

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Indirizzo Protezione del Suolo e del Territorio

*Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del
Rilevamento, del Territorio (DISTART)*

TESI DI LAUREA

in

Ingegneria Sanitaria Ambientale LS

**FINISSAGGIO DI ACQUE REFLUE ATTRAVERSO
LAGUNAGGIO FACOLTATIVO IN ACQUE DI
TRANSIZIONE: IL CANALE DI ALLACCIAMENTO
A CESENATICO**

CANDIDATO:
Luca Melucci

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Ing. Maurizio Mancini

Anno Accademico 2006/07

Sessione II

INDICE

Introduzione.....	pag. 1
Capitolo 1	
<i>FENOMENI CHIMICO-BIOLOGICI COINVOLTI</i>	
<i>NEL PROCESSO DI FINISSAGGIO</i>	pag. 3
1.1 Fotosintesi clorofilliana.....	pag. 3
1.1.1 Reazione complessiva.....	pag. 3
1.1.2 Forme di fotosintesi.....	pag. 3
1.1.3 Fasi della fotosintesi.....	pag. 4
1.1.4 Tipi di alghe.....	pag. 6
1.2 Valutazione quantitativa del fenomeno fotosintetico.....	pag. 8
1.2.1 Fitoplancton.....	pag. 8
1.2.2 Alghe di fondo.....	pag. 14
1.3 Nutrienti in gioco: azoto e fosforo.....	pag. 19
1.3.1 Azoto organico.....	pag. 19
1.3.2 Azoto ammoniacale.....	pag. 20
1.3.3 Ammoniaca non-ionizzata.....	pag. 21
1.3.4 Azoto nitrico.....	pag. 22
1.3.5 Fosforo organico.....	pag. 22
1.3.6 Fosforo inorganico.....	pag. 23
1.4 Respirazione batterica.....	pag. 24
1.4.1 Respirazione cellulare aerobica.....	pag. 24
1.4.2 Respirazione cellulare anaerobica.....	pag. 27
1.5 Cinetiche di sviluppo batterico.....	pag. 32
Capitolo 2	
<i>ELEMENTI COSTITUENTI LA SOSTANZA ORGANICA</i>	
2.1 Il carbonio.....	pag. 35
2.1.1 Ciclo del carbonio.....	pag. 35
2.1.2 Il carbonio nell'atmosfera.....	pag. 36
2.1.3 Il carbonio nella biosfera.....	pag. 37

2.1.4 Il carbonio negli oceani.....	pag. 38
2.1.5 Interazioni in acque naturali.....	pag. 39
2.2 L'azoto.....	pag. 41
2.2.1 Ciclo dell'azoto.....	pag. 41
2.2.2 Azotofissazione.....	pag. 42
2.2.3 Ammonificazione.....	pag. 45
2.2.4 Nitrificazione.....	pag. 45
2.2.5 Nitratazione.....	pag. 46
2.2.6 Denitrificazione.....	pag. 47
2.3 Il fosforo.....	pag. 48
2.3.1 Ciclo del fosforo.....	pag. 48

Capitolo 3

<i>CARATTERISTICHE DELLE ACQUE DI TRANSIZIONE</i>	pag. 50
3.1 Acque di transizione.....	pag. 50
3.1.1 Zone di estuario e di delta.....	pag. 50
3.1.2 Le lagune.....	pag. 51
3.1.3 Gli stagni costieri.....	pag. 53
3.1.4 Le baie.....	pag. 55
3.2 Maree.....	pag. 55
3.2.1 Forze coinvolte.....	pag. 56
3.2.2 La seconda "gobba".....	pag. 57
3.2.3 Effetti secondari delle maree.....	pag. 57
3.2.4 Previsione delle maree.....	pag. 58
3.3 Acque di transizione: il Canale di Allacciamento.....	pag. 61

Capitolo 4

<i>SISTEMI NATURALI DI TRATTAMENTO</i>	pag. 62
4.1 Sistemi naturali di trattamento.....	pag. 62
4.2 Autodepurazione.....	pag. 62
4.3 Depuratori e sistemi naturali di trattamento a confronto.....	pag. 63
4.4 Legislazione.....	pag. 64
4.5 Classificazione dei sistemi naturali di trattamento.....	pag. 65

4.6 Applicazioni, vantaggi e limiti dei sistemi naturali di trattamento.....	pag. 65
4.7 Lagunaggi (o Stagni) biologici.....	pag. 67
 Capitolo 5	
<i>IL CANALE DI ALLACCIAMENTO</i>	pag. 72
5.1 Inquadramento del caso di studio.....	pag. 72
5.2 Modalità di misura.....	pag. 76
5.2.1 Strumento di misura.....	pag. 76
5.2.2 Procedura seguita durante le misure.....	pag. 79
5.3 Problemi ed errori.....	pag. 81
 Capitolo 6	
<i>RISULTATI DEL MONITORAGGIO</i>	pag. 83
6.1 Indicazioni generali.....	pag. 83
6.2 Report campagna di misure del 17, 19-20 luglio 2007.....	pag. 84
6.3 Report campagna di misure del 31 luglio, 1-2 agosto 2007...	pag. 96
6.4 Report campagna di misure del 9-13 agosto 2007.....	pag. 107
6.5 Organizzazione dei dati e grafici.....	pag. 113
 Capitolo 7	
<i>ANALISI DEI DATI</i>	pag. 169
7.1 Ponte di Via Vismarina.....	pag. 171
7.2 Ponte di Via Bigatta.....	pag. 178
7.3 Ponte di Via Fiscala.....	pag. 183
7.4 Ponte di Via Cervese.....	pag. 187
 Capitolo 8	
<i>MODELLAZIONE DEL CANALE DI ALLACCIAMENTO</i>	pag. 192
8.1 Descrizione del modello.....	pag. 192
8.1.1 Componente idraulica.....	pag. 192
8.1.2 Componente chimico-biologica.....	pag. 193
8.2 Risultati del modello.....	pag. 199
8.3 Considerazioni.....	pag. 206

Conclusioni.....	pag. 209
Allegati.....	pag. 210
Bibliografia.....	pag. 211
Ringraziamenti.....	pag. 214

INTRODUZIONE

L'affinamento dei trattamenti depurativi delle acque reflue riveste un ruolo di notevole importanza, se inteso nell'ottica del raggiungimento di livelli di qualità medio-alti per i corpi idrici recettori.

L'azione di finissaggio viene realizzata solitamente a seguito di trattamenti più spinti di rimozione degli inquinanti (fasi primarie e secondarie) e consente di migliorare l'effetto depurativo abbassando ulteriormente le concentrazioni degli inquinanti negli effluenti trattati.

I vantaggi derivanti dal finissaggio delle acque reflue sono maggiormente auspicabili qualora gli effluenti trattati siano recapitati in aree sensibili, dove i limiti di emissione sono più stringenti, oppure in zone limitrofe afferenti a quest'ultime.

Obiettivo di questo studio è stato quello di analizzare il finissaggio di acque reflue eseguito attraverso lagunaggio facoltativo in acque di transizione.

A tale proposito si è studiato un tratto del Canale di Allacciamento, fra i comuni di Cervia e Cesenatico, il quale riceve a monte gli effluenti del depuratore di Cesena mentre a valle è influenzato dalla ciclicità delle maree. Da non trascurare è il fatto che l'impianto di Cesena, distando poco più di 10 km dalla linea di costa romagnola, non ricade in area sensibile e quindi non è soggetto ai limiti di emissione più severi. Tuttavia gli effluenti di questo impianto, convogliati tramite il Canale di Allacciamento verso il mare, subiscono un ulteriore e progressivo abbattimento naturale degli inquinanti che si traduce, di fatto, in un miglioramento dell'azione depurativa con ripercussioni positive sulla qualità delle acque.

In particolare si è considerato il suddetto tratto di canale alla stregua di uno stagno facoltativo, in cui i tempi di residenza sono regolati dalle oscillazioni di livello causate dalle maree.

Nella prima parte dello studio sono state riportate le nozioni generali utili ad inquadrare sia la particolarità delle acque di transizione, sia i diversi fenomeni fisici e chimico-biologici che concorrono al processo di finissaggio analizzato.

Nella seconda parte vengono proposti i dati ricavati dalle campagne di misura realizzate durante la stagione estiva sul Canale di Allacciamento.

In questa sezione, i parametri chimico-biologici e fisici misurati, sono stati organizzati e discussi in riferimento alle loro variazioni spaziali e temporali.

Infine, nell'ultima parte si è cercato di simulare, tramite modello, l'evoluzione di alcuni parametri indicatori del grado di depurazione, in particolare sono state simulate le oscillazioni delle popolazioni batteriche ed algali, nonché del substrato, tenendo conto delle condizioni di marea, di radiazione luminosa e di apporto costante di sostanza organica da monte. Sulla base delle variazioni dei batteri, delle alghe e del substrato è stato possibile simulare l'andamento dell'ossigeno disciolto e confrontarlo con i valori rilevati nelle campagne di misura.



Capitolo 1

FENOMENI CHIMICO-BIOLOGICI COINVOLTI NEL PROCESSO DI FINISSAGGIO

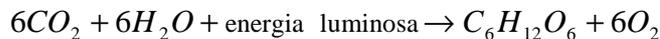
1.1 Fotosintesi clorofilliana

La fotosintesi clorofilliana è un processo attraverso cui, mediante la clorofilla, viene trasformata l'energia solare in una forma di energia chimica utilizzabile dagli organismi vegetali (piante, alghe e fitoplancton) per la propria sussistenza. Tali organismi si dicono autotrofi. Il processo è oggi nettamente dominante, sulla Terra, sia per la produzione di composti organici da sostanze inorganiche che per la produzione di ossigeno, e probabilmente rappresenta la prima forma di processo anabolico sviluppato dagli organismi viventi.

1.1.1 Reazione complessiva

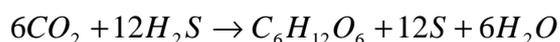
Il prodotto organico della fotosintesi è il glucosio ($C_6H_{12}O_6$), il carboidrato monosaccaride più diffuso sul nostro pianeta. Il carbonio e l'ossigeno da convertire in sostanza organica sono forniti dall'anidride carbonica (CO_2) atmosferica. La quasi totalità della fotosintesi è compiuta da piante ed alghe che ricavano l'idrogeno dall'acqua.

In questo caso l'equazione chimica che riassume il processo è:



1.1.2 Forme di fotosintesi

Esistono, soprattutto fra gli organismi procarioti autotrofi, varie forme di fotosintesi, oltre alla fotosintesi clorofilliana ossigenica descritta finora. In alcune specie di batteri autotrofi, l'idrogeno proviene non dall'acqua ma dall'acido solforico, che nella fotosintesi viene ossidato a zolfo elementare (S_8) secondo l'equazione chimica:



Si noti che questi batteri sono anaerobi obbligati. Le forme di fotosintesi clorofilliana che vengono effettuate con lo zolfo (od in alcuni casi anche con l'azoto) vengono dette fotosintesi anossigeniche. Anche fra le piante si riscontrano vari tipi di fotosintesi clorofilliana. Le piante sono suddivise, in base alla forma di fotosintesi clorofilliana da esse compiuta, in tre gruppi principali, che hanno diverse caratteristiche: le piante C3, C4 e CAM. Vi è anche una forma di fotosintesi, la chemiosintesi, in cui l'energia chimica è data dalla demolizione di molecole organiche anziché dalla radiazione elettromagnetica.

1.1.3 Fasi della fotosintesi

La fotosintesi clorofilliana consiste in due fasi: quella luminosa e quella di fissazione del carbonio, nota anche come ciclo di Calvin. La seconda fase veniva erroneamente definita "fase oscura", dalla credenza che essa potesse avvenire anche in assenza di luce (tale fase avviene contemporaneamente alla fase luminosa e non di notte, infatti in assenza di luce si ha mancanza di ATP e NADPH che si formano durante la fase luminosa e gli stomi si chiudono, dunque non vi è accesso di CO₂; inoltre si verifica anche l'inattività di alcuni enzimi che sono luce-dipendenti: RUBISCO, 3-PGA deidrogenasi, fosfatasi e ribulosio 1,5 bis-fosfato chinasi).

Fase luminosa

La fase diurna è dominata dalla clorofilla A, le cui molecole assorbono selettivamente luce nelle porzioni rossa e azzurro-violetta dello spettro visibile, attraverso una serie di particolari pigmenti. Il complesso costituito dalla clorofilla A e dagli altri pigmenti prende il nome di fotosistema I. L'energia catturata dalle molecole di clorofilla consente l'emissione di elettroni dagli orbitali atomici. Questi vengono subito sostituiti mediante idrolisi di molecole d'acqua (che, da H₂O, si demolisce in due protoni, due elettroni ed un O). Gli elettroni liberati dalla clorofilla A vengono immessi in una catena di trasporto costituita generalmente da ioni H⁺ (protoni), che li porta fino al fotosistema II. Qui, venendo a contatto con altri pigmenti, sono nuovamente immessi in una catena di trasporto. Al termine di quest'ultima, gli elettroni vengono utilizzati per sintetizzare NADPH a partire da NADP⁺.

Tramite la proteina di membrana ATP-sintetasi situata sulla membrana del tilacoide (strati membranosi interni al cloroplasto o, nel caso dei batteri autotrofi, distribuiti nel citoplasma), gli ioni H^+ liberatisi dall'idrolisi dell'acqua vengono utilizzati come gradiente protonico per la sintesi di ATP a partire da gruppi liberi di fosfato e ADP. Complessivamente, durante la fase luminosa si formano 18 ATP e 12 NADPH.

Ciclo di Calvin

La fase di fissazione del carbonio o “ciclo di Calvin” comporta l'organizzazione della CO_2 , ossia la sua incorporazione in composti organici e la riduzione del composto ottenuto grazie al NADPH ricavato dalla fase luminosa. In questo ciclo è presente un composto organico fisso, il ribulosio difosfato, o RuDP, che viene trasformato durante la reazione fino a tornare al suo stato iniziale. Le 12 molecole di ribulosio difosfato presenti nel ciclo di Calvin reagiscono con l'acqua e l'anidride carbonica subendo una serie di trasformazioni. Alla fine del processo, oltre alle 12 RuDP nuovamente sintetizzate, si originano due molecole di gliceraldeide 3-fosfato, che vengono espulse dal ciclo come prodotto finale. Per essere attivato, il ciclo di Calvin necessita di energia chimica e supporto mediante l'idrolisi di 18 ATP in ADP e della riduzione di 12 NADPH in $NADP^+$ e ioni liberi di idrogeno H^+ . L'ATP e la NADPH consumate durante il ciclo di Krebs vengono prelevate dalla fase luminosa, e, una volta ridotte, tornano a far parte di tale reazione. Complessivamente, nel ciclo di Calvin vengono consumate 6 molecole di CO_2 , 6 di H_2O , 18 di ATP e 12 di NADPH per formare 2 gliceraldeide 3-fosfato (G3P), 18 gruppi liberi di fosfato, 18 ADP, 12 protoni, 12 $NADP^+$.

Sintesi di glucosio

Le 2 molecole di gliceraldeide 3-fosfato formatesi durante il ciclo di Calvin vengono utilizzate per sintetizzare glucosio, in un processo perfettamente inverso alla glicolisi, o per formare lipidi quali acidi grassi oppure amminoacidi (aggiungendo un gruppo amminico nella struttura). I prodotti finali della fotosintesi, quindi, svolgono un ruolo di fondamentale importanza nei processi dell'anabolismo degli organismi autotrofi.

1.1.4 Tipi di alghe

Per quello che riguarda i corsi d'acqua naturali, la biomassa vegetale, che concorre maggiormente alla fotosintesi, è costituita dalle alghe.

Per le alghe, possiamo distinguere più gruppi: Chlorophyta, Chrysophyta, Rhodophyta, Pyrrophyta, Cyanophyta, Bacillariophyceae e Cryptophyta.

Le alghe Cyanophyta sono microalghe al confine con i batteri, che sono in grado di fissare l' N_2 , utilizzare CO_2 , producendo O_2 ed assimilando composti organici. Tali alghe colonizzano spesso gli ambienti ecologicamente instabili, dando origine a forti Blooms Algali (detti anche fioriture algali). Per esse, come per le altre alghe, i composti nutrienti inorganici utilizzati sono principalmente PO_4 , CO_2 , NO_3 , NH_4 , mentre utilizzano anche amminoacidi ed altri composti organici.

Se i carichi organici non sono troppo elevati, prevalgono le Alghe Verdi Filamentose (come Spirogyra Ulothrix) sui Fitoflagellati (come il Chlamydomonas).

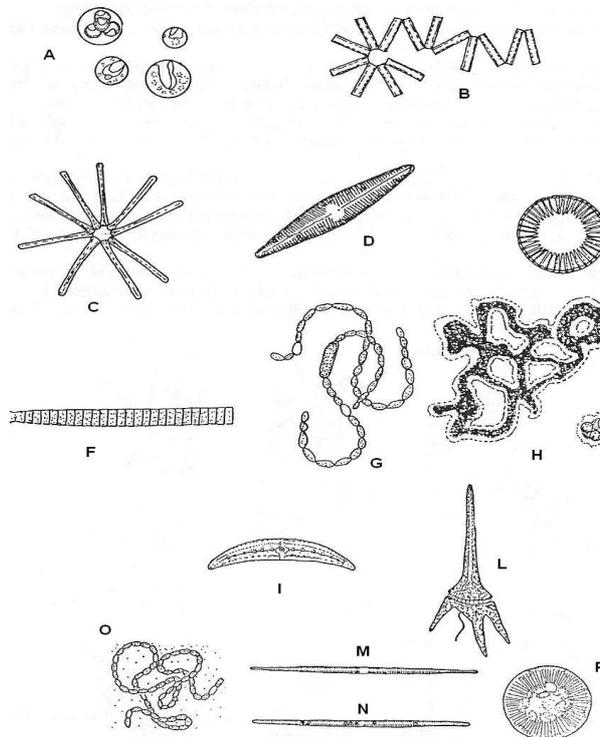


Fig.1 Alghe d'acqua dolce (Marchetti).

Alghe d'acqua dolce:

- A) *Chlorella vulgaris* (5÷10 µm di diametro);
- B) *Tabellaria fenestrata* (forma coloniale con cellule di 12÷50 µm di lunghezza);
- C) *Asterionella formosa* (forma coloniale con cellule di 40÷130 µm di lunghezza disposte a raggio);
- D) *Navicula radiosa* (40÷120 µm di lunghezza);
- E) *Cyclotella meneghiniana* (10÷30 µm di diametro);
- F) *Oscillatoria rubescens* (frammento di filamento composto da cellule di 2÷4 µm di lunghezza);
- G) *Anabaena circinalis* (4÷15 µm per cellula);
- H) *Microcystis aeruginosa* (alga coloniale composta da numerosissime cellule di 3÷7 µm);
- I) *Closterium moniliferum* (170÷450 µm);
- L) *Ceratium hirundinella* (90÷450 µm);
- M) *Synedra acus* (100÷300 µm);
- N) *Synedra ulna* (50÷350 µm);
- O) *Nostoc carneum* (cellule lunghe 8 µm);
- P) *Cyclotella compta* (15÷50 µm di lunghezza).

I fattori che regolano lo sviluppo delle alghe e la selezione delle specie presenti, sono principalmente la temperatura e la luce a disposizione, ma importanti sono anche il tempo di detenzione, la torbidità, il “Grazing” (o “Brucaggio”, operato da altre forme viventi) e la concentrazione presente dei nutrienti. Esiste anche una selezione verticale tra specie in base alla lunghezza d'onda penetrata alle varie profondità.

La selezione stagionale invece, fa sì che in estate si abbiano concentrazioni in superficie di Alghe Azzurre ed Alghe Verdi (come *Oscillatoria*, *Anacystis*, *Phormidium*, *Anabaena* e *Chlorococcales* varie, tra cui *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*) ed in inverno invece prevalenza di *Euglena* e *Chlamydomonas*, che però assieme a *Scenedesmus* ed *Ankistrodesmus* sono dotate di grande adattabilità al clima, per cui sono presenti tutto il resto dell'anno, anche se in quantità più ridotte. La fotosintesi, come prima descritto, porta alla formazione di glucosio a partire da anidride carbonica e

idrogeno. Inoltre per ogni molecola di glucosio, utilizzato dalle alghe per il proprio sviluppo, ne vengono liberate 6 di ossigeno, che determinano nelle ore diurne, un innalzamento della concentrazione dell'ossigeno disciolto in acqua fino a livelli elevati.

1.2 Valutazione quantitativa del fenomeno fotosintetico

Per valutare la fotosintesi in termini quantitativi occorre stimare l'entità dei microorganismi che sviluppano tale processo come il fitoplancton (termine con cui si indicano genericamente le alghe mono e pluricellulari che stazionano nella parte medio-alta della colonna d'acqua, maggiormente interessata da radiazioni luminose) e le alghe di fondo (alghe aventi dimensioni dell'ordine di qualche cm che si insediano sul fondo).

1.2.1 Fitoplancton

In generale il fitoplancton cresce per via della fotosintesi (PhytoPhoto). La variazione di fitoplancton nel tempo (S_{ap}) è espressa dalla seguente equazione in cui le perdite sono rappresentate dalla respirazione (PhytoResp), mortalità (PhytoDeath) e sedimentazione (PhytoSettl).

$$S_{ap} = \text{PhytoPhoto} - \text{PhytoResp} - \text{PhytoDeath} - \text{PhytoSettl}$$

Fotosintesi (PhytoPhoto)

Il fitoplancton, come risultato della fotosintesi, è dato da:

$$\text{PhytoPhoto} = \mu_p a_p$$

dove a_p sta ad indicare la concentrazione di fitoplancton [mg/m^3] mentre μ_p è il tasso di crescita [1/d] funzione della temperatura, dei nutrienti e della luce così definito:

$$\mu_p = k_{gp}(T)\phi_{Np}\phi_{Lp}$$

in cui $k_{gp}(T)$ è il massimo contributo fotosintetico alla temperatura T [1/d], mentre ϕ_{Np} e ϕ_{Lp} sono coefficienti di attenuazione del fitoplancton rispettivamente dovuti ai nutrienti ed alla luce [entrambi sono numeri adimensionali compresi tra 0 e 1].

Limitazione da nutrienti

Le equazioni di Michaelis-Menten servono a rappresentare le limitazioni alla crescita determinate da azoto inorganico, fosforo e carbonio inorganico. Il valor minimo è perciò usato per calcolare il fattore limitante dovuto ai nutrienti:

$$\phi_{Np} = \min \left(\frac{n_a + n_n}{k_{sNp} + n_a + n_n}, \frac{p_i}{k_{sPp} + p_i}, \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]}{k_{sCp} + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]} \right)$$

dove:

- k_{sNp} = costante di semi-saturazione dell'azoto [$\mu\text{g/L}$];
- k_{sCp} = costante di semi-saturazione del carbonio inorganico [mole/L];
- $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ = concentrazione dell'acido carbonico [mole/L];
- $[\text{HCO}_3^-]$ = concentrazione dello ione carbonato [mole/L].

Limitazione da luce

Si assume che l'attenuazione della luce attraverso l'acqua segua la legge di Beer-Lambert:

$$PAR(z) = PAR(0)e^{-k_e z}$$

dove:

- $PAR(z)$ = radiazione disponibile per la fotosintesi alla profondità z a partire dal pelo libero [ly/d] (langley/day, 1 ly/d=1 cal/cm²);
- k_e = coefficiente di diminuzione luminosa [m^{-1}].

Inoltre si assume $PAR(0)$ al pelo libero come frazione della radiazione solare $I(0)$:

$$PAR(0) = 0.47I(0)$$

Il coefficiente di diminuzione luminosa è legato alle variabili del modello nel modo seguente:

$$k_e = k_{eb} + \alpha_i m_i + \alpha_o m_o + \alpha_p a_p + \alpha_{pn} (a_p)^{\frac{2}{3}}$$

dove:

- k_{eb} = coefficiente che tiene conto della diminuzione causata dall'acqua e dal colore [1/m];
- α_i = costante relativa al contributo dei solidi sospesi inorganici [L/mg/m];
- α_o = costante dovuta al particolato organico [L/mg/m];
- α_p, α_{pn} = costanti relative alla clorofilla [L/ μ g/m e (L/ μ g)^{2/3}/m].

I valori consigliati per i coefficienti prima descritti sono:

Simbolo	Valore	Referenza
α_i	0.052	(Di Toro, 1978)
α_o	0.174	(Di Toro, 1978)
α_p	0.0088	(Riley, 1956)
α_{pn}	0.054	(Riley, 1956)

Fig.2 Valori indicativi per i coefficienti che descrivono la diminuzione della luce in profondità.

Si possono usare tre modelli per descrivere l'influenza che la luce gioca sulla fotosintesi operata dal fitoplancton e dalle alghe di fondo:

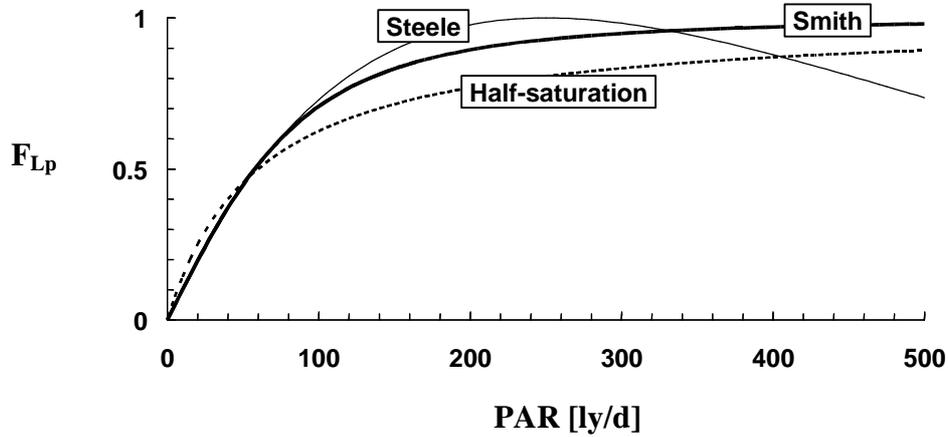


Fig.3 Variazione del fattore di crescita in relazione alla radiazione luminosa disponibile per la fotosintesi.

Modello di luce a Semi-Saturazione (Michaelis-Menten) (Baly, 1935):

$$F_{Lp} = \frac{I(z)}{K_{Lp} + I(z)}$$

dove F_{Lp} è il fattore limitante la crescita del fitoplancton dovuto alla luce mentre K_{Lp} è il parametro di luce. Nel modello di Semi-Saturazione, il parametro di luce è un coefficiente di semi-saturazione [ly/d]. Questa funzione può essere combinata con la legge di Beer-Lambert ed integrata sulla profondità della colonna d'acqua H [m] al fine di ottenere il coefficiente di attenuazione luminosa del fitoplancton:

$$\phi_{Lp} = \frac{1}{k_e H} \ln \left(\frac{K_{Lp} + I(0)}{K_{Lp} + I(0)e^{-k_e H}} \right)$$

Funzione di Smith (Smith, 1936):

$$F_{Lp} = \frac{I(z)}{\sqrt{K_{Lp}^2 + I(z)^2}}$$

in cui K_{Lp} è il parametro di Smith per il fitoplancton [ly/d] che corrisponde al PAR relativo ad una crescita di fitoplancton pari al 70.7% del massimo. Anche questa funzione può essere combinata con la legge di Beer-Lambert ed integrata sulla profondità per ottenere:

$$\phi_{Lp} = \frac{1}{k_e H} \ln \left(\frac{I(0)/K_{Lp} + \sqrt{1 + (I(0)/K_{Lp})^2}}{(I(0)/K_{Lp})e^{-k_e H} + \sqrt{1 + ((I(0)/K_{Lp})e^{-k_e H})^2}} \right)$$

Equazione di Steele (Steele, 1962):

$$F_{Lp} = \frac{I(z)}{K_{Lp}} e^{1 - \frac{I(z)}{K_{Lp}}}$$

con K_{Lp} corrispondente al PAR per cui si ha la crescita ottimale [ly/d]. Combinando questa funzione con la legge di e integrandola sulla profondità si ottiene:

$$\phi_{Lp} = \frac{2.718282}{k_e H} \left(e^{-\frac{I(0)}{K_{Lp}}} - e^{-\frac{I(0)}{K_{Lp}}} \right)$$

Respirazione (PhytoResp)

La respirazione costituisce una perdita nel bilancio di massa del fitoplancton e viene rappresentata con un andamento del primo ordine limitato da basse concentrazioni di ossigeno:

$$\text{PhytoResp} = F_{oxrp} k_{rp}(T) a_p$$

dove:

- $k_{rp}(T)$ = tasso di respirazione del fitoplancton in funzione della temperatura [1/d];
- F_{oxrp} = attenuazione dovuta a basse concentrazioni di ossigeno [adimensionale].

La diminuzione da ossigeno viene modellata con le seguenti equazioni dove la dipendenza dall'ossigeno è rappresentata dal parametro K_{socf} .

Esistono tre diverse formulazioni:

1) *Semi-Saturazione*:

$$F_{oxrp} = \frac{O_2}{K_{socf} + O_2}$$

2) *Esponenziale*:

$$F_{oxrp} = (1 - e^{-K_{socf}O_2})$$

3) *Semi-Saturazione di secondo ordine*:

$$F_{oxrp} = \frac{O^2}{K_{socf} + O^2}$$

dove K_{socf} rappresenta rispettivamente:

- la costante di semi-saturazione relativa all'effetto che l'ossigeno ha sull'ossidazione veloce del BOD e COD [mg/L];
- il coefficiente esponenziale relativo all'effetto che l'ossigeno ha sull'ossidazione veloce del BOD e COD [L/mg];
- la costante di semi-saturazione di secondo ordine relativa all'effetto che l'ossigeno ha sull'ossidazione veloce del BOD e COD [mg²/L²].

Mortalità (PhytoDeath)

La mortalità del fitoplancton, che rappresenta una perdita nel bilancio di massa, ha un andamento del primo ordine di questo tipo:

$$\text{PhytoDeath} = k_{dp}(T) a_p$$

con $k_{dp}(T)$ che indica il tasso di mortalità dipendente dalla temperatura [1/d].

Sedimentazione (PhytoSettl)

L'ultima perdita è dovuta alla sedimentazione e si esprime come:

$$\text{PhytoSettl} = \frac{v_a}{H} a_p$$

con v_a che rappresenta la velocità di sedimentazione [m/d] mentre H è l'altezza della colonna d'acqua [m] .

1.2.2 Alghe di fondo

Le alghe di fondo crescono per via della fotosintesi (AlgPhoto) mentre le perdite sono date dalla respirazione (AlgResp) e dalla mortalità (AlgDeath).

La variazione di alghe di fondo nel tempo (S_{ab}) risulta:

$$S_{ab} = \text{AlgPhoto} - \text{AlgResp} - \text{AlgDeath}$$

Fotosintesi (AlgPhoto)

Si possono utilizzare due modelli per quantificare la fotosintesi sviluppata dalle alghe di fondo.

Il primo modello si basa su una crescita di ordine zero con correzione della temperatura e attenuazioni dovute da diminuzione di nutrimento e luce (Rutherford et al., 1999):

$$\text{AlgPhoto} = C_{gb}(T) \phi_{Nb} \phi_{Lb}$$

con:

- $C_{gb}(T)$ = massima crescita della fotosintesi (di ordine zero) in funzione della temperatura [$\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$];
- ϕ_{Nb} = fattore limitante dovuto ai nutrienti [numero adimensionale compreso tra 0 e 1];
- ϕ_{Lb} = coefficiente limitante dovuto alla diminuzione di luce [numero adimensionale compreso tra 0 e 1].

Il secondo modello usa una funzione di crescita del primo ordine:

$$\text{AlgPhoto} = C_{gb}(T) \phi_{Nb} \phi_{Lb} \phi_{Sb} a_b$$

dove, in questo caso, $C_{gb}(T)$ indica la massima crescita (del primo ordine) della fotosintesi in funzione della temperatura [d^{-1}], a_b rappresenta la concentrazione di alghe [mg/m^3] mentre ϕ_{Sb} è il fattore limitante dovuto alla diminuzione spaziale delle alghe di fondo.

Effetto della temperatura

Come per la crescita del primo ordine, si assume un modello di Arrhenius per quantificare l'effetto della temperatura sulla fotosintesi algale:

$$C_{gb}(T) = C_{gb}(20) \theta^{T-20}$$

Limitazione da nutrienti

L'effetto che la mancanza di nutrienti produce sulla fotosintesi delle piante viene modellato in maniera diversa rispetto al fitoplancton. Anziché essere dipendente dalla concentrazione esterna di nutrienti, l'aumento della fotosintesi dipende dai nutrienti intracellulari, perciò usando una formula originariamente sviluppata da Droop (1974) si ottiene:

$$\phi_{Nb} = \min \left[1 - \frac{q_{0N}}{q_N}, 1 - \frac{q_{0P}}{q_P}, \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]}{k_{sCb} + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-]} \right]$$

dove:

- q_N = quota parte di cellule di azoto [mg/g];
- q_P = quota parte di cellule di fosforo [mg/g];
- q_{0N} = quota minima di cellule di azoto [mg/g];
- q_{0P} = quota minima di cellule di fosforo [mg/g];
- k_{sCb} = costante di semi-saturazione del carbonio inorganico per le alghe [mole/L].

Le quote minime di cellule rappresentano la quantità di nutrimento intracellulare che provoca la cessazione della crescita.

La quota parte delle cellule indica invece il rapporto tra il nutriente intracellulare e il peso secco delle alghe:

$$q_N = \frac{IN_b}{a_b}$$

$$q_P = \frac{IP_b}{a_b}$$

con IN_b e IP_b rispettivamente concentrazioni di azoto e fosforo intracellulare [mg/m²].

Il bilancio dell'azoto e del fosforo intracellulare nelle cellule algali si calcola come:

$$S_{bN} = \text{AlgUptakeN} - q_N \text{AlgDeath}$$

$$S_{bP} = \text{AlgUptakeP} - q_P \text{AlgDeath}$$

dove AlgUptakeN e AlgUptakeP sono rispettivamente i consumi di azoto (N) e fosforo (P) nelle alghe di fondo [mg/m²/d] mentre AlgDeath è il termine di mortalità [g/m²/d]. I consumi di azoto e fosforo dipendono sia dai nutrienti intracellulari che da quelli esterni:

$$\text{AlgUptakeN} = \rho_{mN} \frac{n_a + n_n}{k_{sNb} + n_a + n_n} \frac{K_{qN}}{K_{qN} + (q_N - q_{0N})} a_b$$

$$\text{AlgUptakeP} = \rho_{mP} \frac{p_i}{k_{sPb} + p_i} \frac{K_{qP}}{K_{qP} + (q_P - q_{0P})} a_b$$

dove:

- ρ_{mN}, ρ_{mP} = massimo consumo di azoto e di fosforo [mg/g/d];
- k_{sNb}, k_{sPb} = costanti di semi-saturazione per l'azoto e il fosforo esterno [$\mu\text{g/L}$];
- K_{qN}, K_{qP} = costanti di semi-saturazione per l'azoto e il fosforo intracellulare [mg /g].

Limitazione da luce

La limitazione da luce è sempre determinata dal valore del PAR che si ha al fondo della colonna d'acqua. Questo valore si calcola con la legge di Beer-Lambert:

$$I(H) = I(0)e^{-k_e H}$$

Come per il fitoplancton, si possono usare tre modelli (Modello di luce a semi-saturazione di Michaelis-Menten, Funzione di Smith ed Equazione di Steele) per valutare l'influenza della luce sulla fotosintesi. Inserendo l'equazione precedente nei tre modelli prima richiamati, si ricavano le seguenti formule per il coefficiente di attenuazione luminosa:

Modello di luce a Semi-Saturazione (Michaelis-Menten) (Baly, 1935):

$$\phi_{Lb} = \frac{I(0)e^{-k_e H}}{K_{Lb} + I(0)e^{-k_e H}}$$

Funzione di Smith (Smith, 1936):

$$\phi_{Lb} = \frac{I(0)e^{-k_e H}}{\sqrt{K_{Lb}^2 + (I(0)e^{-k_e H})^2}}$$

Equazione di Steele (Steele, 1962):

$$\phi_{Lb} = \frac{I(0)e^{-k_e H}}{K_{Lb}} e^{1 + \frac{I(0)e^{-k_e H}}{K_{Lb}}}$$

con K_{Lb} che indica il parametro di luce adeguato per ogni modello.

Limitazione spaziale

Se si sceglie un modello di crescita del primo ordine, bisogna includere un termine per imporre alle alghe di fondo una limitazione spaziale. A tal fine si opta per un modello logistico del tipo:

$$\phi_{Sb} = 1 - \frac{a_b}{a_{b,\max}}$$

con $a_{b,\max}$ capacità di trasporto [g/m²].

Respirazione (AlgResp)

La respirazione delle alghe di fondo costituisce una perdita nel bilancio di massa e si schematizza attraverso un andamento del primo ordine limitato da basse concentrazioni di ossigeno:

$$\text{AlgResp} = F_{\text{oxb}} k_{rb}(T) a_b$$

dove:

- $k_{rb}(T)$ = tasso di respirazione delle alghe di fondo in funzione della temperatura [1/d];

- F_{oxb} = diminuzione da bassa concentrazione di ossigeno [adimensionale].

La diminuzione da ossigeno è modellata dalle equazioni esponenziale e di Semi-Saturazione (di primo e secondo ordine) già presentate per la respirazione del fitoplancton. La dipendenza con l'ossigeno è espressa dal parametro K_{sob} .

Mortalità (AlgDeath)

La perdita dovuta a mortalità ha un andamento del primo ordine:

$$\text{AlgDeath} = k_{db}(T)a_b$$

con $k_{db}(T)$ tasso di mortalità in funzione della temperatura [1/d] e a_b concentrazione delle alghe di fondo [mg/m³].

1.3 Nutrienti in gioco: azoto e fosforo

Di seguito vediamo come i nutrienti (in particolare azoto e fosforo), che costituiscono un fattore limitante per la crescita della biomassa algale, variano in relazione ai fenomeni in cui sono coinvolti.

1.3.1 Azoto organico (ON)

L'azoto organico aumenta a causa della mortalità della biomassa algale (fitoplancton e alghe di fondo) e diminuisce per idrolisi e sedimentazione.

La variazione di azoto nel tempo (S_{on}) risulta:

$$S_{on} = r_{on} \text{PhytoDeath} + q_{0N} \text{AlgDeath} - \text{ONHydr} - \text{ONSettl}$$

dove r_{on} rappresenta la quantità di azoto organico sul totale [adimensionale].

La perdita per idrolisi si calcola in questo modo:

$$\text{ONHydr} = k_{hn}(T)n_{on}$$

con $k_{hn}(T)$ tasso di idrolisi dell'azoto organico in funzione della temperatura [1/d] e n_{on} concentrazione di quest'ultimo [mg/L].

La perdita per sedimentazione risulta:

$$ONSettl = \frac{v_{on}}{H} n_{on}$$

dove v_{on} è la velocità di sedimentazione [m/d] e H la profondità della colonna d'acqua [m].

1.3.2 Azoto ammoniacale (N-NH₄)

L'azoto ammoniacale aumenta per via dell'idrolisi dell'azoto organico e della respirazione operata dal fitoplancton. Le perdite sono dovute alla nitrificazione ed alla fotosintesi, perciò la variazione di azoto ammoniacale nel tempo (S_{an}) risulta:

$$S_{an} = ONHydr + r_{an} \text{ PhytoResp} - \text{N - NH}_4 \text{ Nitrif} \\ - r_{an} P_{ap} \text{ PhytoPhoto} - P_{ab} \text{ AlgUptakeN}$$

con r_{an} quantità di azoto ammoniacale sul totale [adimensionale].

La stima della nitrificazione dell'azoto ammoniacale è:

$$\text{N - NH}_4 \text{ Nitrif} = F_{oxan} k_n(T) n_{an}$$

dove:

- $k_n(T)$ = tasso di nitrificazione in funzione della temperatura [1/d];
- F_{oxan} = limitazione da bassa concentrazione di ossigeno [adimensionale];
- n_{an} = concentrazione dell'azoto ammoniacale [mg/L].

I coefficienti P_{ap} e P_{ab} indicano rispettivamente l'ammoniaca come fonte preferenziale di azoto per il fitoplancton e le alghe di fondo:

$$P_{ap} = \frac{n_{an}n_{nn}}{(k_{hnxp} + n_{an})(k_{hnxp} + n_{nn})} + \frac{n_{an}k_{hnxp}}{(n_{an} + n_{nn})(k_{hnxp} + n_{nn})}$$

$$P_{ab} = \frac{n_{an}n_{nn}}{(k_{hnxb} + n_{an})(k_{hnxb} + n_{nn})} + \frac{n_{an}k_{hnxb}}{(n_{an} + n_{nn})(k_{hnxb} + n_{nn})}$$

con:

- k_{hnxp} = coefficiente di preferenza dell'ammoniaca per il fitoplancton [mg/m³];
- k_{hnxb} = coefficiente di preferenza dell'ammoniaca per le alghe di fondo [mg/m³];
- n_{nn} = concentrazione dell'azoto nitrico [mg/L].

1.3.3 Ammoniaca non-ionizzata (NH₃)

In acqua, l'ammoniaca totale si trova sottoforma di ione ammonio (NH₄⁺) ed ammoniaca non-ionizzata (NH₃, comunemente chiamata "ammoniaca"). In condizioni normali di pH (pH = 6 ÷ 8), c'è prevalenza di ammoniaca in forma ionica mentre ad alti pH (condizioni basiche) predomina la forma non-ionizzata.

La quantità di ammoniaca non-ionizzata può essere calcolata nel modo seguente:

$$n_{au} = F_u n_{an}$$

con n_{au} concentrazione dell'ammoniaca non-ionizzata [µg/L] e F_u frazione di ammoniaca in forma non-ionizzata sul totale:

$$F_u = \frac{1}{1 + \frac{10^{-pH}}{K_a}}$$

dove K_a è il coefficiente di equilibrio per la reazione di dissociazione dell'ammoniaca. Questo coefficiente è legato alla temperatura dalla relazione:

$$pK_a = 0.09018 + \frac{2729.92}{T_a}$$

con T_a temperatura assoluta [K] e $pK_a = -\log_{10}(K_a)$.

1.3.4 Azoto nitrico (N-NO₃)

L'azoto nitrico aumenta con la nitrificazione dell'ammoniaca e cala con la denitrificazione e la fotosintesi. La variazione di azoto nitrico nel tempo (S_{nn}) risulta:

$$S_{nn} = N - NH_4 \text{Nitrif} - \text{Denitr} - r_{an}(1 - P_{ap}) \text{PhytoPhoto} \\ - (1 - P_{ab}) \text{AlgUptakeN}$$

La stima della denitrificazione dell'azoto nitrico è:

$$\text{Denitr} = (1 - F_{oxdn})k_{dn}(T)n_{nn}$$

dove:

- $k_{dn}(T)$ = tasso di denitrificazione in funzione della temperatura [1/d];
- F_{oxdn} = effetto dovuto a bassa concentrazione di ossigeno nella denitrificazione [adimensionale].

1.3.5 Fosforo organico (OP)

Il fosforo organico aumenta per via della mortalità della biomassa algale (fitoplancton e alghe di fondo) e diminuisce per idrolisi e sedimentazione. La variazione di fosforo organico rispetto al tempo (S_{op}) risulta:

$$S_{op} = r_{op} \text{PhytoDeath} + q_{op} \text{AlgDeath} - \text{OPHydr} - \text{OPSettl}$$

con r_{op} rappresenta la quantità di fosforo organico sul totale [adimensionale].

La perdita di fosforo organico per idrolisi si calcola come:

$$\text{OPHydr} = k_{hp}(T) p_{op}$$

dove $k_{hp}(T)$ rappresenta il tasso di idrolisi del fosforo organico in funzione della temperatura [1/d] mentre p_{op} è la concentrazione di quest'ultimo [mg/L].

La perdita per sedimentazione è data da:

$$\text{OPSettl} = \frac{v_{op}}{H} p_{op}$$

con v_{op} velocità di sedimentazione del fosforo organico [m/d].

1.3.6 Fosforo inorganico (IP)

Il fosforo inorganico aumenta a causa dell'idrolisi del fosforo organico e per la respirazione attuata dal fitoplancton. Le perdite sono costituite principalmente dalla fotosintesi.

Bisogna aggiungere tra le perdite anche un contributo dato dalla sedimentazione solo nei casi in cui il fosforo inorganico viene perso tramite assorbimento ed adsorbimento su materiale particolato sedimentabile.

La variazione di fosforo inorganico nel tempo (S_{ip}) risulta:

$$S_{ip} = \text{OPHydr} + r_{op} \text{PhytoResp} - r_{op} \text{PhytoPhoto} - \text{AlgUptakeP} - \text{IPSettl}$$

con:

$$\text{IPSettl} = \frac{v_{ip}}{H} p_{ip}$$

dove v_{ip} è la velocità di sedimentazione [m/d], p_{ip} la concentrazione di fosforo inorganico [mg/L] e H l'altezza della colonna d'acqua [m].

1.4 Respirazione batterica

La respirazione batterica può essere di due tipi: aerobica ed anaerobica. La prima è operata da batteri eterotrofi, alghe e metazoi che necessitano per la propria nutrizione di composti organici.

La respirazione aerobica porta alla liberazione di anidride carbonica (CO_2) ed acqua, oltre ad una quota parte di energia. L'aspetto da sottolineare è che questa reazione (che ha bisogno di ossigeno e di batteri aerobi o facoltativi per attivarsi) ossida e stabilizza il substrato organico, perciò risulta un processo fondamentale nell'ottica della depurazione naturale.

La respirazione anaerobica è, al contrario, un processo ossidativo svolto da batteri anaerobi che, in assenza di ossigeno, attuano la fermentazione della sostanza organica liberando gas come il metano (CH_4), l'acido solfidrico (H_2S), l'ammoniaca (NH_3) e l'anidride carbonica.

La respirazione anaerobica è un processo lento se paragonato con quello aerobico e ciò è determinato dal fatto che i batteri anaerobi sviluppano una velocità di sintesi cinque volte più bassa rispetto ai batteri aerobi.

Nonostante la bassa velocità, anche questo processo viene sfruttato all'interno della depurazione naturale.

1.4.1 Respirazione cellulare aerobica

La respirazione cellulare è il meccanismo attraverso cui la cellula è in grado di ricavare energia, utilizzabile per i processi vitali, dai legami chimici dei substrati che internalizza.

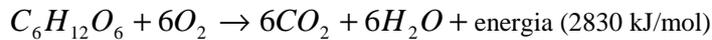
Tale processo consta di diverse reazioni, in cui i prodotti di un passaggio sono utilizzati come reagenti per la fase successiva.

I prodotti di scarto della respirazione cellulare (come CO_2 o H_2O) vengono eliminati dalla cellula e riversati nell'ambiente circostante.

Il ruolo dell'ATP

La respirazione consta essenzialmente di reazioni di ossidazione progressiva dei substrati. L'ossidazione di materiale organico è infatti una reazione

esotermica che rilascia una grande quantità di energia in tempi molto ristretti. L'equazione complessiva dell'ossidazione del glucosio ($C_6H_{12}O_6$), substrato principale della respirazione cellulare, è:



A livello cellulare questa reazione è alla base della trasformazione di glucosio in composti più semplici, con la formazione di molecole di ATP. Questa molecola può essere considerata la “moneta energetica” dell'organismo, per la sua posizione intermedia tra i composti donatori-accettori di gruppi fosfato: le conversioni di ADP in ATP e viceversa possono avvenire entrambe facilmente nei diversi ambienti cellulari, con una liberazione di 30 kJ per ogni mole di legami fosfoanidridici spezzati.

La respirazione aerobica prevede l'utilizzo di ossigeno per generare energia. I tipi di substrato che permettono una maggior resa energetica sono gli acidi grassi, metabolizzati attraverso vie come la beta-ossidazione in tante molecole di acetil-CoA. Queste vengono poi internalizzate nel mitocondrio, dove sono ossidate completamente attraverso il ciclo di Krebs e rigenerano molecole di ATP attraverso la fosforilazione ossidativa. Il tipo di molecola considerata “d'elezione” per le vie aerobiche è comunque di tipo glucidico ed è tipicamente il glucosio ($C_6H_{12}O_6$). Questo viene dapprima degradato in piruvato attraverso la glicolisi; in seguito il piruvato viene decarbossilato ed internalizzato nel mitocondrio, dove entra nel ciclo di Krebs e approda alla decarbossilazione ossidativa.

Glicolisi

La glicolisi è una via metabolica citoplasmatica che vede la produzione di piruvato, NADPH (da $NADP^+$, nicotinammide adenina dinucleotide, coenzima che funge da trasportatore di elettroni) e, in minima parte, ATP partendo da una molecola di glucosio.

Negli organismi anaerobi, quali i lieviti della fermentazione, la glicolisi è la sola via che porta alla produzione di ATP. Il rendimento osservato è quindi assai basso, ed il piruvato ottenuto è trasformato in altri composti senza ulteriori guadagni energetici.

Decarbossilazione ossidativa

È un passaggio intermedio nel quale la molecola di piruvato viene introdotta nella matrice mitocondriale e trasformata in acetil-CoA. Questa reazione rilascia, come scarto, anidride carbonica e permette la formazione di NADPH.

Ciclo di Krebs

Il ciclo di Krebs (detto anche “Ciclo dell’acido citrico”) può avvenire solo in presenza di ossigeno. L’acetil-CoA subisce una serie di reazioni di ossidazione fino alla formazione di molecole di CO₂ ed alla riduzione dei composti NADP⁺ e FAD rispettivamente in NADPH e FADH₂. Negli organismi eucarioti avviene nei mitocondri, più precisamente nella matrice mitocondriale. Nei procarioti gli enzimi del ciclo di Krebs sono localizzati nel citosol. Dal nome si evince la natura ciclica di queste reazioni: il primo prodotto delle reazioni, il Citrato, viene a riformarsi anche nell’ultimo passaggio, per condensazione di Ossalacetato e acetil-CoA.

Fosforilazione ossidativa

La fosforilazione ossidativa è l’ultimo passaggio del catabolismo. Avviene grazie a complessi enzimatici intramembrana: talvolta su quella plasmatica (nel caso dei procarioti), talvolta sulle creste mitocondriali (introflessi della membrana mitocondriale interna). In questo processo gli elettroni trasportati da NADPH e FADH₂ vengono scambiati dalla catena enzimatica transmembrana, che provvede a sfruttare questo movimento per generare un gradiente protonico. Tale gradiente è in grado di catalizzare la sintesi di ATP partendo da ADP e fosfato inorganico.

La respirazione aerobica è una fase fondamentale all’interno del processo di depurazione naturale essendo responsabile dell’abbattimento della sostanza organica disciolta in acqua. Inoltre la respirazione batterica aerobica e la fotosintesi algale partecipano al processo in quanto i prodotti della prima vengono usati dalla seconda per produrre ossigeno che a sua volta è necessario per la respirazione.

1.4.2 Respirazione cellulare anaerobica

Per capire come avviene la respirazione anaerobica, conviene incominciare col definire la condizione detta di “anaerobiosi” che la contraddistingue.

Anaerobiosi

Si definisce anaerobiosi la condizione di vita di numerosi organismi (fra cui anche alcuni batteri), il cui metabolismo non richiede la presenza di ossigeno. Tale molecola, strettamente necessaria per gli organismi che vivono in aerobiosi, può addirittura risultare estremamente tossica per quegli organismi che, per questo motivo, vengono definiti anaerobici (o anaerobi).

Tipologie di microrganismi anaerobici

Esistono diversi tipi di organismi anaerobici.

Gli *anaerobi obbligati* sono un gruppo di organismi che non sono in grado di sopravvivere in presenza delle abituali concentrazioni atmosferiche di ossigeno. Tali anaerobi non sopravvivono perché non dotati di enzimi come la superossido-dismutasi e la catalasi, in grado di proteggerli dallo stress ossidativo generato dall'ossigeno.

Gli *anaerobi facoltativi* sono in grado di utilizzare ossigeno, se presente. Il loro metabolismo, in ogni caso, è essenzialmente anaerobico: questo li differenzia dagli *aerobi facoltativi*, il cui metabolismo principale è quello aerobico.

Gli *organismi aerotolleranti* non richiedono ossigeno, non presentano alcun tipo di metabolismo in grado di utilizzarlo, ma sono in grado di sopravvivere se esposti all'aria, poiché dotati degli enzimi necessari a resistere agli stress ossidativi. Gli *organismi microaerofili* sono in grado di utilizzare ossigeno, ma solo a concentrazioni ridotte (nell'ordine di micromoli). La loro crescita è inibita da concentrazioni normali di ossigeno. I *nanoaerobi* sono organismi affini, che richiedono concentrazioni dell'ordine di nanomoli d'ossigeno per poter crescere.

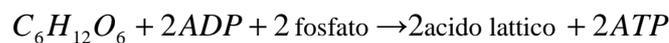
Gli anaerobi obbligati possono servirsi di reazioni di fermentazione che in sostanza rappresentano la cosiddetta “respirazione anaerobica” attuata dai batteri anaerobi.

Gli anaerobi facoltativi, invece, utilizzano la respirazione aerobica in presenza di ossigeno: in sua assenza, invece, sono in grado di fermentare. Gli organismi aerotolleranti sono strettamente fermentanti mentre i microaerofili possono svolgere alternativamente respirazione aerobica e anaerobica.

Processi anaerobici

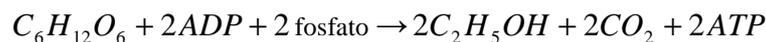
Le reazioni di fermentazione che gli organismi anaerobici portano a termine per svolgere la respirazione anaerobica sono variegatae.

La maggior parte degli anaerobi utilizza la via di fermentazione dell'acido lattico detta "fermentazione lattica":



L'energia rilasciata in questa reazione è di circa 150 kJ per mole. Si tratta del 5% dell'energia ricavabile da una molecola di glucosio in una normale respirazione aerobica.

