BERTIN C. (1996). *Diurnal variations in the water chemistry of a river contaminated by heavy metals: natural biological cycling and anthropic influence*, *Water, Air and Soil Pollution* 86, 101-116.
- DESMET N.J.S ET ALII (2008). *Quantification of the impact of macrophytes on oxygen dynamics and nitrogen retention in a vegetated lowland river*, *J. Physics and Chemistry of the Earth*, doi:10.1016/j.pce.2008.06.002.
- DI MATTEO L., DRAGONI W., VALIGI D. (2009). *Aggiornamento delle conoscenze sulle risorse idriche dei monti di Amelia (Italia centrale)*, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 1, Università La Sapienza Casa Editrice.
- GIAQUINTO S. ET ALII (1991). *Le acque sotterranee in Umbria*, Protagon Ed., 209 pp.
- HOUSE W. A. (2003). *Geochemical cycling of phosphorus in rivers*, *Applied Geochemistry* 18, 739-748.
- KAENEL B. R., BUEHRER H., UEHLINGER U. (2000). *Effects of aquatic plant management on stream metabolism and oxygen balance in streams*, *Freshwater Biology* 45, 85-95.
- MASSART D.L., VANDEGINSTE B.G.M., DEMING S.N., MICHOTTE Y., KAUFMAN L. (1988) - *Chemometrics: a textbook*. Elsevier (Amsterdam).
- MILLER J. R., ORBOCK MILLER S. M. (2007). *Contaminated Rivers*, Springer 418 pp.
- USGS (2003). *Diurnal Variation in Trace-Metal Concentration in Streams*, USGS Fact Sheet FS-086-03.
- NIMICK D.A. ET ALII (2003). *Diel cycles in dissolved metal concentration in stream: occurrence and possible causes*, *Water Resources Research*, v.39, no.9, 1247. Doi:10.1029/2002WR001571.
- NUCCI M. (2004). *Il monitoraggio continuo delle sorgenti umbre*. Quaderni di ARPA Umbria, 2004.
- NUCCI M. (2008). *Il monitoraggio continuo dei livelli di falda in Umbria*. Quaderni di ARPA Umbria, 2008.
- PETERSON D. ET ALII (2005). *River chemistry as a monitor of Yosemite park mountain hydroclimates*, *Eos*, Vol. 86, No 31, 285-288.
- SCHLEISINGER W. H. (1997). *Biogeochemistry: an analysis of global change*, 2nd ed., Academic Press.
- GROSCHEIN, G.E., AND KING, R.B., 2005, *Evaluation of measurements collected with multi-parameter continuous water-quality monitors in selected Illinois streams, 2001-2003*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5060, 58 p.
- ANTWEILER, R.C., SMITH, R.L., VOYTEK, M.A., AND BOHLKE, JOHN-KARL, 2005, *Water-quality data from two agricultural drainage basins in northwestern Indiana and northeastern Illinois—II. diel data, 1999-2001*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1053, 114 p.
- FRONDINI F. (2008) - *Geochemistry of regional aquifer systems hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (central Italy)*. *Applied Geochemistry*, 23: 2091-2104.
- MORGANTINI N., FRONDINI F. & CARDELLINI C. (2008) - *Natural trace elements baselines and dissolved loads in groundwater from carbonate aquifers of central Italy*. *Phys. Chem. Earth*, doi:10.1016/j.pce.2008.05.004.

Finito di stampare
nel dicembre 2010
a Bastia Umbra (PG)
da Grafiche Diemme srl
per conto di Arpa Umbria