Piante e funghi, anaerobi facoltativi, utilizzano la fermentazione alcolica, quando la presenza di ossigeno è ridotta:



L'energia rilasciata in questa reazione è leggermente maggiore, pari a circa 180 kJ per mole.

I batteri anaerobi e gli Archaea utilizzano queste ed altre vie di fermentazione, come per esempio i processi che portano alla formazione di acido propionico o di acido butirrico.

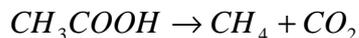
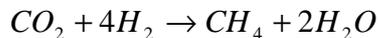
Tra i processi anaerobici usati dagli Archaea si deve ricordare la metanogenesi che da il suo contributo nel processo di depurazione naturale dell'acqua in quanto costituisce la fase finale di decomposizione della sostanza organica.

Metanogenesi

Per metanogenesi si intende la produzione di metano da parte di un gruppo di microbi appartenenti al regno degli Archea. Questi microrganismi costituiscono un gruppo tassonomico filogeneticamente distinto sia dagli Eucarioti che dai Batteri, anche se molti organismi metanogenici vivono in stretta associazione con i batteri anaerobici. La produzione di metano è un'importante e diffusa forma di metabolismo microbico. In molti ambienti naturali, è la fase finale del processo di decomposizione della biomassa.

La metanogenesi è una forma di respirazione anaerobica. I batteri metanogeni che necessitano di condizioni di pH compreso tra 6.8 e 7.5, non utilizzano l'ossigeno per respirare, in quanto questo gas inibisce la crescita stessa degli organismi metanogeni. L'elettone terminale accettore nei metanogeni non è l'ossigeno, bensì il carbonio che si presenta sotto forma di un numero ridotto di composti organici, tutti con basso peso molecolare.

Seguono le formule chimiche che descrivono l'uso di anidride carbonica (CO₂) e acido acetico (CH₃COOH) come accettori terminali di elettroni:



Tuttavia il processo di metanogenesi utilizza il carbonio prelevandolo da altri composti organici come l'acido formico, il metanolo, la metilammina, il dimetilsulfide, e il metanetiolo.

Frequenza della metanogenesi

I microbi metanogeni non possiedono nucleo e gli organelli non eseguono salti di membrana (caratteristica degli organismi procarioti). I metanogeni sono considerati un gruppo di organismi molto antico e membri degli Archeobatteri.

Tali organismi metanogeni possono essere osservati solo in ambienti privi di ossigeno, soprattutto nella materia organica in decomposizione, nelle paludi, nel tratto digestivo degli animali, e nei sedimenti acquatici.

L'importanza del carbonio

La fase finale della metanogenesi avviene durante il decadimento della materia organica. Durante tale processo gli elettroni recettori (ossigeno, ferro, solfato, nitrati e manganese) si esauriscono, mentre si accumula idrogeno molecolare (H_2), anidride carbonica e materiale organico prodotto dalla fermentazione. Durante gli stadi avanzati del decadimento della materia organica, tutti gli accettori di elettroni si esauriscono ad eccezione dell'anidride carbonica (CO_2). Tale composto chimico è un prodotto di molti processi catabolici.

La fermentazione e la metanogenesi possono avvenire in assenza di elettroni accettori eccezion fatta per il carbonio. Solo la fermentazione permette la scomposizione della maggior parte dei composti organici. La metanogenesi effettivamente rimuove i prodotti intermedi di decadimento: idrogeno, composti organici, e CO_2 . Senza il processo di metanogenesi, una grande quantità di carbonio si accumulerebbe negli ambienti anaerobici.

La respirazione anaerobica, richiedendo condizioni anaerobiche, si sviluppa esclusivamente al fondo dei corsi d'acqua ed è più evidente di notte quando la concentrazione di O_2 disciolto in acqua cala, sia a seguito del consumo dovuto dalla respirazione aerobica sia per cessata produzione di ossigeno da attività fotosintetica.

La fase ossidativa (aerobica) operata dai batteri eterotrofi che stazionano prevalentemente nella fascia intermedia della colonna d'acqua, rappresenta lo stadio principale per l'abbattimento delle sostanze organiche in soluzione e sospese.

In particolare negli strati aerobici della colonna d'acqua si possono trovare gli stessi batteri saprofiti presenti nelle vasche di ossidazione degli impianti a fanghi attivi: *Beggiatoa*, *Sphaerotilus*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, che, in quanto tali, decompongono la sostanza organica in composti ossidati, oltre che abbattere fortemente Coliformi e microrganismi patogeni.

In pratica, si ha la trasformazione del substrato organico (BOD, COD) disciolto in acqua in biomassa sedimentabile ad opera di microrganismi

(microfauna flock-forming), principalmente batteri saprofiti, che si nutrono e si riproducono a spese della sostanza organica inquinante, trasformandola in prodotti gassosi (CO₂), inerti minerali o comunque sedimentabili.

I batteri saprofiti sono i diretti responsabili della rimozione della sostanza organica. La predominanza di una specie piuttosto che un'altra dipende dalle caratteristiche chimiche dei composti presenti in acqua; in particolare, un elevato tenore di O₂ disciolto e una bassa concentrazione di sostanze organiche, favoriscono la crescita di *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* che sono due specie di batteri autotrofi responsabili del processo di nitrificazione dell'ammoniaca. Le specie di microrganismi presenti in misura minore, quali Protozoi, Nematodi e Rotiferi, pur rivestendo un ruolo minore nel processo depurativo, risultano tuttavia determinanti per l'equilibrio biologico della catena trofica.

Contemporaneamente, al fondo si verificano fenomeni anaerobici di tipo fermentativo che completano il processo di assimilazione della sostanza organica sedimentata.

Infatti, negli strati anaerobici e afotici prossimi al fondo (cioè dove la radiazione solare incidente è quasi nulla per effetto della filtrazione e dell'assorbimento da parte degli strati superiori) si trovano i batteri a fermentazione acida (gli stessi presenti nella fase di digestione anaerobica dei fanghi) ed i Batteri Rossi Solfurei.

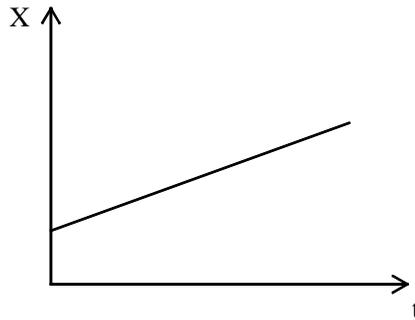
Per concludere, l'effetto depurativo si ottiene in seguito alla crescita batterica (biomassa sia di tipo aerobico che anaerobico) e alla contemporanea rimozione del substrato (BOD, COD), cosicché la cinetica di entrambi i fenomeni è strettamente collegata.

1.5 Cinetiche di sviluppo batterico

Esistono tre tipi di cinetiche di crescita batterica (duplicazione binaria) in cui il tempo di duplicazione cellulare varia dai 10÷15 minuti alle 2÷3 ore.

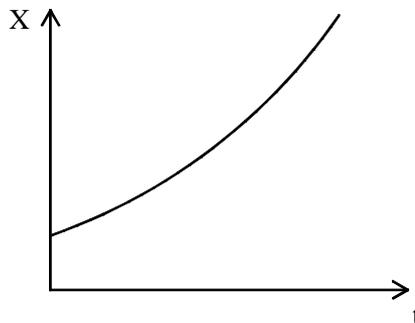
La più semplice è la cinetica lineare o di ordine zero in cui la crescita di batteri (biomassa, X) è costante nel tempo e teoricamente illimitata.

$$\frac{dX}{dt} = k$$



Esiste poi una cinetica di ordine uno in cui la crescita, non più lineare ma sempre illimitata, è così definita:

$$\frac{dX}{dt} = kX$$



Le cinetiche fin qui presentate, seppur molto semplici, non sono ancora sufficienti a schematizzare lo sviluppo batterico in quanto non tengono conto della presenza del substrato S che funge da fattore limitante.

La cinetica che meglio spiega il fenomeno è la cinetica di Monod:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

con μ tasso di crescita [1/d] che non è costante ed è legato al substrato in questo modo:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{k_S + S}$$

dove k_S è la costante di semisaturazione [mg/L] che dipende dal tipo di batteri ed indica la concentrazione di substrato in corrispondenza della quale si ha $\mu = 0.5\mu_{\max}$, con μ_{\max} tasso di crescita massima [1/d].

La biomassa X [mg/L] cresce a discapito del substrato S [mg/L] che, di conseguenza, tende a diminuire. Inoltre, tenendo conto della mortalità batterica, l'equazione di Monod diventa:

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - k_d)X = \left(\mu_{\max} \frac{S}{k_S + S} - k_d \right) X$$

con k_d che rappresenta appunto il tasso di mortalità della biomassa [1/d].

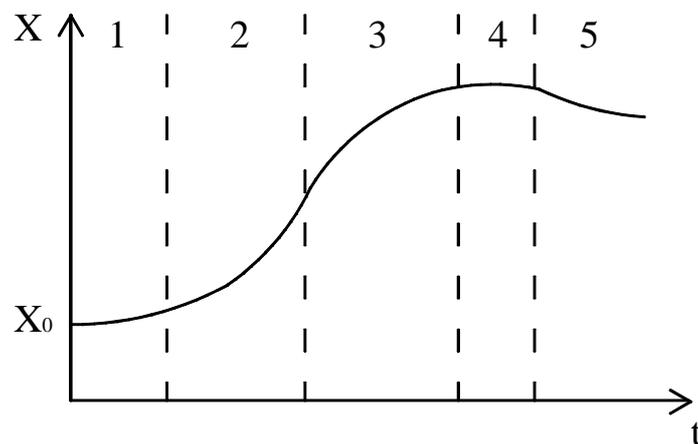


Fig.4 Tipico sviluppo temporale di una popolazione batterica.

Le fasi della crescita batterica sono:

- 1) fase di acclimatazione;
- 2) fase di crescita illimitata;
- 3) fase di crescita limitata;

- 4) fase stazionaria;
- 5) fase endogena.

La fase di acclimatazione, è caratterizzata da crescita praticamente nulla la cui durata dipende dal tipo di substrato e dal tipo di batteri.

La fase di crescita illimitata è caratterizzata da velocità di crescita indipendente dalla concentrazione di substrato, che è ancora in eccesso rispetto al fabbisogno della popolazione batterica.

Nella fase di crescita limitata, la concentrazione di substrato diminuisce significativamente determinando un rallentamento nello sviluppo della biomassa.

Durante la fase stazionaria il numero di microrganismi si mantiene costante nel tempo. Il fenomeno può avere due diverse spiegazioni:

- esaurimento del substrato necessario per la crescita;
- equilibrio tra crescita e scomparsa dei microrganismi (il bilancio netto fra crescita e scomparsa è nullo).

Durante la fase di respirazione endogena il numero di microrganismi si riduce a causa della carenza di cibo. In questa fase i microrganismi possono utilizzare come cibo anche le sostanze che fuoriescono dalle cellule morte (lisi cellulare).

Come prima anticipato, il substrato S decresce poiché viene trasformato in biomassa X dai batteri. L'equazione di Michaelis-Menten regola la cinetica del substrato in relazione alla biomassa:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_{\max}}{Y} \frac{S}{k_s + S} X$$

con Y coefficiente di resa cellulare [adimensionale] che rappresenta il rapporto tra crescita di biomassa e substrato:

$$Y = \frac{dX}{dt} \cdot \frac{dt}{dS}$$

Capitolo 2

ELEMENTI COSTITUENTI LA SOSTANZA ORGANICA

2.1 Il carbonio

Il carbonio è un elemento molto importante per gli organismi viventi e si trova abbondantemente in natura sottoforma di composti organici ed inorganici. Il carbonio inorganico è presente soprattutto come CO₂, risultato del processo di respirazione aerobica sviluppato da alghe e batteri e della respirazione anaerobica svolta al fondo da batteri anaerobici.

Di seguito cerchiamo di considerare la presenza di questo elemento in natura illustrando brevemente il ciclo biogeochimico del carbonio.

2.1.1 Ciclo del carbonio

Il ciclo biogeochimico del carbonio è l'insieme dei processi attraverso i quali il carbonio viene scambiato tra la geosfera (all'interno della quale si considerano i sedimenti ed i combustibili fossili), l'idrosfera (mari ed oceani), la biosfera (comprese le acque dolci) e l'atmosfera della Terra. Tutte queste porzioni della Terra sono considerabili a tutti gli effetti riserve di carbonio (carbon sinks). Il ciclo è solitamente inteso come l'interscambio dinamico tra questi quattro "distretti". L'oceano contiene la maggior riserva di carbonio presente sulla Terra, sebbene essa sia solo in piccola parte disponibile all'interscambio con l'atmosfera. Le dinamiche di interscambio sono legate a processi chimici, fisici, geologici e biologici. Il bilancio globale è il bilancio degli scambi (entrate e perdite) tra le riserve di carbonio o tra uno specifico ciclo (ad es. atmosfera-biosfera) all'interno del ciclo del carbonio. Un esame del bilancio di carbonio di una riserva può fornire informazioni se questa stia funzionando da fonte o da consumatore del biossido di carbonio.

2.1.2 Il carbonio nell'atmosfera

Il carbonio esiste nell'atmosfera terrestre principalmente come gas (anidride carbonica, CO_2). Sebbene costituisca una minima parte nella composizione dell'atmosfera, questo gas gioca un ruolo importante per la vita sulla Terra. Altri gas contenenti carbonio sono il metano e i clorofluorocarburi (i CFC, totalmente artificiali).

Il carbonio viene prelevato dall'atmosfera in due modi.

- Quando c'è luce solare, le piante eseguono la fotosintesi clorofilliana per convertire l'anidride carbonica in carboidrati, rilasciando ossigeno nel corso del processo. Tale processo è più prolifico nelle foreste relativamente nuove, dove gli alberi crescono più rapidamente.
- Sulla superficie degli oceani in prossimità dei poli, dove l'acqua diventa più fredda ed è in grado di dissolvere più biossido di carbonio.

Il carbonio può essere rilasciato nell'atmosfera in molti modi differenti.

- Attraverso la respirazione di piante e animali. Questa è una reazione esotermica e coinvolge la rottura delle molecole di glucosio (o di altre molecole organiche) in CO_2 e acqua.
- Attraverso il decadimento della materia organica animale e vegetale. Funghi e batteri spezzano i composti del carbonio presenti nella materia organica morta e, in presenza di ossigeno, convertono il carbonio in CO_2 .
- Tramite la combustione di materiale organico si ossida il carbonio in esso contenuto, producendo anidride carbonica ed altri prodotti. Bruciando combustibili fossili come carbone, petrolio e gas naturale, si rilascia carbonio che era stato immagazzinato nella geosfera per milioni di anni.
- Tramite le reazioni del calcare. Calcare, marmo e gesso sono composti principalmente da carbonato di calcio. Quando i

depositi di queste rocce vengono erosi dall'acqua, il carbonato di calcio viene scomposto formando CO₂ ed acido carbonico.

- Sulla superficie degli oceani, dove l'acqua diventa più calda, l'anidride carbonica disciolta viene rilasciata in atmosfera.
- Le eruzioni vulcaniche rilasciano gas nell'atmosfera. Questi gas comprendono vapore acqueo, CO₂ e biossido di zolfo.

2.1.3 Il carbonio nella biosfera

Circa 1900 miliardi di tonnellate di carbonio sono presenti nella biosfera. Esso gioca un ruolo importante nella struttura, nella biochimica e nella nutrizione di tutte le cellule viventi. Vediamo alcuni esempi.

- Gli organismi autotrofi sono organismi che producono i loro composti organici usando l'anidride carbonica presente nell'aria o nell'acqua in cui vivono. Per fare ciò necessitano di una fonte di energia esterna. Quasi tutti gli autotrofi usano la radiazione solare a questo scopo e il loro processo di produzione viene chiamato fotosintesi. Un piccolo numero di autotrofi sfrutta fonti di energia chimica (in questo caso si parla di chemiosintesi). Gli autotrofi più importanti per il ciclo del carbonio sono gli alberi delle foreste sulla terraferma e il fitoplancton negli oceani.
- Il carbonio viene trasferito nella biosfera quando gli organismi eterotrofi si nutrono di altri organismi o di loro parti. Questo comprende l'assorbimento di materiale organico morto da parte di funghi e batteri, attraverso la fermentazione e la decomposizione.
- Gran parte del carbonio lascia la biosfera attraverso la respirazione. Quando è presente ossigeno, si ha la respirazione aerobica, che rilascia CO₂ nell'aria o nell'acqua circostante. Altrimenti si ha la respirazione anaerobica, con rilascio di metano e CO₂ nell'ambiente circostante, il quale giunge fino all'atmosfera o all'idrosfera.

- La combustione di biomassa (ad esempio incendi boschivi, o legna usata per il riscaldamento) può trasferire anch'essa un sostanziale quantitativo di carbonio nell'atmosfera.
- Il carbonio può anche lasciare la biosfera quando la materia organica morta (come la torba) viene incorporata nella geosfera. In particolare, le conchiglie costituite da carbonato di calcio, possono trasformarsi in calcare attraverso il processo di sedimentazione.

L'immagazzinamento di carbonio nella biosfera è influenzato da diversi processi che si attuano su varie scale temporali: mentre la produttività primaria netta segue un ciclo diurno e stagionale, il carbonio può essere immagazzinato per diverse centinaia di anni negli alberi e fino a migliaia di anni nel suolo.

2.1.4 Il carbonio negli oceani

I mari contengono circa 36.000 miliardi di tonnellate di carbonio, in gran parte sotto forma di ione bicarbonato. La presenza di carbonio inorganico, rappresentato da gruppi di carbonio senza legami carbonio-carbonio o carbonio-idrogeno, è importante per le sue reazioni in acqua. Questo scambio di carbonio diventa importante nel controllare il pH degli oceani e può comportarsi sia come sorgente che come assorbente di carbonio a seconda delle condizioni. Il carbonio è scambiato rapidamente tra atmosfera e oceano. Nelle regioni oceaniche di "upwelling", il carbonio viene rilasciato verso l'atmosfera. Al contrario, nelle regioni di "downwelling" il trasferimento di carbonio (CO₂) avviene tra atmosfera e oceano. Quando esso è assorbito dall'oceano avviene la formazione di acido carbonico:



Questa reazione può avvenire in entrambe le direzioni, fino a raggiungere l'equilibrio chimico.

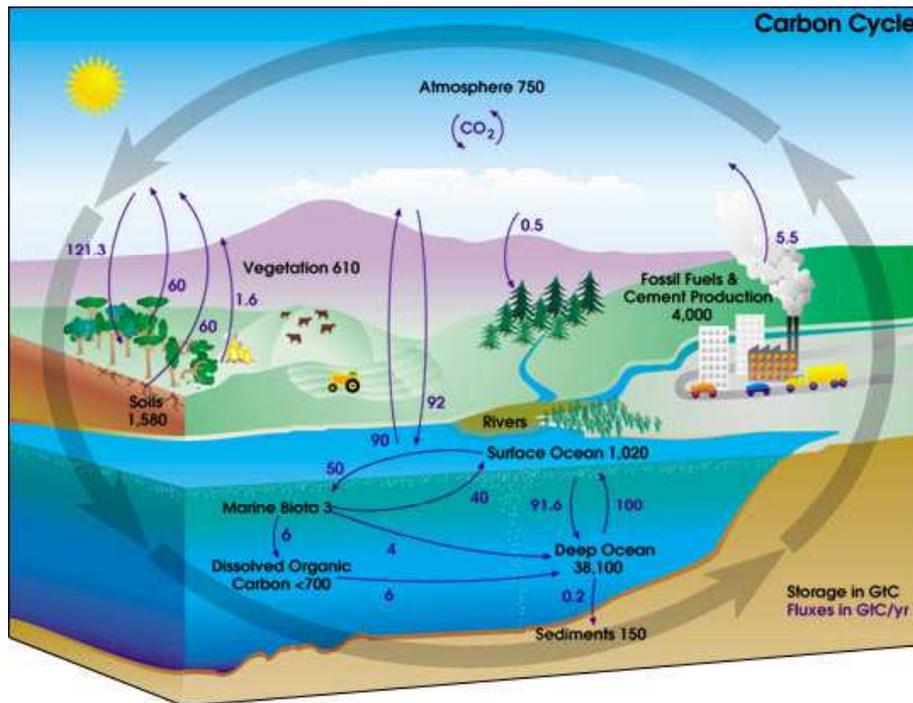


Fig.5 Ciclo del carbonio in natura.

2.1.5 Interazioni in acque naturali

Di seguito riportiamo una schematizzazione (Vismara, 1998) delle principali interazioni tra forme viventi, fonti di energia e sostanze che si verificano nei corsi d'acqua.

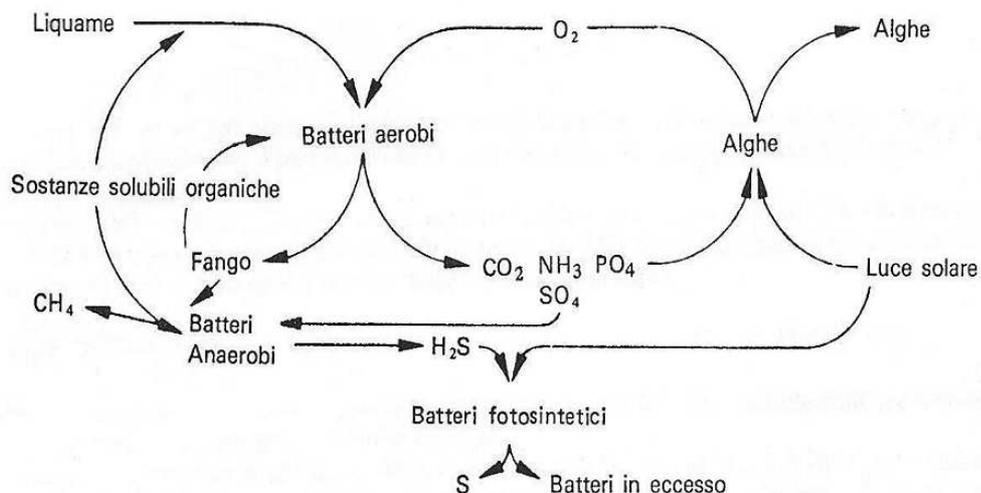


Fig.6 Principali interazioni chimico-biologiche che si verificano negli stagni (Vismara, 1998).

Lo schema, che si instaura sulla colonna d'acqua, evidenzia i fenomeni biologici alla base della depurazione naturale, che implicano la produzione ed il consumo del carbonio (nella realtà vengono coinvolti anche i composti dell'azoto, del fosforo e dello zolfo).

In superficie e a mezz'acqua troviamo le alghe e i batteri aerobi.

Le prime consumano carbonio inorganico (CO_2) durante la fotosintesi per produrre, oltre all'ossigeno, nuove alghe che, terminato il loro ciclo vitale, metteranno a disposizione degli altri organismi il carbonio organico in esse contenuto. I batteri aerobi attraverso la respirazione cellulare consumano la sostanza organica (e quindi il carbonio) presente in acqua e la trasformano in carbonio inorganico (oltre ad NH_3 , PO_4 , SO_4).

Al fondo, i batteri anaerobi attuano la fermentazione della sostanza organica sedimentata liberando carbonio inorganico sottoforma di CO_2 e CH_4 .

Gli ingressi di carbonio organico nel sistema derivano:

- dai liquami di origine antropica che vengono rilasciati nel corso d'acqua;
- dalle sostanze solubili organiche prodotte dal metabolismo degli organismi viventi presenti normalmente nei corsi d'acqua;
- dagli organismi morti quali alghe, batteri, ecc.

All'interno dello schema prima descritto si può delineare un bilancio generale del carbonio.

Durante il giorno avvengono sia la fotosintesi che la respirazione cellulare con la prima che, prevalendo sulla seconda, determina un consumo di CO_2 . Durante la notte si verifica soltanto la respirazione (aerobica ed anaerobica) perciò vi è una produzione netta di gas come l'anidride carbonica e il metano che, non essendo utilizzati per la fotosintesi, possono uscire dal sistema (fenomeno delle bolle in superficie che si verifica maggiormente di notte).

In conclusione si può affermare che l'insieme dei microrganismi presenti in acqua (alghe e batteri) svolge un importante ruolo depurativo in quanto tende ad abbattere il carbonio presente nella sostanza organica assimilandolo e trasformandolo in carbonio inorganico. Quest'ultimo può

uscire più facilmente dal ciclo o continuare a svolgere il ruolo di materia prima o prodotto, rispettivamente nei processi di fotosintesi e respirazione contribuendo allo sviluppo di alghe e batteri.

2.2 L'azoto

L'azoto è molto diffuso nella biosfera ed è considerato uno degli elementi essenziali per gli organismi viventi. Si trova in natura in forma organica ed inorganica.

Prima di spiegare le interazioni tra i microrganismi e l'azoto presente in acqua, cerchiamo di considerare la presenza di questo elemento in natura illustrandone brevemente il ciclo biogeochimico.

2.2.1 Ciclo dell'azoto

Il ciclo biogeochimico dell'azoto descrive i processi con cui questo elemento si muove tra l'atmosfera, il terreno e gli esseri viventi. Tale ciclo viene definito gassoso poiché il pool di riserva, cioè il serbatoio di questo elemento chimico, è appunto l'atmosfera di cui l'azoto occupa circa il 78% del volume totale.

L'importanza del ciclo per gli organismi viventi è dovuta dalla loro necessità di assimilare azoto per la formazione di composti organici vitali, quali proteine e acidi nucleici, ma, ad eccezione di particolari batteri, l'azoto atmosferico non può essere direttamente assorbito dagli organismi.

Le piante tuttavia riescono ad assimilare l'azoto attraverso l'assorbimento di alcuni composti azotati (nitriti, nitrati e sali d'ammonio) che, disciolti nell'acqua, giungono fino alle loro radici. Una volta organicato nella fitomassa, l'azoto viene quindi trasferito agli organismi eterotrofi, come gli animali, mediante la catena alimentare.

La decomposizione dei resti organici restituisce al terreno l'elemento, che può ritornare nell'atmosfera grazie all'azione di alcuni batteri specializzati.

Questo ciclo risulta molto complesso proprio perché l'atomo di azoto può entrare a far parte di un elevato numero di molecole: azoto molecolare (N_2), ammoniaca (NH_3), nitriti (NO_2), nitrati (NO_3) ed azoto organico (N_{org}). I processi chimici coinvolti per la loro formazione possono essere suddivisi in

quattro tipi: azotofissazione, ammonificazione, nitrificazione e denitrificazione.

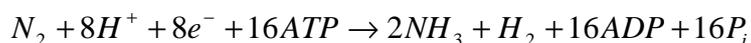
2.2.2 Azotofissazione

L'azotofissazione è un processo naturale attraverso cui l'azoto molecolare (N_2) presente nell'atmosfera viene trasformato in ammoniaca (NH_3).

Il 90% della quantità fissata naturalmente viene prodotto dall'attività di batteri liberi nel terreno o viventi in simbiosi mutualistica con le radici di alcune piante, come le Leguminose, l'Ontano ed alcune Felci. Dal punto di vista agricolo, la fissazione biologica è una fonte d'azoto molto importante per l'arricchimento del terreno, perché il solo uso dei fertilizzanti chimici non potrebbe soddisfare la sua richiesta su scala mondiale. Il restante 10% dell'azoto fissato proviene dall'azione dei fulmini che, durante i temporali, ossidano l'azoto gassoso formando dei nitrati, i quali raggiungono direttamente il suolo tramite l'acqua contenuta nelle precipitazioni.

La fissazione dell'azoto atmosferico o azotofissazione consiste nella riduzione, tramite la nitrogenasi, dell'azoto molecolare (N_2) in azoto ammonico (NH_3). L'azoto ammonico è successivamente reso disponibile per altre importanti molecole biologiche quali gli amminoacidi, le proteine, le vitamine e gli acidi nucleici attraverso i processi di nitrificazione e nitratazione.

La reazione di azotofissazione può essere descritta così:



L'idrogeno impiegato in tale reazione deriva dall'ossidazione di carboidrati, dalla quale gli agenti azotofissatori ricavano anche l'energia necessaria (sottoforma di ATP). Inoltre vengono implicati anche catalizzatori metallici quali molibdeno (Mo) e vanadio (V). Questa azione viene svolta dai diazotrofi, microrganismi liberi nel suolo e nelle acque o legati in simbiosi con piante superiori.

Microrganismi azotofissatori non simbiotici

Sono soprattutto batteri appartenenti ai generi Clostridium ed Azotobacter.

I batteri del genere Clostridium si trovano in tutti i tipi di suolo e nelle acque sia dolci che salate. La loro diffusione è limitata solo dalla presenza di ossigeno, dato che sono batteri anaerobi. In questi casi, però, possono sopravvivere in simbiosi con altri microrganismi aerobi od anaerobi facoltativi presenti negli strati più superficiali del suolo. Sono attivi anche in suoli acidi fino a pH pari a 5.5. Le diverse specie del genere Clostridium che svolgono attività azotofissatrici sono autotrofe per questo elemento chimico, ma non altrettanto per il carbonio che ricavano dai carboidrati già presenti nel terreno. L'ossidazione di questi ultimi avviene in condizioni anaerobiche e quindi non soltanto è incompleta (restano infatti sottoprodotti come acidi organici, alcoli, acetone, ecc.), ma anche la resa energetica è inferiore rispetto a quella ottenibile con l'ossidazione degli stessi composti in condizioni aerobiche. Di conseguenza anche l'efficienza di fissazione dell'azoto è inferiore rispetto a quella operata dalle specie del genere Azotobacter, che sono aerobie. Basti pensare che la resa dei Clostridium è di circa 3÷7 mg di azoto fissato per 1 g di carboidrati, mentre quella degli Azotobacter è stimata intorno a 10÷12 mg di azoto per 1 g di carboidrati. Anche le specie del genere Azotobacter sono diffuse in tutti i suoli e nelle acque dolci e salate, pertanto possono convivere con quelle del genere Clostridium, sebbene in percentuali variabili a seconda delle diverse condizioni chimico-fisiche. I due tipi di batteri hanno differenti necessità metaboliche infatti gli Azotobacter non sopportano pH inferiori a 6.0 ed, essendo aerobi, esigono una buona ossigenazione. Inoltre non sono in grado di demolire la cellulosa perciò, nei casi in cui questa è l'unica fonte di carbonio disponibile, debbono entrare in simbiosi con altri microrganismi capaci di degradarla. La capacità che posseggono i generi Clostridium ed Azotobacter di fissare l'azoto atmosferico è dovuta principalmente alla carenza di questo elemento nel terreno: qualora nel suolo abbondino l'ammoniaca od i nitrati, l'attività azotofissatrice di questi batteri cessa (in quanto troppo dispendiosa dal punto di vista energetico) e vengono sfruttate

le altre fonti di composti azotati. Perciò questi organismi sono autotrofi facoltativi per l'azoto.

Microrganismi azotofissatori simbiotici

La simbiosi azotofissatrice è propria di piante pioniere adatte a vivere in terreni poveri o ecologicamente "disagiati". L'esempio più noto di simbiosi azotofissatrice è quello tra le Leguminose e il *Rhizobium leguminosarum*.

I batteri del genere *Rhizobium* si insediano nelle radici dell'ospite (Leguminose), inducendo la formazione di tipici noduli radicali, e qui, dato che sono autotrofi solo per l'azoto, sottraggono diversi composti organici e sali minerali all'ospite stesso, cedendogli in cambio composti azotati. Questi scambi sono favoriti da particolari e caratteristici tessuti vascolari che si sviluppano proprio all'interno dei noduli radicali. Inoltre, quando la pianta muore (e con essa anche i batteri simbiotici), le grandi quantità di composti azotati che si sono accumulate dentro tali microrganismi vengono rilasciate nel terreno. Quest'ultimo riceve un apporto di azoto supplementare di gran lunga superiore a quello che può essere ottenuto dalla semplice degradazione dei soli tessuti vegetali morti. In ogni caso anche *Rhizobium* è un autotrofo facoltativo per l'azoto e quindi, sebbene riesca a fissare fino a 100 mg di questo elemento per grammo secco di nodulo radicale, preferisce, quando è possibile, ricavarlo da altre fonti. Inoltre questi batteri possono vivere ed operare anche in terreni acidi fino ad un pH di 4.2÷4.5 (sebbene preferiscano suoli neutri o lievemente alcalini), ma necessitano di altri elementi quali calcio (Ca), fosforo (P), molibdeno (Mo), cobalto (Co), boro (B) e ferro (Fe).

In tutti i casi di simbiosi si è osservato che la fissazione dell'azoto si compie in modo efficiente soltanto finché è possibile la fotosintesi da parte delle piante ospiti. Qualora questa venga impedita per lungo tempo i microrganismi presenti nei noduli radicali possono addirittura trasformarsi in agenti patogeni ed invadere i tessuti dell'ospite fino a provocarne la morte.

2.2.3 Ammonificazione

Un'altra fonte di ammoniaca per il suolo deriva dalla decomposizione dell'azoto organico (N_{org}), come gli amminoacidi presenti nei prodotti di rifiuto e nella sostanza organica in putrefazione. Questo processo è detto ammonificazione ed è attuato da particolari batteri e funghi che, degradando l'azoto amminico, liberano l'ammoniaca nel terreno, dove può reagire con diversi composti per formare sali d'ammonio. L'ammonificazione è un processo enzimatico del catabolismo, nel quale l'azoto fissato in forma organica viene "liberato" come ammoniaca (NH_3). Il processo avviene in più passaggi di disgregazione della materia organica, e coinvolge un'ampia tipologia di enzimi. Dal substrato di partenza, generalmente una macromolecola come acidi nucleici, proteine o polisaccaridi, si giunge a molecole più semplici fino a giungere all' NH_3 .

2.2.4 Nitrificazione

Gran parte dell'azoto presente nel suolo si trova sottoforma di ammoniaca e ioni ammonio (NH_4^+) che sono tossici per tutti gli organismi viventi. Anche le piante non possono utilizzare l'azoto ammoniacale, in quanto sono in grado di assorbire e metabolizzare l'azoto solo in forma di nitrati (NO_3^-). La riconversione di queste sostanze in un composto assimilabile dalle piante avviene tramite i processi di nitrificazione e di nitratazione operati da microrganismi, che ricavano energia metabolica dalle reazioni che catalizzano.

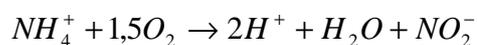
Le molecole di ammoniaca (o i sali d'ammonio derivati) liberate nel suolo, subiscono processi di ossidazione (quindi aerobici) da parte dei batteri nitrificanti. Ciò avviene, come già anticipato, in due fasi in cui prima si distinguono i batteri nitrificatori, che trasformano l'ammoniaca o lo ione ammonio in nitriti (NO_2^-), poi i batteri nitrattori, che, a loro volta, ossidano i nitriti trasformandoli in nitrati (NO_3^-).

Organismi nitrificatori

I responsabili di questo processo sono i batteri nitrificatori o nitrosatori appartenenti ai generi *Nitrosomonas*, *Nitrocystis* oppure *Nitrospira*. Generalmente sono organismi che hanno il loro optimum di attività a pH

neutro o lievemente alcalino e necessitano della presenza di carbonati di calcio e di potassio (CaCO_3 e KCO_3). Quindi il loro massimo di efficienza è nei suoli di prateria. Al contrario, i terreni forestali sono acidi e depauperati di calcio e carbonati per liscivazione nei loro livelli superiori. I batteri, perciò, perdono gran parte della loro efficienza ed il loro ruolo nei processi di nitrificazione viene preso dai funghi del suolo che sono in grado di compiere lo stesso processo. Il rendimento in questo caso è però inferiore rispetto a quello dei batteri.

La reazione di nitrificazione svolta dai batteri *Nitrosomonas* può essere descritta in questo modo:



2.2.5 Nitratazione

Si chiama nitratazione la reazione terminale di mineralizzazione dell'azoto nel suolo che consiste nella trasformazione degli ioni nitrito (NO_2^-) in nitrati (NO_3^-). Anche in questo processo intervengono microrganismi che utilizzano composti inorganici come i nitriti e, nel trasformarli in nitrati, ricavano energia metabolica.

Organismi nitrattori

I batteri nitrattori sono del genere *Nitrobacter*, *Nitrospina* e *Nitrococcus* e necessitano di suoli acidi o lievemente alcalini e ricchi di carbonato di calcio (CaCO_3) e di potassio (K_2CO_3). In terreni acidi e poveri di questi composti come i suoli forestali intervengono i funghi in grado di operare la stessa mineralizzazione, ma con rese sensibilmente inferiori.

La reazione di nitratazione svolta dai batteri *Nitrobacter* è la seguente:



2.2.6 Denitrificazione

La denitrificazione è una fase del ciclo dell'azoto che comporta la riduzione dell'azoto nitrico in gas che si liberano nell'atmosfera (N_2 , N_2O) e in azoto organico (N_{org}).

Il processo è attuato da batteri anaerobi appartenenti ai generi *Achromobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* e *Spirillum*.

La denitrificazione si sviluppa in condizioni atossiche, infatti l'ossigeno presente si trova solo all'interno dei nitrati e non disciolto nell'ambiente circostante. Per questo motivo la denitrificazione si instaura in quegli ambienti che hanno ricambi minimi o nulli di ossigeno (al fondo dei corsi d'acqua, nei fondali marini e nei terreni poco areati).

In queste condizioni, se vi è presenza di carbonio organico, i batteri anaerobi attaccano i nitrati privandoli dell'ossigeno per esigenze metaboliche. Attraverso due processi (dissimilazione e assimilazione) avviene l'uscita dell'azoto dal sistema sotto forma di N_2 , N_2O ed N_{org} .

In via generale i due processi di denitrificazione possono essere così schematizzati:

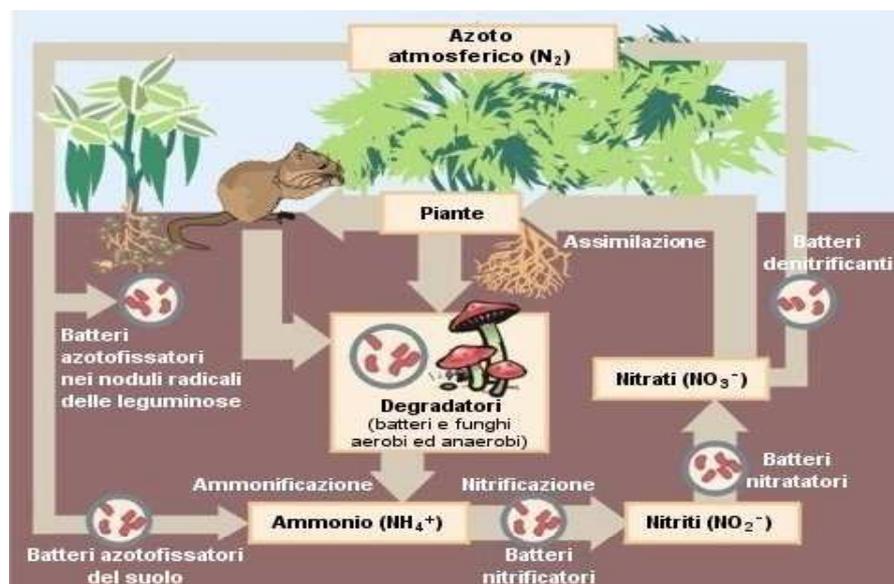
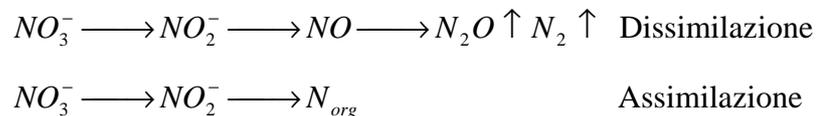


Fig.7 Ciclo dell'azoto in natura.

2.3 Il fosforo

Il fosforo è un elemento indispensabile per gli esseri viventi pur trovandosi in quantità ridotte rispetto all'azoto.

Si trova in natura in forma organica ed inorganica.

2.3.1 Ciclo del fosforo

Il fosforo (P) è un elemento di grande importanza nel metabolismo dei viventi in quanto rientra sia nella costituzione degli acidi nucleici sia dei composti energetici per il normale metabolismo cellulare (ATP, GTP, NADPH, ecc.). La sua richiesta, infatti, è direttamente proporzionale con le attività metaboliche del complesso di organismi che costituiscono le biocenosi: è elevata nel periodo estivo, quando queste attività sono massime, ed inferiore in quello invernale, quando il metabolismo di gran parte dei componenti della comunità è al minimo. Il tempo di turnover è quindi molto variabile nelle diverse stagioni (ad esempio in ecosistemi di acque dolci va dall'ordine di 10 minuti in estate a quello di 10 ore in inverno). Il tempo di turnover varia anche con gli ambienti (così il passaggio dalla fase sedimentaria a quella organica va da alcune settimane per le acque dolci ad alcune centinaia di anni per gli ecosistemi terrestri).

La grande riserva di fosforo è costituita dalle rocce e dagli altri depositi sedimentari formati nelle ere geologiche passate. Questi depositi vengono continuamente erosi, rilasciando i fosfati negli ecosistemi principalmente attraverso l'acqua.

Il fosforo presente nel suolo deriva dalla degradazione (per processi chimici, fisici e biotici) di rocce particolarmente ricche di questo elemento (rocce fosfatice), di apatite ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{F}$) o di altri minerali simili a quest'ultima, ma in cui il fluoro (F) è sostituito dal cloro (Cl). Il fosforo, una volta raggiunto il suolo sotto forma di ioni fosfato (PO_4^{3-}), sedimenta ed in seguito viene organicato, cioè reso disponibile per gli organismi viventi, da numerose specie di funghi e batteri che lo mutano nella sua forma ossidata più solubile. Talvolta alcune piante superiori possono assorbire fosforo non ancora organicato grazie alla presenza di Micorrize, cioè ife fungine associate in modo particolare con le radici delle piante, sia esternamente ad esse (Ectomicorrize), che internamente ai loro tessuti (Micorrize

endotrofiche). Sebbene i rapporti tra fungo e vegetale non siano ancora del tutto noti, si ritiene che in questa simbiosi la pianta fornisca al fungo carboidrati ed aminoacidi, mentre questo compie in modo più efficiente la trasformazione dei fosfati e di altri composti insolubili in forme solubili e quindi assimilabili dall'ospite.

In acqua il fosforo si trova in soluzione e quindi, seguendo le linee di pendenza, è destinato a raggiungere il mare, dove in parte si deposita nei sedimenti della zona litorale e in parte viene perso nei sedimenti profondi.

Le modalità di ritorno del fosforo nel ciclo, possono essere inadeguate per compensare questa perdita. Gli uccelli marini hanno evidentemente giocato un importante ruolo nel ritorno del fosforo in ciclo (ne sono testimoni i giganteschi depositi di guano sulle coste del Perù).

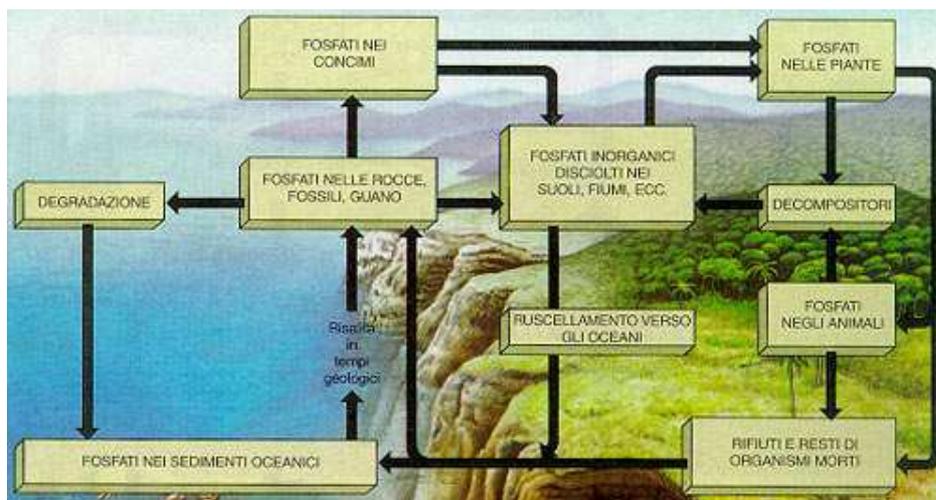


Fig.8 Ciclo del fosforo in natura.

Capitolo 3

CARATTERISTICHE DELLE ACQUE DI TRANSIZIONE

3.1 Acque di transizione

Si definiscono acque di transizione tutti i corpi idrici, ubicati lungo le coste marine, in cui si verifica l'incontro ed il mescolamento delle acque dolci provenienti dal drenaggio continentale (acque fluviali e freatiche) con le acque salate marine (*Marchetti, 1995*).

Sono acque di transizione: gli estuari, i delta, le lagune, i porti, i golfi, ma anche i canali artificiali in cui avviene il mescolamento tra acque dolci provenienti da terra e le acque marine (*Tomasino, 1995*).

Al fine di facilitare l'individuazione delle acque di transizione, vengono descritti di seguito i principali ambienti in cui si ritiene che esse siano presenti.

3.1.1 Zone di estuario e di delta

La prima definizione di estuario (aestus = marea) riuniva ambienti piuttosto dissimili tra loro (foci dei fiumi, baie, lagune e tutte le masse di acqua fra la terra ferma e le barriere costiere), accomunati dal fatto di essere una massa d'acqua costiera semichiusa ed in libera comunicazione con il mare, notevolmente influenzato dalle maree, e in cui l'acqua del mare si mescola, diluendosi, con l'acqua dolce proveniente dal bacino terrestre (*Odum, 1973*).

Attualmente, per la maggior parte degli autori e per concezione più comune, gli estuari sono intesi come quei luoghi dove i fiumi si riuniscono al mare (tratti terminali dei fiumi) e sono sottoposti all'influenza delle maree, formando una zona di transizione tra le acque dolci fluviali e le acque salate marine ove queste si mescolano (*Knox, 1986; Tomasino, 1995*).

Gli estuari, in senso tradizionale, sono regioni di transizione dai fiumi all'oceano e la somma di più rami a estuario costituisce il delta (*Hansen & Rattray, 1966; Tomasino, 1995; Knox, 1986*).

Tuttavia esiste una diversità tra i due ambienti se si considera la sedimentazione: negli estuari è bassa, mentre nei delta è rapida e consistente (*Guelorget & Perthuisot, 1992*).

Gli estuari sono caratterizzati dalla presenza di moti di marea trasmessi dal mare e da gradienti di salinità e densità associati ad un progressivo mescolamento di acque fluviali ed acque marine. L'azione della gravità sulla differenza di densità tra l'acqua marina e l'acqua dolce tende a causare una stratificazione verticale della salinità ed un caratteristico flusso convettivo che è conosciuto come "circolazione estuarina" o convezione gravitazionale (*Hansen & Rattray, 1966*).

La geomorfologia, il flusso di acque dolci e le maree sono variabili dominanti che determinano la distribuzione della salinità e la circolazione all'interno degli estuari.

Misure di salinità effettuate settimanalmente in condizioni di alta marea evidenziano come gli estuari siano sottoposti nel corso dell'anno, ad un diverso regime tidale che causa una risospensione dei sedimenti; tale risospensione si esprime con un movimento di risalita dei sedimenti durante l'estate ed un netto movimento verso valle in autunno e ad inizio inverno. In particolare negli estuari si può constatare come:

- il periodo ottobre-marzo sia caratterizzato da valori di salinità piuttosto bassi, ma estremamente variabili;
- il periodo aprile-settembre presenti valori di salinità più elevati ma più stabili (*Warwick & Gee, 1984*).

3.1.2 Le lagune

Per laguna si intende uno specchio d'acqua lungo la costa o un bacino costiero in cui penetrano sia le acque marine sia quelle continentali, dominato dalle maree, separato dal mare da un cordone litorale (insieme di lidi), ma comunicante con esso attraverso bocche (foci) lagunari (*Bramanti, 1988*).

I bacini di tipo "laguna" sono di solito marcatamente isodiametrici o sono delle distese parallele alla costa (*Perthuisot & Guelorget, 1992*). Con lo stesso termine si fa riferimento anche ai "tidal flats", cioè a zone costiere connesse a pianure alluvionali periodicamente inondate dalle maree e con

caratteristiche proprie delle lagune (fatta salva una minor definizione del cordone litorale verso mare) i cui fondali però durante le basse maree emergono nella quasi totalità (*Bramanti, 1988*).

I porti e le lagune, entrambi ambienti litorali semichiusi, presentano la caratteristica di un ridotto idrodinamismo, e di conseguenza una forte sedimentazione, l'accumulo di materiali di diversa natura, l'aumento di particolato in sospensione. Il fattore di maggiore discriminazione tra porti e lagune è il grado di variabilità della concentrazione salina. Le lagune, in particolare, devono essere considerate come ambienti a sé stanti e devono essere classificate in base al loro tenore salino (*Giangrande et al., 1983-84*).

Vi sono diversi tipi di lagune in rapporto all'origine ed alle caratteristiche idrodinamiche e idrologiche. Sono considerate lagune le baie parzialmente sbarrate a mare da cordoni sabbiosi e collegate a sistemi estuarini da cui possono ricevere apporti d'acqua dolce, ma anche i bacini costieri poco profondi che presentano ridotte comunicazioni col mare, siano esse permanenti o periodiche (stagni salmastri). Esiste un rapporto evolutivo tra queste condizioni estreme e si hanno numerosi esempi di varianti intermedie: le lagune degradano in altri sistemi costieri come le baie marine semichiuso, gli stagni salmastri e in estuari (*Bramanti, 1988; Perthuisot & Guelorget, 1992*).

Le lagune si formano in presenza di due sorgenti terrigene puntiformi, di regola foci fluviali, di una pianura alluvionale nell'immediato retroterra della fascia costiera, e di un significativo trasporto litorale. In queste condizioni i fiumi progredendo in mare con la loro gettata deltizia formano frecce litorali per sedimentazione litorale e quindi le lagune (*Bramanti, 1988*).

Nella maggior parte dei casi la salinità delle acque lagunari risulta variabile nello spazio e nel tempo, ed è spesso inferiore di qualche punto per mille rispetto a quella dell'antistante mare perché influenzata in genere da acque dolci fluviali. La salinità lagunare presenta infatti un gradiente decrescente dal mare verso l'interno, salvo saccature anomale a più alta salinità, che testimoniano la scarsa circolazione idrica ed i regimi evaporatici che si instaurano al suo interno (*Bramanti, 1988*). La diminuzione di salinità si accentua in corrispondenza delle foci dei corsi d'acqua, diretti tributari della

laguna, dove può precipitare a valori più bassi di quelli tipici delle acque salmastre. Questa situazione è tipica per gran parte dell'anno, fatti salvi i periodi estivi quando fenomeni di forte evaporazione portano la salinità delle acque a valori superiori a quelli dell'antistante acqua marina (*Bramanti, 1988*).

Il termine laguna, nella sua accezione ristretta, designa una porzione di dominio marino separato dal mare da uno o più cordoni litorali di recente formazione. In un buon numero di casi le lagune presentano una forma allungata nella stessa direzione della costa poiché i cordoni litorali si formano abitualmente più o meno parallelamente alla costa iniziale. La comunicazione con il mare è in genere assicurata da uno o più passaggi, spesso mobili e/o temporanei, chiamati "graus" nel Sud della Francia, ma che possono anche essere mantenuti fissi artificialmente (*Perthuisot & Guelorget, 1992*).

Le lagune in senso stretto si formano generalmente nel contesto geodinamico di una sedimentazione detritica (e biodetritica) attiva. Si incontrano soprattutto nelle zone costiere dove le correnti litorali sono soggette a rimaneggiare quantità importanti di materiale detritico derivato dal continente, e pertanto sono particolarmente frequenti all'interno o nelle vicinanze dei complessi deltizi dove appunto predominano gli effetti delle mareggiate (*Perthuisot & Guelorget, 1992*).

3.1.3 Gli stagni costieri

Lo stagno costiero è uno specchio d'acqua, separato dal mare da una lingua di terra (cordone litorale, freccia litorale, tombolo, ecc.), ma che può a volte comunicare con esso attraverso dei varchi o stretti canali più o meno lunghi e tortuosi, caratterizzato da bassi fondali, e che come la laguna è luogo d'incontro e di mescolanza di acque dolci e marine, ma che diversamente dalla laguna non è dominato dalle maree (*Bramanti, 1988*).

Gli stagni connessi ad apparati deltizi si formano lungo le ali di un delta o lungo pianure alluvionali progradanti per rilevante trasporto e dispersione lungo riva di abbondanti sabbie ed altri apporti terrigeni. Possono avere una forma stretta e allungata (lame costiere) estese anche chilometri, o una forma pseudocircolare, isolate dal mare o comunicanti con questo da stretti

varchi. La profondità massima della zona centrale dello stagno può essere di poco superiore al metro o al massimo dell'ordine di qualche metro.

Poiché lo stagno non comunica direttamente con il mare, gli scambi di acque marine con quelle degli stagni e viceversa avvengono solo attraverso le falde freatiche presenti nel cordone sabbioso litorale che separa lo stagno dal mare. Tuttavia, anche negli stagni che comunicano col mare mediante varchi, l'influenza marina resta piuttosto scarsa, perché si tratta solitamente di varchi stretti. La circolazione delle acque dello stagno è legata soprattutto all'azione dei venti che inducono moti convettivi ossigenando le acque stesse.

Le acque dello stagno sono pertanto più o meno salmastre a seconda dell'influenza freatico-marina, freatico-continentale o pluviale (*Bramanti, 1988*).

Negli stagni, mancando l'azione delle maree, non esistono le barene, i canali e le varie morfologie intertidali tipiche della laguna.

La distribuzione dei sedimenti avviene per fasce concentriche a granulometria via via più fine secondo andamenti centripeti, che prevedono i sedimenti più grossolani lungo tutta la costa interna e quelli più fini (peliti siltose, argillose e argille) nelle parti più profonde del bacino, che di regola sono anche quelle centrali.

Gli stagni costieri tendono all'estinzione per interrimento o per inondazione, in quanto non esiste, al loro interno, alcun elemento vivificatore e di ringiovanimento paragonabile alle maree. Solo in condizioni di rapido innalzamento del livello marino o comunque quando la rata di sedimentazione non compensa la rata di innalzamento della quota marina, si ha persistenza degli stagni. La loro esistenza è garantita dalla riproduzione continua di nuovi stagni in relazione alle condizioni morfologiche della fascia costiera, all'andamento della trasgressione e al regime sedimentologico locale (*Bramanti, 1988*).

3.1.4 Le baie

La baia a circolazione ristretta è praticamente uno stagno pseudocircolare in cui il varco di comunicazione è ampio in relazione all'intera superficie del bacino, consentendo o garantendo una certa continuità dinamica tra il mare e la saccatura d'acqua.

In genere la baia evolve in stagno costiero in seguito all'ostruzione parziale o totale della bocca di comunicazione (*Bramanti, 1988*).

3.2 Maree

La marea è un moto periodico di ampie masse d'acqua (oceani, mari, e grandissimi laghi) che si innalzano (flusso, alta marea) e abbassano (riflusso, bassa marea) anche di 10÷15 metri con frequenza giornaliera o frazione di giorno (solitamente circa 6 ore) dovuto principalmente a due fattori:

- all'attrazione gravitazionale che esercita la Luna sulla Terra (alta marea al passaggio della Luna);
- alla forza centrifuga dovuta dalla rotazione del sistema Terra-Luna intorno al baricentro (alta marea sul lato della Terra che è opposto alla Luna).

L'ampiezza (detta "altezza dell'onda di marea", uguale al dislivello tra bassa e alta marea), la frequenza e gli orari delle maree sono legati a fenomeni astronomici (rotazione della coppia Terra-Luna, vicinanza, inclinazione, passaggio della Luna principalmente e del Sole secondariamente) nonché morfologici (superficie della massa d'acqua, forma della costa, differenza di profondità dei fondali). Le maree hanno effetto anche sul livello dei fiumi che sfociano sul mare.

Le stesse forze e gli stessi principi che regolano le maree dei corpi liquidi, agiscono anche sui corpi solidi: in particolare è stata documentata la deformazione della crosta terrestre.

In Italia le maree maggiori si registrano in Alto Adriatico con ampiezze che superano di poco il metro. In Europa, sulle coste francesi della Manica, le maree possono superare abbondantemente i 10 metri.

La frequenza delle maree è legata al passaggio della Luna, per cui spesso, ha una durata approssimativa di 12 ore. In alcune parti del mondo prevale la componente “Sole” cosicché la frequenza è di circa 24 ore.

Fenomeni simili alle “onde statiche” (la marea può essere considerata un’onda estesa, detta onda di marea, di lunghezza eguale alla semicirconferenza terrestre e periodo di 12 ore e 25 min) fanno sì che in alcune zone costiere oceaniche non vi sia alcuna marea (per esempio in alcuni mari dell’Europa settentrionale). Sebbene solitamente gli orari delle maree varino di giorno in giorno (come la variazione dell’orario della Luna), esistono tuttavia alcuni luoghi (per esempio nell’Oceano Pacifico) nei quali le maree avvengono sempre negli stessi orari.

L’ampiezza effettiva della marea dipende inoltre da fenomeni meteorologici per nulla legati a queste, ma che ne esaltano gli effetti. In particolare si tratta degli effetti del vento (soffiando verso la costa innalza il livello del mare sui litorali, soffiando verso il largo abbassa il livello presso i litorali), nonché di differenziali di pressione atmosferica tra il mare aperto e la zona costiera.

Il fenomeno della risonanza della marea è invece dovuto al fatto che l’onda di marea viene riflessa dalla costa di una baia e incontra la successiva che arriva dall’oceano. In tal modo le due onde si sommano formando ampiezze di marea particolarmente elevate. Il caso opposto avviene quando l’onda di marea riflessa incontra l’onda di marea sfasata (il massimo di marea incontra il minimo di marea o viceversa) rendendo minime le variazioni del livello del mare.

3.2.1 Forze coinvolte

I principali aspetti da considerare per stimare l’ampiezza, la frequenza e l’orario delle maree sono:

- Aspetti astronomici:
 - la Luna: la sua massa, il suo passaggio, la sua distanza, l’inclinazione della sua orbita sul piano equatoriale;
 - il Sole: la sua massa, la sua distanza, l’inclinazione della sua orbita sul piano equatoriale;

- l'asse di rotazione della coppia Terra-Luna, che non passando per l'asse di rotazione terrestre crea delle forze centrifughe;
- Aspetti geografici:
 - la superficie delle acque;
 - i differenziali di profondità dei fondali;
 - la forma a cuneo delle baie;
- Aspetti meteorologici:
 - intensità e direzione dei venti;
 - differenziali di pressione atmosferica.

Gli effetti visibili su fiumi e canali che sfociano nei litorali interessati da ampie maree, dipendono molto dalla pendenza, dalla larghezza e dalla profondità di quest'ultimi.

3.2.2 La seconda "gobba"

Le masse d'acqua che per forza gravitazionale vengono attratte dalla Luna, si innalzano in direzione della Luna stessa, formando la prima "gobba". Poiché Terra e Luna si attraggono a vicenda, il centro di rotazione coincide col centro di massa del sistema, ovvero a circa 4700 km dal centro della Terra. Per questo motivo, in ragione della forza centrifuga, i mari formano una seconda gobba dal lato opposto a quella che si crea per effetto gravitazionale.

3.2.3 Effetti secondari delle maree

Effetti delle maree dovuti agli stretti

Se da un lato, i mari interni (come il Mediterraneo) non registrano elevate escursioni di marea, d'altra parte queste hanno grande importanza nei pressi degli stretti creando forti correnti alternanti tra l'oceano e il mare interno. Esempio tipico è rappresentato dallo stretto di Messina dove le maree, invece di sviluppare ampiezze apprezzabili, generano delle correnti (cosiddette di marea) che corrono periodicamente (ogni 6 ore circa) prima

lungo un senso dello stretto ed in seguito nel senso opposto (corrente montante e corrente scendente, a seconda della provenienza da Sud o da Nord).

Effetti delle maree sui fiumi

L'onda di marea non si arresta alla foce dei fiumi ma li risale, come prima accennato. L'ampiezza può crescere quando il fiume si restringe e viene attenuata in presenza di bassi fondali e per via dell'attrito tra acqua e rive. Non sono rari gli effetti legati al fenomeno della risonanza dell'onda di marea. In presenza di forti maree e di basse pendenze fluviali, l'onda di marea può manifestarsi anche a più di 100 km dalla foce. Gli orari delle maree fluviali sono molto sfasati rispetto a quelli delle maree che le generano. Ciò dipende dalla velocità di propagazione dell'onda, la quale è legata a sua volta alla profondità ed alla larghezza del fiume.

3.2.4 Previsione delle maree

La previsione delle maree deve tener conto degli aspetti astronomici, di quelli geografici nonché di quelli meteorologici. I primi due aspetti sono anche i più influenti e determinano le diverse tipologie di marea.

La regola dei dodicesimi

Potendo descrivere la variazione del livello dell'acqua con una curva sinusoidale, si può applicare la regola approssimativa detta "dei dodicesimi", la quale afferma che, partendo da una bassa marea:

- nel 1° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 1/12;
- nel 2° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 2/12;
- nel 3° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 3/12;
- nel 4° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 3/12;
- nel 5° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 2/12;
- nel 6° sesto del periodo, il livello dell'acqua sale di 1/12.

I dodicesimi fanno riferimento alla differenza tra i due estremi di marea.

Il grafico seguente rappresenta la variazione del livello del mare secondo la regola appena descritta.

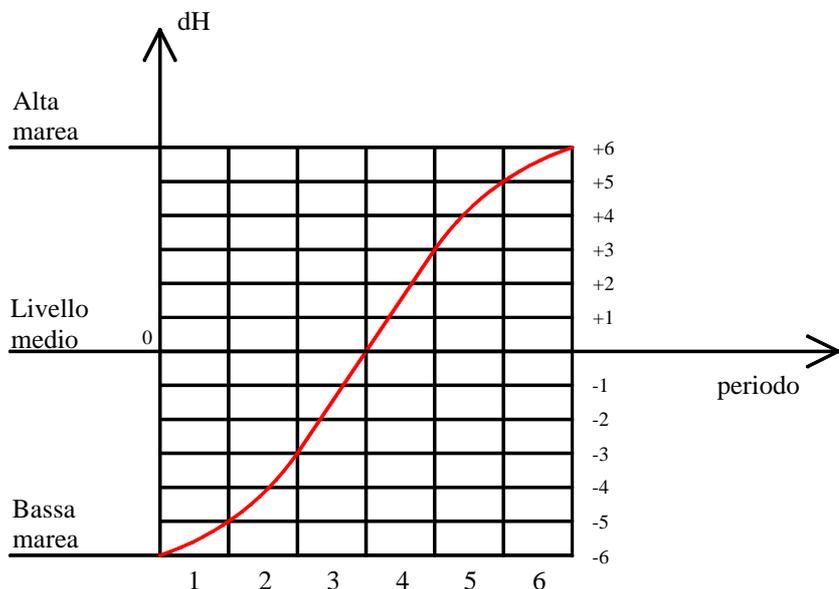


Fig.9 Aumento del livello del mare relativo all'intervallo temporale (periodo) intercorso tra bassa e alta marea.

Maree con frequenza di circa 12 ore

È la tipica marea presente in Mediterraneo e risulta prevedibile attraverso considerazioni di natura astronomica.

La maggiore differenza tra l'alta e la bassa marea viene spiegata con il passaggio della Luna, che ruota attorno alla Terra con un periodo leggermente superiore alle 24 ore, cosicché il periodo principale delle maree è di circa 12 ore e 25 minuti. Ciò significa che per circa 6 ore il livello del mare scende, per poi risalire per altrettante ore e viceversa. In questo modo si verificano, con ampiezze diverse, due alte maree e due basse maree al giorno.

La seconda componente è legata alle fasi lunari: in prossimità della Luna nuova e piena, le maree sono più marcate (maree sigiziali) se confrontate con quelle relative ai quarti di Luna (maree di quadratura). Questo ciclo ha dunque un periodo pari alla metà di quello lunare e dunque circa 14 giorni.

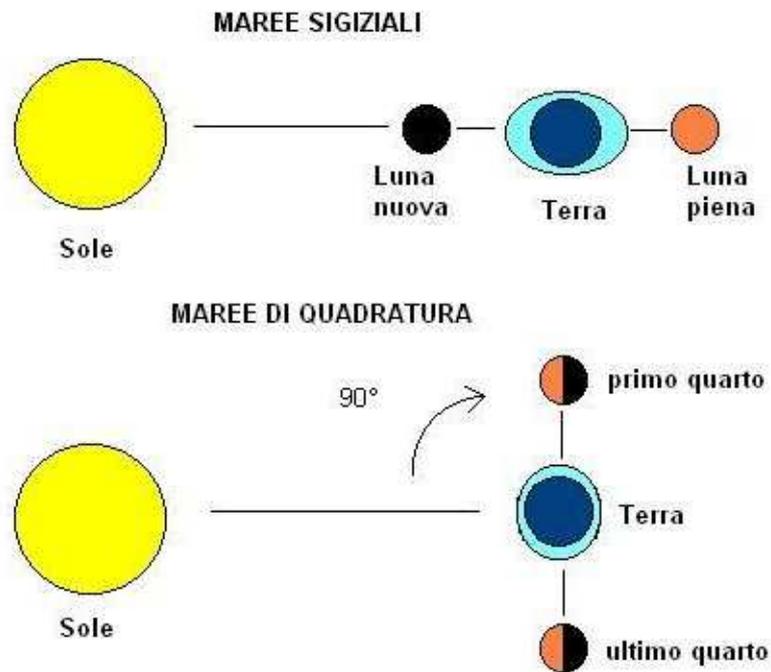


Fig.10 Configurazioni possibili Terra-Luna-Sole relative alle maree sizigiali e di quadratura.

Una terza componente è legata all'inclinazione del Sole sul piano equatoriale. Minore è l'inclinazione e maggiore sarà l'ampiezza della marea. Ciò significa che in prossimità degli equinozi le maree sono maggiori, mentre in prossimità dei solstizi invernali ed estivi, le maree sono minori.

Ulteriori componenti da considerare sono l'inclinazione della Luna sul piano equatoriale, la distanza della Luna e la distanza del Sole. Ciò porta in particolare ad un quarto ciclo di circa 4 anni e mezzo.

Tenendo conto solo delle prime quattro componenti si ottiene che nell'arco di 4 anni e mezzo si osservano verso marzo, aprile, settembre e ottobre, in prossimità del plenilunio e novilunio, due volte in tali giorni, delle maree di notevolissima ampiezza, vicine ai massimi teorici.

3.3 Acque di transizione: il Canale di Allacciamento

Il Canale di Allacciamento ed in particolar modo il suo tratto terminale, può essere considerato a tutti gli effetti un corpo idrico di transizione. Ciò è dovuto al fatto che le acque dolci provenienti da monte incontrano, nel tratto finale, quelle salate provenienti dal mare.

Il Canale di Allacciamento infatti, essendo collegato con il portocanale di Cesenatico, risente notevolmente dei flussi di marea nonostante disti circa 6 km dal mare (distanza misurata seguendo lo sviluppo lineare del canale a partire dal ponte di Via Visdomina fino all'imboccatura del portocanale).

Durante le maree montanti (alte maree), sotto la spinta del gradiente di livello generato da queste, l'acqua del canale risale verso monte sovvertendo il normale deflusso verso valle (apprezzabile durante le fasi di bassa marea).

Sebbene gli attriti dovuti dalla morfologia del canale (vegetazione, fondo, curve brusche) smorzino gli effetti della marea, in tutto il tratto esaminato si registrano variazioni di livello che, nella sezione di chiusura, possono arrivare a circa 50 cm (differenza tra i livelli registrati di alta e bassa marea).

Per questo motivo, sono riscontrabili variazioni di salinità via via crescenti proseguendo da monte verso la città di Cesenatico.

Pertanto, per quanto sopra rilevato, è possibile affermare che il Canale di Allacciamento rientri tra i corpi idrici con acque di transizione.

Capitolo 4

SISTEMI NATURALI DI TRATTAMENTO

4.1 Sistemi naturali di trattamento

Per sistemi naturali di trattamento si intendono tutti quei processi che sfruttano organismi viventi (piante, alghe e batteri) come filtri biologici attivi in grado di ridurre gli inquinanti presenti nelle acque reflue. Sono sistemi che, basandosi sul fenomeno naturale dell'autodepurazione, possono rappresentare una valida alternativa ai sistemi tradizionali nei casi in cui si debbano trattare reflui provenienti da insediamenti con al più 2000 A.E. (Abitanti Equivalenti). Per i centri con popolazione equivalente compresa tra 2000 e 25.000 A.E., i sistemi naturali di depurazione risultano comunque vantaggiosi, se intesi come trattamento di finissaggio a valle di trattamenti di tipo tradizionale.

Prima di descrivere le caratteristiche generali dei sistemi naturali di trattamento, è utile spiegare brevemente il concetto di autodepurazione che sta alla base di tali sistemi, nonché la legislazione in merito.

4.2 Autodepurazione

In natura avvengono costantemente processi di riconversione della materia organica ed inorganica ad opera degli organismi che popolano il suolo e le acque. In pratica quando le sostanze organiche raggiungono un corso d'acqua, siano esse di origine naturale o antropica, vengono demolite dai microrganismi, mentre i prodotti della mineralizzazione vengono utilizzati dai vegetali. Le numerose comunità microscopiche, costituite da batteri, funghi, protozoi, alghe e metazoi, rappresentano il primo sistema depurante dei corsi d'acqua.

Tale "depuratore naturale" supporta un secondo sistema depurante che funge da acceleratore e regolatore del processo, costituito dagli invertebrati bentonici. La ricchezza di specializzazioni di quest'ultimi massimizza l'utilizzo di tutte le forme di risorse alimentari disponibili, scarichi umani

compresi, e rende la comunità in grado di rispondere in maniera flessibile alle variazioni stagionali o antropiche del carico organico. Un ulteriore contributo alla rimozione della biomassa è fornito dai vertebrati, compresi quelli terrestri, che si nutrono degli invertebrati acquatici. Infine risulta molto utile la vegetazione acquatica con il suo ruolo nell'azione di ciclizzazione dei nutrienti.

Vertebrati e vegetazione acquatica possono così essere considerati il terzo sistema depurante dell'ambiente fluviale.

Inoltre nei corsi d'acqua, il trasporto della materia implica che gli stessi processi si chiudano in situ, ma solo dopo un percorso più o meno lungo, come se la serie dei cicli venisse "stirata" nello spazio a formare una spirale. L'accoppiamento tra ciclizzazione e trasporto viene denominata appunto "spiralizzazione dei nutrienti".

L'efficienza dei tre sistemi depuranti è a sua volta condizionata dall'integrità del sistema terrestre circostante, in particolare dalla vegetazione riparia, che agisce da filtro meccanico (sedimentazione del carico solido delle acque di dilavamento) e da filtro biologico (rimozione di azoto e fosforo).

4.3 Depuratori e sistemi naturali di trattamento a confronto

Le capacità autodepuranti delle acque di superficie non riescono a far fronte ad elevati carichi inquinanti, come quelli derivanti da reflui non sottoposti ad alcun trattamento. Gli impianti di depurazione di tipo biologico, sia a biomassa sospesa che adesa, possono essere visti alla stregua di ecosistemi artificiali in condizioni estreme, dove il processo naturale sopra descritto viene concentrato nel tempo e nello spazio, con costi di impianto e di gestione non trascurabili.

Al contrario, i sistemi naturali di trattamento sono a tutti gli effetti dei trattamenti biologici secondari, che necessitano di un trattamento primario di sedimentazione. In alternativa possono essere considerati come trattamenti terziari di affinamento, che sfruttano la capacità di autodepurazione degli ambienti acquatici.

La rimozione dei nutrienti e dei batteri avviene attraverso modalità simili a quelle degli impianti di tipo tradizionale, in particolare vengono sfruttati i

processi di filtrazione, adsorbimento ed assimilazione della componente inorganica da parte degli organismi vegetali oltre alla degradazione batterica del substrato.

L'impianto naturale di trattamento rappresenta quindi un'alternativa alla depurazione tradizionale risultando vantaggioso sia dal punto di vista economico (limitati costi di gestione) che da quello ambientale (minor impatto sul paesaggio, eliminazione dei trattamenti di disinfezione).

In pratica, si tratta di una zona umida costruita, in cui il suolo è mantenuto costantemente saturo d'acqua e consiste in un bacino più o meno profondo, impermeabilizzato ove necessario, riempito con un idoneo substrato e vegetato con piante acquatiche (*Moroni et al., 1996*).

4.4 Legislazione

Il D.Lgs 152/06, e più precisamente l'allegato 5 alla parte terza, relativo agli scarichi degli insediamenti con popolazione compresa tra i 50 ed i 2.000 A.E., introducendo il concetto di "trattamento appropriato" auspica il ricorso a tecnologie di depurazione naturale.

Dal Decreto Legislativo:

"I trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di:

- a) rendere semplice la manutenzione e la gestione;*
- b) essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni orarie del carico idraulico ed organico;*
- c) minimizzare i costi gestionali.*

Questa tipologia di trattamento può equivalere ad un trattamento primario o ad un trattamento secondario a seconda della scelta tecnica adottata e dei risultati depurativi raggiunti. Per tutti gli insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2.000 A.E. si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o tecnologie come la fitodepurazione, o tecnologie come filtri percolatori od impianti ad ossidazione totale.

Peraltro tali trattamenti possono essere considerati adatti se opportunamente dimensionati, al fine del raggiungimento dei limiti della tabella 1, anche a tutti gli insediamenti in cui la popolazione equivalente

fluttuante sia superiore al 30% della popolazione residente e laddove le caratteristiche territoriali e climatiche lo consentano. Tali trattamenti si prestano, per gli insediamenti di maggiori dimensioni con popolazione equivalente compresa tra i 2.000 e i 25.000 A.E., anche a soluzioni integrate con impianti a fanghi attivi o a biomassa adesa, a valle del trattamento, con funzione di affinamento.”

4.5 Classificazione dei sistemi naturali di trattamento

I trattamenti naturali, in base alla modalità di scorrimento dell'acqua, si possono suddividere in:

- lagunaggi biologici (o stagni biologici);
- ecosistemi filtro;
- sistemi a flusso superficiale (SF, Surface Flow);
- sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (H-SSF, Horizontal Sub-Surface Flow);
- sistemi a flusso sub-superficiale verticale (V-SSF, Vertical Sub-Surface Flow).

Possono essere classificati anche in base al tipo di vegetali impiegati:

- sistemi a microalghe;
- sistemi a macrofite galleggianti;
- sistemi a macrofite radicate sommerse;
- sistemi a macrofite radicate emergenti;
- sistemi misti.

4.6 Applicazioni, vantaggi e limiti dei sistemi naturali di trattamento

I sistemi naturali di trattamento possono essere utilizzati come:

- trattamenti secondari, previa sedimentazione, di reflui di insediamenti civili (abitativi, ricreativi quali campeggi, centri di agriturismo, centri commerciali, ecc.), soprattutto in siti abitativi rurali o con popolazione fluttuante dove non è possibile o si rivela troppo costoso l'allacciamento a fognatura;

- trattamenti terziari a valle di impianti di depurazione di tipo civile o misto soprattutto in funzione dell'abbattimento della carica batterica;
- trattamenti secondari o terziari di reflui di provenienza agricola o industriale (esperienze in Europa su frantoi oleari, caseifici, industria tessile, alimentare).

I vantaggi dei sistemi naturali di trattamento sono:

- riduzione dei costi capitali;
- consumi energetici ridotti o nulli;
- semplicità gestionale;
- costi di gestione molto limitati;
- limitate quantità di biomassa di risulta;
- buon inserimento ambientale;
- maggior tutela dei corpi idrici recettori.

Di contro i limiti sono:

- necessità di ampie superfici;
- necessità di movimentare l'acqua onde evitare la proliferazione di organismi infestanti come larve, insetti e roditori;
- funzionamento non costante legato alla variabilità stagionale.
- non adattabilità ad alte quote o a climi freddi.

Nel nostro caso specifico, il Canale di Allacciamento è paragonabile per tipologie di fenomeni biologici, organismi presenti nonché per profondità, ad un lagunaggio facoltativo. Come prima accennato i lagunaggi sono un particolare metodo di depurazione naturale e consistono in bacini (lagune) di accumulo delle acque reflue pretrattate al cui interno, attraverso modalità differenti, si sviluppano processi biologici depurativi.

Vediamo in seguito di descrivere le diverse tipologie di lagunaggi con particolare attenzione verso quelli facoltativi.

4.7 Lagunaggi (o Stagni) biologici

In generale le lagune possono essere di due tipi:

- lagune aerate;
- lagune non aerate.

Le prime, a causa dei bassi valori di solidi sospesi totali e della conseguente bassa attività biologica per unità di volume, hanno bisogno di energia per ottenere una sufficiente miscelazione dei liquami. Tale consumo energetico spesso prevale su quello necessario al trasferimento dell'ossigeno per i processi biologici.

Nelle seconde, la biodegradazione può avvenire sia aerobicamente tramite l'ossigeno atmosferico trasferito dalla superficie aria-acqua e/o tramite quello prodotto dalla fotosintesi algale, che attraverso processi anaerobici.

Inoltre, in ragione delle varie condizioni che si possono instaurare all'interno delle lagune non aerate, queste possono essere suddivise in tre gruppi:

- aerobiche;
- aerobiche-anaerobiche o facoltative;
- anaerobiche.

Le lagune aerobiche hanno una profondità di circa 0.7÷1 m, tale da permettere la presenza di ossigeno disciolto su tutto il volume della laguna: il liquame deve essere però continuamente miscelato con pompe o agitatori superficiali.

Nelle lagune facoltative, profonde 1÷2 m, si possono distinguere tre zone:

- una zona superficiale aerobica dove sono presenti e si sviluppano batteri ed alghe;
- una zona anaerobica nei pressi del fondo dove i batteri anaerobici decompongono i solidi sedimentabili depositati;
- una zona intermedia dove sono presenti i batteri facoltativi, ossia batteri in grado di adattarsi a condizioni sia aerobiche che anaerobiche.

Le lagune anaerobiche sono profonde 2-5 m e vengono utilizzate per trattare reflui con carichi organici elevato. In ambienti di questo tipo, data la notevole torbidità dell'acqua, sia l'ossigeno che la luce si estinguono rapidamente con la profondità per cui si sviluppano solo fermentazioni anaerobiche.

In questi stagni non c'è produzione algale, sia per la scarsa trasparenza sia per la consistente crosta superficiale che si forma progressivamente con l'affioramento delle bolle di gas (Vismara, 1998).

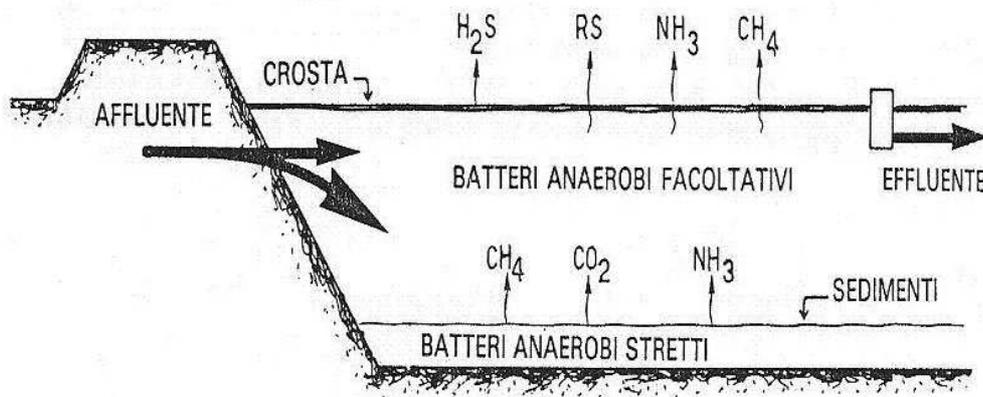


Fig.11 Schema di stagno anaerobico (Vismara, 1998).

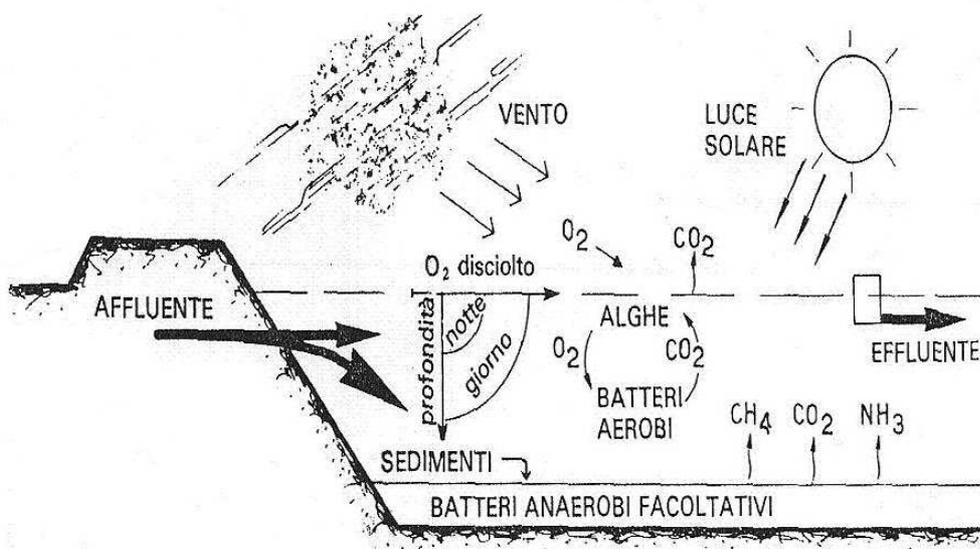


Fig.12 Schema di stagno facoltativo (Vismara, 1998).

Lagunaggi (Stagni) facoltativi

I processi fisici e chimico-biologici che possono svilupparsi negli stagni facoltativi sono:

- fotosintesi;
- ossidazione aerobica;
- decomposizione anaerobica;
- sedimentazione;
- nitrificazione;
- denitrificazione;
- sintesi batterica ed algale;
- disinfezione;
- azione fagotrofa dei predatori.

La sostanza organica contenuta nei liquame in entrata ad uno stagno facoltativo, va incontro a reazioni biochimiche che portano alla sua trasformazione sottoforma di fango, alla successiva decomposizione di quest'ultimo ed alla parziale sintesi di nuove cellule viventi. Una volta depositatosi, se è disponibile ossigeno disciolto, il fango viene decomposto dai batteri aerobi e può subire una completa ossidazione; se invece non vi è disponibilità di ossigeno libero, il fango va incontro solo a parziale decomposizione di tipo anaerobico.

Oltre alle varie popolazioni batteriche di natura aerobica ed anaerobica, negli stagni facoltativi sono presenti anche Alghe Verdi ed organismi predatori.

Le prime traggono energia dalla luce solare e utilizzano CO₂, composti azotati e fosforici (prodotti dalla decomposizione batterica delle molecole organiche più complesse) per sintetizzare nuove cellule algali con produzione di O₂ gassoso, che a sua volta contribuisce a mantenere elevato il tasso di ossigeno disciolto.

Gli organismi predatori fanno parte principalmente dello Zooplancton, ossia piccoli animali che, nutrendosi di batteri ed alghe, ne limitano l'eccessiva proliferazione e contribuiscono all'azione chiarificatrice dell'acqua.

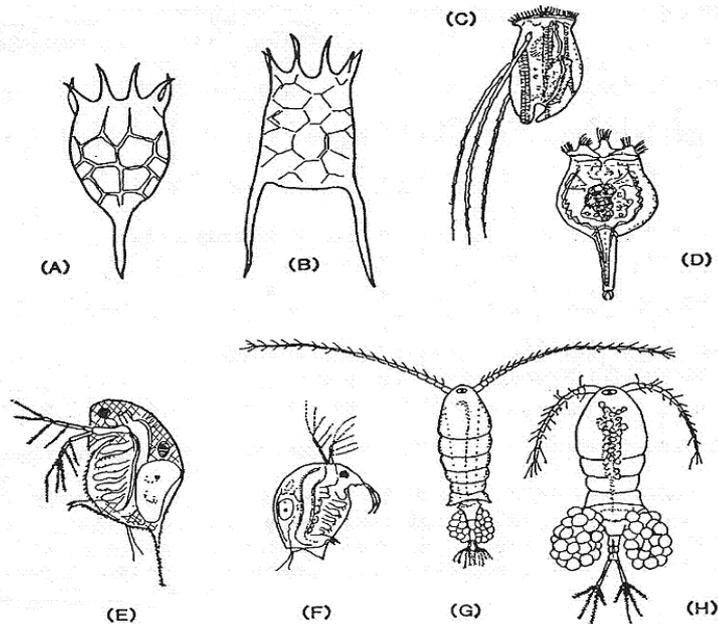


Fig.13 Zooplankton d'acqua dolce (Marchetti).

Zooplankton d'acqua dolce (A-D Rotiferi, E-H Crostacei):

- A) *Keratella cochlearis*;
- B) *Keratella quadrata*;
- C) *Triarthra longisetata*;
- D) *Brachionus urceus*;
- E) *Daphnia longispina*;
- F) *Bosmina longirostris*;
- G) *Diaptomus coeruleus*;
- H) *Cyclops strenuus*.

In questo modo si attua un sistema ciclico attraverso il quale la sostanza organica biodegradabile viene convertita in materiale cellulare ed in parte gassificata.

La maggior fonte di energia che entra nel sistema è quella solare, utilizzata dalla biomassa attiva per i processi biologici. Il liquame costituisce la seconda fonte di energia, che viene veicolata in batteri, alghe e predatori, ed in parte dispersa in calore o uscendo dal sistema con l'effluente finale.

La produzione di fango è realizzata da diversi fenomeni: la sedimentazione dei materiali pesanti, la bioflocculazione (o bioassorbimento), l'autoflocculazione e la sintesi di nuove cellule.

Il lungo periodo di ritenzione a cui il liquame è sottoposto nello stagno, fa sì che i solidi sedimentabili vengano rimossi totalmente. Ciò è reso possibile anche attraverso la bioflocculazione, ossia quel fenomeno fisico-biologico per cui le sostanze organiche disciolte, particolate e colloidali, vengono trasformate in fiocchi facilmente sedimentabili ad opera della popolazione batterica. Tale fenomeno è facilitato da temperature superiori ai 4°C e da una buona miscelazione della fase liquida.

Gli stagni facoltativi sfruttano fenomeni biologici diversi a seconda della profondità, dell'intensità luminosa e della trasparenza del mezzo liquido. Sono adatti al trattamento di reflui con concentrazioni di BOD analoghe a quelle tipiche dei liquami domestici e consentono rendimenti di depurazione sulla componente organica fino al 70÷80%.

Negli strati superiori, per effetto della fotosintesi algale, si ha intensa ossigenazione del liquame, che consente l'instaurarsi di attività batteriche di tipo aerobico (ossidazione, nitrificazione, sintesi batterica ed algale).

L'apporto di ossigeno è prevalentemente di origine fotosintetica, di conseguenza la quantità disciolta in acqua dipende da più fattori come:

- intensità luminosa;
- temperatura;
- trasparenza del liquame.

Negli strati profondi e nei sedimentati, non essendo disponibile ossigeno disciolto, si instaurano processi anaerobici e anossici (decomposizione anaerobica, denitrificazione).

L'estensione in profondità di questi due strati è variabile nel corso della giornata; esiste infatti un livello di separazione che risulta più profondo nelle ore diurne e più superficiale durante la notte. Per adattarsi a questa situazione e far fronte alle continue variazioni di ossigeno disciolto, la popolazione batterica ivi presente è di tipo facoltativo.

Capitolo 5

IL CANALE DI ALLACCIAMENTO

5.1 Inquadramento del caso di studio

Il Canale di Allacciamento è un canale artificiale facente parte della rete gestita dal Consorzio di Bonifica Savio-Rubicone. Ha uno sviluppo lineare complessivo di circa 15 km, a partire da Castiglione di Cervia dove riceve le acque del fiume Savio, fino al congiungimento con il portocanale di Cesenatico.

L'acqua del Canale di Allacciamento, scorrendo attraverso la pianura cervese e cesenaticense, viene utilizzata soprattutto per scopi irrigui. Inoltre, essendo un corpo idrico artificiale, presenta sezione regolare di tipo trapezoidale notevolmente vegetata, ed uno sviluppo per gran parte rettilineo a bassa pendenza.



Fig.14 Immagine satellitare: nel rettangolo giallo si trova il tratto del Canale di Allacciamento studiato (Fonte: Google Earth).

Il tratto di canale oggetto di questo studio, è situato a monte della Strada Statale Adriatica (S.S.16), tra i comuni di Cervia e Cesenatico, per una lunghezza complessiva di circa 2150 metri.

La sezione di apertura è stata presa in coincidenza del ponte sulla Strada Statale N.71-bis (Strada Cervese) mentre come sezione di chiusura si è scelto il ponte di Via Visdomina.

Per poter disporre di un maggior numero di dati, sono state scelte all'interno del tratto, altre due sezioni come il ponte di Via Fiscala e il ponte di Via Bigatta che si trovano rispettivamente a circa 700 e 1200 metri a valle della sezione di apertura.

Poco più a monte del ponte sulla Strada Cervese, un canale di modeste dimensioni confluisce nell'Allacciamento. Questo canale è il Rio Granarolo che riceve gli scarichi del depuratore comunale di Cesena, situato a più di 10 km dalla costa, oltre ai reflui di varie case sparse e di alcune frazioni abitate non servite da sistemi centralizzati di depurazione.

Inoltre nei pressi del ponte di Via Fiscala, un fossato (Rio della Valle) si immette nel Canale di Allacciamento. Ai fini del nostro studio abbiamo ritenuto trascurabile l'apporto minimo di acqua e di carico organico proveniente da questo corpo idrico.

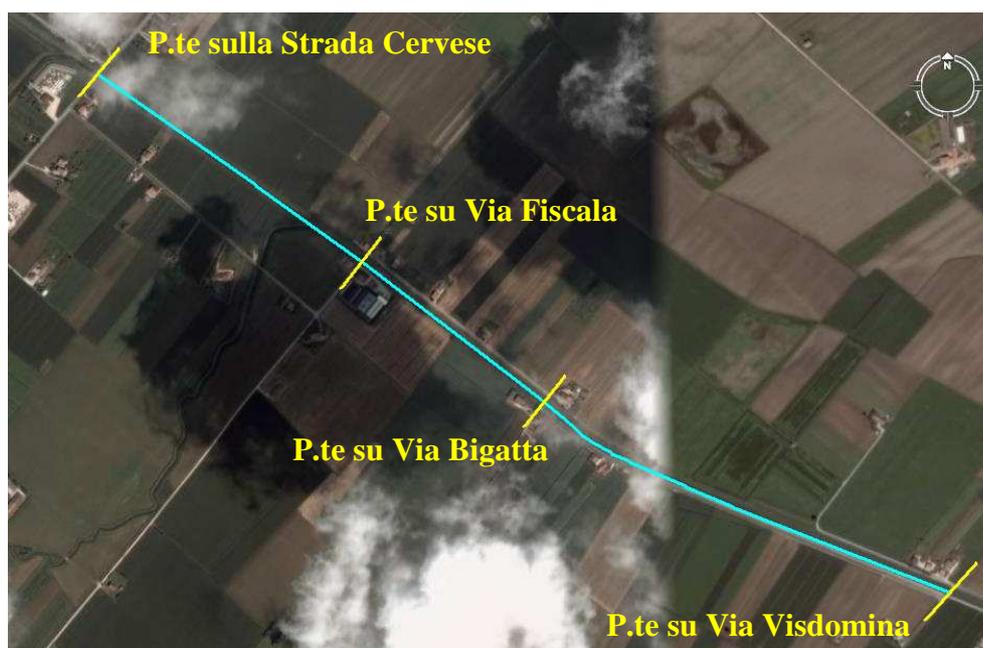


Fig.15 Individuazione delle 4 sezioni di misura (Fonte: Google Earth).

Altro aspetto da sottolineare è la vicinanza del tratto considerato con il mare che sebbene disti circa 6 km (seguendo lo sviluppo tra la sezione di chiusura e il portocanale di Cesenatico), influenza notevolmente il moto dell'acqua nel canale.

Il Canale di Allacciamento è interessato, in particolare nella stagione estiva, da un'intensa attività biologica che coinvolge tutta la colonna d'acqua.

Sebbene tale attività vari notevolmente durante l'arco della giornata, è tuttavia possibile riscontrare diverse dinamiche biologiche come la fotosintesi algale, la respirazione batterica aerobica ed anaerobica. L'insieme dei fenomeni naturali prima citati riveste un ruolo fondamentale all'interno del "sistema canale", costituendo un'importante azione depurativa nei confronti degli inquinanti di origine organica presenti in acqua.

L'apporto di nutrienti da monte attraverso il Rio Granarolo unito alle particolari condizioni di deflusso dettate dalle maree ed all'intensa attività biologica, rendono questo canale molto interessante dal punto di vista della depurazione naturale delle acque.

Nello specifico si è valutata la possibilità di considerare il tratto del Canale di Allacciamento come un lagunaggio facoltativo in acque di transizione, con funzione di finissaggio sui reflui pretrattati in ingresso.



Fig.16 Il Canale di Allacciamento a valle del ponte sulla Strada Cervese.



Fig.17 Il Canale di Allacciamento a monte del ponte sulla Strada Cervese. La freccia indica il punto in cui il Rio Granarolo (proveniente da sinistra e nascosto dalla vegetazione) si immette nel canale.



Fig.18 Il Canale di Allacciamento a monte del ponte di Via Visdomina.

5.2 Modalità di misura

Le misure eseguite sul tratto del Canale di Allacciamento preso in esame, sono state realizzate nel periodo compreso tra la seconda metà di luglio e la prima metà di agosto.

La scelta di questo periodo è stata dettata dalla necessità di evitare (per quanto possibile) il verificarsi di eventi meteorici che, con il loro apporto d'acqua, avrebbero falsato le condizioni richieste dal caso di studio. Inoltre, durante la stagione estiva, le alte temperature raggiunte dall'acqua garantiscono un'elevata velocità di reazione amplificando l'entità dei fenomeni biologici.

L'aspetto che ha influito maggiormente sulla scelta dei giorni adatti alle misure è rappresentato dalle maree che determinano, con il loro alternarsi quotidiano, i tempi di residenza dei volumi d'acqua e quindi dei carichi inquinanti nel canale. Si è cercato, infatti, di effettuare le misure proprio nei periodi in cui le differenze tra i culmini di alta e bassa marea fossero state più evidenti, al fine di cogliere le condizioni ideali per il nostro studio.

Sebbene la sarebbe stata quella di misurare ininterrottamente per 24 ore, di fatto si è scelto di eseguire due sessioni di misure di 12÷14 ore ciascuna in giorni ravvicinati, in modo da osservare condizioni di marea pressoché invariate.

Per questo motivo sono state condotte due campagne di misure: la prima è stata realizzata nei giorni 17 e 19-20 luglio mentre la seconda ha interessato i giorni 31 luglio e 1-2 agosto.

Oltre a queste, è stata effettuata un'altra campagna di misure nei giorni 9 e 13 agosto rispettivamente al tramonto ed all'alba, prescindendo dalle condizioni di marea.

5.2.1 Strumento di misura

Lo strumento che è stato utilizzato in tutte le campagne di misura è l'YSI 556. Si tratta di una sonda multisensoriale collegata via cavo ad un display che permette la visualizzazione, nonché la registrazione in tempo reale dei parametri indagati.

La sonda è dotata di tre sensori che rilevano:

- l'ossigeno disciolto (DO);

- la temperatura (T) e la conduttività;
- il pH e il potenziale di ossido-riduzione (ORP).

Data la delicatezza dei sensori, questi sono posizionati all'interno di un particolare supporto cilindrico traforato che ha il compito di proteggerli da scontri accidentali con oggetti di varia natura presenti in acqua, ed al contempo consentire il passaggio dell'acqua al suo interno.

La sonda è collegata al display tramite un cavo impermeabile lungo 20 metri.

La visualizzazione dei parametri avviene in tempo reale sul display: ciò consente all'operatore di scegliere il momento opportuno per avviare la registrazione. Questa operazione che salva tutti i dati in un file, deve essere preceduta ogni volta da un periodo di assestamento (qualche minuto in cui la sonda non deve essere spostata dalla posizione in cui si trova) in modo da permettere ai sensori di rilevare i parametri con il minor margine d'errore.



Fig.19 Strumento di misura YSI 556.

Per evitare che i sensori venissero a contatto con la melma presente sul fondo del canale, la sonda è stata fissata ad un supporto (vedi Fig.20) in modo da rimanere sollevata di circa 25 cm dalla base circolare.

All'asta del supporto è stato collegato un filo graduato, successivamente accostato al cavo dello strumento, in modo tale da poter rilevare la distanza tra la sonda e la superficie dell'acqua nonché la profondità della sezione.

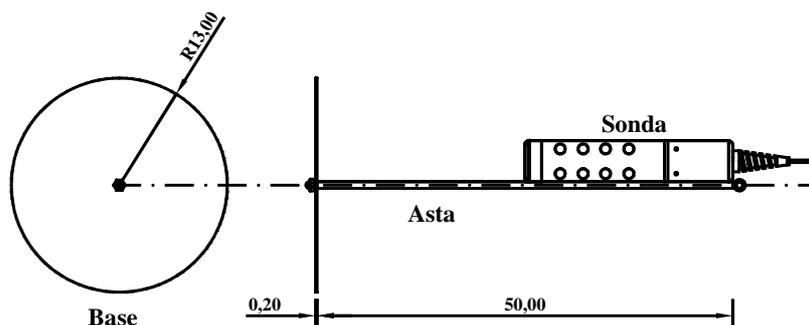


Fig.20 Vista dal basso e laterale del supporto accoppiato alla sonda (misure in cm).

I parametri che abbiamo preso in considerazione per il nostro studio sono stati il pH, la temperatura (T), l'ossigeno disciolto (DO), il potenziale di ossido-riduzione (ORP) e la salinità (S).

Quest'ultima non viene rilevata direttamente dallo strumento ma ricavata indirettamente dal software utilizzando i valori degli altri parametri misurati.

In particolare, le variazioni giornaliere di pH, ossigeno disciolto e potenziale di ossido-riduzione, hanno dato numerose indicazioni riguardo la presenza di fenomeni biologici alle varie profondità. Contemporaneamente, la misura della salinità è servita ad accertare la presenza delle maree sul tratto studiato, mentre la temperatura è stata considerata più che altro come un parametro addizionale.

5.2.2 Procedura seguita durante le misure

Una volta raggiunta la sezione (ponte) di misura, la procedura adottata prevedeva prima di tutto l'annotazione di alcune informazioni aggiuntive così riassumibili:

- orario;
- sezione di misura;
- stima della velocità superficiale e della direzione del moto dell'acqua;
- informazioni qualitative sullo stato della superficie dell'acqua (torbidità, presenza di schiume e/o bolle);
- eventuali informazioni qualitative di tipo meteorologico;
- indicazione del numero d'inizio registrazione.

Oltre a queste, a fine misura, veniva annotata anche la profondità della sezione ed il numero di fine registrazione.

Non disponendo di uno strumento per misurare la velocità dell'acqua, la stima di questa è avvenuta empiricamente cronometrando il tempo impiegato da un oggetto galleggiante (piccoli rami, ecc.) a percorrere una distanza prefissata (distanza tra le due spalle del ponte), in corrispondenza della porzione centrale del canale.

Chiaramente, non si è preteso un alto livello di precisione da questo metodo, tuttavia è stato sufficiente a fornire indicazioni sulla variazione della velocità superficiale, nonché della direzione del moto, in concomitanza dei cambi di marea.

Le informazioni riguardanti la torbidità e la presenza di schiume e/o bolle in superficie sono state annotate quale conferma dell'esistenza di fenomeni biologici in atto.

Le informazioni di tipo meteorologico sono state inserite ogni qualvolta fosse stata osservata della copertura nuvolosa durante le ore diurne. Questo tipo di informazione è stata considerata nell'eventualità di rilevare attenuazioni dell'attività fotosintetica a seguito della ridotta radiazione solare.

Il numero d'inizio registrazione è risultato indispensabile per catalogare le misure. Dal menù principale dello strumento, seguendo il percorso "file\view file", vengono visualizzati i nomi di tutti i file ed in particolare i numeri con cui sono state salvate le ultime misure. In questo modo, considerando il nostro file di dati, il numero d'inizio registrazione corrisponde al numero successivo a quello dell'ultima misura. Perciò, i numeri compresi tra quelli di inizio e fine registrazione, individuano tutto il set di misure relativo ad una determinata sezione.

In particolare, il numero iniziale del set (registrazione) rappresenta la prima misura effettuata in superficie (20 cm sotto il pelo libero), mentre i numeri seguenti sono associati alle misure progressivamente più profonde, ad intervalli di 20 cm.

Una volta completata la trascrizione delle annotazioni, aveva inizio il posizionamento dello strumento.

Poiché il Canale di Allacciamento ha sezione trapezoidale, la parte più profonda si trova in corrispondenza del centro di ogni ponte, ed è proprio da questo punto che sono state eseguite tutte le misure.

Nella prima misura, la sonda veniva calata 20 cm sotto la superficie dell'acqua e mantenuta a questa profondità vincolando il cavo di collegamento al parapetto del ponte. A questo punto era necessario attendere qualche minuto per permettere ai sensori di rilevare i valori dei parametri con buona approssimazione. Non appena i parametri del display si stabilizzavano, riducendo le oscillazioni intorno ad un valore, seguiva la registrazione su file della misura con automatica attribuzione del numero.

Successivamente si procedeva a calare la sonda 20 cm più in basso, alla profondità di 40 cm. A questo punto si ripeteva la sequenza prima descritta fino alla registrazione della misura, a cui veniva associato il numero successivo.

In questo modo si proseguiva fino a che la base del supporto collegato alla sonda non raggiungeva il fondo del canale. Terminata l'ultima registrazione, si stabiliva la profondità della sezione trapezoidale guardando il filo graduato accostato al cavo di collegamento.

Dopo aver annotato la profondità ed il numero di fine registrazione, recuperata la sonda, avveniva lo spostamento verso il ponte successivo da cui si ripeteva nuovamente tutta la procedura.

5.3 Problemi ed errori

In generale, i problemi riscontrati non sono stati numerosi, se confrontati con il numero complessivo di ore trascorse sul Canale di Allacciamento.

Durante la prima campagna di misure, più precisamente il giorno 17 luglio dalle ore 15:25 fino alle 17:55, non è stato possibile procedere nelle misure causa malfunzionamento dello strumento. Il problema, avvertito al sensore della temperatura, è stato causato probabilmente dalle microalghe che hanno ricoperto la testina del sensore compromettendone il funzionamento. Una volta puliti tutti i sensori, lo strumento ha ripreso a funzionare normalmente. A causa di questo inconveniente, sopraggiunto durante l'esecuzione di misure sul ponte della Strada Cervese, non si è ritenuto opportuno registrare tale set.

Lo stesso tipo di problema si è verificato in maniera più grave nella seconda campagna di misure, la notte del 2 agosto alle 2:15. In questa occasione, non è stato possibile effettuare una pulizia accurata dei sensori e ciò ha comportato la sospensione delle misure fino al mattino seguente.

Un'ulteriore, nonché più profonda, pulizia dei sensori ha garantito in seguito, il regolare funzionamento dello strumento durante le misure successive.

La precisione raggiunta dalla singola misura dipende maggiormente dalla precisione intrinseca dello strumento. Questa considerazione è suffragata dal fatto che, una volta regolata la sonda ad una determinata profondità, non si è mai verificato alcun elemento esterno di disturbo che avesse potuto inficiare sulla precisione della misura.

Nei rari casi in cui si è ritenuto che la misura registrata fosse errata, questa è stata ripetuta alla stessa profondità.

Le difficoltà maggiori si sono incontrate per stimare la velocità superficiale e la profondità della sezione.

Le velocità superficiali, stimate con il metodo empirico precedentemente accennato, presentano valori affetti da errori grossolani, tuttavia, sono state

comunque considerate in quanto hanno fornito informazioni di massima sull'andamento dei flussi di marea.

La profondità della sezione è stata misurata tramite filo graduato collegato al supporto della sonda e solidale con il cavo di collegamento. Si è cercato, in pratica, di rilevare la distanza tra la base del supporto appoggiata al fondo ed il livello raggiunto dall'acqua sul filo.

L'incertezza di questa misura è derivata principalmente dall'impossibilità di verificare che la base del supporto fosse appoggiata correttamente, senza sprofondare, sul fondo melmoso. Inoltre, non disponendo di strumenti adatti allo scopo, la perpendicolarità tra il filo graduato ed il fondo è stata valutata visivamente.

Capitolo 6

RISULTATI DEL MONITORAGGIO

6.1 Indicazioni generali

In questa sezione sono stati inseriti i dati relativi a tutte le campagne di misura. L'ordine con cui vengono proposti i dati, è lo stesso che è stato mantenuto durante le misure effettuate sul canale, ossia quello della successione temporale.

Successivamente, i parametri di maggior interesse come DO, pH, ORP, T ed S, sono stati organizzati e combinati per sezioni di misura, al fine di evidenziare le relazioni tra i vari fenomeni biologici, non solo in funzione del tempo, ma anche rispetto alla profondità.

Notazioni

Nella colonna “STIMA DIREZIONE E VELOCITÀ DEL MOTO”, i termini “entrante” ed “uscente” fanno riferimento alla direzione dell'acqua nel canale. In particolare con il primo termine si indica la risalita dell'acqua verso monte causata dalle condizioni di alta marea. Al contrario, il secondo termine indica il naturale flusso dell'acqua verso valle, consentito da condizioni di bassa marea.

Nella colonna “INFO ACQUA (METEO)”, i simboli “£”, “\$” ed “%” hanno il seguente significato:

- £ = presenza di schiume in superficie;
- \$ = presenza in superficie di bolle provenienti dal fondo;
- % = presenza di copertura nuvolosa.

6.2 REPORT CAMPAGNA DI MISURE DEL 17, 19-20 LUGLIO 2007

CAMPAGNA DI MISURA 17, 19-20 LUGLIO 2007

DATA : 17/7/07

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
9.40	1,00	Visdomina	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	426	429	426	0,20	24,53	5,61	7,50	28	0,44
							427	0,40	24,65	5,74	7,52	25	0,44
							428	0,60	24,56	5,63	7,52	23	0,44
							429	0,80	24,43	4,62	7,53	22	0,46
10.00	0,70	Bigatta	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	430	432	430	0,20	24,40	6,75	7,36	30	0,34
							431	0,40	24,39	6,58	7,42	27	0,34
							432	0,60	24,29	6,46	7,46	25	0,35
10.15	0,80	Fiscala	appena uscente ca.0,003 m/s	torbida	433	435	433	0,20	24,63	7,95	7,17	36	0,31
							434	0,40	24,58	7,91	7,21	32	0,31
							435	0,60	24,52	7,50	7,26	30	0,33
10.35	0,60	Cervese	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	436	436	436	0,20	25,16	9,67	7,19	29	0,34
11.05	1,25	Visdomina	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	437	441	437	0,20	25,97	6,03	7,55	35	0,58
							438	0,40	25,95	5,81	7,57	30	0,58
							439	0,60	25,93	5,73	7,59	28	0,58
							440	0,80	25,92	5,38	7,61	27	0,58
							441	1,00	25,94	5,54	7,62	26	0,59
11.30	0,80	Bigatta	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	442	444	442	0,20	25,45	9,57	7,42	32	0,41
							443	0,40	25,32	9,03	7,46	27	0,41
							444	0,60	25,34	8,90	7,49	25	0,41
11.45	1,00	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	445	448	445	0,20	25,62	10,17	7,36	37	0,36
							446	0,40	25,49	9,94	7,40	32	0,36
							447	0,60	25,45	9,63	7,43	30	0,36
							448	0,80	25,47	9,59	7,47	29	0,36

12.00	0,60	Cervese	entrante ca. 0,08 m/s	torbida	449	450	449	0,20	26,38	12,45	7,24	32	0,31
							450	0,40	26,32	11,87	7,28	30	0,31
12.30	1,30	Visdomina	entrante ca. 0,18 m/s	torbida	451	455	451	0,20	27,08	5,85	7,58	39	1,63
							452	0,40	27,13	5,86	7,59	33	1,72
							453	0,60	27,15	5,93	7,60	31	1,76
							454	0,80	27,15	5,85	7,62	28	1,85
							455	1,00	27,15	5,78	7,63	27	1,91
12.55	1,10	Bigatta	entrante ca. 0,23 m/s	torbida	456	459	456	0,20	27,11	10,50	7,50	33	0,61
							457	0,40	27,06	10,28	7,52	28	0,61
							458	0,60	27,05	10,13	7,55	26	0,62
							459	0,80	27,02	10,02	7,57	24	0,62
13.10	1,25	Fiscala	entrante ca. 0,22 m/s	torbida	460	464	460	0,20	27,05	10,50	7,53	38	0,52
							461	0,40	27,01	10,45	7,56	33	0,53
							462	0,60	27,01	10,22	7,60	31	0,53
							463	0,80	26,98	10,19	7,63	30	0,53
							464	1,00	27,00	10,16	7,64	29	0,53
14.15	0,80	Cervese	entrante ca. 0,12 m/s	torbida	465	465	465	0,20	27,46	13,71	7,59	35	0,45
14.40	1,50	Visdomina	entrante ca. 0,13 m/s	torbida	466	470	466	0,20	27,99	7,58	7,66	40	4,42
							467	0,40	27,72	7,31	7,67	34	4,56
							468	0,60	27,67	6,88	7,69	31	4,71
							469	0,80	27,71	6,66	7,71	28	4,78
							470	1,00	27,67	6,47	7,72	27	4,86
15.05	1,05	Bigatta	appena uscente ca.0,03 m/s	torbida	471	475	471	0,20	28,43	10,92	7,70	35	1,04
							472	0,40	28,28	10,70	7,73	30	1,03
							473	0,60	28,04	10,20	7,75	27	1,02
							474	0,80	27,96	10,17	7,77	25	1,04
							475	1,00	27,93	10,17	7,79	23	1,04
15.25	1,20	Fiscala	appena uscente ca.0,03 m/s	torbida	476	478	476	0,20	28,29	11,79	7,73	39	0,58

							477	0,40	28,25	11,42	7,78	34	0,58
							478	0,60	27,98	11,00	7,81	32	0,59
17.55	1,30	Visdomina	uscente ca.0,05 m/s	torbida	479	486	479	0,20	28,59	10,25	7,78	42	0,91
							480	0,40	28,58	10,15	7,79	38	0,92
							481	0,60	28,60	10,20	7,82	36	0,92
							482	0,80	28,58	10,20	7,83	34	0,91
							483	0,80	28,55	10,31	7,85	33	0,92
							484	1,00	28,55	10,31	7,85	32	0,92
							485	1,00	28,61	10,22	7,86	31	0,92
							486	1,20	28,59	10,14	7,87	30	0,91
18.15	1,05	Bigatta	uscente ca.0,05 m/s	torbida	487	489	487	0,20	28,81	14,43	7,89	38	0,42
							488	0,40	28,81	14,16	7,92	33	0,41
							489	0,60	28,80	14,33	7,94	31	0,41
18.30	1,10	Fiscalà	uscente ca.0,08 m/s	torbida	490	493	490	0,20	29,44	14,45	7,97	39	0,35
							491	0,40	29,37	14,32	7,99	33	0,34
							492	0,60	29,35	14,14	8,00	31	0,34
							493	0,80	29,29	13,53	8,00	30	0,34
18.45	0,70	Cervese	uscente ca.0,1 m/s	torbida, £	494	495	494	0,20	29,39	14,81	7,95	36	0,38
							495	0,40	29,41	14,49	7,97	35	0,38
19.10	1,20	Visdomina	uscente ca.0,1 m/s	torbida	496	500	496	0,20	28,41	11,93	7,79	33	0,59
							497	0,40	28,41	11,85	7,80	30	0,59
							498	0,60	28,40	11,61	7,81	28	0,60
							499	0,80	28,38	11,65	7,82	27	0,60
							500	1,00	28,37	12,00	7,83	26	0,60
19.30	0,90	Bigatta	uscente ca.0,15 m/s	torbida, \$	501	503	501	0,20	29,14	13,95	7,89	35	0,35
							502	0,40	29,14	13,97	7,92	31	0,35
							503	0,60	29,13	13,62	7,93	29	0,35
19.45	1,00	Fiscalà	uscente ca.0,15 m/s	torbida, \$	504	507	504	0,20	29,29	14,39	7,96	35	0,35

							505	0,40	29,23	14,35	7,97	32	0,35
							506	0,60	29,19	14,40	7,98	29	0,35
							507	0,80	29,12	14,50	7,98	28	0,35
20.00	0,70	Cervese	uscente ca.0,20 m/s	torbida, £, \$	508	509	508	0,20	28,62	12,10	7,80	33	0,36
							509	0,40	28,59	11,59	7,81	31	0,36
20.20	1,10	Visdomina	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, \$	510	513	510	0,20	28,20	11,22	7,77	28	0,54
							511	0,40	28,20	10,39	7,80	27	0,54
							512	0,60	28,20	10,04	7,81	25	0,54
							513	0,80	28,19	9,42	7,83	24	0,54
20.30	0,90	Bigatta	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, \$	514	516	514	0,20	28,97	11,97	7,93	24	0,34
							515	0,40	28,97	11,96	7,94	17	0,34
							516	0,60	28,90	11,96	7,95	12	0,34
20.50	1,10	Fiscala	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, £, \$	517	520	517	0,20	28,81	12,63	7,90	25	0,37
							518	0,40	28,76	12,40	7,93	23	0,37
							519	0,60	28,75	12,38	7,94	22	0,37
							520	0,80	28,76	12,02	7,94	22	0,37
21.00	0,70	Cervese	uscente ca. 0,03 m/s	torbida, £, \$	521	522	521	0,20	28,00	9,82	7,78	25	0,40
							522	0,40	28,02	9,77	7,78	20	0,40

CAMPAGNA DI MISURA 17, 19-20 LUGLIO 2007

DATA : 19-20/7/07

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
19.30	1,30	Visdomina	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	523	527	523	0,20	29,30	12,90	7,77	29	1,87
							524	0,40	29,31	12,62	7,79	27	1,91
							525	0,60	29,29	12,48	7,80	25	1,91
							526	0,80	29,26	12,32	7,81	24	1,94
							527	1,00	29,24	12,30	7,82	23	1,95
19.45	1,05	Bigatta	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	528	531	528	0,20	29,33	11,26	7,89	31	0,46
							529	0,40	29,34	11,13	7,90	26	0,45
							530	0,60	29,33	11,03	7,92	24	0,45
							531	0,80	29,29	11,12	7,93	23	0,45
20.00	1,20	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	532	536	532	0,20	29,91	12,69	7,88	30	0,36
							533	0,40	29,86	12,67	7,90	27	0,36
							534	0,60	29,80	12,67	7,92	26	0,36
							535	0,80	29,79	12,66	7,93	25	0,36
							536	1,00	29,78	12,66	7,93	24	0,36
20.15	0,70	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	537	538	537	0,20	28,99	11,06	7,74	26	0,37
							538	0,40	28,99	10,80	7,76	22	0,37
20.30	1,25	Visdomina	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	539	544	539	0,20	28,98	8,26	7,62	26	0,85
							540	0,40	29,00	8,01	7,64	22	0,84
							541	0,60	28,99	8,05	7,66	20	0,85
							542	0,80	28,98	7,87	7,68	19	0,84
							543	1,00	28,95	7,77	7,69	17	0,85
544	1,20	28,97	7,80	7,70	16	0,85							
20.50	1,10	Bigatta	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	545	548	545	0,20	29,72	10,38	7,78	16	0,36

							546	0,40	29,72	10,25	7,79	14	0,36
							547	0,60	29,69	10,02	7,81	12	0,36
							548	0,80	29,70	10,01	7,82	11	0,36
21.05	1,20	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	549	554	549	0,20	29,17	10,19	7,73	21	0,38
							550	0,40	29,14	10,20	7,74	17	0,38
							551	0,60	29,06	10,23	7,75	14	0,38
							552	0,60	29,04	10,16	7,76	13	0,37
							553	0,80	29,01	9,93	7,77	12	0,37
							554	1,00	29,00	9,95	7,77	11	0,37
21.30	0,70	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	555	556	555	0,20	28,55	8,92	7,62	21	0,35
							556	0,40	28,52	8,37	7,64	17	0,36
21.45	1,30	Visdomina	uscente ca. 0,05 m/s	torbida, \$	557	562	557	0,20	28,74	8,06	7,60	22	0,60
							558	0,40	28,75	7,71	7,63	18	0,61
							559	0,60	28,73	7,70	7,65	16	0,61
							560	0,80	28,73	7,56	7,66	15	0,61
							561	1,00	28,72	7,29	7,67	14	0,61
							562	1,20	28,74	7,03	7,68	13	0,62
22.15	1,10	Bigatta	appena uscente ca. 0,01 m/s	torbida, £, \$	563	565	563	0,20	29,09	7,94	7,72	17	0,37
							564	0,40	29,08	7,33	7,75	14	0,37
							565	0,60	29,09	7,16	7,77	13	0,37
22.35	1,20	Fiscala	appena entrante ca. 0,005 m/s	torbida, £	566	570	566	0,20	28,42	7,45	7,68	19	0,37
							567	0,40	28,45	6,85	7,70	16	0,37
							568	0,60	28,47	6,82	7,71	15	0,37
							569	0,80	28,47	6,82	7,71	14	0,37
							570	1,00	28,47	6,83	7,72	13	0,37
22.55	0,70	Cervese	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida, £	571	572	571	0,20	27,85	7,32	7,54	23	0,38
							572	0,40	27,98	6,96	7,58	19	0,38
23.15	1,30	Visdomina	entrante ca. 0,03 m/s	torbida	573	577	573	0,20	28,44	6,56	7,55	21	0,72

							574	0,40	28,41	6,44	7,57	19	0,72
							575	0,60	28,45	5,81	7,59	17	0,72
							576	0,80	28,45	6,05	7,61	16	0,73
							577	1,00	28,44	6,11	7,62	15	0,73
23.40	1,10	Bigatta	entrante ca. 0,01 m/s	torbida	578	582	578	0,20	28,85	7,16	7,63	20	0,38
							579	0,40	28,91	7,00	7,68	17	0,38
							580	0,60	28,90	7,05	7,70	15	0,38
							581	0,80	28,88	6,96	7,72	14	0,38
							582	1,00	28,88	6,96	7,73	13	0,38
0.00	1,20	Fiscala	entrante ca. 0,02 m/s	torbida, £	583	587	583	0,20	28,13	6,63	7,59	23	0,37
							584	0,40	28,16	6,82	7,62	20	0,37
							585	0,60	28,19	6,80	7,64	19	0,37
							586	0,80	28,21	6,79	7,65	18	0,37
							587	1,00	28,18	6,96	7,66	17	0,38
0.25	0,70	Cervese	appena entrante ca. 0,001 m/s	torbida, £	588	589	588	0,20	27,59	5,19	7,52	25	0,37
							589	0,40	27,66	5,17	7,54	23	0,37
0.40	1,35	Visdomina	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida	590	594	590	0,20	27,93	4,76	7,45	25	0,83
							591	0,40	27,97	4,40	7,50	22	0,87
							592	0,60	28,23	4,36	7,51	20	1,20
							593	0,80	28,34	3,56	7,52	19	1,67
							594	1,00	28,31	3,84	7,53	18	1,80
1.05	1,20	Bigatta	appena entrante ca.0,005 m/s	torbida	595	599	595	0,20	28,55	6,05	7,60	20	0,38
							596	0,40	28,54	6,04	7,64	18	0,38
							597	0,60	28,62	6,01	7,66	17	0,38
							598	0,80	28,60	5,95	7,68	16	0,38
							599	1,00	28,57	5,84	7,69	15	0,38
1.30	1,25	Fiscala	appena uscente ca. 0,02 m/s	torbida, £	600	605	600	0,20	27,93	6,76	7,61	21	0,38
							601	0,40	27,94	6,75	7,63	19	0,38

							602	0,60	27,90	6,64	7,65	18	0,38
							603	0,80	27,90	6,67	7,66	17	0,38
							604	1,00	27,90	6,36	7,66	16	0,38
							605	1,20	27,89	6,29	7,67	15	0,38
2.00	0,70	Cervese	appena uscente ca. 0,02 m/s	torbida	606	607	606	0,20	26,42	4,25	7,43	25	0,44
							607	0,40	26,11	3,96	7,45	22	0,47
2.15	1,35	Visdomina	uscente ca. 0,15 m/s	torbida	608	613	608	0,20	27,75	5,98	7,51	22	0,72
							609	0,40	27,79	5,58	7,55	19	0,78
							610	0,60	27,91	5,07	7,57	17	0,99
							611	0,80	28,49	1,37	7,58	16	7,42
							612	1,00	28,48	0,66	7,59	15	9,58
							613	1,20	28,48	0,56	7,60	14	9,81
2.40	1,05	Bigatta	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	614	618	614	0,20	27,88	6,90	7,66	17	0,39
							615	0,40	27,92	6,92	7,68	15	0,39
							616	0,60	27,88	6,86	7,69	13	0,39
							617	0,80	27,85	6,92	7,70	12	0,39
							618	1,00	27,84	6,91	7,71	11	0,39
3.00	1,20	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	619	623	619	0,20	27,06	6,16	7,56	18	0,36
							620	0,40	27,04	5,99	7,60	16	0,36
							621	0,60	27,03	6,03	7,61	15	0,36
							622	0,80	27,03	5,80	7,62	14	0,36
							623	1,00	27,00	5,74	7,63	13	0,36
3.25	0,60	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	624	625	624	0,20	25,40	3,62	7,40	24	0,46
							625	0,40	25,31	3,56	7,42	22	0,46
3.40	1,30	Visdomina	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	626	630	626	0,20	27,66	5,80	7,51	21	0,55
							627	0,40	27,69	5,58	7,56	17	0,64
							628	0,60	28,05	2,44	7,58	16	2,94
							629	0,80	28,42	0,11	7,59	15	10,75

							630	1,00	28,42	0,07	7,59	14	11,05
4.05	1,00	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	631	634	631	0,20	26,96	5,58	7,57	16	0,37
							632	0,40	26,93	5,56	7,60	14	0,37
							633	0,60	26,89	5,56	7,61	13	0,37
							634	0,80	26,87	5,53	7,62	12	0,37
4.25	1,20	Fiscala	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	635	639	635	0,20	25,72	3,53	7,44	20	0,45
							636	0,40	25,57	3,39	7,46	19	0,46
							637	0,60	25,44	3,27	7,47	18	0,46
							638	0,80	25,40	3,24	7,48	17	0,46
							639	1,00	25,39	3,18	7,48	16	0,46
4.40	0,60	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	640	641	640	0,20	25,24	3,89	7,33	25	0,39
							641	0,40	24,84	3,97	7,35	24	0,41
5.00	1,25	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	642	647	642	0,20	27,41	5,84	7,46	26	0,41
							643	0,40	27,42	5,79	7,50	23	0,42
							644	0,60	27,42	5,72	7,52	21	0,45
							645	0,80	27,41	5,56	7,54	20	0,52
							646	1,00	27,45	5,41	7,56	19	0,73
							647	1,20	27,52	4,74	7,57	17	1,49
5.20	0,90	Bigatta	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	648	651	648	0,20	25,92	3,66	7,42	22	0,40
							649	0,40	25,79	3,55	7,45	20	0,42
							650	0,60	25,71	3,40	7,47	19	0,42
							651	0,80	25,59	3,25	7,48	18	0,43
5.35	1,10	Fiscala	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	652	655	652	0,20	24,82	3,15	7,41	20	0,43
							653	0,40	24,82	3,17	7,43	19	0,43
							654	0,60	24,81	3,17	7,44	18	0,43
							655	0,80	24,82	3,17	7,44	18	0,43
5.45	0,55	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	656	657	656	0,20	25,00	3,67	7,34	25	0,38
							657	0,40	24,61	3,90	7,37	22	0,41

6.00	1,10	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	658	662	658	0,20	26,65	4,74	7,46	20	0,39
							659	0,40	26,62	4,70	7,49	18	0,38
							660	0,60	26,62	4,65	7,50	17	0,39
							661	0,80	26,62	4,58	7,52	16	0,39
							662	1,00	26,58	4,51	7,53	15	0,39
6.15	0,90	Bigatta	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	663	666	663	0,20	24,73	2,85	7,40	22	0,44
							664	0,40	24,74	2,83	7,41	20	0,44
							665	0,60	24,73	2,82	7,43	18	0,43
							666	0,80	24,71	2,77	7,44	17	0,43
6.35	0,90	Fiscala	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	667	670	667	0,20	24,63	3,55	7,37	22	0,39
							668	0,40	24,63	3,53	7,39	21	0,40
							669	0,60	24,62	3,51	7,40	20	0,40
							670	0,80	24,61	3,47	7,41	19	0,40
6.55	0,60	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	671	672	671	0,20	24,69	3,20	7,33	24	0,38
							672	0,40	24,39	3,48	7,35	22	0,40
7.10	1,05	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	673	677	673	0,20	25,57	3,05	7,40	20	0,43
							674	0,40	25,62	3,01	7,41	18	0,43
							675	0,60	25,48	2,96	7,42	17	0,43
							676	0,80	25,41	2,91	7,43	16	0,44
							677	1,00	25,45	2,89	7,44	15	0,44
7.30	0,80	Bigatta	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	678	680	678	0,20	24,47	3,40	7,35	23	0,39
							679	0,40	24,46	3,33	7,38	21	0,39
							680	0,60	24,46	3,28	7,39	20	0,39
7.45	0,85	Fiscala	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	681	684	681	0,20	24,39	3,53	7,34	25	0,39
							682	0,40	24,39	3,48	7,35	23	0,39
							683	0,60	24,39	3,42	7,36	22	0,39
							684	0,80	24,36	3,43	7,36	21	0,40
8.00	0,55	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	685	686	685	0,20	24,53	4,33	7,30	26	0,36

							686	0,40	24,46	4,46	7,32	25	0,36
8.15	1,00	Visdomina	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	687	691	687	0,20	24,97	3,21	7,32	25	0,43
							688	0,40	24,91	3,20	7,33	24	0,43
							689	0,60	24,93	3,21	7,34	23	0,43
							690	0,80	24,86	3,18	7,35	21	0,42
							691	0,80	24,88	3,17	7,35	20	0,43
8.30	0,75	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	692	694	692	0,20	24,47	3,82	7,29	27	0,39
							693	0,40	24,48	3,75	7,32	25	0,39
							694	0,60	24,48	3,68	7,34	24	0,39
8.55	0,90	Fiscala	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	695	698	695	0,20	24,74	4,65	7,26	29	0,36
							696	0,40	24,71	4,60	7,28	27	0,36
							697	0,60	24,71	4,42	7,30	26	0,36
							698	0,80	24,70	4,41	7,31	25	0,37
9.10	0,50	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, \$	699	700	0,20	25,32	6,28	7,29	29	0,32	
						700	0,40	25,25	6,25	7,31	27	0,33	

**6.3 REPORT CAMPAGNA DI MISURE DEL 31 LUGLIO, 1-2
AGOSTO 2007**

CAMPAGNA DI MISURA 31 LUGLIO, 1-2 AGOSTO 2007

DATA : 31/7/'07

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
8.10	1,10	Visdomina	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, %	701	705	701	0,20	22,76	2,73	7,16	48	0,42
							702	0,40	22,77	2,66	7,19	46	0,42
							703	0,60	22,77	2,65	7,22	44	0,42
							704	0,80	22,77	2,63	7,25	42	0,42
							705	1,00	22,79	2,58	7,28	41	0,43
8.50	0,85	Bigatta	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, %	706	709	706	0,20	22,54	3,19	7,35	37	0,36
							707	0,40	22,60	3,11	7,36	35	0,36
							708	0,60	22,61	2,87	7,37	33	0,36
							709	0,80	22,61	2,79	7,38	32	0,36
9.10	0,90	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, %	710	713	710	0,20	22,56	3,80	7,39	37	0,36
							711	0,40	22,56	3,81	7,41	35	0,35
							712	0,60	22,56	3,72	7,42	33	0,35
							713	0,80	22,52	3,72	7,43	32	0,34
9.30	0,60	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, %	714	715	714	0,20	22,48	5,90	7,34	38	0,37
							715	0,40	22,42	5,91	7,37	36	0,38
9.45	1,25	Visdomina	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	716	721	716	0,20	23,03	3,15	7,39	34	0,54
							717	0,40	23,05	3,15	7,42	32	0,54
							718	0,60	23,06	3,19	7,43	31	0,55
							719	0,80	23,07	3,11	7,44	30	0,55
							720	1,00	23,08	3,26	7,45	29	0,56
							721	1,20	23,09	3,25	7,46	28	0,56

10.10	0,90	Bigatta	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	722	725	722	0,20	22,84	3,05	7,42	33	0,39
							723	0,40	22,82	2,96	7,44	31	0,39
							724	0,60	22,80	2,88	7,45	30	0,39
							725	0,80	22,81	2,82	7,46	28	0,40
10.25	1,10	Fiscala	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	726	730	726	0,20	22,80	3,23	7,40	33	0,36
							727	0,40	22,81	3,12	7,42	32	0,37
							728	0,60	22,80	3,15	7,43	31	0,37
							729	0,80	22,79	3,14	7,44	30	0,37
							730	1,00	22,79	3,10	7,45	29	0,37
10.40	0,70	Cervese	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	731	732	731	0,20	22,92	4,70	7,43	31	0,35
							732	0,40	22,91	4,53	7,45	30	0,35
11.00	1,50	Visdomina	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, %	733	738	733	0,20	23,19	4,18	7,52	26	0,78
							734	0,40	23,19	4,13	7,53	25	0,79
							735	0,60	23,19	4,10	7,54	24	0,79
							736	0,80	23,21	4,22	7,55	23	0,83
							737	1,00	23,21	4,20	7,56	23	0,85
							738	1,20	23,22	4,24	7,57	22	0,88
11.25	1,10	Bigatta	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, \$, %	739	743	739	0,20	23,23	3,68	7,51	29	0,58
							740	0,40	23,22	3,59	7,52	28	0,58
							741	0,60	23,22	3,57	7,54	26	0,59
							742	0,80	23,22	3,50	7,55	25	0,59
							743	1,00	23,23	3,55	7,56	24	0,60
11.45	1,25	Fiscala	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, \$, %	744	749	744	0,20	23,15	4,19	7,50	30	0,49
							745	0,40	23,17	4,15	7,52	26	0,49
							746	0,60	23,17	4,13	7,53	24	0,49
							747	0,80	23,18	4,22	7,56	23	0,50
							748	1,00	23,18	4,25	7,58	22	0,50
							749	1,20	23,18	4,16	7,59	22	0,51

12.05	0,80	Cervese	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	750	752	750	0,20	22,93	3,32	7,54	25	0,38
							751	0,40	22,93	3,25	7,55	24	0,39
							752	0,60	22,93	3,09	7,56	23	0,39
12.40	1,65	Visdomina	entrante ca. 0,15 m/s	torbida, \$, %	753	759	753	0,20	23,64	5,14	7,65	19	3,13
							754	0,40	23,65	5,02	7,66	18	3,13
							755	0,60	23,64	4,86	7,67	17	3,13
							756	0,80	23,64	4,86	7,67	16	3,13
							757	1,00	23,64	4,83	7,68	15	3,13
							758	1,20	23,64	4,68	7,69	14	3,13
							759	1,40	23,64	4,61	7,69	13	3,13
12.50	1,30	Bigatta	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	760	764	760	0,20	23,66	4,52	7,63	21	0,72
							761	0,40	23,54	4,54	7,65	18	0,74
							762	0,60	23,49	4,45	7,66	17	0,74
							763	0,80	23,40	4,10	7,67	16	0,75
							764	1,00	23,37	3,89	7,68	15	0,76
13.10	1,40	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	765	770	765	0,20	24,41	4,91	7,65	21	0,61
							766	0,40	23,71	4,64	7,66	19	0,62
							767	0,60	23,54	3,87	7,67	17	0,62
							768	0,80	23,43	3,75	7,68	16	0,61
							769	1,00	23,42	3,77	7,69	15	0,62
							770	1,20	23,38	3,47	7,70	15	0,62
13.35	0,80	Cervese	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	771	773	771	0,20	24,11	5,03	7,63	20	0,45
							772	0,40	23,55	4,06	7,64	18	0,46
							773	0,60	23,37	3,46	7,65	17	0,45
14.15	1,65	Visdomina	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	774	779	774	0,20	24,67	7,05	7,75	16	3,03
							775	0,40	24,48	7,00	7,76	15	3,06
							776	0,60	24,40	6,81	7,76	14	3,07
							777	0,80	24,32	6,60	7,76	13	3,08

							778	1,00	24,27	6,39	7,76	13	3,09
							779	1,20	24,25	6,34	7,77	12	3,09
14.35	1,25	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	780	784	780	0,20	24,37	6,05	7,72	19	0,65
							781	0,40	24,10	5,32	7,73	16	0,66
							782	0,60	24,09	5,26	7,73	15	0,65
							783	0,80	24,09	5,12	7,73	14	0,65
							784	1,00	24,10	5,18	7,74	14	0,64
14.55	1,30	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	785	790	785	0,20	24,56	5,59	7,68	19	0,48
							786	0,40	24,35	5,34	7,69	17	0,50
							787	0,60	24,26	5,08	7,70	16	0,50
							788	0,80	24,24	5,01	7,71	15	0,49
							789	1,00	24,21	4,78	7,72	14	0,49
							790	1,20	24,20	4,84	7,72	13	0,49
15.15	0,70	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	791	793	791	0,20	25,02	6,81	7,72	19	0,40
							792	0,40	24,60	6,67	7,73	17	0,40
							793	0,60	24,40	5,64	7,75	16	0,41
15.35	1,50	Visdomina	uscente ca. 0,05 m/s	torbida	794	799	794	0,20	25,08	6,86	7,77	15	2,20
							795	0,40	24,99	6,79	7,78	14	2,14
							796	0,60	24,78	6,61	7,78	13	2,14
							797	0,80	24,65	6,59	7,78	12	2,17
							798	1,00	24,52	6,75	7,79	12	2,30
							799	1,20	24,52	5,98	7,79	11	2,58
15.55	1,20	Bigatta	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	800	804	800	0,20	25,17	6,50	7,75	16	0,53
							801	0,40	24,63	5,97	7,76	14	0,55
							802	0,60	24,57	5,62	7,76	13	0,55
							803	0,80	24,56	5,35	7,77	12	0,54
							804	1,00	24,55	5,57	7,77	12	0,54
16.15	1,30	Fiscala	uscente ca. 0,15 m/s	torbida	805	810	805	0,20	24,79	7,00	7,78	17	0,42

							806	0,40	24,78	6,98	7,79	15	0,43
							807	0,60	24,77	6,99	7,80	14	0,42
							808	0,80	24,69	6,94	7,80	13	0,42
							809	1,00	24,68	6,81	7,81	13	0,41
							810	1,20	24,61	6,49	7,81	12	0,40
16.35	0,70	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	811	813	811	0,20	26,18	9,10	7,79	15	0,38
							812	0,40	25,65	7,86	7,80	13	0,38
							813	0,60	25,58	7,89	7,80	12	0,38
16.55	1,40	Visdomina	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	814	819	814	0,20	24,76	7,21	7,75	17	0,86
							815	0,40	24,75	6,94	7,75	15	0,86
							816	0,60	24,72	6,73	7,76	14	0,86
							817	0,80	24,73	6,67	7,77	13	0,85
							818	1,00	24,75	6,63	7,78	12	0,84
							819	1,20	24,76	6,63	7,79	11	0,82
17.15	1,10	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	820	824	820	0,20	24,94	6,98	7,70	19	0,43
							821	0,40	24,89	6,84	7,71	17	0,43
							822	0,60	24,86	6,76	7,72	16	0,42
							823	0,80	24,85	6,76	7,74	15	0,42
							824	1,00	24,85	6,54	7,74	14	0,42
17.35	1,20	Fiscalà	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	825	830	825	0,20	25,56	8,12	7,75	18	0,38
							826	0,40	25,52	7,92	7,76	16	0,37
							827	0,60	25,49	7,72	7,77	15	0,37
							828	0,80	25,47	7,86	7,79	14	0,37
							829	1,00	25,47	7,67	7,80	13	0,37
							830	1,20	25,49	7,38	7,80	12	0,37
18.00	0,65	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	831	833	831	0,20	25,90	8,50	7,67	21	0,41
							832	0,40	25,86	8,48	7,69	19	0,41
							833	0,60	25,83	8,31	7,71	18	0,40

18.20	1,30	Visdomina	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, %	834	838	834	0,20	24,90	6,31	7,66	20	0,53
							835	0,40	24,91	6,12	7,68	19	0,52
							836	0,60	24,91	6,17	7,69	18	0,51
							837	0,80	24,90	6,16	7,70	18	0,51
							838	1,00	24,92	6,11	7,71	17	0,51
18.40	1,00	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	839	843	839	0,20	25,53	7,68	7,71	20	0,37
							840	0,40	25,54	7,76	7,72	19	0,38
							841	0,60	25,53	7,55	7,73	18	0,38
							842	0,80	25,55	7,68	7,74	17	0,37
							843	1,00	25,54	7,59	7,75	17	0,38
19.05	1,10	Fiscala	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	844	848	844	0,20	25,77	8,11	7,72	21	0,40
							845	0,40	25,69	7,99	7,73	19	0,40
							846	0,60	25,58	8,04	7,74	18	0,40
							847	0,80	25,47	7,78	7,75	17	0,39
							848	1,00	25,42	7,52	7,76	17	0,39
19.20	0,60	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	849	851	849	0,20	25,21	7,80	7,66	23	0,39
							850	0,40	25,27	7,86	7,69	21	0,40
							851	0,60	25,37	7,75	7,70	20	0,42
19.40	1,25	Visdomina	appena uscente ca. 0,03 m/s	torbida, £	852	857	852	0,20	24,74	6,28	7,61	25	0,45
							853	0,40	24,75	6,28	7,63	23	0,45
							854	0,60	24,75	6,03	7,64	22	0,46
							855	0,80	24,76	5,96	7,66	21	0,46
							856	1,00	24,76	5,90	7,67	20	0,46
							857	1,20	24,76	5,63	7,68	19	0,46
20.00	0,95	Bigatta	uscente ca. 0,05 m/s	torbida, £	858	861	858	0,20	25,30	7,39	7,71	22	0,39
							859	0,40	25,30	6,83	7,73	19	0,39
							860	0,60	25,28	6,14	7,74	18	0,39
							861	0,80	25,23	6,15	7,75	17	0,39

20.30	1,15	Fiscala	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £	862	866	862	0,20	25,00	7,30	7,65	22	0,40
							863	0,40	25,01	7,29	7,69	20	0,40
							864	0,60	25,05	7,27	7,71	19	0,40
							865	0,80	25,07	7,15	7,73	18	0,40
							866	1,00	25,11	6,99	7,74	17	0,40
21.00	0,70	Cervese	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £	867	869	867	0,20	24,81	6,69	7,63	25	0,42
							868	0,40	24,83	6,81	7,66	23	0,42
							869	0,60	24,84	6,98	7,68	22	0,42
21.20	1,45	Visdomina	entrante ca. 0,2 m/s	torbida	870	875	870	0,20	24,40	6,09	7,57	26	0,67
							871	0,40	24,37	6,09	7,59	25	0,66
							872	0,60	24,38	6,11	7,61	24	0,68
							873	0,80	24,37	6,06	7,62	23	0,68
							874	1,00	24,36	6,07	7,63	23	0,69
875	1,20	24,36	6,01	7,64	22	0,70							
21.40	1,25	Bigatta	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, £	876	880	876	0,20	24,67	6,78	7,71	26	0,42
							877	0,40	24,63	6,80	7,74	25	0,42
							878	0,60	24,63	6,89	7,75	23	0,42
							879	0,80	24,62	6,79	7,76	22	0,42
							880	1,00	24,60	6,74	7,76	21	0,43
21.55	1,35	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	881	886	881	0,20	24,89	6,44	7,62	25	0,39
							882	0,40	24,91	6,37	7,65	24	0,39
							883	0,60	24,91	6,05	7,67	22	0,39
							884	0,80	24,91	5,85	7,70	21	0,39
							885	1,00	24,91	5,80	7,71	20	0,39
							886	1,20	24,91	5,80	7,71	20	0,39
22.20	0,80	Cervese	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida, £	887	889	887	0,20	24,51	5,82	7,61	26	0,40
							888	0,40	24,57	5,99	7,64	24	0,40
							889	0,60	24,55	5,81	7,65	23	0,40

CAMPAGNA DI MISURA 31 LUGLIO, 1-2 AGOSTO 2007

DATA : 1-2/8/07

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
21.45	1,30	Visdomina	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	890	895	890	0,20	24,71	7,60	7,58	20	0,47
							891	0,40	24,66	7,61	7,61	19	0,47
							892	0,60	24,70	7,45	7,64	18	0,48
							893	0,80	24,71	7,37	7,65	17	0,48
							894	1,00	24,72	7,08	7,65	16	0,49
							895	1,20	24,73	6,74	7,66	15	0,50
22.10	1,05	Bigatta	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	896	899	896	0,20	24,81	6,85	7,70	22	0,39
							897	0,40	24,82	6,83	7,73	20	0,39
							898	0,60	24,79	6,87	7,74	19	0,39
							899	0,80	24,79	6,72	7,74	18	0,39
22.30	1,20	Fiscala	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £, \$	900	904	900	0,20	24,48	6,07	7,64	22	0,37
							901	0,40	24,51	5,79	7,66	20	0,37
							902	0,60	24,49	5,78	7,67	19	0,37
							903	0,80	24,47	6,18	7,68	18	0,37
							904	1,00	24,43	5,96	7,69	17	0,37
23.00	0,70	Cervese	entrante ca. 0,03 m/s	torbida, £	905	907	905	0,20	24,12	6,28	7,65	26	0,40
							906	0,40	24,15	6,36	7,67	24	0,39
							907	0,60	24,15	5,98	7,68	23	0,39
23.15	1,40	Visdomina	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £	908	913	908	0,20	23,89	6,14	7,56	23	0,68
							909	0,40	23,92	6,06	7,58	22	0,69
							910	0,60	23,90	6,01	7,61	21	0,71

							911	0,80	23,88	5,94	7,62	20	0,72
							912	1,00	23,86	5,96	7,63	20	0,73
							913	1,20	23,87	5,89	7,63	19	0,76
23.40	1,20	Bigatta	entrante ca. 0,15 m/s	torbida, £	914	918	914	0,20	24,50	6,95	7,70	23	0,41
							915	0,40	24,50	6,79	7,72	21	0,41
							916	0,60	24,49	7,04	7,75	19	0,42
							917	0,80	24,48	7,02	7,76	18	0,42
							918	1,00	24,48	6,92	7,76	18	0,42
0.05	1,30	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	919	924	919	0,20	24,29	5,99	7,63	23	0,38
							920	0,40	24,32	5,90	7,66	21	0,38
							921	0,60	24,30	5,84	7,67	20	0,38
							922	0,80	24,30	5,59	7,68	19	0,38
							923	1,00	24,28	5,50	7,68	18	0,38
							924	1,20	24,23	5,48	7,69	17	0,38
0.40	0,75	Cervese	appena entrante ca. 0,005 m/s	torbida, £	925	927	925	0,20	23,77	5,30	7,61	27	0,39
							926	0,40	23,77	5,30	7,65	25	0,39
							927	0,60	23,77	5,26	7,66	24	0,39
1.00	1,40	Visdomina	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	928	933	928	0,20	23,30	5,61	7,58	24	0,86
							929	0,40	23,64	5,57	7,62	22	1,19
							930	0,60	24,21	5,11	7,65	20	2,79
							931	0,80	24,59	4,00	7,68	18	5,89
							932	1,00	24,66	3,17	7,69	17	6,63
							933	1,20	24,67	3,16	7,69	16	6,85
1.30	1,15	Bigatta	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, £, \$	934	938	934	0,20	24,14	6,41	7,70	23	0,41
							935	0,40	24,15	6,37	7,72	21	0,41
							936	0,60	24,14	6,45	7,74	20	0,41
							937	0,80	24,11	6,40	7,75	19	0,41
							938	1,00	24,12	6,06	7,76	18	0,41

1.50	1,25	Fiscala	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	939	944	939	0,20	23,60	6,17	7,68	23	0,38
							940	0,40	23,58	6,12	7,71	22	0,38
							941	0,60	23,57	6,05	7,72	21	0,38
							942	0,80	23,55	6,12	7,73	20	0,37
							943	1,00	23,54	6,05	7,73	19	0,37
							944	1,20	23,53	5,78	7,74	19	0,37
2.15	0,65	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	945	947	945	0,20	22,94	5,34	7,60	26	0,46
							946	0,40	22,88	5,23	7,61	24	0,47
							947	0,60	22,87	5,21	7,61	23	0,47

6.4 REPORT CAMPAGNA DI MISURE DEL 9-13 AGOSTO 2007

CAMPAGNA DI MISURA 9-13 AGOSTO 2007

DATA : 9/8/07 (TRAMONTO)

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
18.20	1,55	Visdomina	appena entrante ca. 0,02 m/s	torbida, %	1	7	1	0,20	24,41	4,04	8,47	36	0,52
							2	0,40	24,44	3,95	8,49	35	0,52
							3	0,60	24,40	3,73	8,51	34	0,53
							4	0,80	24,36	3,21	8,52	33	0,53
							5	1,00	24,36	2,77	8,54	33	0,55
							6	1,20	24,34	2,70	8,55	32	0,57
							7	1,40	24,35	2,66	8,55	31	0,58
18.50	1,25	Bigatta	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £, %	8	12	8	0,20	24,22	4,38	8,45	36	0,35
							9	0,40	24,23	4,05	8,48	35	0,36
							10	0,60	24,22	4,00	8,50	34	0,36
							11	0,80	24,23	3,75	8,51	33	0,36
							12	1,00	24,21	3,60	8,52	33	0,36
19.10	1,45	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$, %	13	18	13	0,20	24,39	5,36	8,40	39	0,36
							14	0,40	24,38	5,30	8,44	37	0,36
							15	0,60	24,33	5,21	8,47	36	0,35
							16	0,80	24,31	4,97	8,49	36	0,34
							17	1,00	24,29	4,81	8,50	35	0,34
							18	1,20	24,27	4,70	8,50	34	0,34
19.30	1,00	Cervese	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, %	19	22	19	0,20	26,33	6,83	8,50	36	0,41
							20	0,40	26,31	6,59	8,54	34	0,41
							21	0,60	26,30	6,03	8,58	32	0,41

							22	0,80	26,32	5,82	8,60	31	0,41
19.50	1,60	Visdomina	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, %	23	29	23	0,20	24,17	3,30	8,42	40	0,59
							24	0,40	24,22	3,25	8,44	38	0,59
							25	0,60	24,25	3,13	8,47	36	0,60
							26	0,80	24,30	2,97	8,49	35	0,67
							27	1,00	24,31	2,92	8,51	34	0,74
							28	1,20	24,33	2,45	8,52	33	0,90
							29	1,40	24,33	2,43	8,52	32	0,98
20.15	1,30	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, %	30	35	30	0,20	24,09	4,18	8,46	38	0,36
							31	0,40	24,09	4,13	8,49	37	0,35
							32	0,60	24,08	3,99	8,51	35	0,35
							33	0,80	24,08	3,79	8,53	34	0,35
							34	1,00	24,07	3,50	8,54	33	0,35
							35	1,20	24,06	3,30	8,54	32	0,35
20.45	1,50	Fiscala	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, %	36	42	36	0,20	24,42	5,01	8,52	35	0,39
							37	0,40	24,40	4,96	8,55	34	0,39
							38	0,60	24,37	4,82	8,57	33	0,38
							39	0,80	24,36	4,74	8,58	32	0,38
							40	1,00	24,34	4,65	8,59	32	0,38
							41	1,20	24,33	4,58	8,59	31	0,37
							42	1,40	24,31	4,45	8,59	31	0,37
21.10	0,90	Cervese	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	43	46	43	0,20	25,80	5,72	8,57	34	0,45
							44	0,40	25,80	5,34	8,60	33	0,45
							45	0,60	25,79	5,01	8,62	31	0,46
							46	0,80	25,79	4,79	8,62	30	0,46
21.35	1,60	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida	47	54	47	0,20	24,01	2,76	8,46	37	0,54
							48	0,40	24,08	2,57	8,49	36	0,58
							49	0,60	24,10	2,48	8,51	34	0,66

							50	0,80	24,12	2,38	8,52	33	0,79
							51	1,00	24,01	1,63	8,53	31	1,82
							52	1,20	23,60	0,32	8,54	30	5,16
							53	1,40	23,56	0,22	8,54	29	5,72
							54	1,40	23,55	0,23	8,54	29	5,81
21.55	1,30	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	55	60	55	0,20	23,89	3,95	8,50	37	0,35
							56	0,40	23,91	3,75	8,52	35	0,35
							57	0,60	23,91	3,60	8,54	34	0,35
							58	0,80	23,91	3,41	8,55	33	0,35
							59	1,00	23,91	3,33	8,56	32	0,35
							60	1,20	23,91	3,18	8,56	31	0,35
22.10	1,30	Fiscala	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	61	66	61	0,20	24,90	5,15	8,54	34	0,43
							62	0,40	24,96	5,08	8,56	33	0,43
							63	0,60	25,01	5,07	8,58	31	0,43
							64	0,80	25,00	4,90	8,59	30	0,43
							65	1,00	25,02	4,79	8,60	29	0,43
							66	1,20	25,02	4,62	8,60	28	0,43
22.30	0,90	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	67	70	67	0,20	25,33	5,27	8,52	35	0,47
							68	0,40	25,30	5,09	8,57	34	0,47
							69	0,60	25,25	4,76	8,59	33	0,48
							70	0,80	25,23	4,52	8,59	32	0,48

CAMPAGNA DI MISURA 9-13 AGOSTO 2007

DATA : 13/8/'07 (ALBA)

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	SEZIONE DI MISURA Ponte	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
5.30	1,05	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	71	74	71	0,20	23,60	4,51	8,63	28	0,37
							72	0,40	23,60	4,47	8,67	26	0,37
							73	0,60	23,59	4,32	8,69	25	0,37
							74	0,80	23,57	4,20	8,70	24	0,37
5.50	0,75	Bigatta	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	75	77	75	0,20	22,76	5,88	8,67	23	0,33
							76	0,40	22,76	5,71	8,71	22	0,33
							77	0,60	22,76	5,59	8,72	22	0,33
6.00	0,85	Fiscalà	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	78	81	78	0,20	22,55	6,31	8,69	22	0,33
							79	0,40	22,56	6,22	8,72	20	0,33
							80	0,60	22,55	6,08	8,73	19	0,33
							81	0,80	22,53	6,06	8,73	18	0,33
6.10	0,50	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	82	83	82	0,20	22,28	5,49	8,62	24	0,32
							83	0,40	22,27	5,41	8,64	22	0,32
6.25	0,95	Visdomina	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	84	88	84	0,20	22,92	4,90	8,57	26	0,35
							85	0,40	22,91	4,86	8,61	25	0,35
							86	0,60	22,89	4,82	8,63	24	0,35
							87	0,80	22,88	4,76	8,65	23	0,35
6.45	0,80	Bigatta	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	89	91	89	0,20	22,35	5,71	8,58	26	0,32
							90	0,40	22,34	5,64	8,62	25	0,32
							91	0,60	22,33	5,51	8,63	24	0,32

7.00	0,85	Fiscala	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	92	95	92	0,20	22,19	5,46	8,57	27	0,32
							93	0,40	22,19	5,31	8,60	26	0,32
							94	0,60	22,18	5,04	8,62	25	0,32
							95	0,80	22,18	4,88	8,62	25	0,32
7.15	0,50	Cervese	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	96	97	96	0,20	21,96	4,82	8,56	28	0,31
							97	0,40	21,93	4,71	8,58	27	0,32
7.30	0,95	Visdomina	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, £, \$	98	101	98	0,20	22,53	4,92	8,58	27	0,34
							99	0,40	22,55	4,82	8,60	26	0,34
							100	0,60	22,55	4,73	8,62	25	0,34
							101	0,80	22,56	4,65	8,62	25	0,34
7.45	0,75	Bigatta	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	102	104	102	0,20	22,11	5,10	8,56	29	0,32
							103	0,40	22,12	5,02	8,59	28	0,32
							104	0,60	22,09	4,86	8,60	27	0,31
8.00	0,85	Fiscala	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	105	108	105	0,20	22,00	4,73	8,57	29	0,32
							106	0,40	22,02	4,60	8,60	27	0,32
							107	0,60	21,90	4,53	8,61	26	0,31
							108	0,80	21,84	4,45	8,61	25	0,30
8.15	0,50	Cervese	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	109	110	109	0,20	21,73	4,82	8,56	28	0,34
							110	0,40	21,72	4,71	8,58	27	0,35
8.30	1,15	Visdomina	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £	111	115	111	0,20	22,86	5,22	8,54	31	0,39
							112	0,40	22,84	4,86	8,57	30	0,42
							113	0,60	22,83	4,49	8,59	29	0,43
							114	0,80	22,84	4,34	8,60	28	0,44
							115	1,00	22,85	4,11	8,60	28	0,44

6.5 Organizzazione dei dati e grafici

Per studiare l'andamento spazio-temporale dei parametri, all'interno di ogni singola stazione di misura, è stato necessario separare i dati per sezione, ordinandoli secondo la sequenza temporale.

In seguito si è cercato di rappresentare graficamente i parametri combinandoli fra loro, al fine di evidenziare i fenomeni biologici in atto.

I grafici costruiti per ogni sezione sono due: il primo mostra l'andamento di pH, DO ed ORP mentre nel secondo si è messo a confronto la variazione di T ed S rispetto all'andamento di DO. Nel primo grafico, l'asse principale riporta i valori di DO ed ORP, mentre sull'asse secondario sono riportati i valori del pH. In modo analogo, l'asse principale del secondo grafico è riferito a DO e T, mentre quello secondario a S.

In entrambi i grafici sono stati rappresentati i singoli set di misure in funzione del tempo, perciò, oltre alla variazione temporale, si può rilevare anche l'andamento spaziale sulla colonna d'acqua. Per questo motivo, eccezion fatta per la salinità (S), ogni set di misure è stato volutamente separato dagli altri eliminando la linea grafica. In questo modo, osservando ogni set da sinistra verso destra, si può rilevare la variazione dei parametri dalla superficie verso il fondo.

Di seguito sono riportati tutti i dati ed i relativi grafici di ogni sezione, ordinate da valle verso monte a partire della prima campagna di misura fino all'ultima.

PONTE DI VIA VISDOMINA

giorni: 17/7 dalle 9.40 alle 20.20

19/7 dalle 19.30 alle 8.15 del 20/7

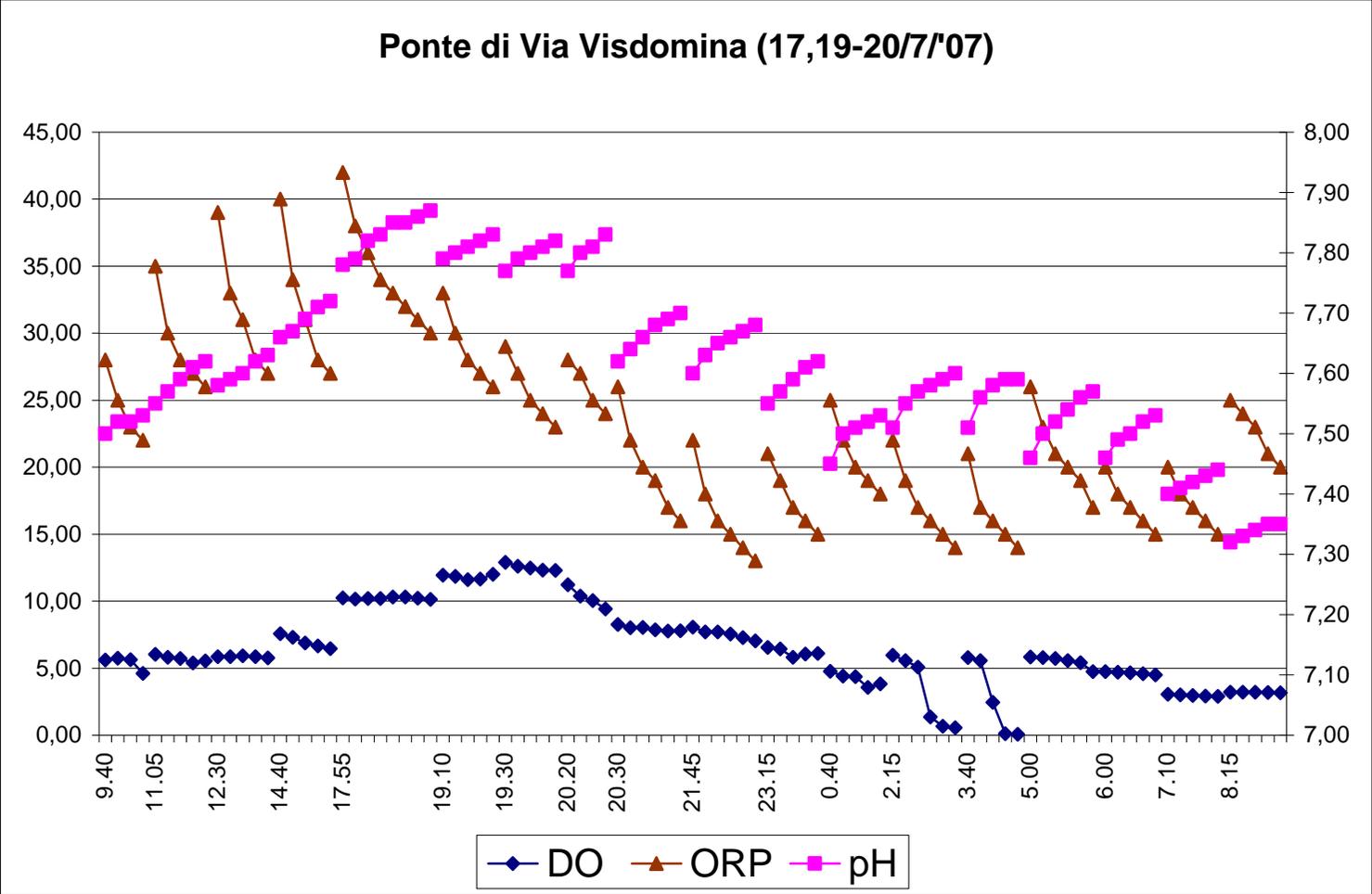
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
9.40	1,00	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	426	429	426	0,20	24,53	5,61	7,50	28	0,44
						427	0,40	24,65	5,74	7,52	25	0,44
						428	0,60	24,56	5,63	7,52	23	0,44
						429	0,80	24,43	4,62	7,53	22	0,46
11.05	1,25	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	437	441	437	0,20	25,97	6,03	7,55	35	0,58
						438	0,40	25,95	5,81	7,57	30	0,58
						439	0,60	25,93	5,73	7,59	28	0,58
						440	0,80	25,92	5,38	7,61	27	0,58
						441	1,00	25,94	5,54	7,62	26	0,59
12.30	1,30	entrante ca. 0,18 m/s	torbida	451	455	451	0,20	27,08	5,85	7,58	39	1,63
						452	0,40	27,13	5,86	7,59	33	1,72
						453	0,60	27,15	5,93	7,60	31	1,76
						454	0,80	27,15	5,85	7,62	28	1,85
						455	1,00	27,15	5,78	7,63	27	1,91
14.40	1,50	entrante ca. 0,13 m/s	torbida	466	470	466	0,20	27,99	7,58	7,66	40	4,42
						467	0,40	27,72	7,31	7,67	34	4,56
						468	0,60	27,67	6,88	7,69	31	4,71
						469	0,80	27,71	6,66	7,71	28	4,78
						470	1,00	27,67	6,47	7,72	27	4,86
17.55	1,30	uscente ca.0,05 m/s	torbida	479	486	479	0,20	28,59	10,25	7,78	42	0,91
						480	0,40	28,58	10,15	7,79	38	0,92
						481	0,60	28,60	10,20	7,82	36	0,92
						482	0,80	28,58	10,20	7,83	34	0,91
						483	0,80	28,55	10,31	7,85	33	0,92

						484	1,00	28,55	10,31	7,85	32	0,92
						485	1,00	28,61	10,22	7,86	31	0,92
						486	1,20	28,59	10,14	7,87	30	0,91
19.10	1,20	uscente ca.0,1 m/s	torbida	496	500	496	0,20	28,41	11,93	7,79	33	0,59
						497	0,40	28,41	11,85	7,80	30	0,59
						498	0,60	28,40	11,61	7,81	28	0,60
						499	0,80	28,38	11,65	7,82	27	0,60
						500	1,00	28,37	12,00	7,83	26	0,60
19.30	1,30	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	523	527	523	0,20	29,30	12,90	7,77	29	1,87
						524	0,40	29,31	12,62	7,79	27	1,91
						525	0,60	29,29	12,48	7,80	25	1,91
						526	0,80	29,26	12,32	7,81	24	1,94
						527	1,00	29,24	12,30	7,82	23	1,95
20.20	1,10	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, \$	510	513	510	0,20	28,20	11,22	7,77	28	0,54
						511	0,40	28,20	10,39	7,80	27	0,54
						512	0,60	28,20	10,04	7,81	25	0,54
						513	0,80	28,19	9,42	7,83	24	0,54
20.30	1,25	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	539	544	539	0,20	28,98	8,26	7,62	26	0,85
						540	0,40	29,00	8,01	7,64	22	0,84
						541	0,60	28,99	8,05	7,66	20	0,85
						542	0,80	28,98	7,87	7,68	19	0,84
						543	1,00	28,95	7,77	7,69	17	0,85
						544	1,20	28,97	7,80	7,70	16	0,85
21.45	1,30	uscente ca. 0,05 m/s	torbida, \$	557	562	557	0,20	28,74	8,06	7,60	22	0,60
						558	0,40	28,75	7,71	7,63	18	0,61
						559	0,60	28,73	7,70	7,65	16	0,61
						560	0,80	28,73	7,56	7,66	15	0,61
						561	1,00	28,72	7,29	7,67	14	0,61

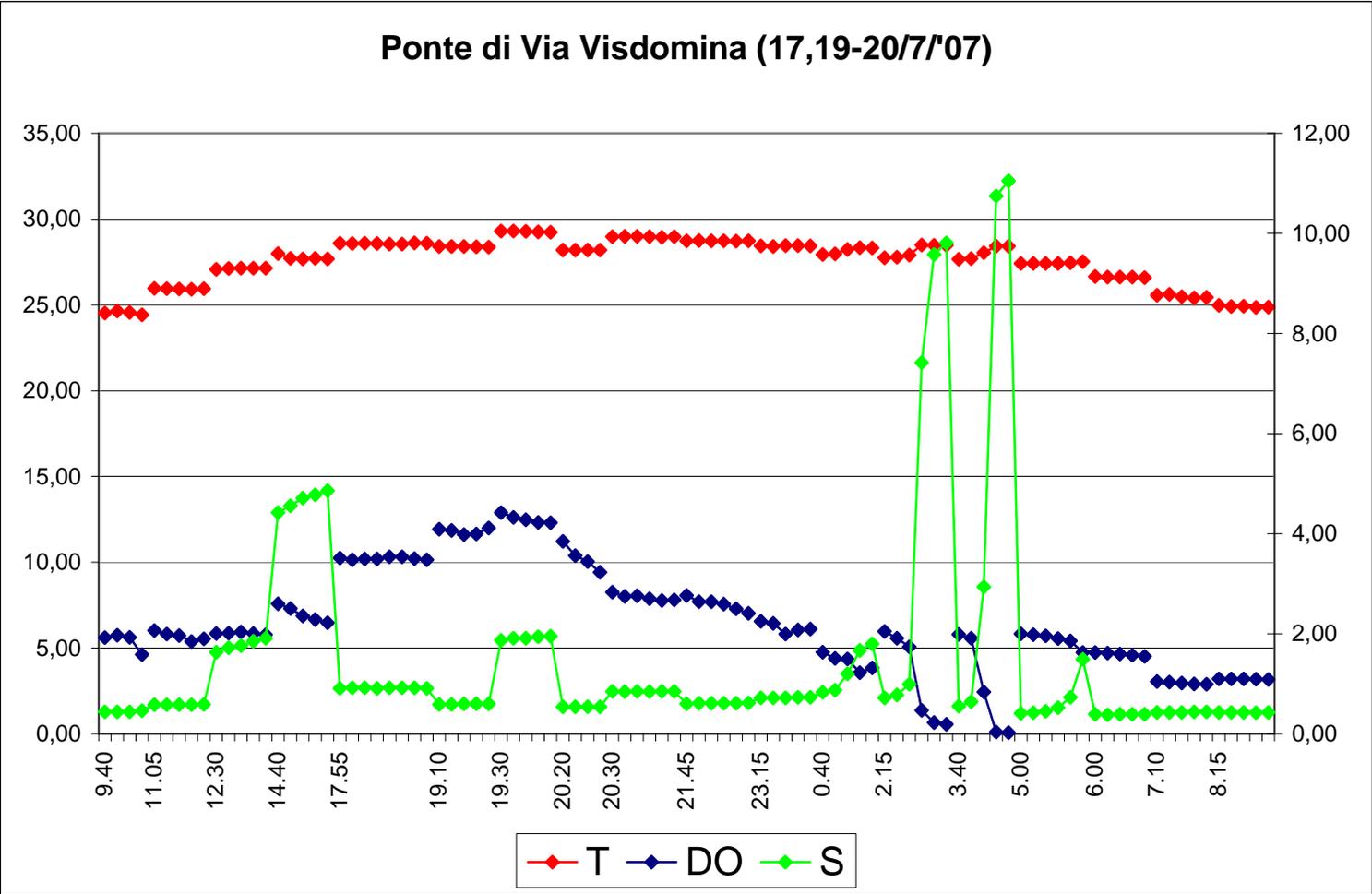
						562	1,20	28,74	7,03	7,68	13	0,62
23.15	1,30	entrante ca. 0,03 m/s	torbida	573	577	573	0,20	28,44	6,56	7,55	21	0,72
						574	0,40	28,41	6,44	7,57	19	0,72
						575	0,60	28,45	5,81	7,59	17	0,72
						576	0,80	28,45	6,05	7,61	16	0,73
						577	1,00	28,44	6,11	7,62	15	0,73
0.40	1,35	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida	590	594	590	0,20	27,93	4,76	7,45	25	0,83
						591	0,40	27,97	4,40	7,50	22	0,87
						592	0,60	28,23	4,36	7,51	20	1,20
						593	0,80	28,34	3,56	7,52	19	1,67
						594	1,00	28,31	3,84	7,53	18	1,80
2.15	1,35	uscente ca. 0,15 m/s	torbida	608	613	608	0,20	27,75	5,98	7,51	22	0,72
						609	0,40	27,79	5,58	7,55	19	0,78
						610	0,60	27,91	5,07	7,57	17	0,99
						611	0,80	28,49	1,37	7,58	16	7,42
						612	1,00	28,48	0,66	7,59	15	9,58
						613	1,20	28,48	0,56	7,60	14	9,81
3.40	1,30	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	626	630	626	0,20	27,66	5,80	7,51	21	0,55
						627	0,40	27,69	5,58	7,56	17	0,64
						628	0,60	28,05	2,44	7,58	16	2,94
						629	0,80	28,42	0,11	7,59	15	10,75
						630	1,00	28,42	0,07	7,59	14	11,05
5.00	1,25	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	642	647	642	0,20	27,41	5,84	7,46	26	0,41
						643	0,40	27,42	5,79	7,50	23	0,42
						644	0,60	27,42	5,72	7,52	21	0,45
						645	0,80	27,41	5,56	7,54	20	0,52
						646	1,00	27,45	5,41	7,56	19	0,73
						647	1,20	27,52	4,74	7,57	17	1,49

6.00	1,10	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	658	662	658	0,20	26,65	4,74	7,46	20	0,39
						659	0,40	26,62	4,70	7,49	18	0,38
						660	0,60	26,62	4,65	7,50	17	0,39
						661	0,80	26,62	4,58	7,52	16	0,39
						662	1,00	26,58	4,51	7,53	15	0,39
7.10	1,05	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	673	677	673	0,20	25,57	3,05	7,40	20	0,43
						674	0,40	25,62	3,01	7,41	18	0,43
						675	0,60	25,48	2,96	7,42	17	0,43
						676	0,80	25,41	2,91	7,43	16	0,44
						677	1,00	25,45	2,89	7,44	15	0,44
8.15	1,00	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	687	691	687	0,20	24,97	3,21	7,32	25	0,43
						688	0,40	24,91	3,20	7,33	24	0,43
						689	0,60	24,93	3,21	7,34	23	0,43
						690	0,80	24,86	3,18	7,35	21	0,42
						691	0,80	24,88	3,17	7,35	20	0,43

Ponte di Via Visdomina (17,19-20/7/'07)



Ponte di Via Visdomina (17,19-20/7/'07)



PONTE DI VIA BIGATTA

giorni: 17/7 dalle 10.00 alle 20.30

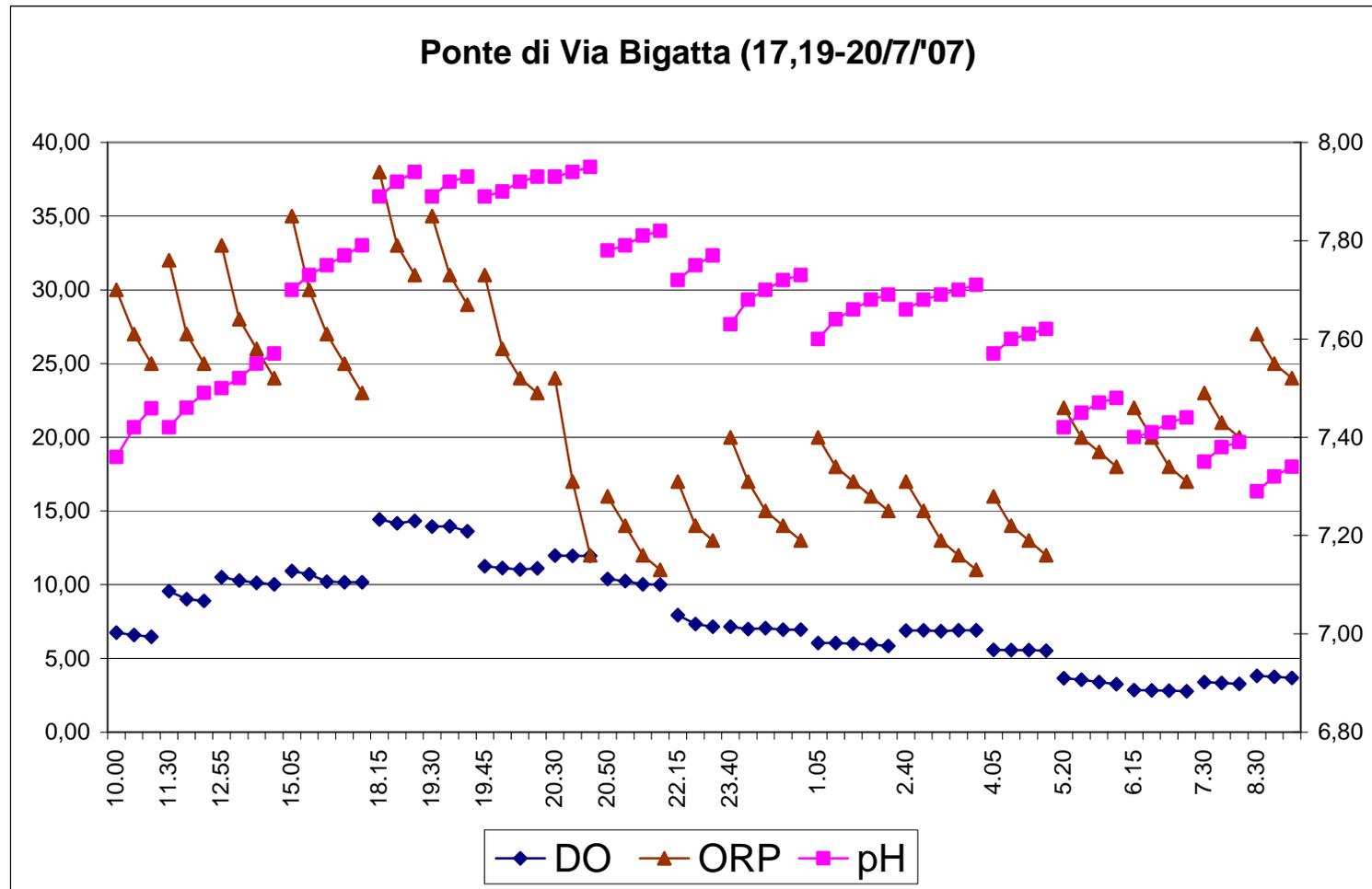
19/7 dalle 19.45 alle 8.30 del 20/7

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
10.00	0,70	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	430	432	430	0,20	24,40	6,75	7,36	30	0,34
						431	0,40	24,39	6,58	7,42	27	0,34
						432	0,60	24,29	6,46	7,46	25	0,35
11.30	0,80	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	442	444	442	0,20	25,45	9,57	7,42	32	0,41
						443	0,40	25,32	9,03	7,46	27	0,41
						444	0,60	25,34	8,90	7,49	25	0,41
12.55	1,10	entrante ca. 0,23 m/s	torbida	456	459	456	0,20	27,11	10,50	7,50	33	0,61
						457	0,40	27,06	10,28	7,52	28	0,61
						458	0,60	27,05	10,13	7,55	26	0,62
						459	0,80	27,02	10,02	7,57	24	0,62
15.05	1,05	appena uscente ca.0,03 m/s	torbida	471	475	471	0,20	28,43	10,92	7,70	35	1,04
						472	0,40	28,28	10,70	7,73	30	1,03
						473	0,60	28,04	10,20	7,75	27	1,02
						474	0,80	27,96	10,17	7,77	25	1,04
						475	1,00	27,93	10,17	7,79	23	1,04
18.15	1,05	uscente ca.0,05 m/s	torbida	487	489	487	0,20	28,81	14,43	7,89	38	0,42
						488	0,40	28,81	14,16	7,92	33	0,41
						489	0,60	28,80	14,33	7,94	31	0,41
19.30	0,90	uscente ca.0,15 m/s	torbida, \$	501	503	501	0,20	29,14	13,95	7,89	35	0,35
						502	0,40	29,14	13,97	7,92	31	0,35
						503	0,60	29,13	13,62	7,93	29	0,35
19.45	1,05	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	528	531	528	0,20	29,33	11,26	7,89	31	0,46
						529	0,40	29,34	11,13	7,90	26	0,45
						530	0,60	29,33	11,03	7,92	24	0,45

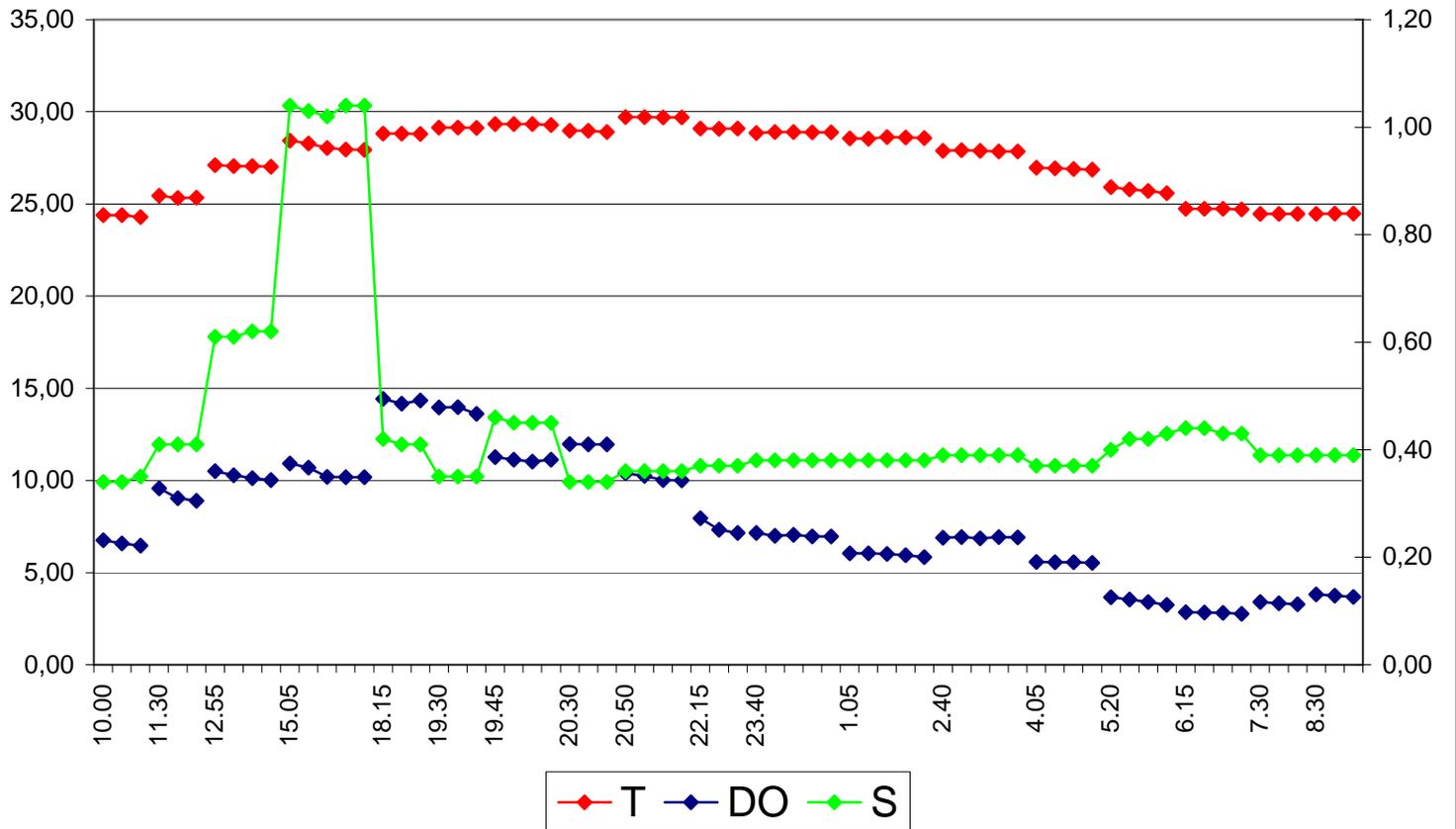
						531	0,80	29,29	11,12	7,93	23	0,45
20.30	0,90	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, \$	514	516	514	0,20	28,97	11,97	7,93	24	0,34
						515	0,40	28,97	11,96	7,94	17	0,34
						516	0,60	28,90	11,96	7,95	12	0,34
20.50	1,10	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	545	548	545	0,20	29,72	10,38	7,78	16	0,36
						546	0,40	29,72	10,25	7,79	14	0,36
						547	0,60	29,69	10,02	7,81	12	0,36
						548	0,80	29,70	10,01	7,82	11	0,36
22.15	1,10	appena uscente ca. 0,01 m/s	torbida, £, \$	563	565	563	0,20	29,09	7,94	7,72	17	0,37
						564	0,40	29,08	7,33	7,75	14	0,37
						565	0,60	29,09	7,16	7,77	13	0,37
23.40	1,10	entrante ca. 0,01 m/s	torbida	578	582	578	0,20	28,85	7,16	7,63	20	0,38
						579	0,40	28,91	7,00	7,68	17	0,38
						580	0,60	28,90	7,05	7,70	15	0,38
						581	0,80	28,88	6,96	7,72	14	0,38
						582	1,00	28,88	6,96	7,73	13	0,38
1.05	1,20	appena entrante ca.0,005 m/s	torbida	595	599	595	0,20	28,55	6,05	7,60	20	0,38
						596	0,40	28,54	6,04	7,64	18	0,38
						597	0,60	28,62	6,01	7,66	17	0,38
						598	0,80	28,60	5,95	7,68	16	0,38
						599	1,00	28,57	5,84	7,69	15	0,38
2.40	1,05	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	614	618	614	0,20	27,88	6,90	7,66	17	0,39
						615	0,40	27,92	6,92	7,68	15	0,39
						616	0,60	27,88	6,86	7,69	13	0,39
						617	0,80	27,85	6,92	7,70	12	0,39
						618	1,00	27,84	6,91	7,71	11	0,39
4.05	1,00	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	631	634	631	0,20	26,96	5,58	7,57	16	0,37
						632	0,40	26,93	5,56	7,60	14	0,37

						633	0,60	26,89	5,56	7,61	13	0,37
						634	0,80	26,87	5,53	7,62	12	0,37
5.20	0,90	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	648	651	648	0,20	25,92	3,66	7,42	22	0,40
						649	0,40	25,79	3,55	7,45	20	0,42
						650	0,60	25,71	3,40	7,47	19	0,42
						651	0,80	25,59	3,25	7,48	18	0,43
6.15	0,90	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	663	666	663	0,20	24,73	2,85	7,40	22	0,44
						664	0,40	24,74	2,83	7,41	20	0,44
						665	0,60	24,73	2,82	7,43	18	0,43
						666	0,80	24,71	2,77	7,44	17	0,43
7.30	0,80	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	678	680	678	0,20	24,47	3,40	7,35	23	0,39
						679	0,40	24,46	3,33	7,38	21	0,39
						680	0,60	24,46	3,28	7,39	20	0,39
8.30	0,75	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	692	694	692	0,20	24,47	3,82	7,29	27	0,39
						693	0,40	24,48	3,75	7,32	25	0,39
						694	0,60	24,48	3,68	7,34	24	0,39

Ponte di Via Bigatta (17,19-20/7/'07)



Ponte di Via Bigatta (17,19-20/7'07)



PONTE DI VIA FISCALA

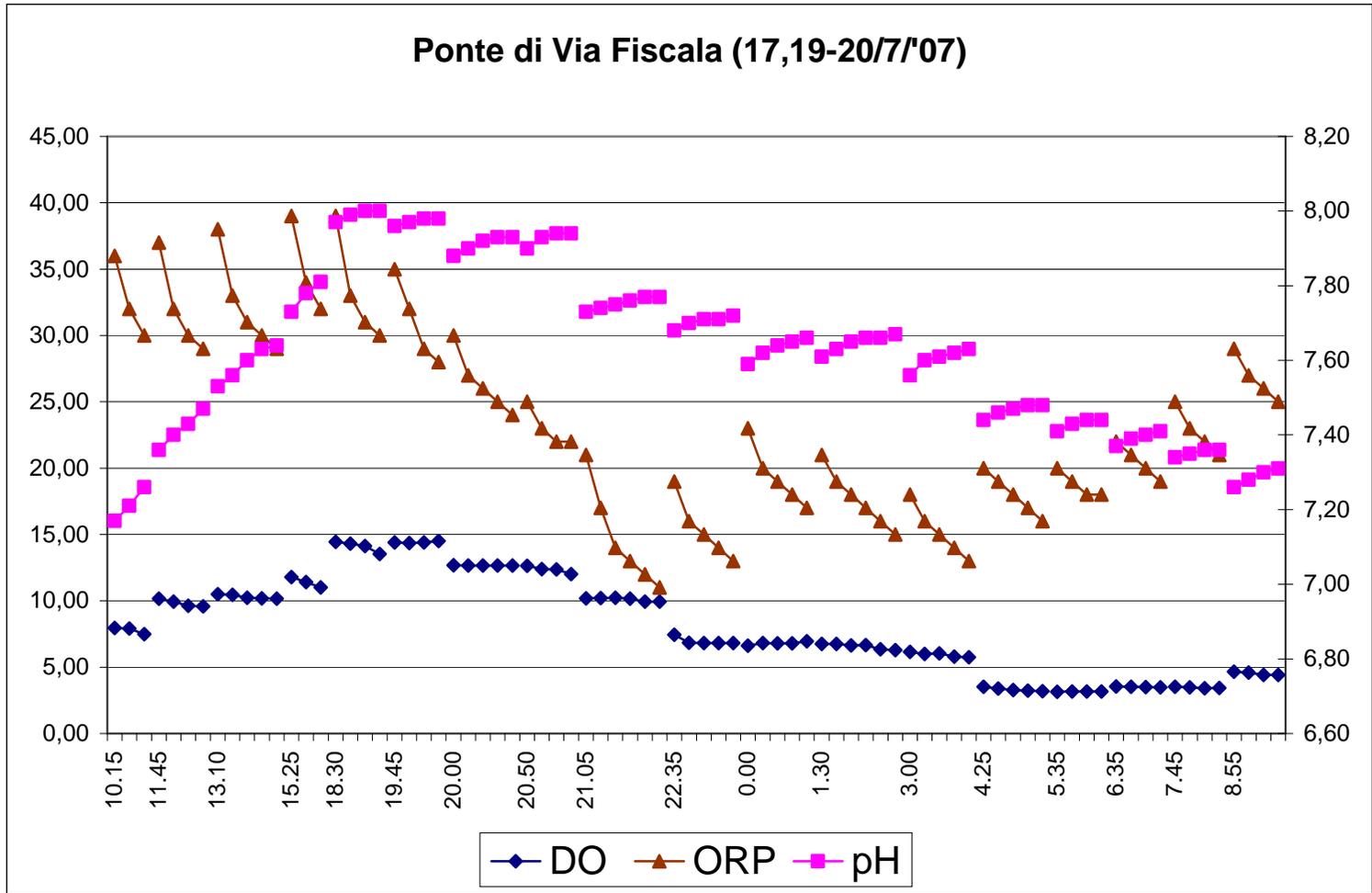
giorni: 17/7 dalle 10.15 alle 20.50
19/7 dalle 20.00 alle 8.55 del 20/7

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
10.15	0,80	appena uscente ca.0,003 m/s	torbida	433	435	433	0,20	24,63	7,95	7,17	36	0,31
						434	0,40	24,58	7,91	7,21	32	0,31
						435	0,60	24,52	7,50	7,26	30	0,33
11.45	1,00	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	445	448	445	0,20	25,62	10,17	7,36	37	0,36
						446	0,40	25,49	9,94	7,40	32	0,36
						447	0,60	25,45	9,63	7,43	30	0,36
						448	0,80	25,47	9,59	7,47	29	0,36
13.10	1,25	entrante ca. 0,22 m/s	torbida	460	464	460	0,20	27,05	10,50	7,53	38	0,52
						461	0,40	27,01	10,45	7,56	33	0,53
						462	0,60	27,01	10,22	7,60	31	0,53
						463	0,80	26,98	10,19	7,63	30	0,53
						464	1,00	27,00	10,16	7,64	29	0,53
15.25	1,20	appena uscente ca.0,03 m/s	torbida	476	478	476	0,20	28,29	11,79	7,73	39	0,58
						477	0,40	28,25	11,42	7,78	34	0,58
						478	0,60	27,98	11,00	7,81	32	0,59
18.30	1,10	uscente ca.0,08 m/s	torbida	490	493	490	0,20	29,44	14,45	7,97	39	0,35
						491	0,40	29,37	14,32	7,99	33	0,34
						492	0,60	29,35	14,14	8,00	31	0,34
						493	0,80	29,29	13,53	8,00	30	0,34
19.45	1,00	uscente ca.0,15 m/s	torbida, \$	504	507	504	0,20	29,29	14,39	7,96	35	0,35
						505	0,40	29,23	14,35	7,97	32	0,35
						506	0,60	29,19	14,40	7,98	29	0,35
						507	0,80	29,12	14,50	7,98	28	0,35
20.00	1,20	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, \$	532	536	532	0,20	29,91	12,69	7,88	30	0,36

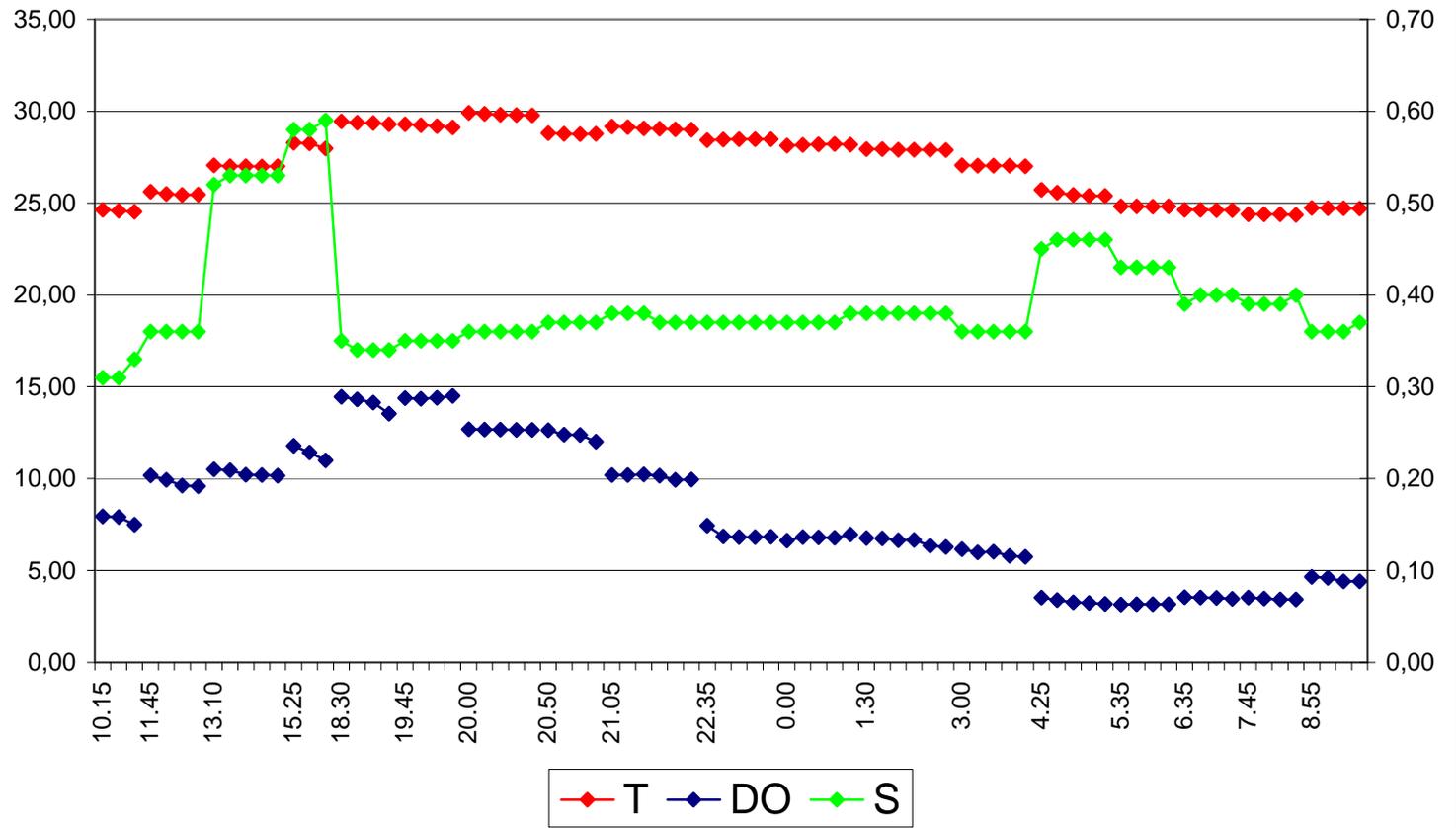
						533	0,40	29,86	12,67	7,90	27	0,36
						534	0,60	29,80	12,67	7,92	26	0,36
						535	0,80	29,79	12,66	7,93	25	0,36
						536	1,00	29,78	12,66	7,93	24	0,36
20.50	1,10	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida, £, \$	517	520	517	0,20	28,81	12,63	7,90	25	0,37
						518	0,40	28,76	12,40	7,93	23	0,37
						519	0,60	28,75	12,38	7,94	22	0,37
						520	0,80	28,76	12,02	7,94	22	0,37
21.05	1,20	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	549	554	549	0,20	29,17	10,19	7,73	21	0,38
						550	0,40	29,14	10,20	7,74	17	0,38
						551	0,60	29,06	10,23	7,75	14	0,38
						552	0,60	29,04	10,16	7,76	13	0,37
						553	0,80	29,01	9,93	7,77	12	0,37
						554	1,00	29,00	9,95	7,77	11	0,37
22.35	1,20	appena entrante ca. 0,005 m/s	torbida, £	566	570	566	0,20	28,42	7,45	7,68	19	0,37
						567	0,40	28,45	6,85	7,70	16	0,37
						568	0,60	28,47	6,82	7,71	15	0,37
						569	0,80	28,47	6,82	7,71	14	0,37
						570	1,00	28,47	6,83	7,72	13	0,37
0.00	1,20	entrante ca. 0,02 m/s	torbida, £	583	587	583	0,20	28,13	6,63	7,59	23	0,37
						584	0,40	28,16	6,82	7,62	20	0,37
						585	0,60	28,19	6,80	7,64	19	0,37
						586	0,80	28,21	6,79	7,65	18	0,37
						587	1,00	28,18	6,96	7,66	17	0,38
1.30	1,25	appena uscente ca. 0,02 m/s	torbida, £	600	605	600	0,20	27,93	6,76	7,61	21	0,38
						601	0,40	27,94	6,75	7,63	19	0,38
						602	0,60	27,90	6,64	7,65	18	0,38
						603	0,80	27,90	6,67	7,66	17	0,38

						604	1,00	27,90	6,36	7,66	16	0,38
						605	1,20	27,89	6,29	7,67	15	0,38
3.00	1,20	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	619	623	619	0,20	27,06	6,16	7,56	18	0,36
						620	0,40	27,04	5,99	7,60	16	0,36
						621	0,60	27,03	6,03	7,61	15	0,36
						622	0,80	27,03	5,80	7,62	14	0,36
						623	1,00	27,00	5,74	7,63	13	0,36
4.25	1,20	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	635	639	635	0,20	25,72	3,53	7,44	20	0,45
						636	0,40	25,57	3,39	7,46	19	0,46
						637	0,60	25,44	3,27	7,47	18	0,46
						638	0,80	25,40	3,24	7,48	17	0,46
						639	1,00	25,39	3,18	7,48	16	0,46
5.35	1,10	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	652	655	652	0,20	24,82	3,15	7,41	20	0,43
						653	0,40	24,82	3,17	7,43	19	0,43
						654	0,60	24,81	3,17	7,44	18	0,43
						655	0,80	24,82	3,17	7,44	18	0,43
6.35	0,90	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	667	670	667	0,20	24,63	3,55	7,37	22	0,39
						668	0,40	24,63	3,53	7,39	21	0,40
						669	0,60	24,62	3,51	7,40	20	0,40
						670	0,80	24,61	3,47	7,41	19	0,40
7.45	0,85	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	681	684	681	0,20	24,39	3,53	7,34	25	0,39
						682	0,40	24,39	3,48	7,35	23	0,39
						683	0,60	24,39	3,42	7,36	22	0,39
						684	0,80	24,36	3,43	7,36	21	0,40
8.55	0,90	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	695	698	695	0,20	24,74	4,65	7,26	29	0,36
						696	0,40	24,71	4,60	7,28	27	0,36
						697	0,60	24,71	4,42	7,30	26	0,36
						698	0,80	24,70	4,41	7,31	25	0,37

Ponte di Via Fiscala (17,19-20/7/'07)



Ponte di Via Fiscala (17,19-20/7/07)



PONTE DI VIA CERVESE

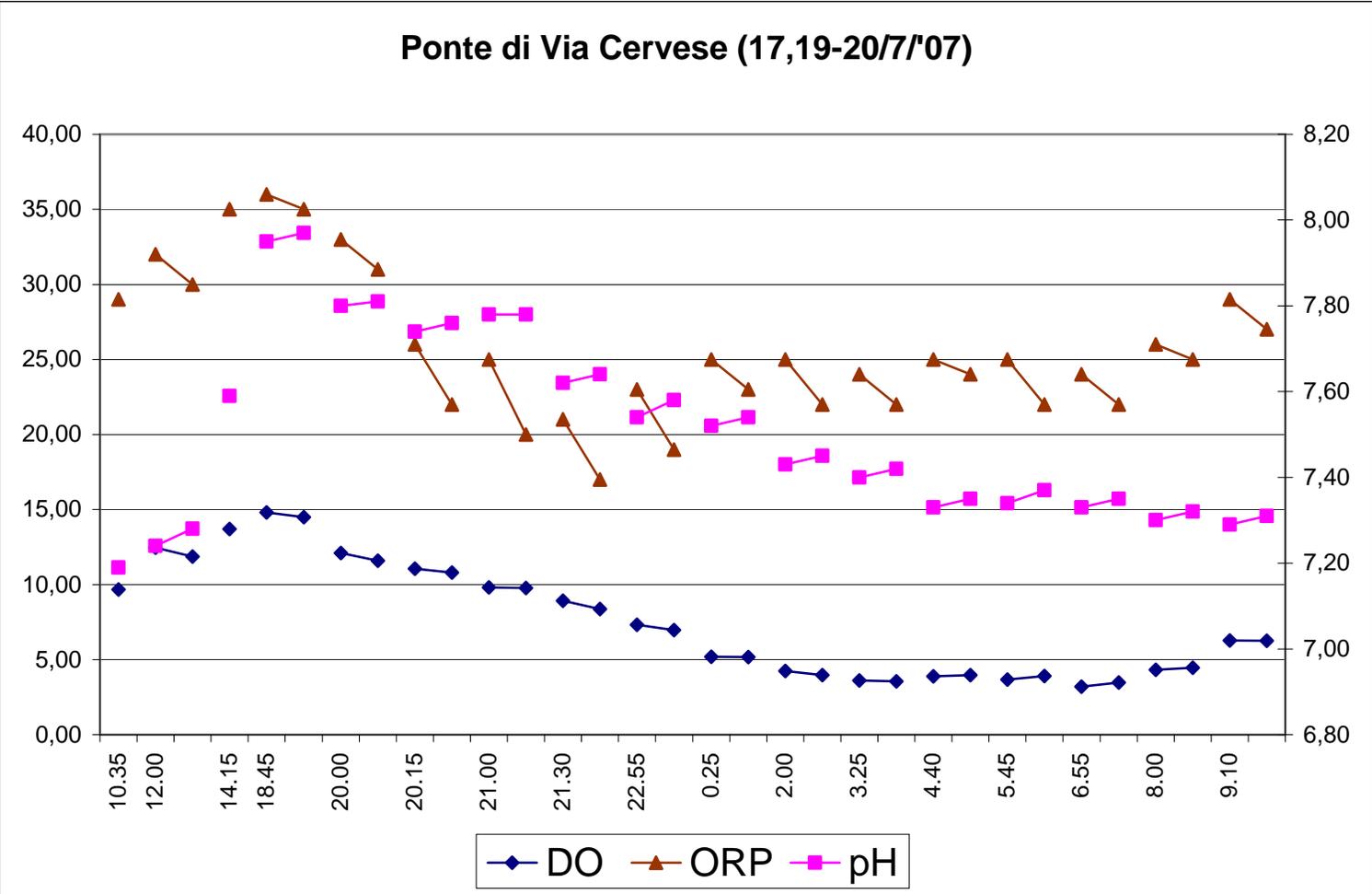
giorni: 17/7 dalle 10.35 alle 21.00

19/7 dalle 20.15 alle 9.10 del 20/7

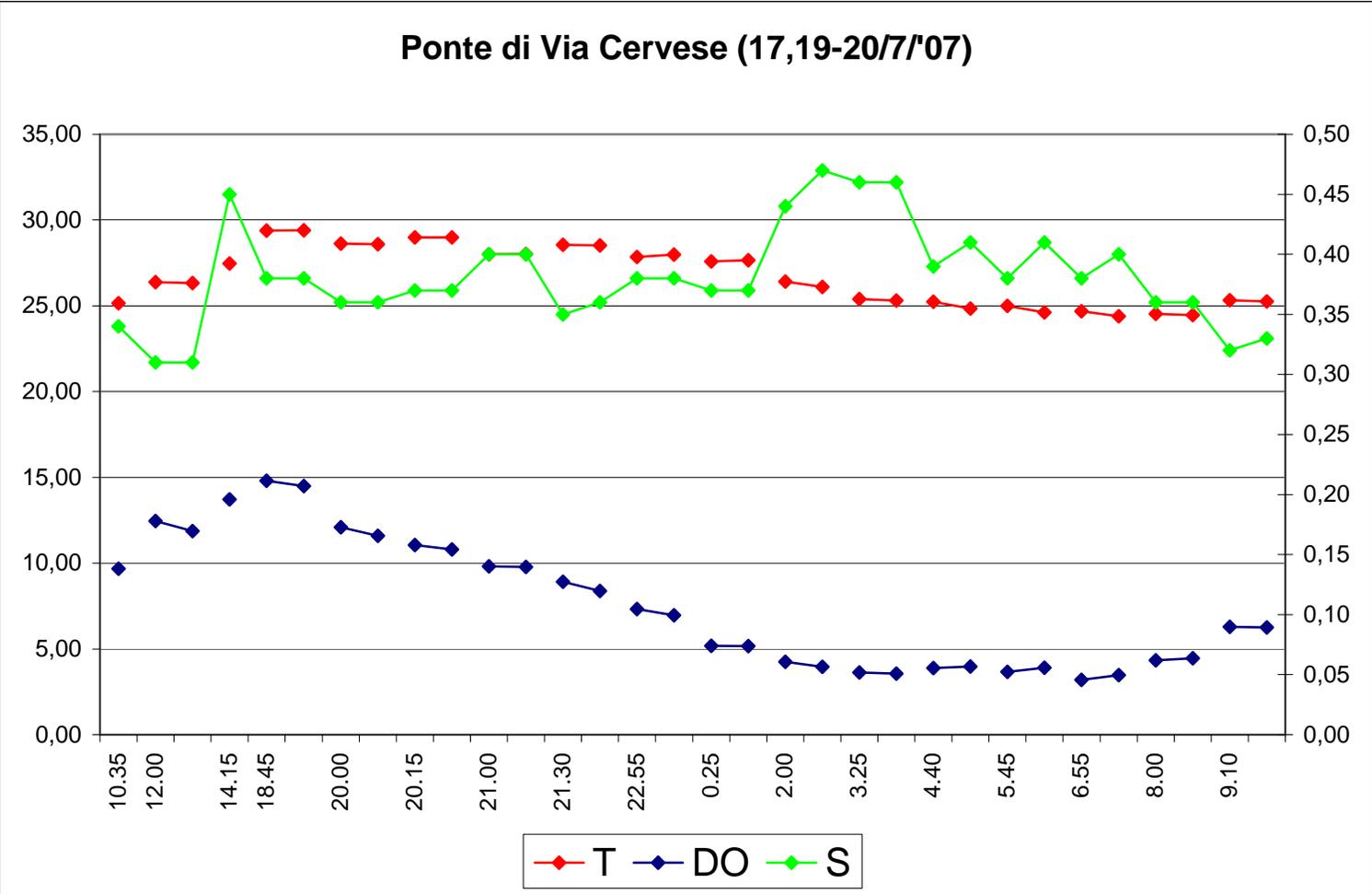
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
10.35	0,60	appena uscente ca. 0,003 m/s	torbida	436	436	436	0,20	25,16	9,67	7,19	29	0,34
12.00	0,60	entrante ca. 0,08 m/s	torbida	449	450	449	0,20	26,38	12,45	7,24	32	0,31
						450	0,40	26,32	11,87	7,28	30	0,31
14.15	0,80	entrante ca. 0,12 m/s	torbida	465	465	465	0,20	27,46	13,71	7,59	35	0,45
18.45	0,70	uscente ca.0,1 m/s	torbida, £	494	495	494	0,20	29,39	14,81	7,95	36	0,38
						495	0,40	29,41	14,49	7,97	35	0,38
20.00	0,70	uscente ca.0,20 m/s	torbida, £, \$	508	509	508	0,20	28,62	12,10	7,80	33	0,36
						509	0,40	28,59	11,59	7,81	31	0,36
20.15	0,70	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	537	538	537	0,20	28,99	11,06	7,74	26	0,37
						538	0,40	28,99	10,80	7,76	22	0,37
21.00	0,70	uscente ca. 0,03 m/s	torbida, £, \$	521	522	521	0,20	28,00	9,82	7,78	25	0,40
						522	0,40	28,02	9,77	7,78	20	0,40
21.30	0,70	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	555	556	555	0,20	28,55	8,92	7,62	21	0,35
						556	0,40	28,52	8,37	7,64	17	0,36
22.55	0,70	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida, £	571	572	571	0,20	27,85	7,32	7,54	23	0,38
						572	0,40	27,98	6,96	7,58	19	0,38
0.25	0,70	appena entrante ca. 0,001 m/s	torbida, £	588	589	588	0,20	27,59	5,19	7,52	25	0,37
						589	0,40	27,66	5,17	7,54	23	0,37
2.00	0,70	appena uscente ca. 0,02 m/s	torbida	606	607	606	0,20	26,42	4,25	7,43	25	0,44
						607	0,40	26,11	3,96	7,45	22	0,47
3.25	0,60	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	624	625	624	0,20	25,40	3,62	7,40	24	0,46
						625	0,40	25,31	3,56	7,42	22	0,46
4.40	0,60	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	640	641	640	0,20	25,24	3,89	7,33	25	0,39
						641	0,40	24,84	3,97	7,35	24	0,41

5.45	0,55	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	656	657	656	0,20	25,00	3,67	7,34	25	0,38
						657	0,40	24,61	3,90	7,37	22	0,41
6.55	0,60	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	671	672	671	0,20	24,69	3,20	7,33	24	0,38
						672	0,40	24,39	3,48	7,35	22	0,40
8.00	0,55	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	685	686	685	0,20	24,53	4,33	7,30	26	0,36
						686	0,40	24,46	4,46	7,32	25	0,36
9.10	0,50	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, \$	699	700	699	0,20	25,32	6,28	7,29	29	0,32
					700	700	0,40	25,25	6,25	7,31	27	0,33

Ponte di Via Cervese (17,19-20/7/'07)



Ponte di Via Cervese (17,19-20/7/'07)



PONTE DI VIA VISDOMINA

giorni: 31/7 dalle 8.10 alle 21.20

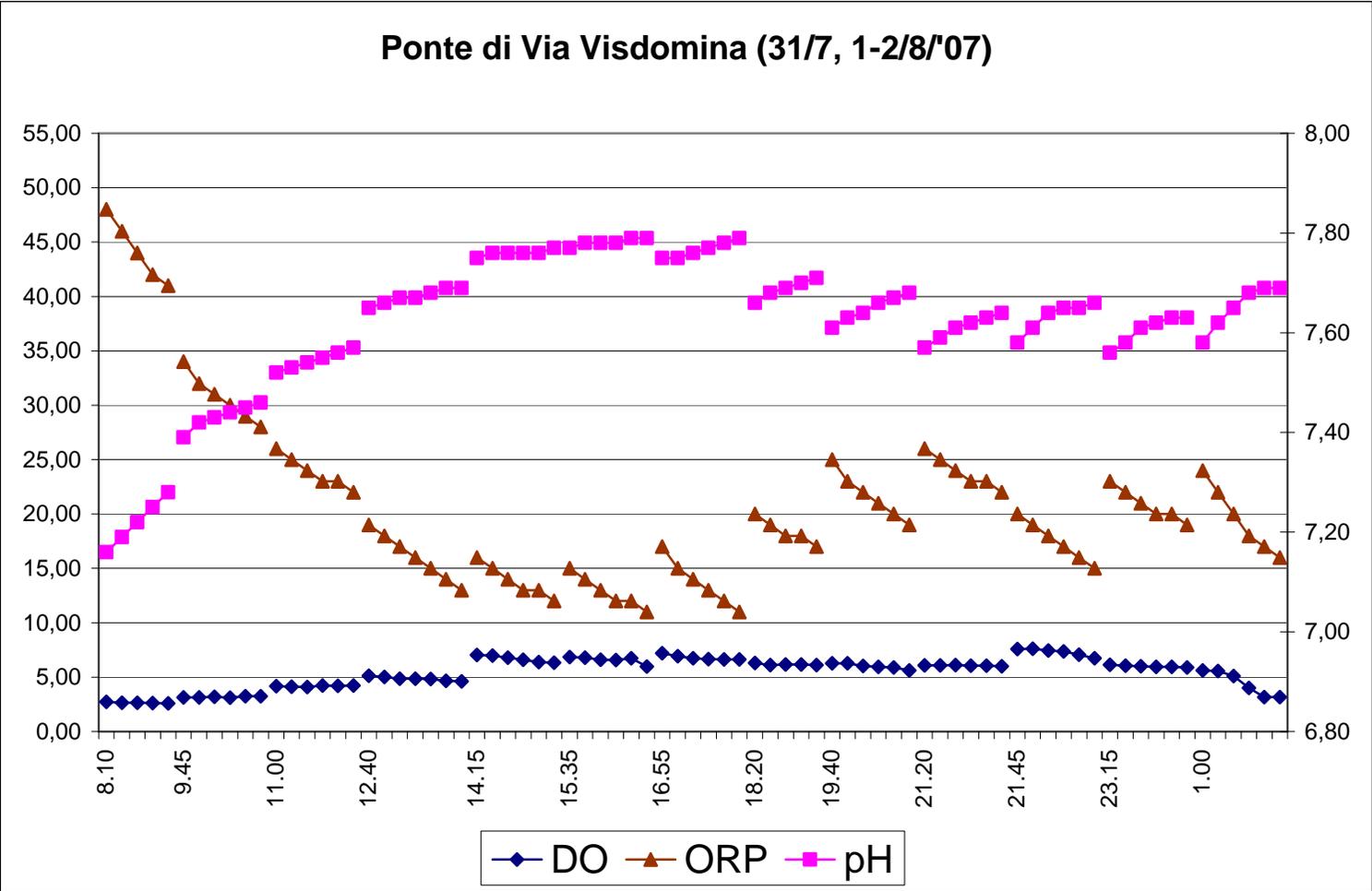
1/8 dalle 21.45 alle 1.00 del 2/8

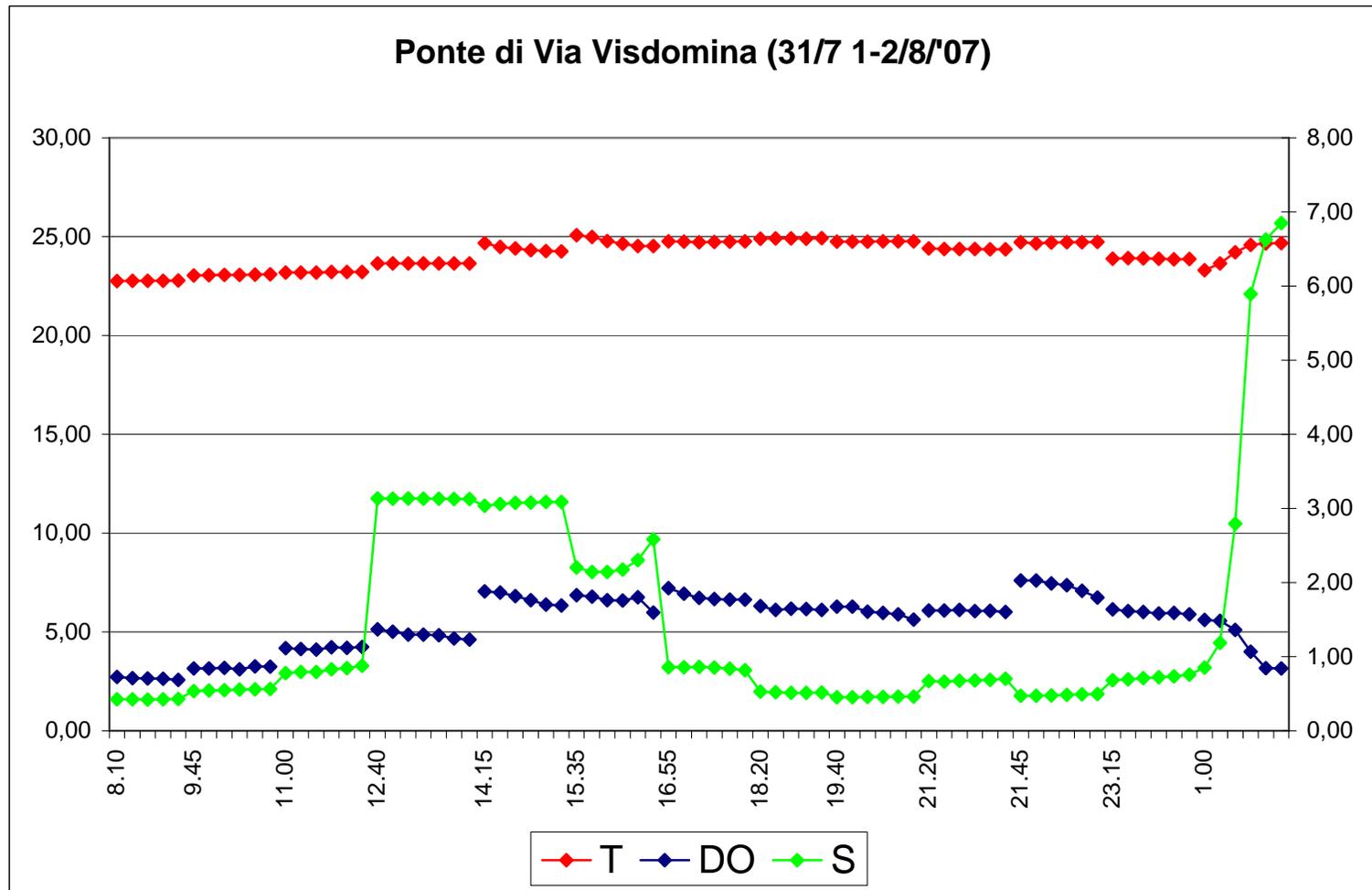
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
8.10	1,10	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, %	701	705	701	0,20	22,76	2,73	7,16	48	0,42
						702	0,40	22,77	2,66	7,19	46	0,43
						703	0,60	22,77	2,65	7,22	44	0,42
						704	0,80	22,77	2,63	7,25	42	0,42
						705	1,00	22,79	2,58	7,28	41	0,43
9.45	1,25	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	716	721	716	0,20	23,03	3,15	7,39	34	0,54
						717	0,40	23,05	3,15	7,42	32	0,54
						718	0,60	23,06	3,19	7,43	31	0,55
						719	0,80	23,07	3,11	7,44	30	0,55
						720	1,00	23,08	3,26	7,45	29	0,56
						721	1,20	23,09	3,25	7,46	28	0,56
11.00	1,50	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, %	733	738	733	0,20	23,19	4,18	7,52	26	0,78
						734	0,40	23,19	4,13	7,53	25	0,79
						735	0,60	23,19	4,10	7,54	24	0,79
						736	0,80	23,21	4,22	7,55	23	0,83
						737	1,00	23,21	4,20	7,56	23	0,85
						738	1,20	23,22	4,24	7,57	22	0,88
12.40	1,65	entrante ca. 0,15 m/s	torbida, \$, %	753	759	753	0,20	23,64	5,14	7,65	19	3,13
						754	0,40	23,65	5,02	7,66	18	3,13
						755	0,60	23,64	4,86	7,67	17	3,13
						756	0,80	23,64	4,86	7,67	16	3,13
						757	1,00	23,64	4,83	7,68	15	3,13
						758	1,20	23,64	4,68	7,69	14	3,13
						759	1,40	23,64	4,61	7,69	13	3,13

14.15	1,65	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	774	779	774	0,20	24,67	7,05	7,75	16	3,03
						775	0,40	24,48	7,00	7,76	15	3,06
						776	0,60	24,40	6,81	7,76	14	3,07
						777	0,80	24,32	6,60	7,76	13	3,08
						778	1,00	24,27	6,39	7,76	13	3,09
						779	1,20	24,25	6,34	7,77	12	3,09
						15.35	1,50	uscente ca. 0,05 m/s	torbida	794	799	794
795	0,40	24,99	6,79	7,78	14							2,14
796	0,60	24,78	6,61	7,78	13							2,14
797	0,80	24,65	6,59	7,78	12							2,17
798	1,00	24,52	6,75	7,79	12							2,30
799	1,20	24,52	5,98	7,79	11							2,58
16.55	1,40	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	814	819	814	0,20	24,76	7,21	7,75	17	0,86
						815	0,40	24,75	6,94	7,75	15	0,86
						816	0,60	24,72	6,73	7,76	14	0,86
						817	0,80	24,73	6,67	7,77	13	0,85
						818	1,00	24,75	6,63	7,78	12	0,84
						819	1,20	24,76	6,63	7,79	11	0,82
18.20	1,30	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, %	834	838	834	0,20	24,90	6,31	7,66	20	0,53
						835	0,40	24,91	6,12	7,68	19	0,52
						836	0,60	24,91	6,17	7,69	18	0,51
						837	0,80	24,90	6,16	7,70	18	0,51
						838	1,00	24,92	6,11	7,71	17	0,51
19.40	1,25	appena uscente ca. 0,03 m/s	torbida, £	852	857	852	0,20	24,74	6,28	7,61	25	0,45
						853	0,40	24,75	6,28	7,63	23	0,45
						854	0,60	24,75	6,03	7,64	22	0,46
						855	0,80	24,76	5,96	7,66	21	0,46
						856	1,00	24,76	5,90	7,67	20	0,46

						857	1,20	24,76	5,63	7,68	19	0,46
21.20	1,45	entrante ca. 0,2 m/s	torbida	870	875	870	0,20	24,40	6,09	7,57	26	0,67
						871	0,40	24,37	6,09	7,59	25	0,66
						872	0,60	24,38	6,11	7,61	24	0,68
						873	0,80	24,37	6,06	7,62	23	0,68
						874	1,00	24,36	6,07	7,63	23	0,69
						875	1,20	24,36	6,01	7,64	22	0,70
21.45	1,30	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	890	895	890	0,20	24,71	7,60	7,58	20	0,47
						891	0,40	24,66	7,61	7,61	19	0,47
						892	0,60	24,70	7,45	7,64	18	0,48
						893	0,80	24,71	7,37	7,65	17	0,48
						894	1,00	24,72	7,08	7,65	16	0,49
						895	1,20	24,73	6,74	7,66	15	0,50
23.15	1,40	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £	908	913	908	0,20	23,89	6,14	7,56	23	0,68
						909	0,40	23,92	6,06	7,58	22	0,69
						910	0,60	23,90	6,01	7,61	21	0,71
						911	0,80	23,88	5,94	7,62	20	0,72
						912	1,00	23,86	5,96	7,63	20	0,73
						913	1,20	23,87	5,89	7,63	19	0,76
1.00	1,40	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	928	933	928	0,20	23,30	5,61	7,58	24	0,86
						929	0,40	23,64	5,57	7,62	22	1,19
						930	0,60	24,21	5,11	7,65	20	2,79
						931	0,80	24,59	4,00	7,68	18	5,89
						932	1,00	24,66	3,17	7,69	17	6,63
						933	1,20	24,67	3,16	7,69	16	6,85

Ponte di Via Visdomina (31/7, 1-2/8'07)





PONTE DI VIA BIGATTA

giorni: 31/7 dalle 8.50 alle 21.40

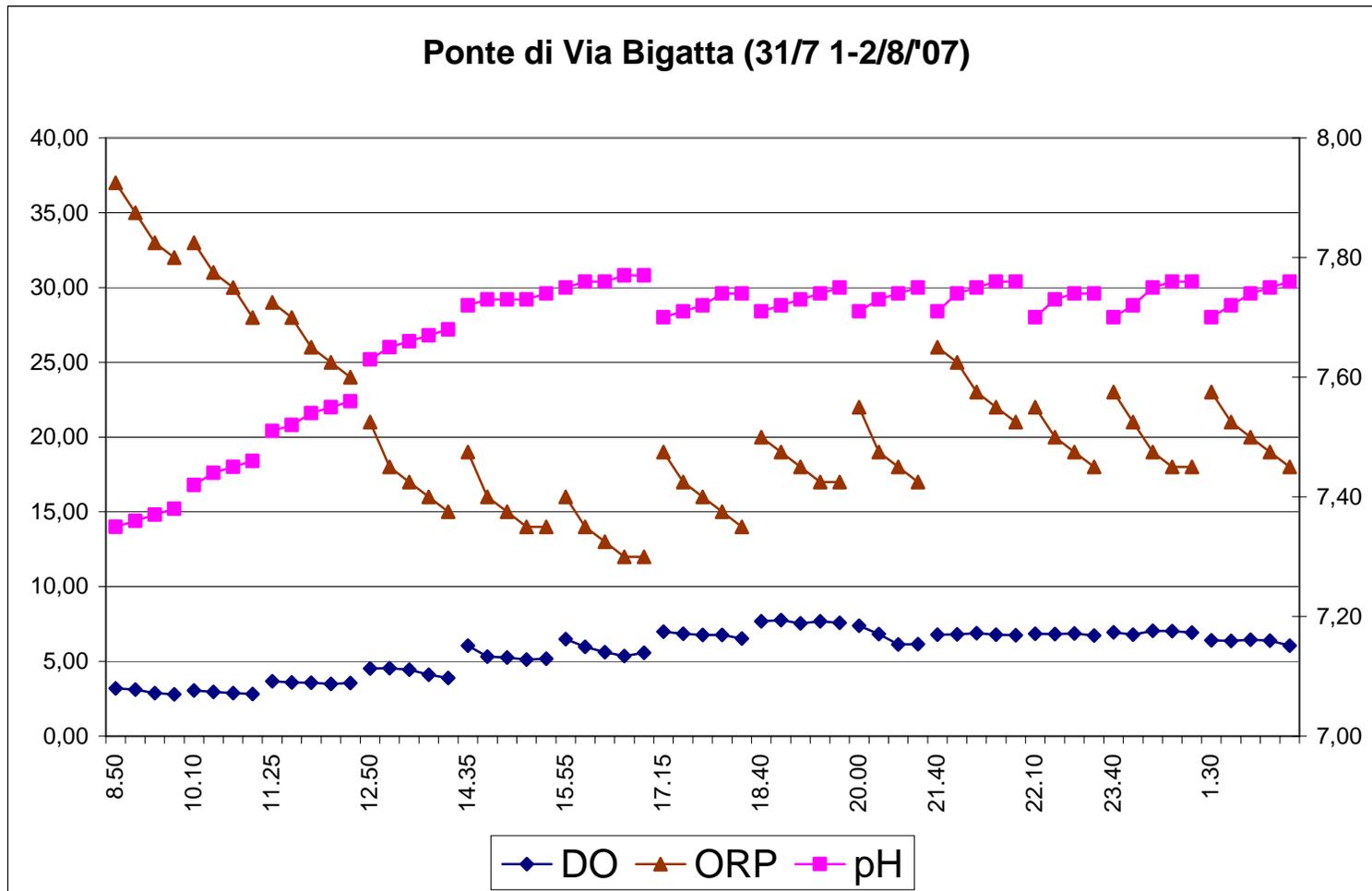
19/7 dalle 19.45 alle 8.30 del 20/7

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
8.50	0,85	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, %	706	709	706	0,20	22,54	3,19	7,35	37	0,36
						707	0,40	22,60	3,11	7,36	35	0,37
						708	0,60	22,61	2,87	7,37	33	0,36
						709	0,80	22,61	2,79	7,38	32	0,37
10.10	0,90	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	722	725	722	0,20	22,84	3,05	7,42	33	0,39
						723	0,40	22,82	2,96	7,44	31	0,39
						724	0,60	22,80	2,88	7,45	30	0,39
						725	0,80	22,81	2,82	7,46	28	0,40
11.25	1,10	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, \$, %	739	743	739	0,20	23,23	3,68	7,51	29	0,58
						740	0,40	23,22	3,59	7,52	28	0,58
						741	0,60	23,22	3,57	7,54	26	0,59
						742	0,80	23,22	3,50	7,55	25	0,59
						743	1,00	23,23	3,55	7,56	24	0,60
12.50	1,30	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	760	764	760	0,20	23,66	4,52	7,63	21	0,72
						761	0,40	23,54	4,54	7,65	18	0,74
						762	0,60	23,49	4,45	7,66	17	0,74
						763	0,80	23,40	4,10	7,67	16	0,75
						764	1,00	23,37	3,89	7,68	15	0,76
14.35	1,25	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	780	784	780	0,20	24,37	6,05	7,72	19	0,65
						781	0,40	24,10	5,32	7,73	16	0,66
						782	0,60	24,09	5,26	7,73	15	0,65
						783	0,80	24,09	5,12	7,73	14	0,65
						784	1,00	24,10	5,18	7,74	14	0,64
15.55	1,20	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	800	804	800	0,20	25,17	6,50	7,75	16	0,53

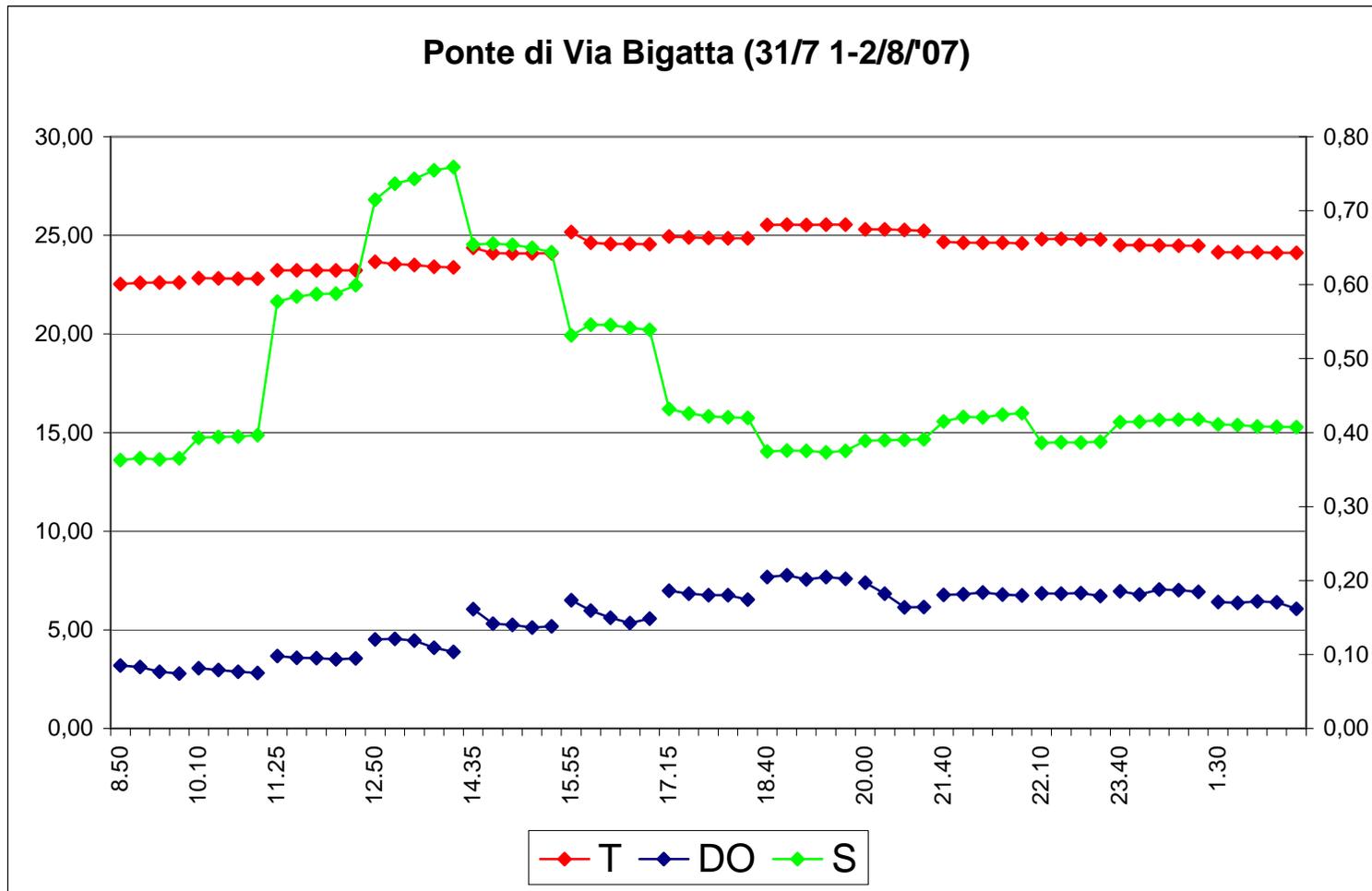
						801	0,40	24,63	5,97	7,76	14	0,55
						802	0,60	24,57	5,62	7,76	13	0,55
						803	0,80	24,56	5,35	7,77	12	0,54
						804	1,00	24,55	5,57	7,77	12	0,54
17.15	1,10	uscente ca. 0,2 m/s	torbida	820	824	820	0,20	24,94	6,98	7,70	19	0,43
						821	0,40	24,89	6,84	7,71	17	0,43
						822	0,60	24,86	6,76	7,72	16	0,42
						823	0,80	24,85	6,76	7,74	15	0,42
						824	1,00	24,85	6,54	7,74	14	0,42
18.40	1,05	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	839	843	839	0,20	25,53	7,68	7,71	20	0,37
						840	0,40	25,54	7,76	7,72	19	0,38
						841	0,60	25,53	7,55	7,73	18	0,38
						842	0,80	25,55	7,68	7,74	17	0,37
						843	1,00	25,54	7,59	7,75	17	0,38
20.00	0,95	uscente ca. 0,05 m/s	torbida, £	858	861	858	0,20	25,30	7,39	7,71	22	0,39
						859	0,40	25,30	6,83	7,73	19	0,39
						860	0,60	25,28	6,14	7,74	18	0,39
						861	0,80	25,23	6,15	7,75	17	0,39
21.40	1,25	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, £	876	880	876	0,20	24,67	6,78	7,71	26	0,42
						877	0,40	24,63	6,80	7,74	25	0,42
						878	0,60	24,63	6,89	7,75	23	0,42
						879	0,80	24,62	6,79	7,76	22	0,42
						880	1,00	24,60	6,74	7,76	21	0,43
22.10	1,05	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	896	899	896	0,20	24,81	6,85	7,70	22	0,39
						897	0,40	24,82	6,83	7,73	20	0,39
						898	0,60	24,79	6,87	7,74	19	0,39
						899	0,80	24,79	6,72	7,74	18	0,39
23.40	1,20	entrante ca. 0,15 m/s	torbida, £	914	918	914	0,20	24,50	6,95	7,70	23	0,41

						915	0,40	24,50	6,79	7,72	21	0,41
						916	0,60	24,49	7,04	7,75	19	0,42
						917	0,80	24,48	7,02	7,76	18	0,42
						918	1,00	24,48	6,92	7,76	18	0,42
1.30	1,15	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, £, \$	934	938	934	0,20	24,14	6,41	7,70	23	0,41
						935	0,40	24,15	6,37	7,72	21	0,41
						936	0,60	24,14	6,45	7,74	20	0,41
						937	0,80	24,11	6,40	7,75	19	0,41
						938	1,00	24,12	6,06	7,76	18	0,41

Ponte di Via Bigatta (31/7 1-2/8/07)



Ponte di Via Bigatta (31/7 1-2/8/07)



PONTE DI VIA FISCALA

giorni: 31/7 dalle 9.10 alle 21.55

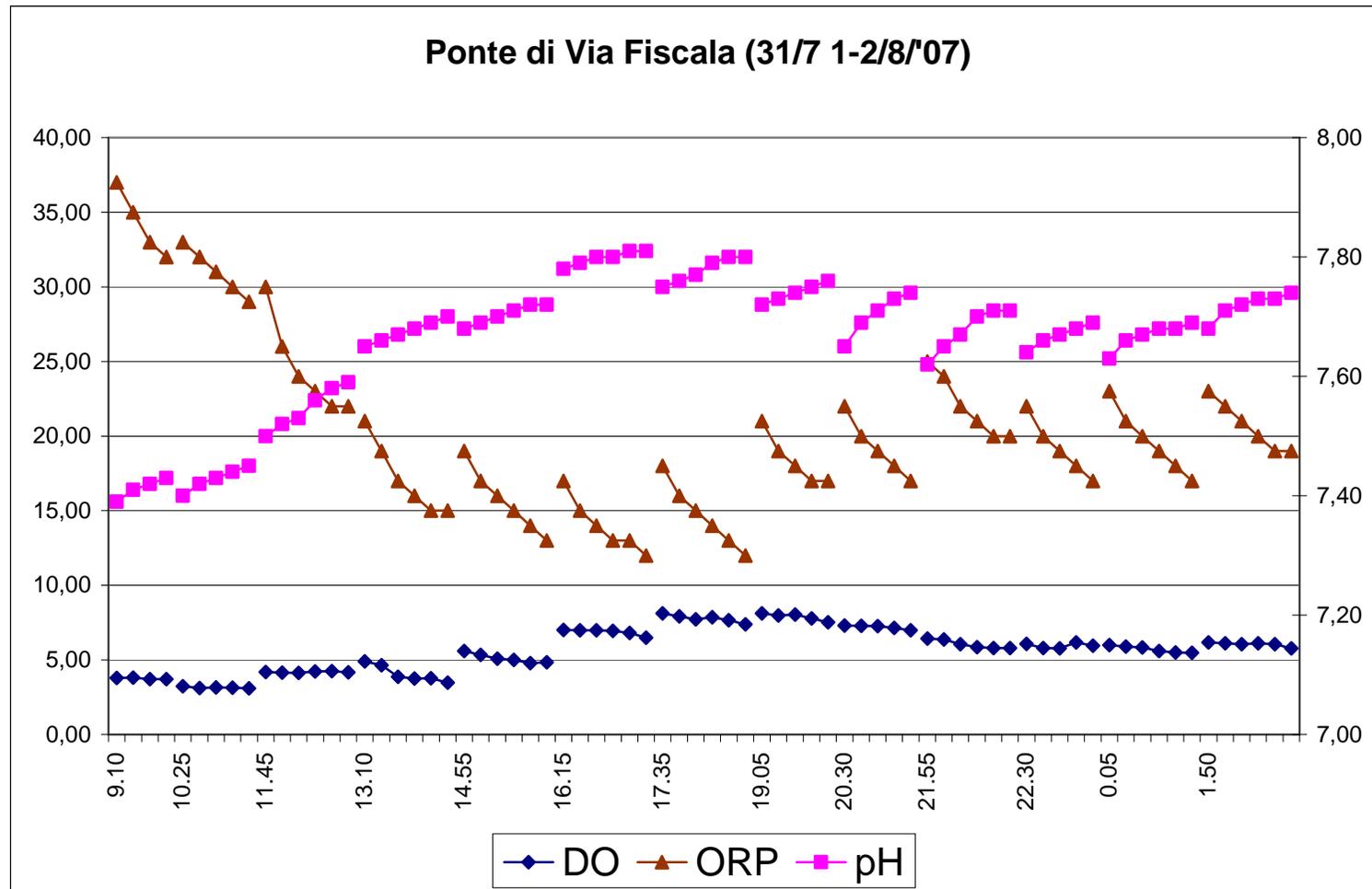
1/8 dalle 22.30 alle 1.50 del 2/8

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
9.10	0,90	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £, %	710	713	710	0,20	22,56	3,80	7,39	37	0,36
						711	0,40	22,56	3,81	7,41	35	0,36
						712	0,60	22,56	3,72	7,42	33	0,35
						713	0,80	22,52	3,72	7,43	32	0,35
10.25	1,10	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	726	730	726	0,20	22,80	3,23	7,40	33	0,36
						727	0,40	22,81	3,12	7,42	32	0,37
						728	0,60	22,80	3,15	7,43	31	0,37
						729	0,80	22,79	3,14	7,44	30	0,37
						730	1,00	22,79	3,10	7,45	29	0,37
11.45	1,25	entrante ca. 0,3 m/s	torbida, \$, %	744	749	744	0,20	23,15	4,19	7,50	30	0,49
						745	0,40	23,17	4,15	7,52	26	0,49
						746	0,60	23,17	4,13	7,53	24	0,49
						747	0,80	23,18	4,22	7,56	23	0,50
						748	1,00	23,18	4,25	7,58	22	0,50
						749	1,20	23,18	4,16	7,59	22	0,51
13.10	1,40	entrante ca. 0,1 m/s	torbida	765	770	765	0,20	24,41	4,91	7,65	21	0,61
						766	0,40	23,71	4,64	7,66	19	0,62
						767	0,60	23,54	3,87	7,67	17	0,62
						768	0,80	23,43	3,75	7,68	16	0,61
						769	1,00	23,42	3,77	7,69	15	0,62
						770	1,20	23,38	3,47	7,70	15	0,62
14.55	1,30	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	785	790	785	0,20	24,56	5,59	7,68	19	0,48
						786	0,40	24,35	5,34	7,69	17	0,50
						787	0,60	24,26	5,08	7,70	16	0,50

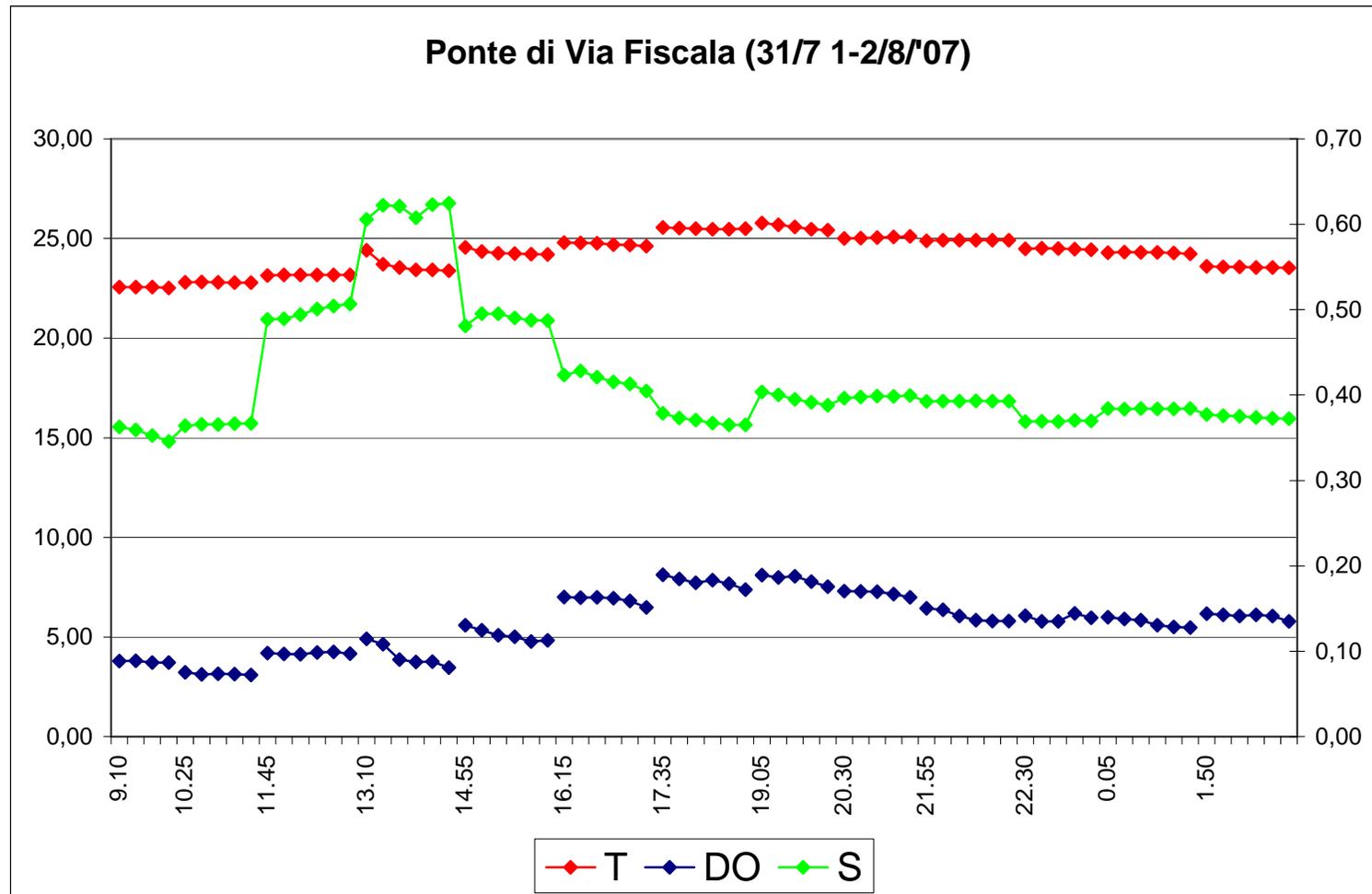
						788	0,80	24,24	5,01	7,71	15	0,49
						789	1,00	24,21	4,78	7,72	14	0,49
						790	1,20	24,20	4,84	7,72	13	0,49
16.15	1,30	uscente ca. 0,15 m/s	torbida	805	810	805	0,20	24,79	7,00	7,78	17	0,42
						806	0,40	24,78	6,98	7,79	15	0,43
						807	0,60	24,77	6,99	7,80	14	0,42
						808	0,80	24,69	6,94	7,80	13	0,42
						809	1,00	24,68	6,81	7,81	13	0,41
						810	1,20	24,61	6,49	7,81	12	0,40
17.35	1,25	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	825	830	825	0,20	25,56	8,12	7,75	18	0,38
						826	0,40	25,52	7,92	7,76	16	0,37
						827	0,60	25,49	7,72	7,77	15	0,37
						828	0,80	25,47	7,86	7,79	14	0,37
						829	1,00	25,47	7,67	7,80	13	0,37
						830	1,20	25,49	7,38	7,80	12	0,37
19.05	1,10	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	844	848	844	0,20	25,77	8,11	7,72	21	0,40
						845	0,40	25,69	7,99	7,73	19	0,40
						846	0,60	25,58	8,04	7,74	18	0,40
						847	0,80	25,47	7,78	7,75	17	0,39
						848	1,00	25,42	7,52	7,76	17	0,39
20.30	1,15	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £	862	866	862	0,20	25,00	7,30	7,65	22	0,40
						863	0,40	25,01	7,29	7,69	20	0,40
						864	0,60	25,05	7,27	7,71	19	0,40
						865	0,80	25,07	7,15	7,73	18	0,40
						866	1,00	25,11	6,99	7,74	17	0,40
21.55	1,35	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	881	886	881	0,20	24,89	6,44	7,62	25	0,39
						882	0,40	24,91	6,37	7,65	24	0,39
						883	0,60	24,91	6,05	7,67	22	0,39

						884	0,80	24,91	5,85	7,70	21	0,39
						885	1,00	24,91	5,80	7,71	20	0,39
						886	1,20	24,91	5,80	7,71	20	0,39
22.30	1,20	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £, \$	900	904	900	0,20	24,48	6,07	7,64	22	0,37
						901	0,40	24,51	5,79	7,66	20	0,37
						902	0,60	24,49	5,78	7,67	19	0,37
						903	0,80	24,47	6,18	7,68	18	0,37
						904	1,00	24,43	5,96	7,69	17	0,37
0.05	1,30	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$	919	924	919	0,20	24,29	5,99	7,63	23	0,38
						920	0,40	24,32	5,90	7,66	21	0,38
						921	0,60	24,30	5,84	7,67	20	0,38
						922	0,80	24,30	5,59	7,68	19	0,38
						923	1,00	24,28	5,50	7,68	18	0,38
						924	1,20	24,23	5,48	7,69	17	0,38
1.50	1,25	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	939	944	939	0,20	23,60	6,17	7,68	23	0,38
						940	0,40	23,58	6,12	7,71	22	0,38
						941	0,60	23,57	6,05	7,72	21	0,38
						942	0,80	23,55	6,12	7,73	20	0,37
						943	1,00	23,54	6,05	7,73	19	0,37
						944	1,20	23,53	5,78	7,74	19	0,37

Ponte di Via Fiscala (31/7 1-2/8/07)



Ponte di Via Fiscala (31/7 1-2/8/07)



PONTE DI VIA CERVESE

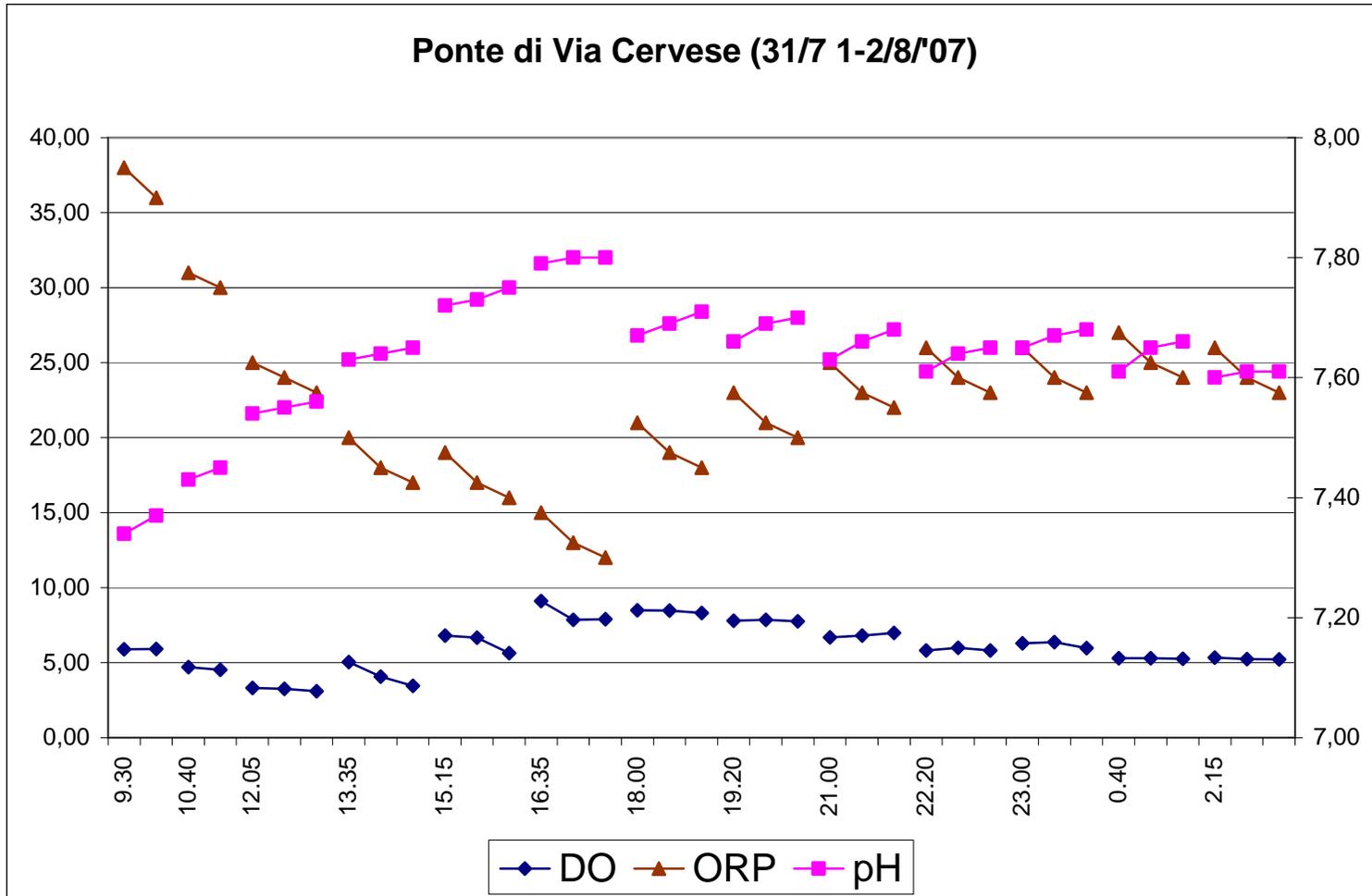
giorni: 31/7 dalle 9.30 alle 22.20

1/8 dalle 23.00 alle 2.15 del 2/8

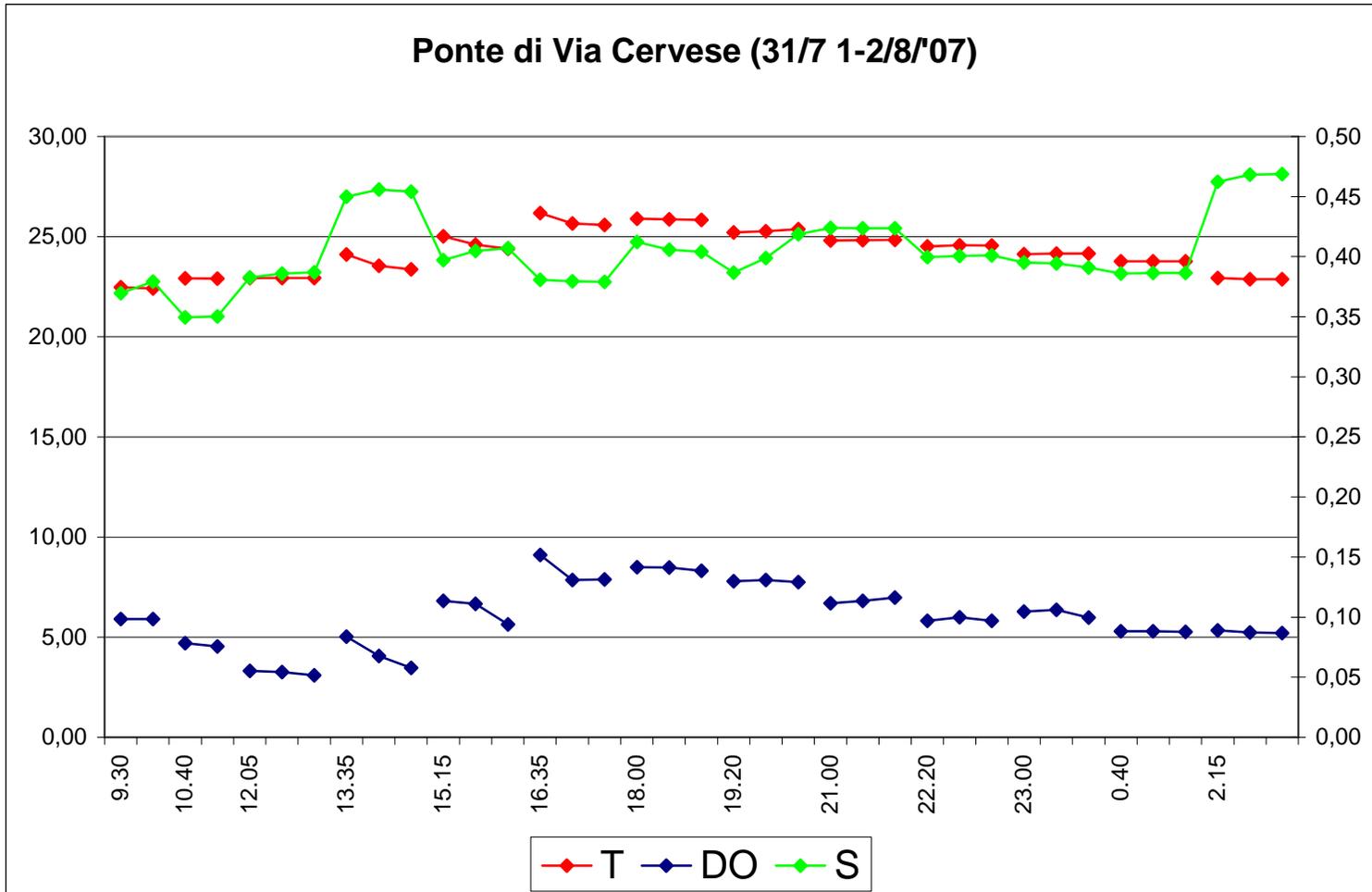
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
9.30	0,60	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, %	714	715	714	0,20	22,48	5,90	7,34	38	0,37
						715	0,40	22,42	5,91	7,37	36	0,38
10.40	0,70	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	731	732	731	0,20	22,92	4,70	7,43	31	0,35
						732	0,40	22,91	4,53	7,45	30	0,35
12.05	0,80	entrante ca. 0,2 m/s	torbida, %	750	752	750	0,20	22,93	3,32	7,54	25	0,38
						751	0,40	22,93	3,25	7,55	24	0,39
						752	0,60	22,93	3,09	7,56	23	0,39
13.35	0,80	entrante ca. 0,05 m/s	torbida	771	773	771	0,20	24,11	5,03	7,63	20	0,45
						772	0,40	23,55	4,06	7,64	18	0,46
						773	0,60	23,37	3,46	7,65	17	0,45
15.15	0,70	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	791	793	791	0,20	25,02	6,81	7,72	19	0,40
						792	0,40	24,60	6,67	7,73	17	0,40
						793	0,60	24,40	5,64	7,75	16	0,41
16.35	0,70	uscente ca. 0,1 m/s	torbida	811	813	811	0,20	26,18	9,10	7,79	15	0,38
						812	0,40	25,65	7,86	7,80	13	0,38
						813	0,60	25,58	7,89	7,80	12	0,38
18.00	0,65	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	831	833	831	0,20	25,90	8,50	7,67	21	0,41
						832	0,40	25,86	8,48	7,69	19	0,41
						833	0,60	25,83	8,31	7,71	18	0,40
19.20	0,65	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	849	851	849	0,20	25,21	7,80	7,66	23	0,39
						850	0,40	25,27	7,86	7,69	21	0,40
						851	0,60	25,37	7,75	7,70	20	0,42
21.00	0,70	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £	867	869	867	0,20	24,81	6,69	7,63	25	0,42
						868	0,40	24,83	6,81	7,66	23	0,42

						869	0,60	24,84	6,98	7,68	22	0,42
22.20	0,80	appena entrante ca. 0,01 m/s	torbida, £	887	889	887	0,20	24,51	5,82	7,61	26	0,40
						888	0,40	24,57	5,99	7,64	24	0,40
						889	0,60	24,55	5,81	7,65	23	0,40
23.00	0,70	entrante ca. 0,03 m/s	torbida, £	905	907	905	0,20	24,12	6,28	7,65	26	0,40
						906	0,40	24,15	6,36	7,67	24	0,39
						907	0,60	24,15	5,98	7,68	23	0,39
0.40	0,75	appena entrante ca. 0,005 m/s	torbida, £	925	927	925	0,20	23,77	5,30	7,61	27	0,39
						926	0,40	23,77	5,30	7,65	25	0,39
						927	0,60	23,77	5,26	7,66	24	0,39
2.15	0,65	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	945	947	945	0,20	22,94	5,34	7,60	26	0,46
						946	0,40	22,88	5,23	7,61	24	0,47
						947	0,60	22,87	5,21	7,61	23	0,47

Ponte di Via Cervese (31/7 1-2/8/07)



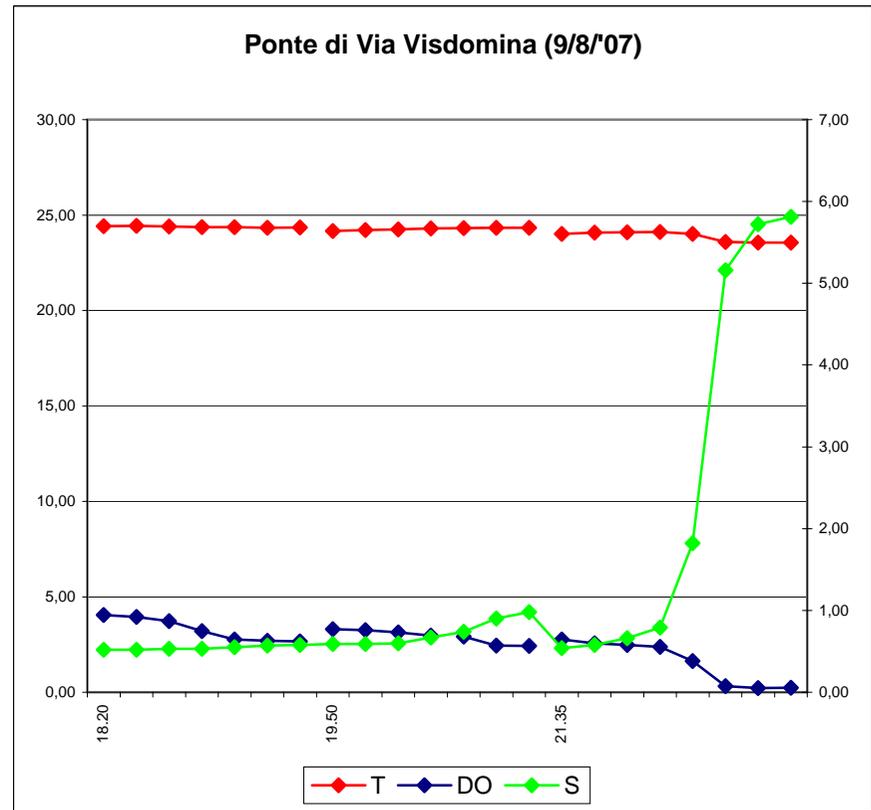
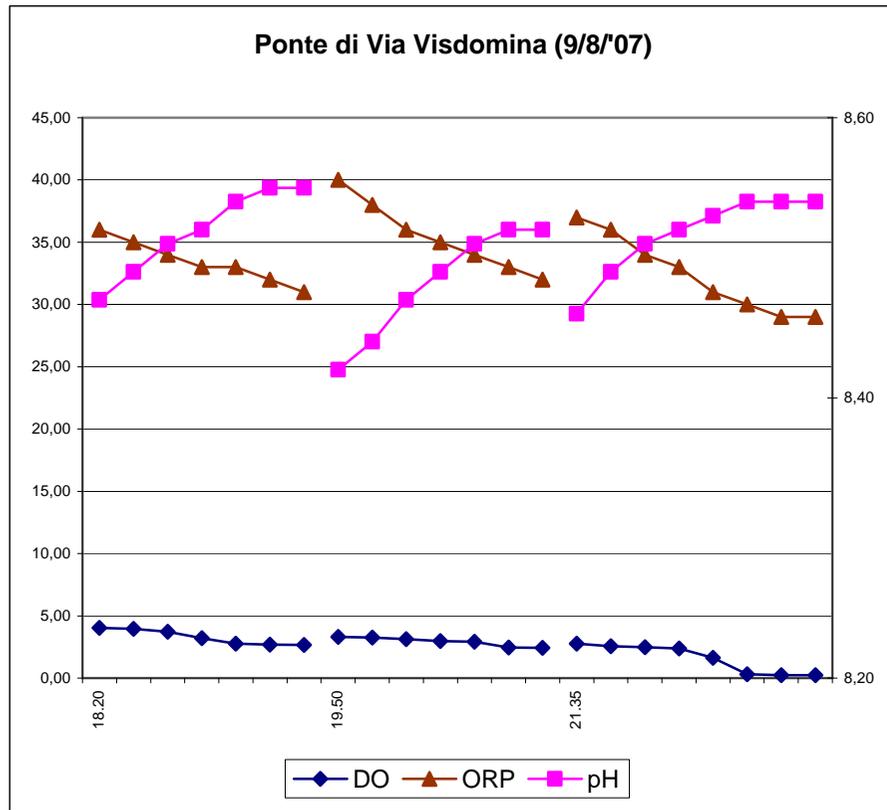
Ponte di Via Cervese (31/7 1-2/8/07)



PONTE DI VIA VISDOMINA

giorno: 9/8 dalle 18.20 alle 21.35 (tramonto)

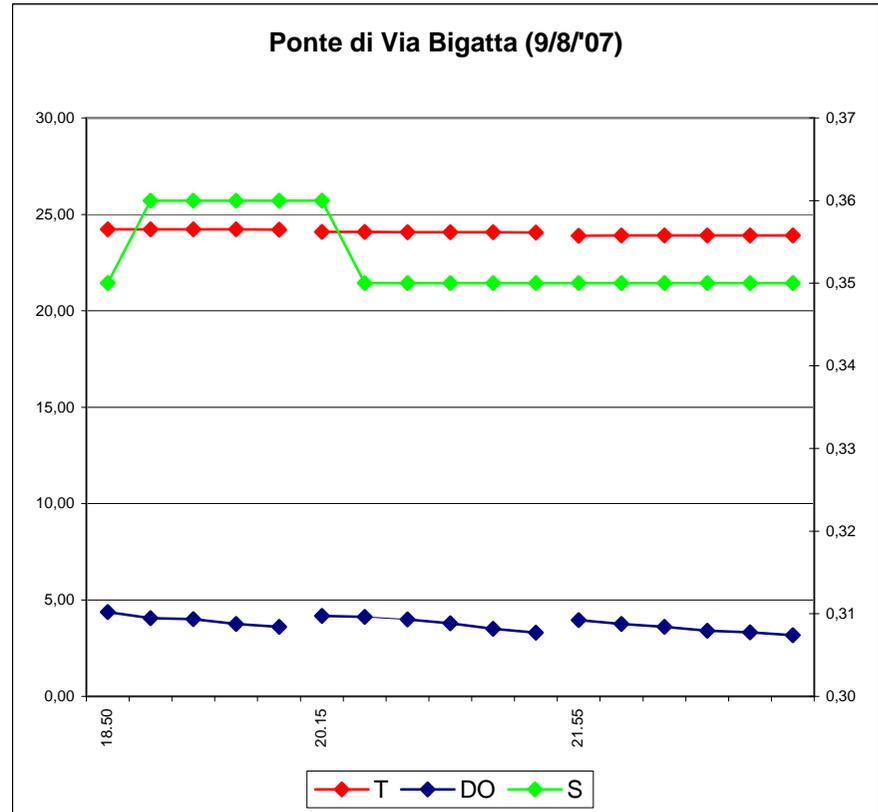
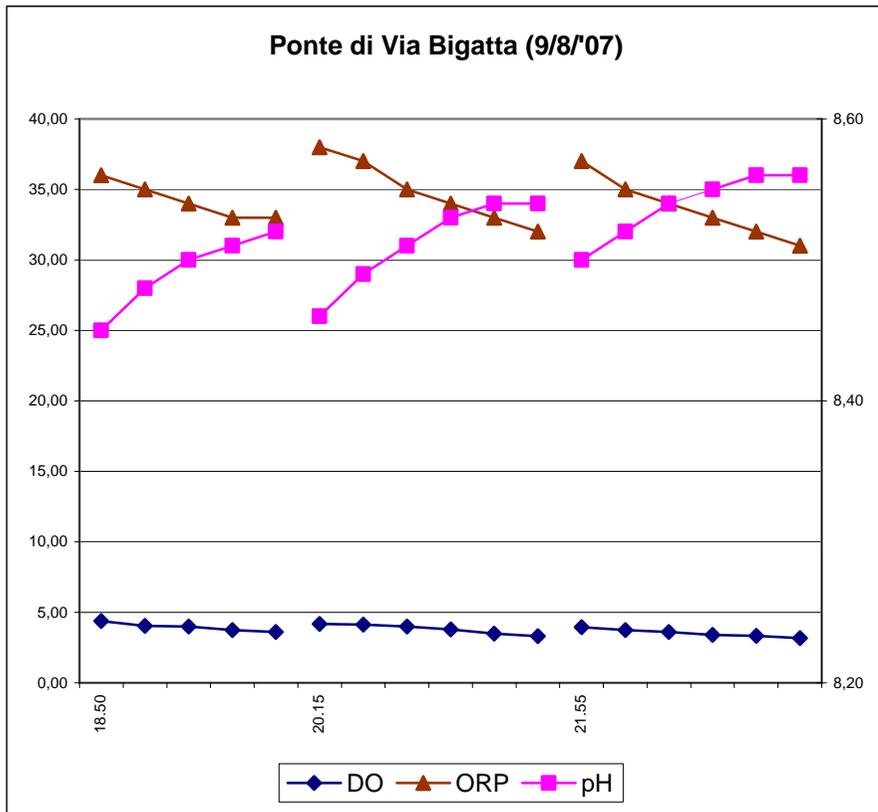
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
18.20	1,55	appena entrante ca. 0,02 m/s	torbida, %	1	7	1	0,20	24,41	4,04	8,47	36	0,52
						2	0,40	24,44	3,95	8,49	35	0,52
						3	0,60	24,40	3,73	8,51	34	0,53
						4	0,80	24,36	3,21	8,52	33	0,53
						5	1,00	24,36	2,77	8,54	33	0,55
						6	1,20	24,34	2,70	8,55	32	0,57
						7	1,40	24,35	2,66	8,55	31	0,58
19.50	1,60	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, %	23	29	23	0,20	24,17	3,30	8,42	40	0,59
						24	0,40	24,22	3,25	8,44	38	0,59
						25	0,60	24,25	3,13	8,47	36	0,60
						26	0,80	24,30	2,97	8,49	35	0,67
						27	1,00	24,31	2,92	8,51	34	0,74
						28	1,20	24,33	2,45	8,52	33	0,90
						29	1,40	24,33	2,43	8,52	32	0,98
21.35	1,60	uscente ca. 0,3 m/s	torbida	47	54	47	0,20	24,01	2,76	8,46	37	0,54
						48	0,40	24,08	2,57	8,49	36	0,58
						49	0,60	24,10	2,48	8,51	34	0,66
						50	0,80	24,12	2,38	8,52	33	0,79
						51	1,00	24,01	1,63	8,53	31	1,82
						52	1,20	23,60	0,32	8,54	30	5,16
						53	1,40	23,56	0,22	8,54	29	5,72
54	1,40	23,55	0,23	8,54	29	5,81						



PONTE DI VIA BIGATTA

giorno: 9/8 dalle 18.50 alle 21.55 (tramonto)

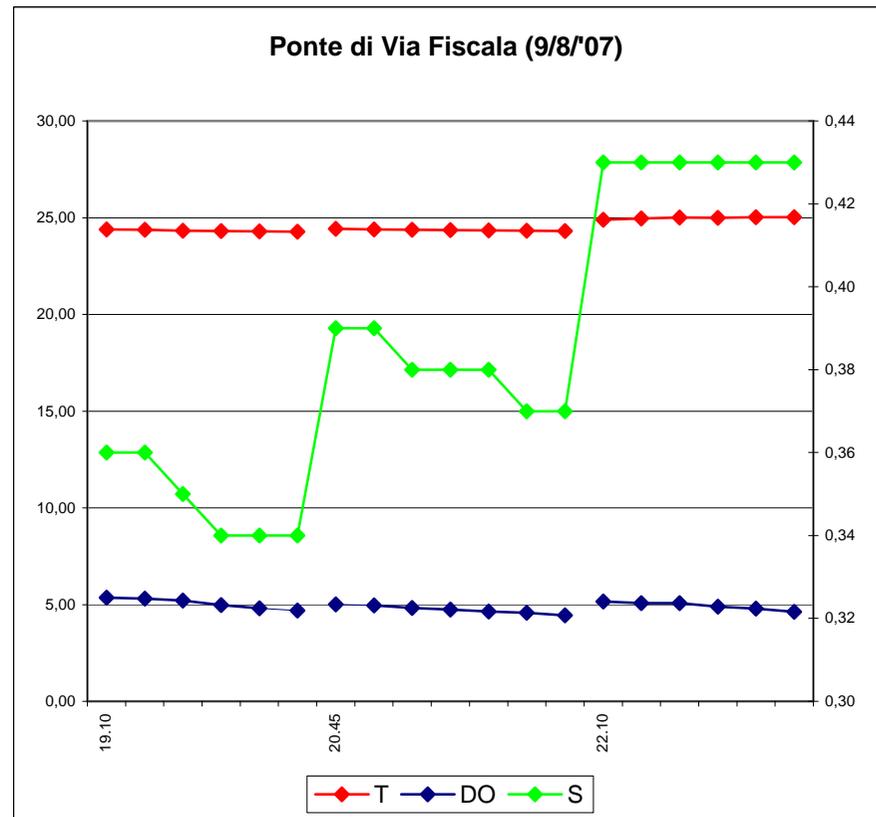
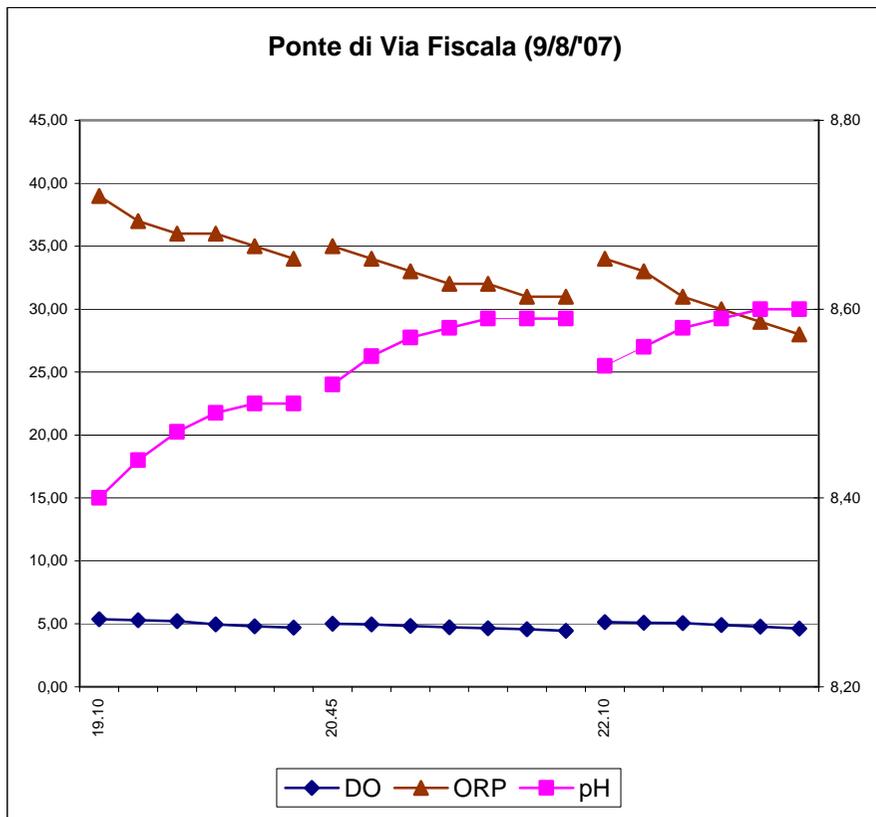
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
18.50	1,25	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £, %	8	12	8	0,20	24,22	4,38	8,45	36	0,35
						9	0,40	24,23	4,05	8,48	35	0,36
						10	0,60	24,22	4,00	8,50	34	0,36
						11	0,80	24,23	3,75	8,51	33	0,36
						12	1,00	24,21	3,60	8,52	33	0,36
20.15	1,30	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, %	30	35	30	0,20	24,09	4,18	8,46	38	0,36
						31	0,40	24,09	4,13	8,49	37	0,35
						32	0,60	24,08	3,99	8,51	35	0,35
						33	0,80	24,08	3,79	8,53	34	0,35
						34	1,00	24,07	3,50	8,54	33	0,35
21.55	1,30	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	55	60	55	0,20	23,89	3,95	8,50	37	0,35
						56	0,40	23,91	3,75	8,52	35	0,35
						57	0,60	23,91	3,60	8,54	34	0,35
						58	0,80	23,91	3,41	8,55	33	0,35
						59	1,00	23,91	3,33	8,56	32	0,35
60	1,20	23,91	3,18	8,56	31	0,35						



PONTE DI VIA FISCALA

giorno: 9/8 dalle 19.10 alle 22.10 (tramonto)

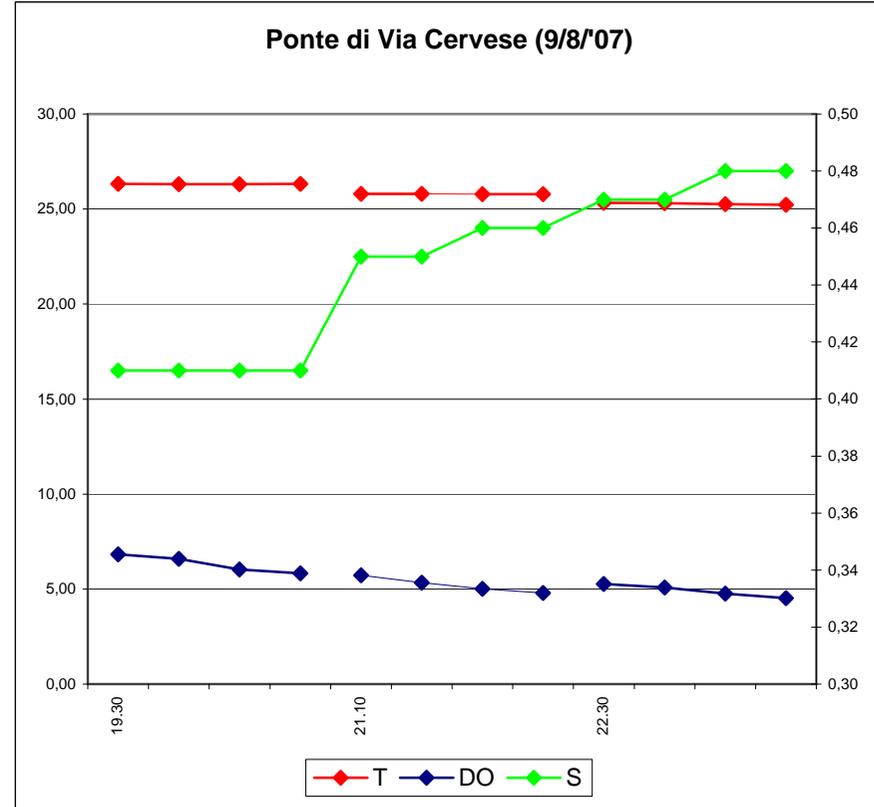
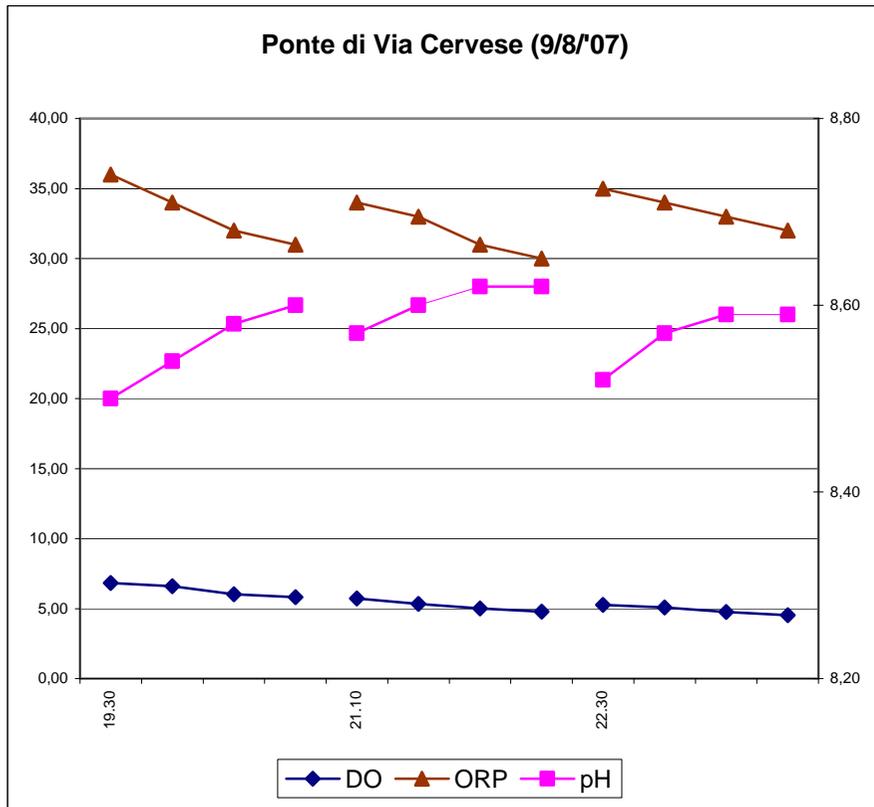
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
19.10	1,45	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, \$, %	13	18	13	0,20	24,39	5,36	8,40	39	0,36
						14	0,40	24,38	5,30	8,44	37	0,36
						15	0,60	24,33	5,21	8,47	36	0,35
						16	0,80	24,31	4,97	8,49	36	0,34
						17	1,00	24,29	4,81	8,50	35	0,34
						18	1,20	24,27	4,70	8,50	34	0,34
20.45	1,50	entrante ca. 0,1 m/s	torbida, £, %	36	42	36	0,20	24,42	5,01	8,52	35	0,39
						37	0,40	24,40	4,96	8,55	34	0,39
						38	0,60	24,37	4,82	8,57	33	0,38
						39	0,80	24,36	4,74	8,58	32	0,38
						40	1,00	24,34	4,65	8,59	32	0,38
						41	1,20	24,33	4,58	8,59	31	0,37
22.10	1,30	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	61	66	61	0,20	24,90	5,15	8,54	34	0,43
						62	0,40	24,96	5,08	8,56	33	0,43
						63	0,60	25,01	5,07	8,58	31	0,43
						64	0,80	25,00	4,90	8,59	30	0,43
						65	1,00	25,02	4,79	8,60	29	0,43
						66	1,20	25,02	4,62	8,60	28	0,43



PONTE DI VIA CERVESE

giorno: 9/8 dalle 19.30 alle 22.30 (tramonto)

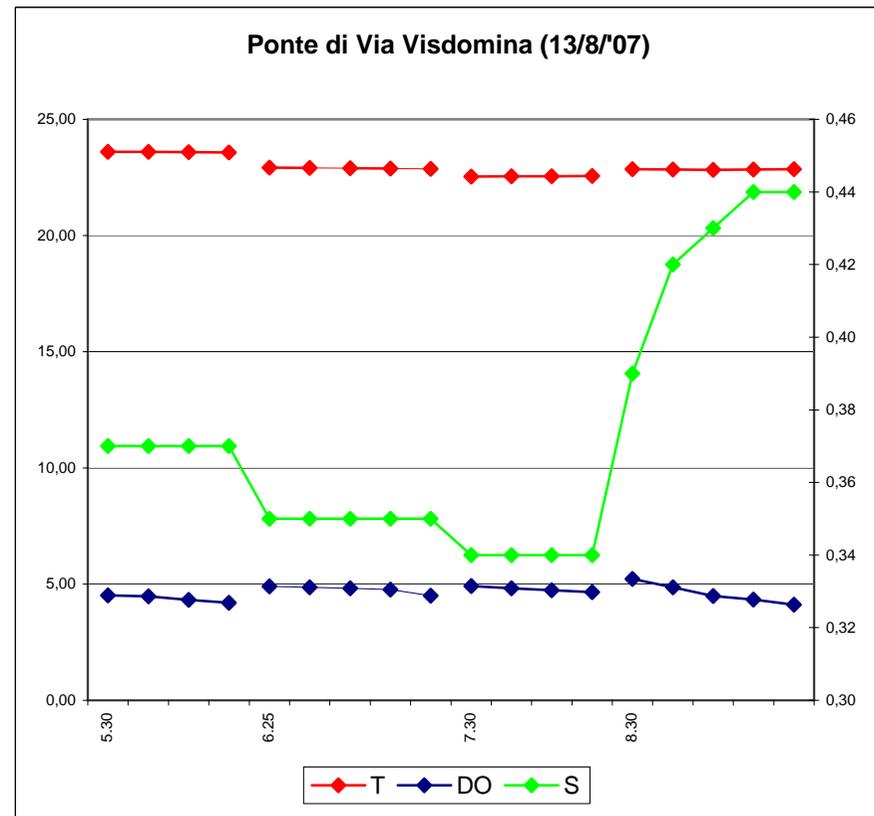
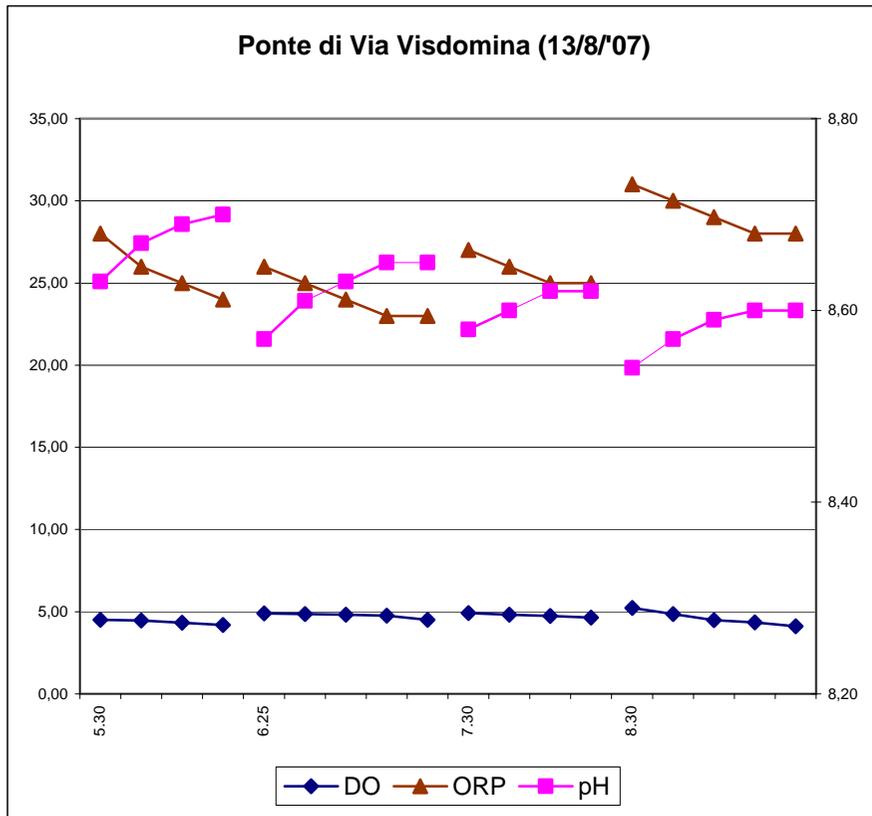
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
19.30	1,00	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, %	19	22	19	0,20	26,33	6,83	8,50	36	0,41
						20	0,40	26,31	6,59	8,54	34	0,41
						21	0,60	26,30	6,03	8,58	32	0,41
						22	0,80	26,32	5,82	8,60	31	0,41
21.10	0,90	uscente ca. 0,1 m/s	torbida, £	43	46	43	0,20	25,80	5,72	8,57	34	0,45
						44	0,40	25,80	5,34	8,60	33	0,45
						45	0,60	25,79	5,01	8,62	31	0,46
						46	0,80	25,79	4,79	8,62	30	0,46
22.30	0,90	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	67	70	67	0,20	25,33	5,27	8,52	35	0,47
						68	0,40	25,30	5,09	8,57	34	0,47
						69	0,60	25,25	4,76	8,59	33	0,48
						70	0,80	25,23	4,52	8,59	32	0,48



PONTE DI VIA VISDOMINA

giorno: 13/8 dalle 5.30 alle 8.30 (alba)

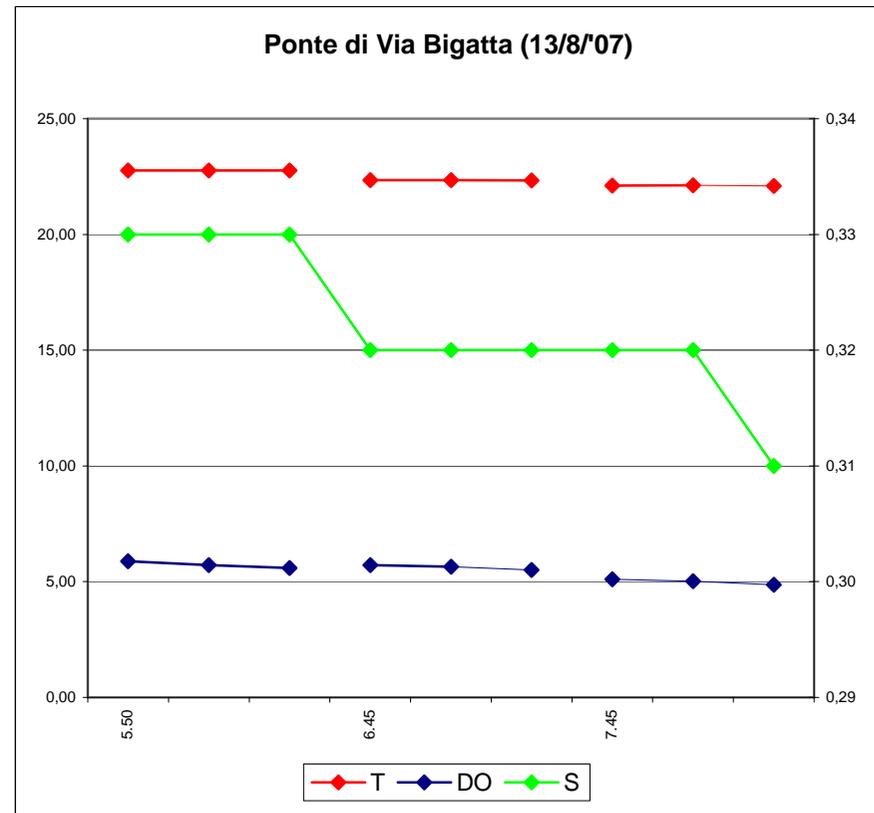
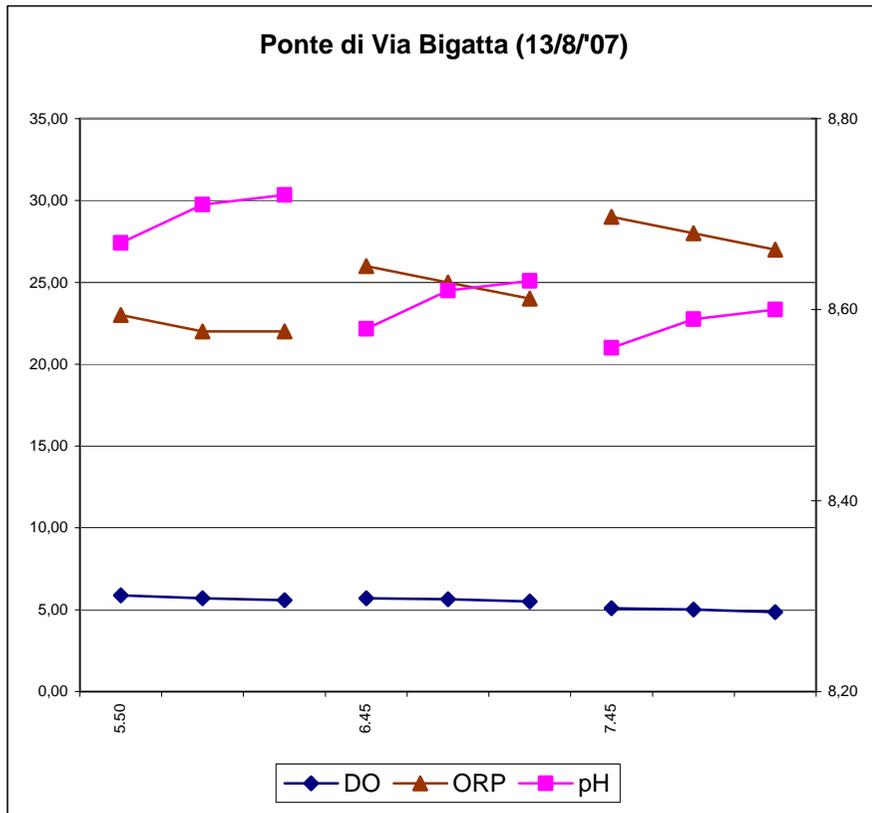
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
5.30	1,05	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	71	74	71	0,20	23,60	4,51	8,63	28	0,37
						72	0,40	23,60	4,47	8,67	26	0,37
						73	0,60	23,59	4,32	8,69	25	0,37
						74	0,80	23,57	4,20	8,70	24	0,37
6.25	0,95	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	84	88	84	0,20	22,92	4,90	8,57	26	0,35
						85	0,40	22,91	4,86	8,61	25	0,35
						86	0,60	22,89	4,82	8,63	24	0,35
						87	0,80	22,88	4,76	8,65	23	0,35
						88	0,90	22,87	4,50	8,65	23	0,35
7.30	0,95	uscente ca. 0,15 m/s	torbida, £, \$	98	101	98	0,20	22,53	4,92	8,58	27	0,34
						99	0,40	22,55	4,82	8,60	26	0,34
						100	0,60	22,55	4,73	8,62	25	0,34
						101	0,80	22,56	4,65	8,62	25	0,34
8.30	1,15	entrante ca. 0,05 m/s	torbida, £	111	115	111	0,20	22,86	5,22	8,54	31	0,39
						112	0,40	22,84	4,86	8,57	30	0,42
						113	0,60	22,83	4,49	8,59	29	0,43
						114	0,80	22,84	4,34	8,60	28	0,44
						115	1,00	22,85	4,11	8,60	28	0,44



PONTE DI VIA BIGATTA

giorno: 13/8 dalle 5.50 alle 7.45 (alba)

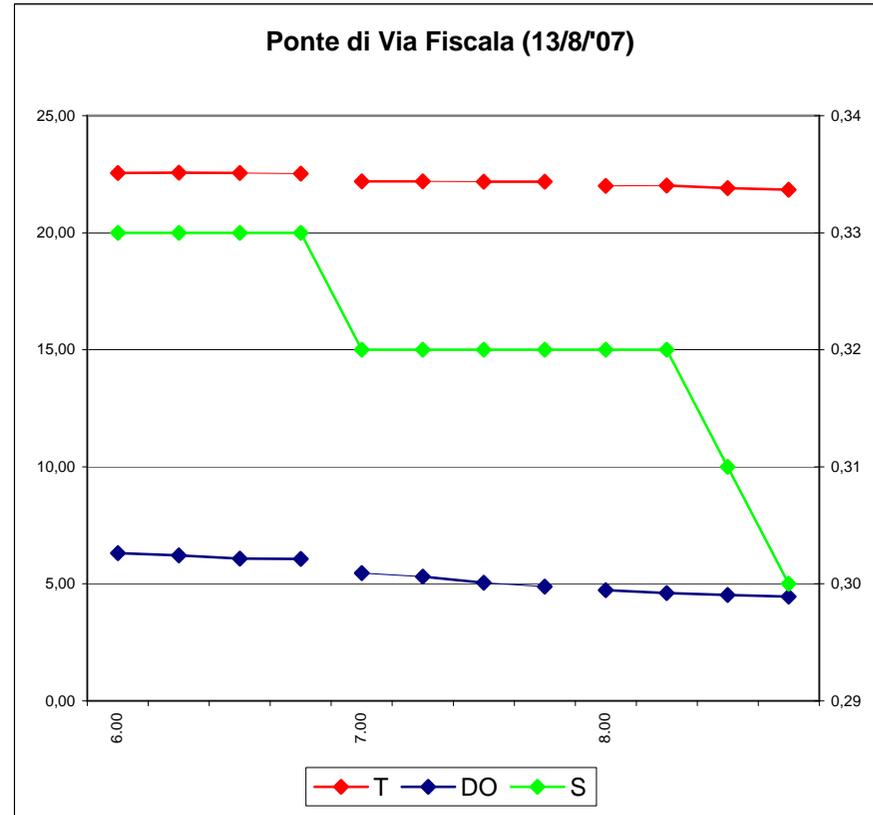
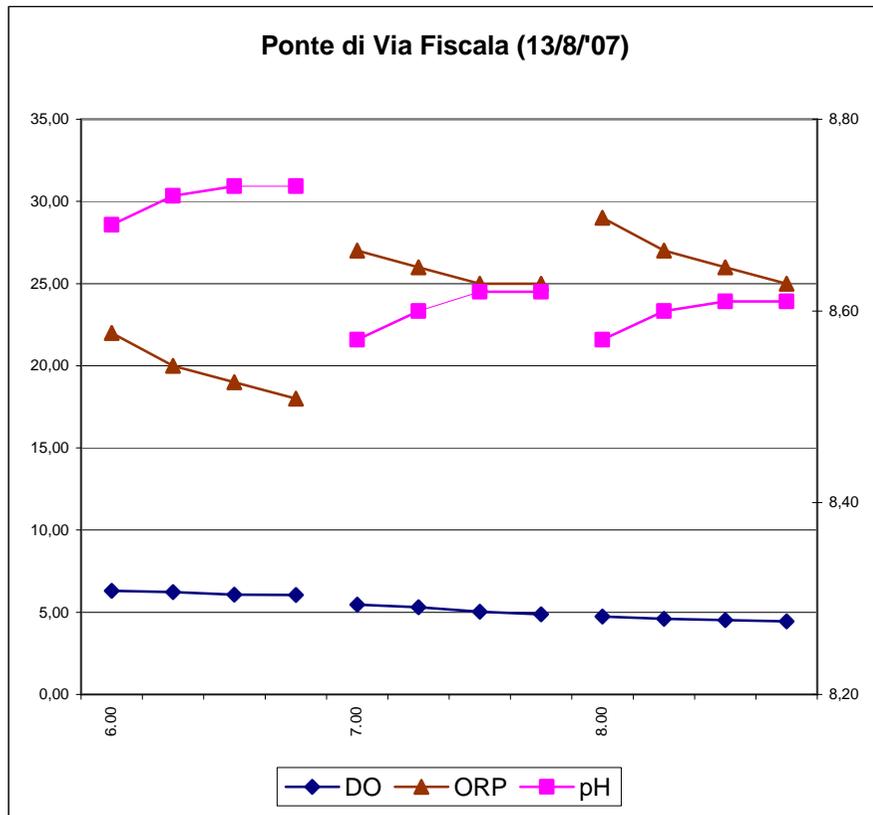
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
5.50	0,75	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	75	77	75	0,20	22,76	5,88	8,67	23	0,33
						76	0,40	22,76	5,71	8,71	22	0,33
						77	0,60	22,76	5,59	8,72	22	0,33
6.45	0,80	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	89	91	89	0,20	22,35	5,71	8,58	26	0,32
						90	0,40	22,34	5,64	8,62	25	0,32
						91	0,60	22,33	5,51	8,63	24	0,32
7.45	0,75	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	102	104	102	0,20	22,11	5,10	8,56	29	0,32
						103	0,40	22,12	5,02	8,59	28	0,32
						104	0,60	22,09	4,86	8,60	27	0,31



PONTE DI VIA FISCALA

giorno: 13/8 dalle 6.00 alle 8.00 (alba)

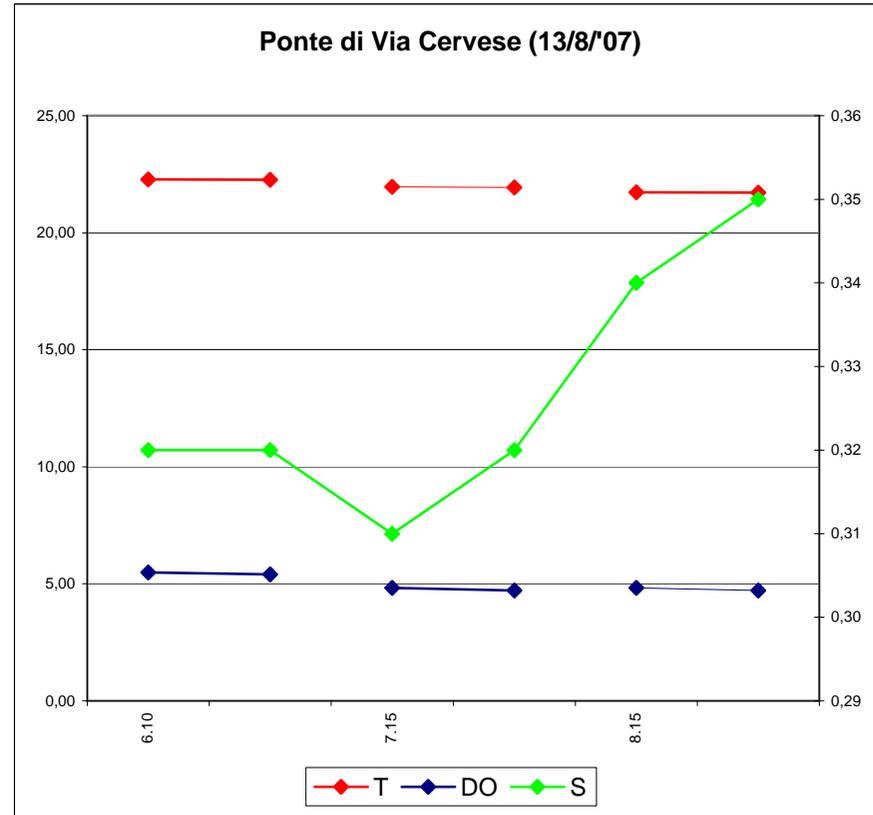
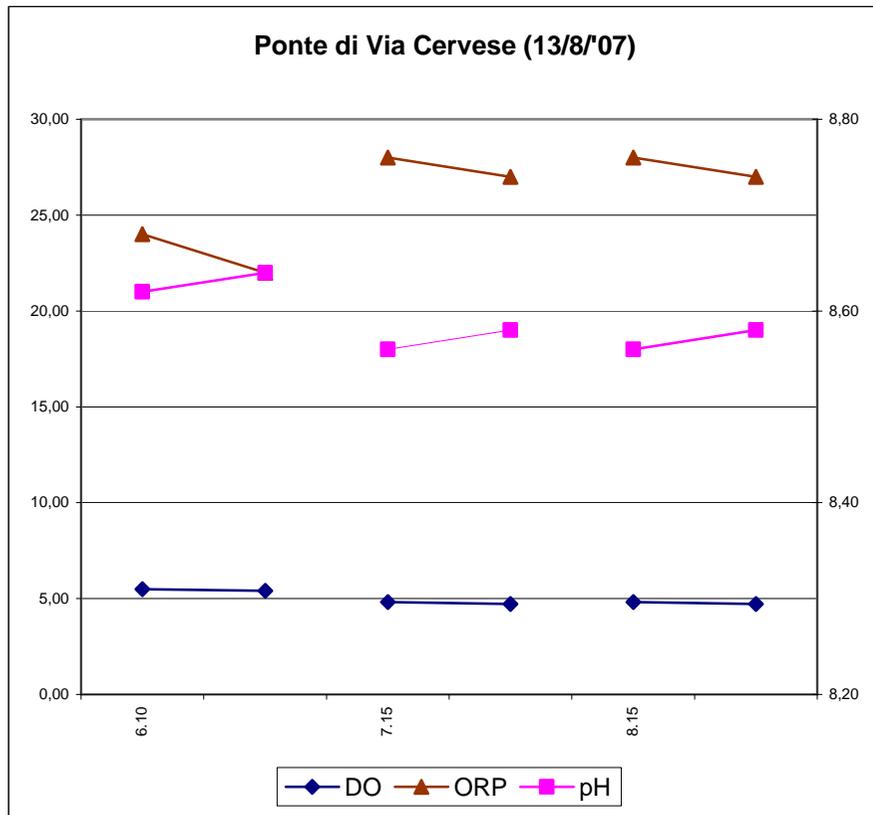
ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
6.00	0,85	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	78	81	78	0,20	22,55	6,31	8,69	22	0,33
						79	0,40	22,56	6,22	8,72	20	0,33
						80	0,60	22,55	6,08	8,73	19	0,33
						81	0,80	22,53	6,06	8,73	18	0,33
7.00	0,85	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	92	95	92	0,20	22,19	5,46	8,57	27	0,32
						93	0,40	22,19	5,31	8,60	26	0,32
						94	0,60	22,18	5,04	8,62	25	0,32
						95	0,80	22,18	4,88	8,62	25	0,32
8.00	0,85	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £, \$	105	108	105	0,20	22,00	4,73	8,57	29	0,32
						106	0,40	22,02	4,60	8,60	27	0,32
						107	0,60	21,90	4,53	8,61	26	0,31
						108	0,80	21,84	4,45	8,61	25	0,30



PONTE DI VIA CERVESE

giorno: 13/8 dalle 6.10 alle 8.15 (alba)

ORARIO legale	PROFONDITA' SEZIONE (m)	STIMA DIREZIONE E VELOCITA' DEL MOTO	INFO ACQUA (METEO)	N° INIZIO REGISTR.	N° FINE REGISTR.	N° MISURA	PROFONDITA' MISURA (m)	T (°C)	DO (mg/l)	pH	ORP (mV)	S (g/l)
6.10	0,50	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £	82	83	82	0,20	22,28	5,49	8,62	24	0,32
						83	0,40	22,27	5,41	8,64	22	0,32
7.15	0,50	uscente ca. 0,3 m/s	torbida, £, \$	96	97	96	0,20	21,96	4,82	8,56	28	0,31
						97	0,40	21,93	4,71	8,58	27	0,32
8.15	0,50	uscente ca. 0,2 m/s	torbida, £	109	110	109	0,20	21,73	4,82	8,56	28	0,34
						110	0,40	21,72	4,71	8,58	27	0,35



Capitolo 7

ANALISI DEI DATI

L'interpretazione dei dati, con i loro relativi andamenti nel tempo e nello spazio, ha confermato l'esistenza e l'interazione di diversi fenomeni biologici che si instaurano nel Canale di Allacciamento e che costituiscono l'azione di finissaggio dei reflui trattati provenienti da monte.

Prima di intraprendere la discussione dei dati, riportiamo una schematizzazione dei fenomeni biologici che avvengono in acqua e delle loro interazioni, al fine di rendere più chiare le considerazioni che verranno fatte in seguito.

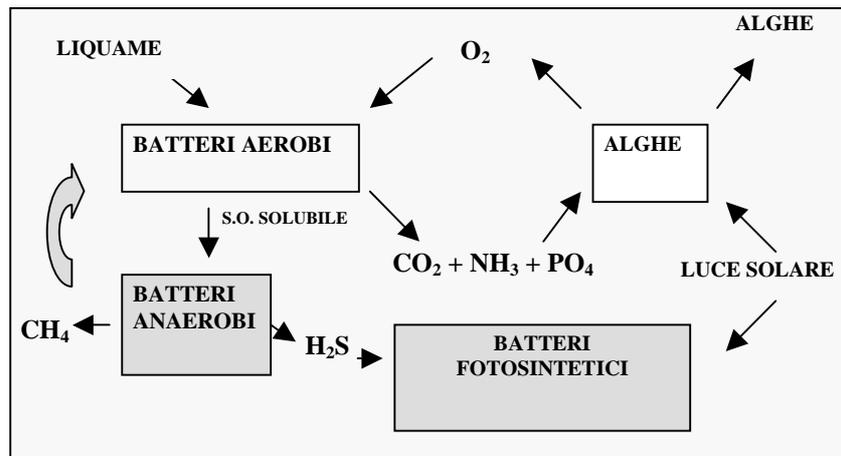


Fig.21 Interazioni tra i vari organismi presenti in acqua.

Volendo adattare lo schema di Fig. 21 sulla colonna d'acqua, ne deriva una suddivisione di questa in tre strati, determinata dalle diverse concentrazioni di ossigeno disciolto.

Lo spessore degli strati varia nell'arco della giornata in base all'intensità della radiazione luminosa che determina la produzione di ossigeno ad opera della fotosintesi algale.

Durante le ore centrali della giornata, quando la radiazione solare è massima, lo strato aerobico si spinge più in profondità limitando l'attività

anaerobica ad un piccolo strato in prossimità del fondo. Al contrario, durante la notte, quando non vi è più produzione di ossigeno e prevale il consumo di questo, lo strato anaerobico si spinge più verso la superficie. In mezzo ai due strati prima citati, si trova lo strato anossico che costituisce una zona di transizione tra le condizioni aerobiche ed anaerobiche strette. In questo strato, che viene influenzato dalle variazioni di spessore dei due precedenti, si instaurano popolazioni batteriche facoltative ossia microrganismi che riescono ad adattarsi sia a condizioni aerobiche che anaerobiche.

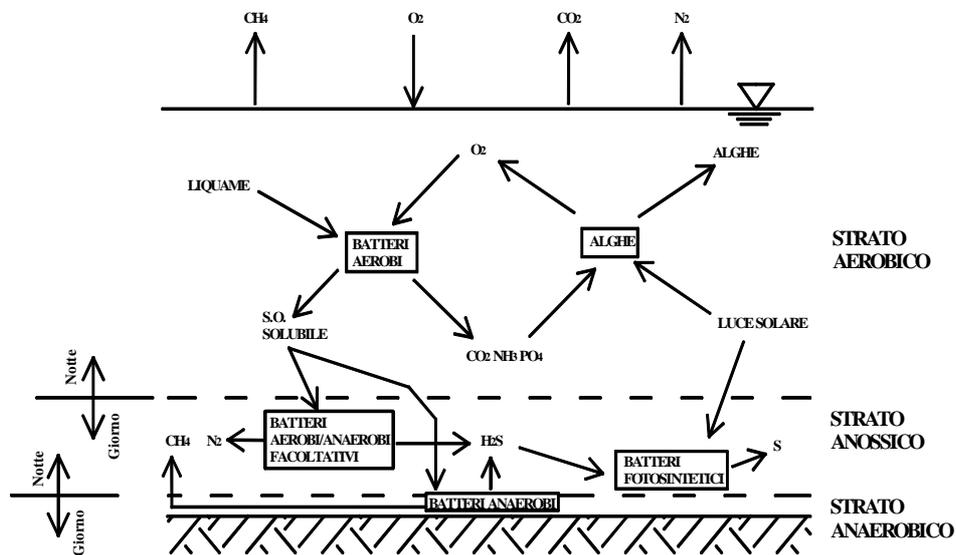


Fig.22 Suddivisione in strati della colonna d'acqua ed indicazione dei fenomeni biologici presenti.

L'analisi dei dati è stata eseguita valutando le informazioni ricavate dagli andamenti dei parametri evidenziati nei grafici.

Di seguito verranno esaminati i singoli parametri di ogni sezione facendo riferimento alle tre campagne di misura eseguite.

7.1 Ponte di Via Visdomina

Ossigeno disciolto

DO (mg/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	12.90	7.61	4.04	5.22
Valore min	0.07	2.58	0.22	4.11
Valore medio	6.49	5.10	2.13	4.67
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

Facendo riferimento ai grafici relativi alle prime due campagne di misura, si può osservare come l'andamento dell'ossigeno disciolto sia crescente nelle ore diurne e decrescente in quelle notturne. Solitamente, il massimo della concentrazione di ossigeno in acqua viene raggiunto poco prima del tramonto mentre il minimo si verifica all'alba.

Questo andamento è il risultato dell'interazione tra fotosintesi algale e respirazione batterica che sono responsabili rispettivamente della produzione e del consumo dell'ossigeno disciolto presente in acqua.

Di giorno, quando la radiazione luminosa raggiunge gli strati superficiali della colonna d'acqua, la fotosintesi operata dal fitoplancton risulta preponderante sulla respirazione batterica aerobica, determinando un aumento netto della concentrazione di ossigeno.

Di notte, venendo meno il fenomeno della fotosintesi, sia i batteri aerobi che il fitoplancton consumano ossigeno provocandone la diminuzione.

Considerando il singolo set di misure, si osserva generalmente un calo moderato di ossigeno che coinvolge tutta la colonna d'acqua dalla superficie verso il fondo.

Tale diminuzione deriva dal fatto che la fotosintesi è concentrata maggiormente negli strati superficiali della colonna d'acqua, dove la radiazione luminosa giunge con elevata intensità. D'altra parte, l'alta torbidità delle acque del Canale di Allacciamento, impedisce alla luce di

giungere in profondità determinando la progressiva estinzione del fenomeno della fotosintesi verso il fondo, con la conseguente diminuzione di ossigeno. Tuttavia, l'entità della diminuzione si presenta in genere piuttosto moderata poichè in questo tratto di canale vi è una buona miscelazione degli strati medio-superficiali, dovuta sia al contributo continuo di acqua da monte che dal moto ciclico indotto dalle maree.

La misura dei parametri, per la particolarità del supporto affiancato alla sonda, non ha consentito di valutare la fascia di circa 30 cm a contatto col fondo. Si ritiene, in base anche alle informazioni ricavate dallo studio del pH, che in prossimità del fondo ci sia un piccolo strato (5÷10 cm), scarsamente miscelato con quelli superiori, in cui la concentrazione di ossigeno disciolto sia vicina allo zero. In questo strato anaerobico avrebbero luogo i processi di fermentazione mentre nello strato sovrastante (20÷25 cm), caratterizzato da condizioni anossiche avverrebbe la denitrificazione. Tale suddivisione è stata ipotizzata per spiegare le variazioni di pH che si sono registrate sulla colonna d'acqua, inoltre la presenza di bolle in superficie provenienti dal fondo, giustificherebbe l'esistenza di processi di respirazione anaerobica e di denitrificazione che producono gas come CO₂ ed N₂.

pH

pH	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	7.87	7.79	8.55	8.70
Valore min	7.32	7.16	8.42	8.54
Valore medio	7.56	7.48	8.49	8.62
Andamento set (superf.→fondo)	crescente	crescente	crescente	crescente

L'andamento giornaliero del pH ricalca quello dell'ossigeno, mostrando una crescita nelle ore diurne ed un calo in quelle notturne.

La spiegazione di ciò risiede nel fatto che le variazioni di pH, seppur minime, sono strettamente correlate con l'attività fotosintetica e la respirazione batterica. In particolare il pH risulta inversamente proporzionale alla presenza di CO₂.

Come prima anticipato, in presenza di luce avvengono sia la fotosintesi che la respirazione con la prima prevalente sulla seconda, perciò durante il giorno, oltre alla formazione di tessuto cellulare ed alla produzione di ossigeno, si ha consumo netto di CO₂ ad opera delle alghe che determina l'aumento del pH.

Durante la notte invece, si ha solo la respirazione cellulare che, oltre a produrre molecole di acqua, libera CO₂ con conseguente abbassamento del pH.

L'andamento del pH in relazione alla colonna d'acqua è sempre crescente verso il fondo ma con modalità leggermente diverse tra giorno e notte. L'innalzamento del pH, sebbene molto contenuto, è causato dal processo di denitrificazione che, sviluppandosi nello strato anossico presente nelle immediate vicinanze del fondo, determina basicità dell'acqua. Questo strato ha uno spessore variabile nell'arco delle 24 ore in quanto è fortemente condizionato dallo strato aerobico che ne impedisce l'espansione verso la superficie.

Di giorno, avendo alte concentrazioni di ossigeno disciolto, lo strato anossico (che sovrasta quello anaerobico a contatto col fondo) è poco spesso (20÷25 cm) ma riesce comunque ad innalzare il pH progressivamente verso il fondo.

Per questo motivo nei grafici si osserva una crescita del pH pressoché lineare, tipica delle ore diurne.

Di notte l'andamento del pH evidenzia un comportamento non più lineare, con un aumento più marcato nei primi 20÷40 cm sotto la superficie e più lieve verso il fondo.

Questo particolare comportamento si spiega per via dell'aumento di spessore dello strato anossico che si verifica a causa della diminuzione di ossigeno disciolto. Se a ciò si aggiunge che, durante le basse maree notturne la profondità media della sezione diminuisce significativamente, ne deriva

che l'interfaccia tra lo strato anossico e quello aerobico è più vicina alla superficie, per cui l'aumento del pH è più marcato in questa zona.

Al di sotto di 20÷40 cm fino al fondo, l'aumento di pH è meno accentuato perché tale strato è poco interessato a ricambi d'acqua con gli strati superiori dovuti al moto nel canale.

Redox

ORP (mV)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	42	48	40	31
Valore min	13	11	29	23
Valore medio	27.5	29.5	34.5	27
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

In base ai grafici ricavati dalla prima e dalla seconda campagna di misure, si evince che l'andamento dell'ORP nell'arco della giornata segue mediamente quello dell'ossigeno, anche se non sempre sembra ricalcare lo sviluppo. Infatti, dai dati della prima campagna di misure si osserva un andamento che segue quello dell'ossigeno disciolto, mentre nella seconda campagna, l'ORP evidenzia un calo marcato proprio di mattina, cioè quando l'ossigeno aumenta.

Prendendo in considerazione il singolo set si nota tuttavia, che il potenziale di ossido-riduzione (redox, ORP) mostra sempre una tendenza a calare verso il fondo.

Per spiegare questo comportamento sulla colonna d'acqua, è utile ricordare che l'ORP è influenzato da più fattori, in particolare dall'ossigeno, dalle reazioni in atto ed in minima parte dall'equilibrio dei solfati.

Nelle ore di luce, l'attività fotosintetica e quindi la produzione di ossigeno è più elevata negli strati superficiali dove la radiazione luminosa penetra più facilmente rispetto agli strati sottostanti. Nonostante sotto il ponte di Via Visdomina ci sia un tirante idrico che difficilmente supera 1.70 metri in

tempo secco, la notevole torbidità del Canale di Allacciamento è un limite per la radiazione luminosa al raggiungimento degli strati prossimi al fondo. Di conseguenza la minor produzione di ossigeno al fondo porta ad un calo dell'ORP giustificato anche dal fatto che verso il fondo c'è maggior richiesta di O₂ (BOD alto) dovuta alla sedimentazione di biomassa morta da decomporre.

Di notte, con la cessazione della fotosintesi, la differenza di ORP tra superficie e fondo è meno accentuata. La diminuzione dipende dalla respirazione batterica che si instaura su tutta la colonna d'acqua con preponderanza per gli strati medi e profondi dove, localmente, possono innescarsi alcuni fenomeni anaerobici che contribuiscono all'abbassamento dell'ORP.

Salinità

S (g/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	11.05	6.85	5.81	0.44
Valore min	0.39	0.42	0.52	0.34
Valore medio	5.72	3.64	3.17	0.39
Andamento set (superf.→fondo)	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente

Le variazioni di salinità che si verificano in questa sezione sono le più elevate a causa della maggior vicinanza con il mare.

Gli aumenti di salinità si verificano in concomitanza delle alte maree, perciò nell'arco delle 24 ore, si possono osservare mediamente due picchi più marcati che segnalano l'arrivo di acqua più salata da valle. Nei periodi di bassa marea, la salinità risulta tuttavia molto contenuta, essendo limitata dall'apporto di acqua dolce da monte.

In relazione alla colonna d'acqua, la salinità si mantiene la maggior parte delle volte costante e, solo in alcuni casi, si registra un andamento crescente verso il fondo.

La distribuzione omogenea sulla colonna d'acqua si verifica durante le basse maree, cioè nei periodi in cui l'acqua dolce da monte defluisce verso mare. In queste circostanze si hanno oscillazioni del parametro minime, comunque inferiori ad 1 g/l che, probabilmente, indicano la quota di salinità "residua" dell'alta marea precedente.

Nei casi in cui si è registrato un aumento della salinità verso il fondo, si era in presenza di stratificazione. Per "stratificazione" si intende il fenomeno che determina una disposizione "a strati sovrapposti" tra acqua dolce (o comunque poco salata) ed acqua salata (o più salata). Durante l'alta marea giunge acqua salata da valle che, essendo più densa, va ad occupare gli strati più profondi, mentre l'acqua dolce, meno densa, si mantiene più in superficie. Il più delle volte la stratificazione non è stata netta, con aumenti contenuti tra superficie e fondo. In alcuni casi invece, si è osservato un aumento della salinità tra superficie e fondo dell'ordine di 6÷10 g/l.

Temperatura

T (°C)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	29.31	25.08	24.44	23.57
Valore min	24.43	22.76	23.55	22.53
Valore medio	26.87	23.92	23.96	23.05
Andamento set (superf.→fondo)	costante	costante	costante	costante

L'andamento della temperatura durante la giornata presenta un massimo poco prima del tramonto ed un minimo circa 3 ore dopo l'alba.

Al tramonto, l'acqua è più calda perché ha accumulato il calore di tutta la giornata, mentre risulta più fredda dopo l'alba, quando il riscaldamento dovuto ai raggi solari è ancora limitato.

In riferimento alla colonna d'acqua, la temperatura si è mantenuta praticamente costante dalla superficie al fondo (in realtà c'è un calo ma è di scarsa rilevanza essendo sempre inferiore ad 1°C) e ciò è da imputare sia

alla scarsa profondità della sezione che consente un riscaldamento omogeneo, sia al flusso nel canale (indipendentemente dal fatto che sia verso valle o verso monte) che non favorisce l'instaurarsi di un gradiente termico marcato.

Da notare è che alle alte temperature (come quelle raggiunte in questa sezione), l'ossigeno disciolto in acqua dovrebbe calare, mentre invece si assiste a livelli di O₂ molto alti, anche sopra la saturazione (circa 9 mg/l).

La spiegazione risiede nel fatto che le alte temperature accelerano le velocità di reazione dei processi biologici, per cui la fotosintesi in particolare, risulta molto incrementata, da cui deriva un'alta produzione di ossigeno.



Fig.23 Vista del Canale di Allacciamento (verso valle) dal ponte di Via Visdomina.

N.B.

Le considerazioni fatte per ogni parametro di questa sezione sono valide anche per le sezioni restanti, nelle quali avvengono gli stessi fenomeni fisico-biologici di cui sopra.

Di seguito ci si limiterà a discutere i singoli parametri senza spiegare nuovamente i motivi fisico-biologici che ne governano le variazioni.

7.2 Ponte di Via Bigatta

Ossigeno disciolto

DO (mg/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	14.43	7.76	4.38	5.88
Valore min	2.77	2.79	3.18	4.86
Valore medio	8.60	5.28	3.78	5.37
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

La concentrazione dell'ossigeno disciolto durante la giornata, segue l'andamento caratteristico evidenziato da questo parametro nella sezione precedente. Di conseguenza, il massimo di ossigeno si registra poco prima del tramonto, mentre il minimo viene raggiunto all'alba.

L'interazione tra fotosintesi e respirazione batterica comporta un campo di variabilità per l'ossigeno molto elevato, come dimostrato dai valori massimi e minimi della prima campagna di misure.

Osservando il singolo set di misure, si nota mediamente un leggero calo di ossigeno verso il fondo.

La presenza, durante le misure, di bolle in superficie provenienti dal fondo, giustifica l'esistenza, anche in questa sezione, di uno strato anaerobico a stretto contatto col fondo.

pH

pH	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	7.95	7.77	8.56	8.72
Valore min	7.29	7.35	8.45	8.56
Valore medio	7.62	7.56	8.51	8.64
Andamento set (superf. → fondo)	crescente	crescente	crescente	crescente

Il pH segue l'andamento dell'ossigeno per cui mostra un massimo al tramonto ed un minimo all'alba.

Considerando i dati delle tre campagne di misure si osserva che l'acqua del Canale di Allacciamento è leggermente basica.

Sulla colonna d'acqua, si ha un andamento crescente del pH verso il fondo che deriva dalla presenza di processi di denitrificazione che avvengono nello strato anossico.

Come per la sezione di Via Visdomina, si nota che durante le ore notturne la crescita di pH non è lineare ma evidenzia un incremento più accentuato nei primi 20÷40 cm, per poi aumentare gradualmente verso il fondo.

Redox

ORP (mV)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	38	37	38	29
Valore min	11	12	31	22
Valore medio	24.5	24.5	34.5	25.5
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

Nella sezione del ponte di Via Bigatta, l'andamento dell'ORP nell'arco delle 24 ore, ha uno sviluppo diverso fra la prima e la seconda campagna di misure.

Nella prima campagna, il massimo ed il minimo dell'ORP vengono raggiunti entrambi prima del tramonto e seguiti da fasi di crescita. Nella seconda campagna si assiste ad un calo mattutino dell'ORP che si protrae fino a metà pomeriggio, dopodiché avviene una crescita moderata.

Sul singolo set di misure si osserva un calo dell'ORP verso il fondo che risulta mediamente più accentuato di giorno rispetto alla notte in riferimento alla prima campagna di misure, mentre nella seconda, tale diminuzione si ripropone con le stesse modalità nell'arco delle 24 ore.

Salinità

S (g/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	1.04	0.76	0.36	0.33
Valore min	0.34	0.36	0.35	0.31
Valore medio	0.69	0.56	0.36	0.32
Andamento set (superf. → fondo)	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente

Le variazioni di salinità che si verificano in questa sezione sono quasi trascurabili e ciò è dovuto al fatto che la distanza dal mare è tale da non permettere alle alte maree di influenzare sensibilmente il grado di salinità.

Sebbene in questa sezione sia piuttosto evidente la risalita d'acqua verso monte causata dalle alte maree, si ritiene che la salinità della massa d'acqua in arrivo sia molto più bassa di quella registrata nella sezione di chiusura (ponte di Via Visdomina). Ciò si spiega considerando che tale massa d'acqua, prima di giungere al ponte di Via Bigatta, ha subito una diluizione con acqua dolce proveniente da monte, per un tratto di circa 1 km (appunto la distanza tra i due ponti). Per questo motivo i valori massimi di salinità al ponte di Via Bigatta sono molto contenuti.

Inoltre, i due picchi giornalieri visibili nella sezione di chiusura sono qui molto meno evidenti; in particolare si nota un unico picco dovuto all'alta marea diurna che solitamente è quella di maggior intensità.

Data la distanza dal mare, il cuneo salino non riesce a raggiungere questa sezione per cui, in relazione alla colonna d'acqua, si ha raramente un aumento di salinità (comunque trascurabile) tra superficie e fondo.

La maggior parte dei set presenta una salinità costante a dimostrazione della prevalenza del contributo di acqua dolce da monte.

Temperatura

T (°C)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	29.72	25.55	24.23	22.76
Valore min	24.29	22.54	23.89	22.09
Valore medio	27.01	24.05	24.06	22.43
Andamento set (superf.→fondo)	costante	costante	costante	costante

Anche in questa sezione, le variazioni giornaliere di temperatura ricalcano l'andamento caratteristico, con il massimo al tramonto ed il minimo all'alba. Considerando la colonna d'acqua, la temperatura si è mantenuta praticamente costante o con piccole diminuzioni (trascurabili) verso il fondo.

Le alte temperature raggiunte non hanno inficiato negativamente sulla concentrazione dell'ossigeno disciolto, a riprova del fatto che è presente una forte produzione di ossigeno dovuta alla fotosintesi.



Fig.24 Vista del Canale di Allacciamento (verso valle) dal ponte di Via Bigatta.

7.3 Ponte di Via Fiscala

Ossigeno disciolto

DO (mg/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	14.50	8.12	5.36	6.31
Valore min	3.15	3.10	4.45	4.45
Valore medio	8.83	5.61	4.91	5.38
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

Durante la giornata, il massimo della concentrazione di ossigeno disciolto viene raggiunto poco prima del tramonto mentre il minimo si verifica all'alba.

Anche in questa sezione, il contributo di ossigeno dovuto alla fotosintesi è molto elevato raggiungendo valori prossimi e superiori alla saturazione.

I valori minimi registrati sono piuttosto alti, anche se non si può tralasciare la mancanza di dati relativi alla fascia di 25÷30 cm a contatto col fondo, in cui la concentrazione di ossigeno diminuisce ulteriormente. Ciò si spiega per la presenza di bolle in superficie provenienti dal fondo, che denotano un'attività anaerobica degli strati profondi.

In relazione al singolo set di misure, si osserva mediamente una lieve diminuzione di ossigeno verso il fondo.

pH

pH	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	8.00	7.81	8.60	8.73
Valore min	7.17	7.39	8.40	8.57
Valore medio	7.59	7.60	8.50	8.65
Andamento set (superf.→fondo)	crescente	crescente	crescente	crescente

L'andamento del pH conferma ancora una volta di essere strettamente collegato a quello dell'ossigeno, mostrando un massimo al tramonto ed un minimo di mattina.

Anche in questa sezione, l'acqua presenta una leggera basicità.

L'aumento di pH dalla superficie verso il fondo presenta i due tipici andamenti che caratterizzano le ore diurne e quelle notturne.

Di conseguenza, la crescita del pH di giorno è pressoché lineare mentre di notte, a causa dell'espansione verso la superficie dello strato anossico, si ha un aumento marcato nei primi 20 cm di profondità ed un aumento più lieve verso il fondo.

Redox

ORP (mV)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	39	37	39	29
Valore min	11	12	28	18
Valore medio	25	24.5	33.5	23.5
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

Come nelle sezioni precedenti, l'andamento giornaliero dell'ORP presenta uno sviluppo diverso tra la prima e la seconda campagna di misure.

Nella prima campagna, il massimo dell'ORP si verifica prima del tramonto, in concomitanza del massimo di ossigeno disciolto e di pH, mentre il minimo viene raggiunto al tramonto e seguito da una fase di crescita.

Nella seconda campagna si assiste ad un evidente calo mattutino dell'ORP che culmina a metà pomeriggio, dopodiché segue una crescita moderata.

In riferimento alla colonna d'acqua, l'ORP mostra una diminuzione verso il fondo che risulta mediamente più marcata di giorno rispetto alla notte.

Salinità

S (g/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	0.59	0.62	0.43	0.33
Valore min	0.31	0.35	0.34	0.30
Valore medio	0.45	0.49	0.39	0.32
Andamento set (superf. → fondo)	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente

La bassa variabilità tra i valori massimi e minimi registrati sul ponte di Via Fiscala, indica che la capacità delle maree ad innalzare il grado di salinità dell'acqua, non riesce a spingersi fino a questa sezione.

Sebbene durante le alte maree, sia visibile il moto dell'acqua verso monte, si ritiene che l'acqua in arrivo da valle abbia un grado di salinità molto basso dovuto a miscelazione con acqua dolce, protratta per un lungo tratto. Molto probabilmente, l'acqua che partecipa alla risalita verso monte "occupa" solo lo strato superficiale dove notoriamente hanno luogo le velocità maggiori in riferimento alla colonna d'acqua. Allo stesso tempo l'acqua dolce occupa gli stessi strati superficiali, per cui è facile capire il motivo della bassa salinità, nonostante l'influenza delle maree sul moto dell'acqua.

Per lo stesso motivo, i picchi giornalieri di salinità sono poco marcati.

I valori medi di salinità, provenendo da misure fatte in giorni diversi ed essendo tutti dello stesso ordine di grandezza, avvalorano questa ipotesi.

Temperatura

T (°C)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	29.91	25.77	25.02	22.56
Valore min	24.36	22.52	24.27	21.84
Valore medio	27.14	24.15	24.65	22.20
Andamento set (superf.→fondo)	costante	costante	costante	costante

L'andamento giornaliero della temperatura rispecchia lo sviluppo tipico visto per le sezioni precedenti, cioè con un massimo al tramonto ed un minimo all'alba.

Sulla colonna d'acqua la temperatura si mantiene perlopiù costante o evidenziando delle diminuzioni irrilevanti in profondità.

Anche in questa sezione si nota come, nonostante le alte temperature raggiunte, il livello di ossigeno sia comunque elevato a conferma del contributo non trascurabile dato dalla fotosintesi.



Fig.25 Vista del Canale di Allacciamento (verso valle) dal ponte di Via Fiscale.

7.4 Ponte di Via Cervese

Ossigeno disciolto

DO (mg/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	14.81	9.10	6.83	5.49
Valore min	3.20	3.09	4.52	4.71
Valore medio	9.01	6.10	5.68	5.10
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

Nell'arco della giornata, il massimo della concentrazione di ossigeno disciolto viene raggiunto nel tardo pomeriggio, mentre il minimo si verifica all'alba solo nella prima campagna di misure.

Nella seconda campagna, il minimo dell'ossigeno viene raggiunto a mezzogiorno.

Osservando i valori delle tre campagne di misura si può notare mediamente un'elevata concentrazione di ossigeno. Ciò è dovuto al fatto che la ridotta profondità di questa sezione (circa 70 cm) favorisce la penetrazione della radiazione luminosa fino al fondo, perciò la fotosintesi può instaurarsi su gran parte della colonna d'acqua.

Il contributo di ossigeno dovuto alla fotosintesi è molto elevato raggiungendo valori prossimi e superiori alla saturazione.

Anche i valori minimi sono elevati, sebbene non si possa tralasciare la presenza di uno strato anossico in profondità in cui la concentrazione di ossigeno cali sensibilmente. Data la scarsa profondità e la prevalenza di fenomeni aerobici come la fotosintesi, si ritiene che tale strato anossico occupi una fascia di piccolo spessore durante il giorno, e che abbia maggiore influenza sulla concentrazione di ossigeno solo di notte.

In relazione al singolo set di misure, si osserva una lieve diminuzione di ossigeno verso il fondo.

pH

pH	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	7.97	7.80	8.62	8.64
Valore min	7.19	7.34	8.50	8.56
Valore medio	7.58	7.57	8.56	8.60
Andamento set (superf. → fondo)	crecente	crecente	crecente	crecente

L'andamento giornaliero del pH segue quello dell'ossigeno, evidenziando anche in questa sezione, un massimo in corrispondenza del tramonto ed un minimo di mattina.

Mediamente, l'acqua mantiene una moderata basicità.

Per quanto riguarda l'aumento di pH verso il fondo, è più difficile osservare le due modalità di crescita individuate nelle altre sezioni, a causa della scarsa profondità. Tale problema è evidente nella prima campagna di misure in cui sono state effettuate solo due misure per set, perciò non è possibile osservare particolari trend del pH. Tuttavia, nella seconda campagna, potendo confrontare tre misure per set, si è osservato il tipico comportamento di crescita del pH già visto nelle sezioni precedenti.

Ciò conferma ulteriormente la presenza dello strato anossico e della sua influenza sull'aumento di pH.

Redox

ORP (mV)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	36	38	36	28
Valore min	17	12	30	22
Valore medio	26.5	25	33	25
Andamento set (superf.→fondo)	calante	calante	calante	calante

L'andamento giornaliero dell'ORP presenta uno sviluppo diverso tra la prima e la seconda campagna di misure.

Nella prima campagna, il massimo dell'ORP si verifica prima del tramonto, in concomitanza col massimo di ossigeno disciolto e di pH, mentre il minimo viene raggiunto al tramonto e seguito da una fase di crescita.

Nella seconda campagna si assiste ad un evidente calo mattutino dell'ORP che culmina a metà pomeriggio, dopodiché segue una crescita moderata.

In riferimento alla colonna d'acqua, l'ORP mostra una diminuzione verso il fondo.

Salinità

S (g/l)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	0.47	0.47	0.48	0.35
Valore min	0.31	0.35	0.41	0.31
Valore medio	0.39	0.41	0.45	0.33
Andamento set (superf.→fondo)	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente	costante, crescente

Il ponte di Via Cervese rappresenta la sezione più lontana dal mare, di conseguenza i livelli di salinità registrati sono molto bassi, non raggiungendo il mezzo grammo per litro.

In questa sezione è ancora apprezzabile il moto di risalita dell'acqua in concomitanza con le alte maree, ma a ciò non corrisponde un aumento sensibile di salinità. Considerando i valori massimi, si può tranquillamente affermare che l'acqua presente in questo tratto sia dolce.

L'andamento della salinità durante la giornata e sulla colonna d'acqua è praticamente costante.

Temperatura

T (°C)	Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	
	17, 19-20/7/'07	31/7, 1-2/8/'07	9/8/'07	13/8/'07
Valore max	29.41	26.18	26.33	22.28
Valore min	24.39	22.42	25.23	21.72
Valore medio	26.90	24.30	25.78	22.00
Andamento set (superf.→fondo)	costante	costante	costante	costante

Durante la giornata, il massimo della temperatura viene raggiunto prima del tramonto mentre il minimo si verifica all'alba.

In riferimento alla colonna d'acqua, la temperatura si mantiene perlopiù costante o evidenziando delle diminuzioni trascurabili in profondità.

Anche in questa sezione si può notare come, malgrado le alte temperature raggiunte, il livello di ossigeno rimanga elevato a riprova del notevole contributo della fotosintesi.



Fig.26 Vista del Canale di Allacciamento a valle dal ponte sulla Strada Cervese.

Capitolo 8

MODELLAZIONE DEL CANALE DI ALLACCIAMENTO

Nell'ambito delle condizioni ambientali che agiscono sul Canale di Allacciamento, ossia l'apporto di reflui trattati da monte e le maree da valle, è stato possibile definire un modello che descrivesse la concentrazione nello spazio e nel tempo di alcuni parametri, direttamente correlabili con l'azione di finissaggio attuata nel canale.

Ovviamente, pur tenendo conto dei principali fenomeni fisici e chimico-biologici (variazioni di velocità date dalle maree, fotosintesi, respirazione cellulare e mortalità), il modello proposto risulta molto semplificato rispetto alle reali interazioni che determinano la depurazione naturale. In particolare, sono stati trascurati fenomeni naturali come la nitrificazione che consuma ossigeno e la denitrificazione che comporta un abbattimento dell'azoto.

8.1 Descrizione del modello

8.1.1 Componente idraulica

Il tratto di canale esaminato è stato suddiviso in 18 celle della lunghezza di 100 metri e larghezza costante, più una cella di monte ed una di valle di dimensioni differenti (vedi allegato 1). Per ogni cella, a passi temporali Δt di 60 secondi e per un tempo totale di simulazione di 48 ore, sono stati descritti i seguenti parametri idraulici:

- altezza colonna d'acqua;
- portata;
- velocità superficiale;
- volume cella.

Poiché le maree influenzano notevolmente il moto nel Canale di Allacciamento, è stato necessario adattare la funzione sinusoidale che descrive l'escursione delle maree, sulla base delle misure di livello effettuate nei giorni 17, 19-20 luglio. In questo modo le variazioni dei

parametri idraulici sopra citati e dei tempi di residenza sono legate alle escursioni di marea, secondo un modello in moto vario con oscillazione costante lungo il tratto di canale considerato.

Volendo fare un paragone con gli impianti di trattamento, ogni cella può essere intesa come un reattore completamente miscelato, esposto alla radiazione solare sulla superficie superiore del volume.

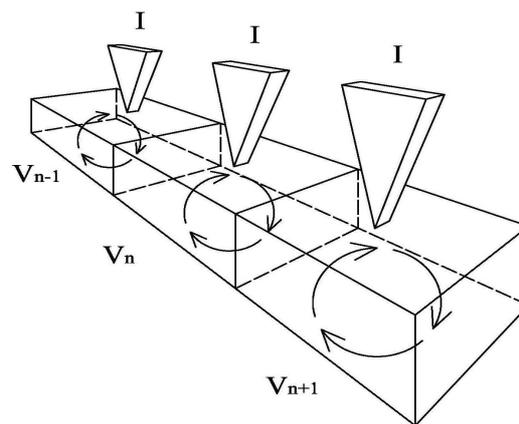


Fig.27 Rappresentazione schematica. La radiazione solare I grava sulla superficie superiore del volume V di ogni cella. Le frecce circolari indicano la completa miscelazione del volume.

Definite le variabili idrauliche delle celle, sono state stabilite le condizioni iniziali e al contorno.

8.1.2 Componente chimico-biologica

Per ogni cella sono stati simulati gli andamenti nel tempo delle concentrazioni di:

- batteri (X);
- alghe (A);
- substrato (BOD);
- ossigeno (O_2);
- salinità (S).

In generale, la concentrazione di ogni singolo parametro della cella n-esima all'istante t deriva dalla somma:

$$K_n^t = K_n^{t-1} + dK_n^t \cdot dt$$

Eccetto per la cella 20 che ha la seguente espressione per tener conto dell'apporto costante da monte:

$$\text{Se } Q_{20}^t \geq 0 \text{ allora } K_{20}^t = \frac{K_{19}^t \cdot Q_{20}^t + K_{ingmon} \cdot Q_{scarico}}{Q_{20}^t + Q_{scarico}} \text{ altrimenti } K_{20}^t = K_{ingmon}$$

dove:

K = concentrazione del generico parametro [kg/m^3];

K_{ingmon} = generico parametro in ingresso da monte [kg/m^3] (condizione al contorno);

$Q_{scarico}$ = portata di scarico da monte [m^3/s] (condizione al contorno);

n = indice di cella ($n = 1, 2, \dots, 19$);

t = indice di tempo ($t = 0, 1, \dots, 2880$);

dK = variazione della concentrazione del parametro K nel tempo [$\text{kg}/\text{m}^3/\text{s}$];

dt = passo temporale [$60 \text{ s} = 0.00069 \text{ d}$].

Alla prima e all'ultima cella (cella di valle C1 e di monte C20) sono stati assegnati dei valori di concentrazione in ingresso per ogni parametro, in modo da costituire le condizioni al contorno del modello. Per tutte le restanti celle, sono stati assegnati dei valori iniziali di concentrazione.

La variazione della concentrazione del generico parametro nel tempo (dK), è costituita da due contributi: il primo è dato dal bilancio dei carichi tra la cella precedente ($n-1$) e quella successiva ($n+1$) a seconda del segno della portata Q_n della cella n-esima, mentre il secondo contributo è diverso per ogni parametro e dipende da relazioni chimico-biologiche specifiche.

$$dK = \text{bilancio carichi} + \text{contributo chimico-biologico}$$

Per meglio comprendere quanto sopra descritto, si ritiene opportuno descrivere in dettaglio le formule che regolano le variazioni dei parametri simulati nel modello.

Bilancio dei carichi

Il bilancio dei carichi è comune a tutti e cinque i parametri (X, A, BOD, O₂ ed S) ed è definito in questo modo:

Cella di valle (n = 1)

Se $Q_1^t \geq 0$ il bilancio dei carichi all'istante t è:

$$\left[K_{ingval} \cdot Q_1^t - K_1^{t-1} \cdot Q_2^t \right] \frac{1}{V_1^t} \quad \text{altrimenti:} \quad \left[-K_2^t \cdot Q_1^t + K_1^{t-1} \cdot Q_1^t \right] \frac{1}{V_1^t}$$

Celle intermedie (n = 2 → 19)

Se $Q_n^t \geq 0$ il bilancio dei carichi all'istante t è:

$$\left[K_{n-1}^t \cdot Q_n^t - K_n^{t-1} \cdot Q_{n+1}^t \right] \frac{1}{V_n^t} \quad \text{altrimenti:} \quad \left[-K_{n+1}^t \cdot Q_n^t + K_n^{t-1} \cdot Q_{n-1}^t \right] \frac{1}{V_n^t}$$

Cella di monte (n = 20)

Se $Q_{20}^t \geq 0$ il bilancio dei carichi all'istante t è:

$$\left[K_{19}^t \cdot Q_{20}^t + K_{ingmon} \cdot Q_{scarico} \right] \frac{1}{V_{20}^t} \quad \text{altrimenti:} \quad \left[-K_{20}^t \cdot Q_{20}^t + K_{ingmon} \cdot Q_{scarico} \right] \frac{1}{V_{20}^t}$$

dove:

K = concentrazione del generico parametro (X, A, BOD, O₂ oppure S);

K_{ingval} = concentrazione in ingresso da valle [kg/m³] (condizione al contorno);

Q = portata [m³/s];

V = volume della cella [m³].

Il secondo contributo di dK (contributo chimico-biologico) è diverso per ogni parametro, eccetto per la salinità S che varia solo in funzione del bilancio dei carichi.

Contributo chimico-biologico per i batteri (X)

A dX deve essere aggiunto un incremento dovuto dalla relazione di Michaelis-Menten, perciò al bilancio dei carichi prima descritto bisogna sommare:

$$+ \left(\mu_{\max} \cdot \frac{BOD_n^{t-1}}{k_{BOD} + BOD_n^{t-1}} - k_d \right) X_n^{t-1}$$

dove:

μ_{\max} = tasso di crescita massima [d^{-1}];

k_{BOD} = costante di semisaturazione [kg/m^3];

k_d = tasso di mortalità [d^{-1}];

X = concentrazione dei batteri (biomassa) [kg/m^3];

BOD = concentrazione del substrato [kg/m^3].

Contributo chimico-biologico per le alghe (A)

A dA deve essere sommato il seguente termine che sottintende un incremento di alghe dato dalla fotosintesi ed una diminuzione dovuta dalla mortalità e dalla sedimentazione delle alghe morte.

$$+ \left(k_{ga} \cdot Fla_n^t - k_{da} - \frac{v_a}{H_n^t} \right) A_n^{t-1}$$

dove:

k_{ga} = massimo contributo fotosintetico [d^{-1}];

Fla = fattore di crescita (proporzionale alla radiazione luminosa) [adimensionale, variabile da 0 a 1];

k_{da} = tasso di mortalità [d^{-1}];

v_a = velocità di sedimentazione [m/d];

H = altezza della colonna d'acqua [m];

A = concentrazione delle alghe [kg/m^3];

dt = passo temporale [d].

Il fattore di crescita Fla dipende dalla radiazione luminosa e anche dalla concentrazione delle alghe, per cui risulta variabile sia spazialmente che temporalmente.

Nel modello si sono ipotizzati gli orari di alba e tramonto (ore 5:00 e ore 21:00) in modo tale da poter definire l'entità della radiazione luminosa durante le ore di luce. Di conseguenza, nelle ore notturne comprese dalle 21:00 alle 5:00, la radiazione luminosa disponibile per le alghe è stata posta a zero, per cui $Fla = 0$ (= nessuna crescita).

Per le ore di luce si è cercato, attraverso la formula seguente, di ripartire l'intensità luminosa in maniera verosimile, cioè avendo un massimo verso le 13:00 e i minimi alle 5:00 e alle 21:00.

$$I_a^i = \frac{I}{2N} \cdot \left[\cos\left(\frac{\pi \cdot (i-1)}{N}\right) - \cos\left(\frac{\pi \cdot i}{N}\right) \right]$$

con:

I_a^i = intensità luminosa relativa al passo i-esimo [W/m^2];

I = intensità luminosa media giornaliera riferita al mese di luglio [W/m^2];

N = numero totale di minuti di luce [= 960];

i = indice temporale relativo ai minuti di luce [$1 \div 960$].

Successivamente, per ogni cella è stata calcolata l'intensità luminosa media disponibile per le alghe in questo modo:

$$I_{ndisp}^i = I_a^i \cdot e^{-K_e H_n^i A_n^{i-1}}$$

dove:

I_{ndisp}^i = intensità luminosa media disponibile per le alghe [W/m^2];

K_e = coefficiente di estinzione luminosa [d^{-1}].

In questo caso l'indice i ha la stessa valenza dell'indice temporale t .
 Infine si ricava Fla in questo modo:

$$Fla_n^t = \ln \left(\frac{K_{la} + I_{ndisp}^t}{K_{la} + I_{ndisp}^t \cdot e^{-K_d \cdot H_n^t}} \right)$$

dove:

K_{la} = parametro di luce [adimensionale].

Contributo chimico-biologico per il substrato (BOD)

A $dBOD$ viene sottratta la quota relativa alla crescita dei batteri secondo il coefficiente di resa cellulare, ed aggiunta la quota relativa alla mortalità sia dei batteri che delle alghe.

$$-\frac{1}{Y} \left(\mu_{\max} \cdot \frac{BOD_n^{t-1}}{k_{BOD} + BOD_n^{t-1}} - k_d^* \right) X_n^{t-1} + k_{da} A_n^{t-1}$$

dove:

$Y = 0.88$ coefficiente di resa cellulare;

k_d^* = tasso di mortalità batterica [d^{-1}].

E' necessario ricordare che k_d^* non è uguale a k_d ma è più piccolo di un ordine di grandezza. Ciò deriva dal fatto che la maggior parte della biomassa batterica morta esce dal sistema come CO_2 , mentre solo una minima parte contribuisce all'aumento del BOD.

Contributo chimico-biologico per l'ossigeno disciolto (O_2)

A dO_2 viene sommato il contributo dovuto dalla fotosintesi e sottratto l'equivalente di ossigeno derivato dalla respirazione batterica.

$$+ \left[(c_1 \cdot k_{ga} \cdot Fla_n^t) A_n^{t-1} - \left(\frac{c_2}{Y} \cdot \left(\mu_{\max} \cdot \frac{BOD_n^{t-1}}{k_{BOD} + BOD_n^{t-1}} - k_d^* \right) \right) X_n^{t-1} \right] \cdot 1000$$

dove:

c_1 , c_2 = coefficienti legati alla stechiometria delle reazioni biologiche interessate [adimensionali].

La moltiplicazione per 1000 serve ad avere la concentrazione dell'ossigeno in g/m^3 (= mg/l) dato che A e BOD sono espressi in kg/m^3 .

8.2 Risultati del modello

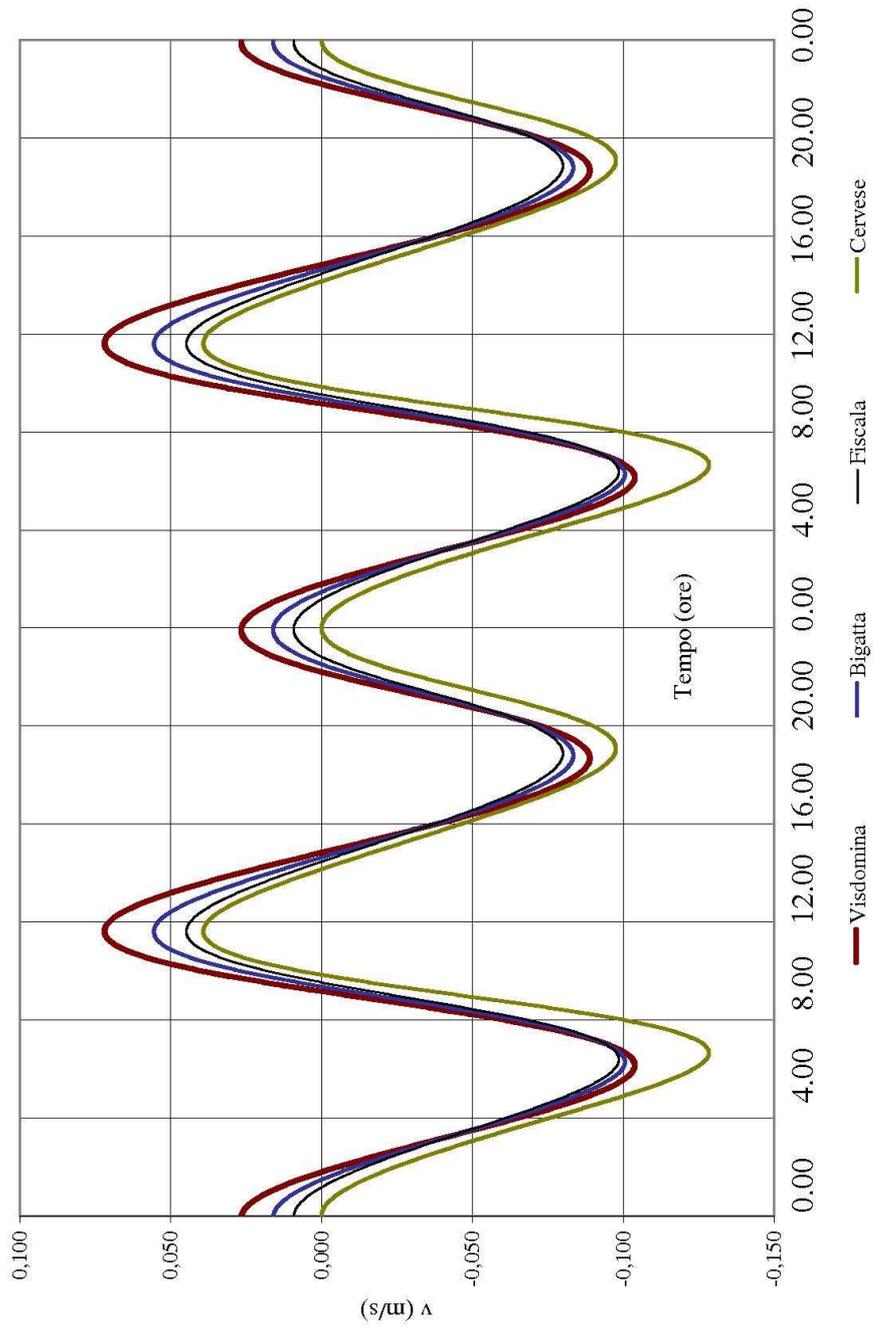
Di seguito riportiamo i risultati di una simulazione eseguita dal modello.

Nei grafici seguenti si è scelto di privilegiare gli andamenti dei parametri relativi alle sezioni centrali (ponte di Via Bigatta (C10) e di Via Fiscala (C14)). Queste, essendo più lontane dalle celle di valle e di monte, risentono meno del condizionamento dato dalle concentrazioni in ingresso, risultando così più rappresentative del fenomeno.

Per valutare la bontà del modello è stato necessario il confronto tra i dati simulati e quelli misurati. A questo scopo si è optato per l'ossigeno disciolto sia per la sua rappresentatività dei fenomeni biologici coinvolti nel finissaggio, sia per la buona disponibilità di valori misurati.

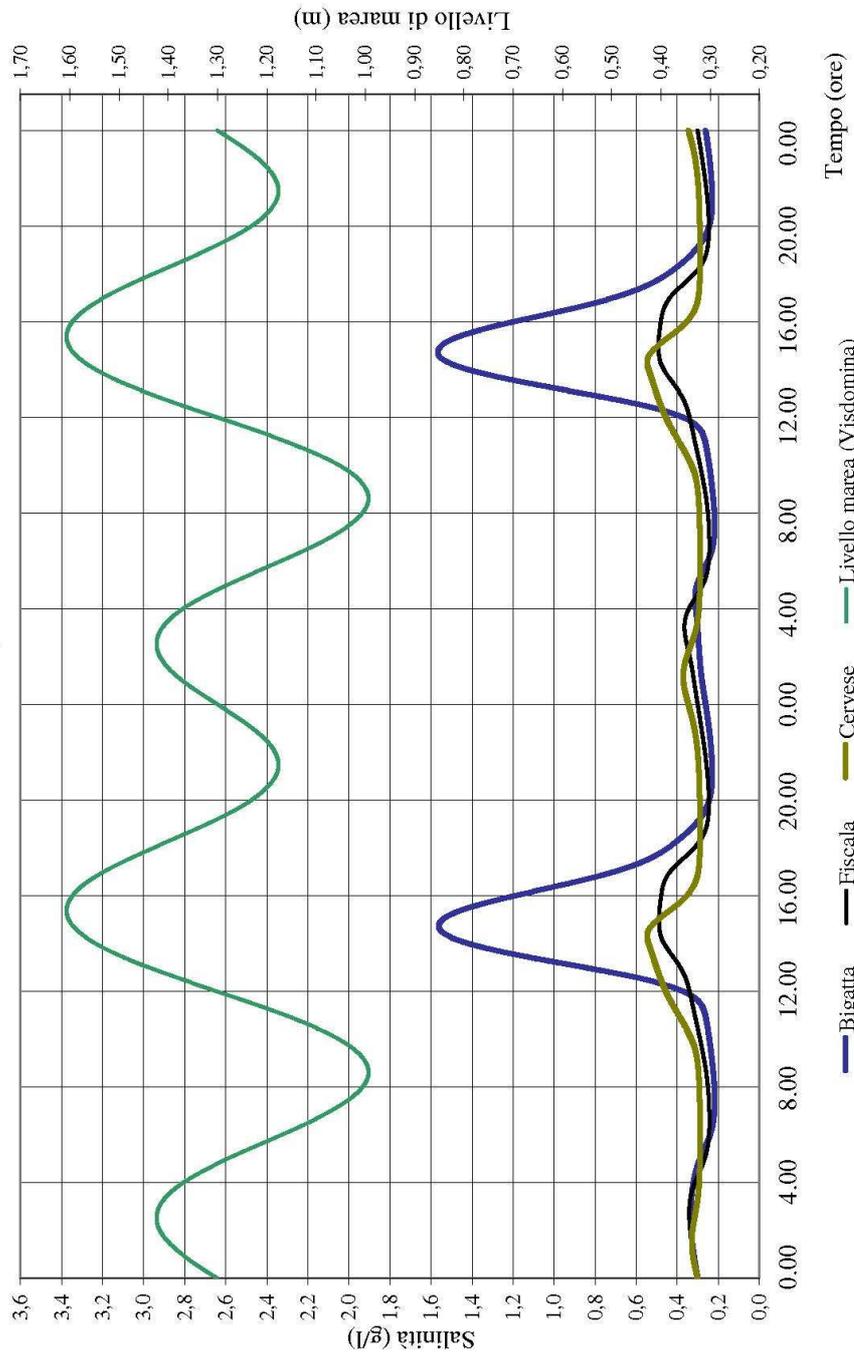
CANALE ALLACCIAMENTO - VELOCITA'

t = 48 h ; dt = 60 s

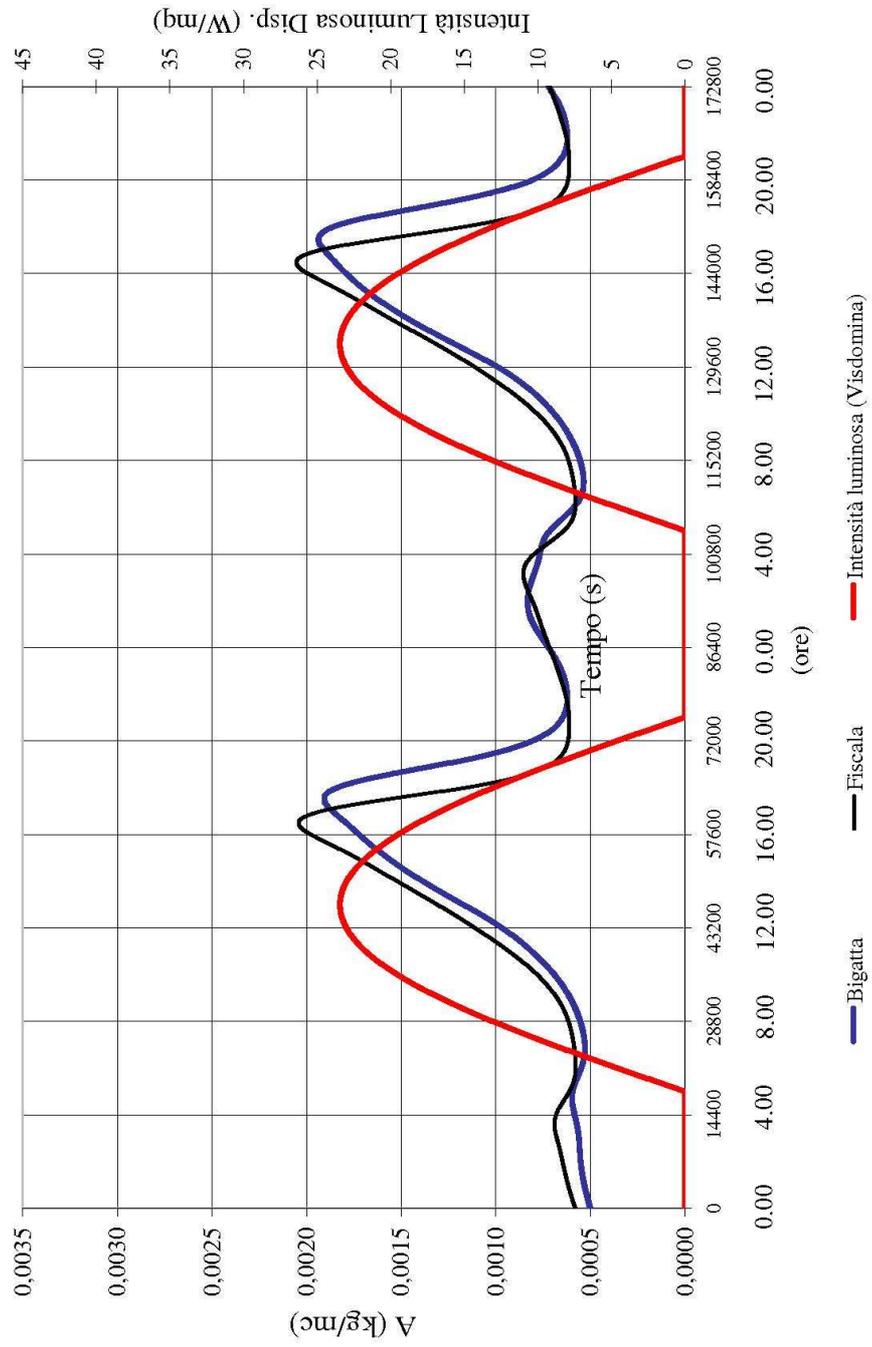


CANALE ALLACCIAMENTO - SALINITA'

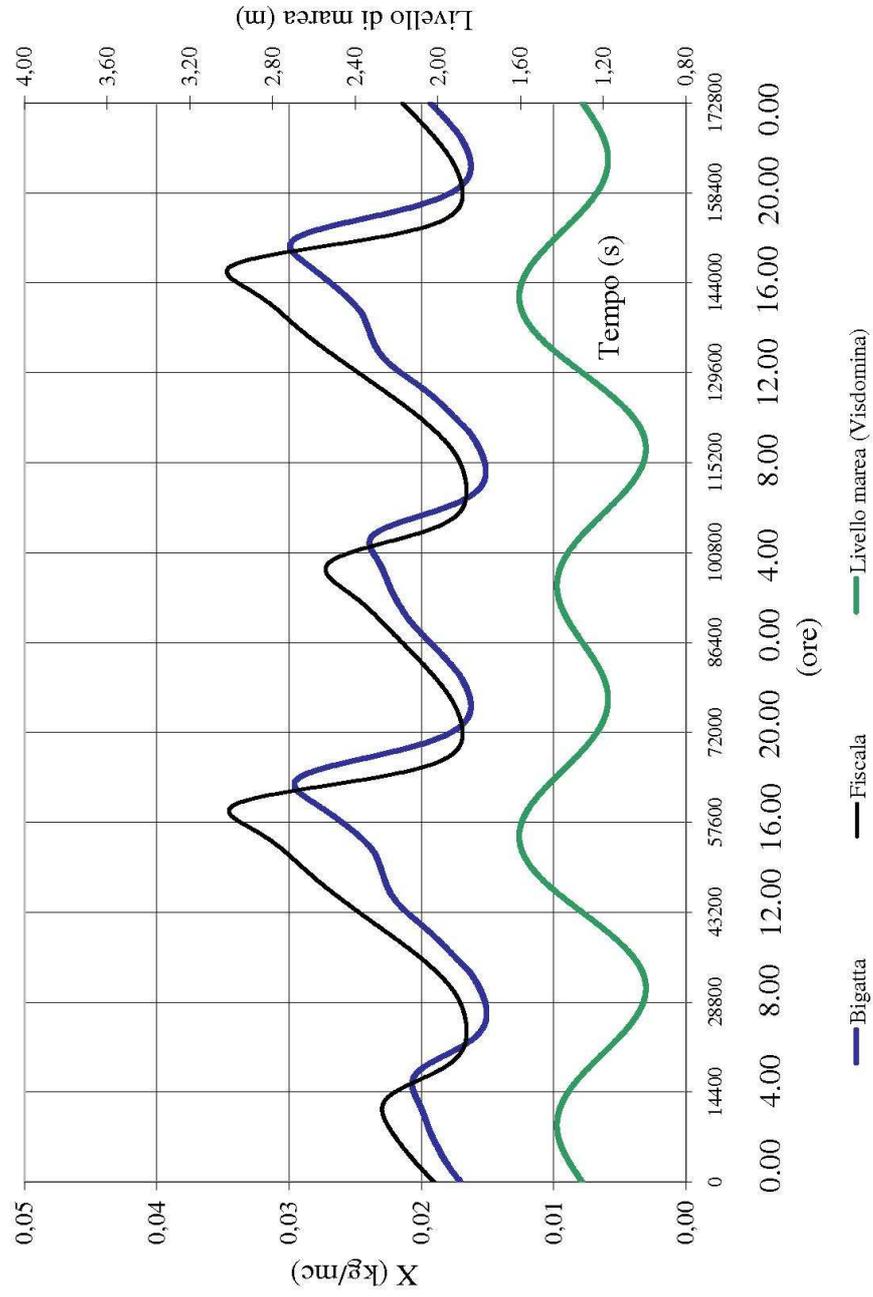
t = 48 h ; dt = 60 s



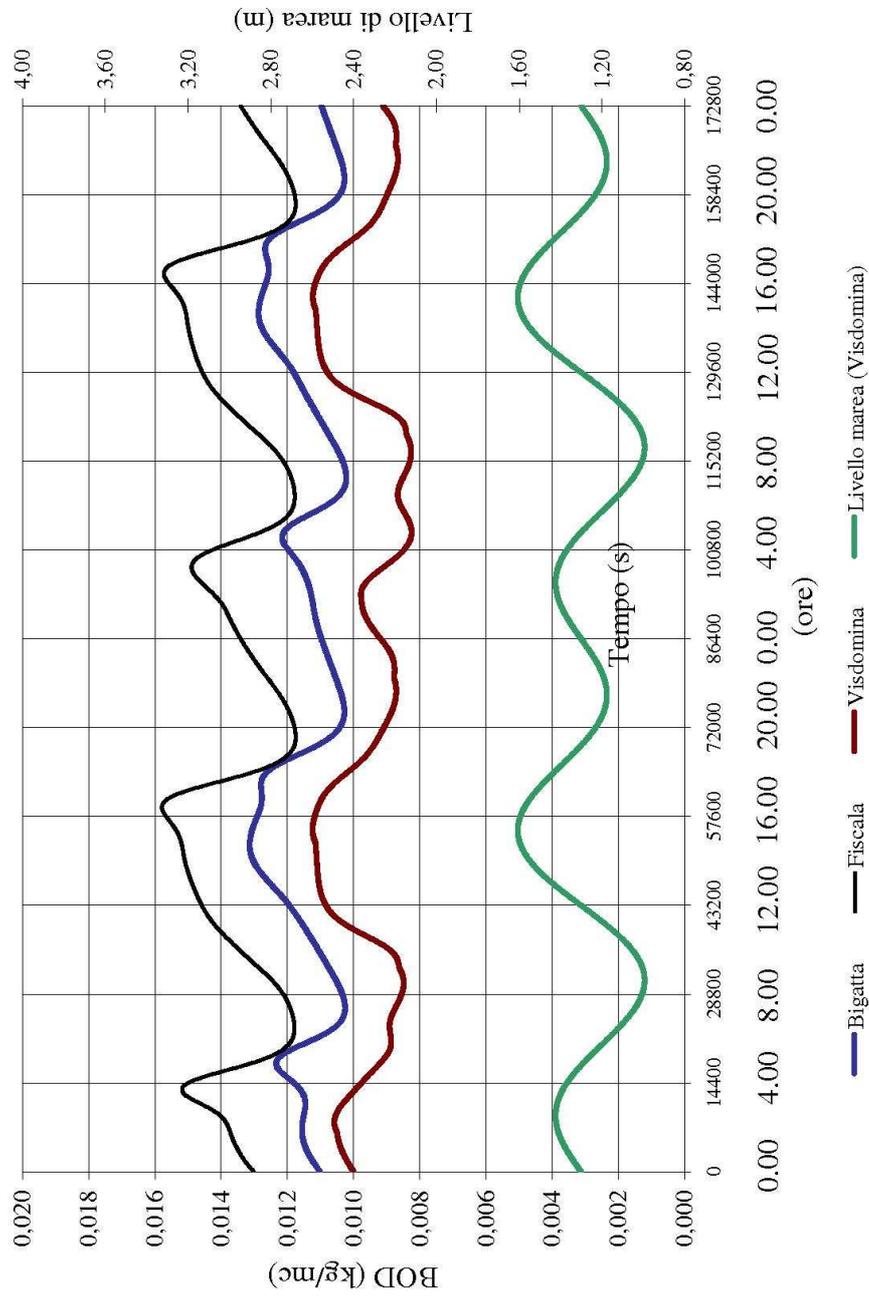
CANALE ALLACCIAMENTO - ALGHE



CANALE ALLACCIAMENTO - BATTERI

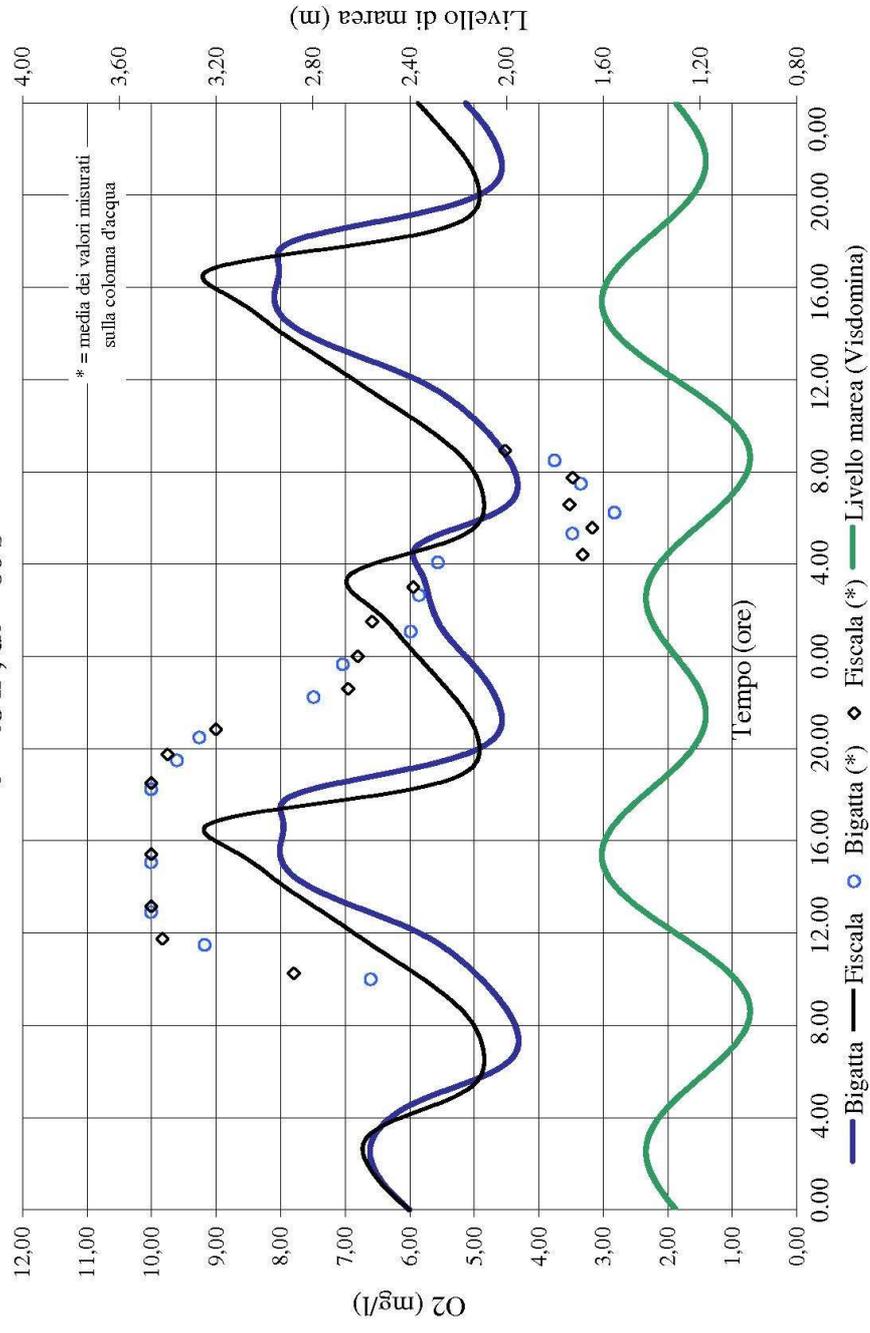


CANALE ALLACCIAMENTO - SUBSTRATO



CANALE ALLACCIAMENTO - OSSIGENO DISCIOLTO

t = 48 h ; dt = 60 s



8.3 Considerazioni

Alghe

A (kg/m ³)	Fiscalà	Bigatta
Max	0.002	0.0018
Min	0.0006	0.0005
Media	0.0013	0.0012

In riferimento al grafico delle alghe, il modello tende a ritardare la crescita nelle ore diurne. Considerando l'intensità luminosa disponibile e la sua distribuzione giornaliera, si osserva che le alghe raggiungono il massimo di concentrazione (circa 0.002 kg/m³) tra le 16:00 e le 18:00, ossia qualche ora dopo il massimo dell'intensità luminosa. Durante le ore notturne, il modello evidenzia una piccola crescita che risulta in antitesi con il fenomeno reale. Questo è da imputare al fatto che le condizioni di marea del modello, influiscono molto sui fenomeni biologici. In altre parole i bilanci dei carichi, dipendendo dalle portate e quindi dalla marea, pertanto pesano di più sulle componenti chimico-biologiche del fenomeno. In questo modo si riesce a spiegare sia il motivo per cui il picco delle alghe risulta sfasato rispetto al massimo dell'intensità luminosa, sia la debole crescita notturna. Nonostante ciò, la simulazione delle alghe risulta credibile rispetto alla situazione naturale.

Batteri

X (kg/m ³)	Fiscalà	Bigatta
Max	0.034	0.03
Min	0.017	0.015
Media	0.026	0.023

L'andamento temporale dei batteri presenta un profilo ciclico con fluttuazioni riconducibili con il reale sviluppo batterico in acqua. Anche in questo caso si può notare come lo sviluppo del parametro dipenda dalla marea.

La maggior concentrazione raggiunta al ponte di Via Fiscala è collegata alla maggior disponibilità di nutrimento (substrato) presente a monte. Nel modello si è tenuto conto del fatto che la cella di monte (C20), ricevendo per prima i reflui dal Rio Granarolo, dovesse avere un BOD in ingresso più alto, intorno a 0.02 kg/m^3 (valore mediato sulla base di alcune misurazioni fatte da A.R.P.A. agli inizi degli anni '90 in località San Giorgio, subito a valle dell'impianto di Cesena).

Substrato

BOD (kg/m^3)	Fiscala	Bigatta	Visdomina
Max	0.0155	0.0125	0.011
Min	0.0117	0.0105	0.0085
Media	0.0136	0.0115	0.0098

Nel grafico del BOD è stato inserito anche l'andamento della cella di Via Visdomina. Osservando gli andamenti delle tre celle da monte verso valle (Fiscala→Bigatta→Visdomina), si nota la progressiva diminuzione di substrato nei valori medi. Tale diminuzione evidenziata dal modello, conferma l'azione di finissaggio che il tratto di canale applica ai reflui in ingresso. Considerando la singola cella, si può notare ancora una volta la ciclicità dettata dalla marea.

Ossigeno disciolto

O₂ (mg/l)	Fiscala	Bigatta
Max	9.2	8.1
Min	4.8	4.2

L'andamento dell'ossigeno presentato dal modello ha uno sviluppo giornaliero che risulta essere in fase con l'evoluzione della marea. In generale il modello rileva una minore variabilità rispetto ai valori misurati. Quest'ultimi, derivando da una semplice media sulla colonna d'acqua risultano sicuramente più alti, se si considera che, a causa del supporto collegato alla sonda, lo strato più profondo non è stato misurato.

Altra particolarità evidenziata dal modello è il minimo di ossigeno in corrispondenza del minimo serale di bassa marea (ore 20:00 circa). Nello stesso periodo i dati misurati evidenziano una diminuzione indipendente dalla marea e protratta fino alle 7:00 di mattina. In natura, infatti, i cali maggiori di ossigeno disciolto si verificano di notte quando viene meno la fotosintesi.

Il modello invece, essendo influenzato dalle condizioni di marea, propone un aumento notturno di ossigeno (dalle 20:00 alle 4:00 circa) poco compatibile con la realtà.

CONCLUSIONI

Durante la stagione estiva sono state eseguite campagne di misura molto accurate, finalizzate a ricavare il maggior numero di informazioni correlabili con l'attività biologica presente nel Canale di Allacciamento.

In riferimento alle quattro sezioni di misura, sono stati studiati gli andamenti giornalieri dell'ossigeno disciolto, del pH e del potenziale di ossido-riduzione, quali indicatori dei fenomeni chimico-biologici che stanno alla base della depurazione naturale. Inoltre si è tenuto conto sia delle variazioni di salinità per accertare l'influenza delle maree nelle varie sezioni del canale, che della temperatura dell'acqua come informazione aggiuntiva.

L'indagine svolta ha permesso di valutare l'effetto di finissaggio sui reflui attraverso lagunaggio facoltativo in acque di transizione, condizionato dalle maree e verificato da tempi di residenza nel canale dell'ordine del giorno, simili a quelli di un impianto di trattamento tradizionale.

Le analisi hanno dimostrato la prevalenza dei fenomeni di tipo aerobico su quelli anaerobici, evidenziando andamenti dell'ossigeno disciolto in funzione dell'equilibrio tra crescita algale e composizione batterica.

I fenomeni rilevati sono stati successivamente interpretati tramite descrizione matematica basata su un modello di propagazione delle portate e dei carichi in moto vario, regolato dalle oscillazioni di marea.

Il modello, costruito su una discretizzazione in celle del tratto di canale esaminato, ha permesso di simulare gli andamenti nel tempo e nello spazio di popolazioni algali e batteriche, nonché del BOD. Inoltre, tenendo conto dei fenomeni di fotosintesi algale e di respirazione batterica, si è cercato di riprodurre l'andamento giornaliero dell'ossigeno disciolto e confrontarlo con valori reali derivanti dalle campagne di misura effettuate.

I risultati ottenuti hanno mostrato variazioni nelle concentrazioni di alghe e batteri compatibili con le reali dinamiche biologiche tipiche degli ambienti acquatici naturali.

In particolare, analizzando il calo del BOD da monte verso valle in relazione alle condizioni di marea, è stato confermato l'effetto di finissaggio sui reflui attraverso lagunaggio facoltativo in acque di transizione.

ALLEGATI

Allegato 1: Planimetria generale

Allegato 2: Profilo pendenze del fondo

Allegato 3: Profilo sezioni trasversali

BIBLIOGRAFIA

Baly E.C.C., 1935. *The Kinetics of Photosynthesis*. Proc. Royal Soc. London Ser. B, 117:218-239.

Bramanti A., 1988. *Lagune e stagni costieri: due ambienti a confronto*. In: Carrada G.C., Cicogna F. e Fresi E. (Eds). "Le lagune costiere: ricerca e gestione". CLEM pubbl., Massa Lubrense (Napoli): 9-33.

Di Toro D.M., 1978. *Optics of Turbid Estuarine Waters: Approximations and Applications*. Water Res. 12:1059-1068.

Droop, M.R. 1974. *The nutrient status of algal cells in continuous culture*. J.Mar.Biol.Assoc. UK 54:825-855.

Giangrande A., Gravina M.F., Gambi M.C., Fresi E., Ardizzone G., 1983-84. *Policheti di fondo mobile di aree costiere semichiusate: fattori di selezione in ambiente salmastro*. NOVA THALASSIA, 6 (suppl.): 155-163.

Guelorget O., Perthuisot J.P., 1992. *Paralic Ecosystems. Biological organization and functioning*. Vie Milieu, 42 (2): 215-251.

Hansen D.V., Rattray M.(Jr.), 1966. *New dimensions in estuary classification*. Limnology and Oceanography, Vol.11 (3): 319-326.

Knox G.A., 1986. *Estuarine Ecosystems: A Systems Approach*. Vol. I, Crc Press, Inc. Boca Raton, Florida.

Marchetti R., 1995. *Ecologia applicata*. Società italiana di ecologia. CittàStudi Ed., pagg. 1055.

Moroni F., Pergetti M., Ghetti P.F., 1996. *La fitodepurazione con il sistema a flusso subsuperficiale: principi di funzionamento e aspetti progettuali di un impianto per il trattamento di reflui civili*. In Atti del Convegno: "Fitodepurazione, metodologie ed applicazioni". Finale Emilia, 21 gennaio 1994: 137-146.

Odum E.P., 1973. *Principi di ecologia*. Ed. PICCIN.

Riley G.A., 1956. *Oceanography of Long Island Sound 1952-1954*. II. Physical Oceanography, Bull. Bingham Oceanog. Collection 15, pp. 15-16.

Rutherford J.C., Scarsbrook M.R., and Broekhuizen N., 1999. *Grazer Control of Stream Algae: Modeling Temperature and Flood Effects*. J. Environ. Eng. 126(4):331-339.

Smith E.L., 1936. *Photosynthesis in Relation to Light and Carbon Dioxide*. Proc. Natl. Acad. Sci. 22:504-511.

Steele J.H., 1962. *Environmental Control of Photosynthesis in the Sea*. Limnol. Oceanogr. 7:137-150.

Tomasino M., 1995. *Acque di Transizione*. In: R. Marchetti. "Ecologia Applicata. Società Italiana di Ecologia." Ed. CittàStudi.

Vismara R., 1998. *Depurazione biologica. Teoria e processi*. Hoepli Ed.: 778 pp.

Warwick R.M., Gee J.M., 1984. *Community structure of estuarine meiobenthos*. Marine Ecology Progress Series, Vol. 18: 97-111.

Manuale consultato:

Chapra S., Pelletier G., and Tao H., November 7, 2005. *QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality (Version 2.04)*.

Siti Internet consultati:

<http://www.epa.gov>

<http://earth.google.it>

<http://it.wikipedia.org>

RINGRAZIAMENTI

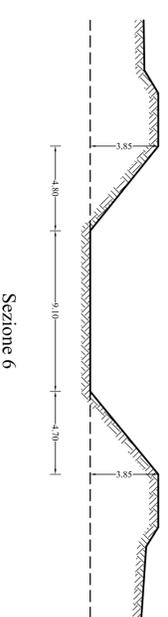
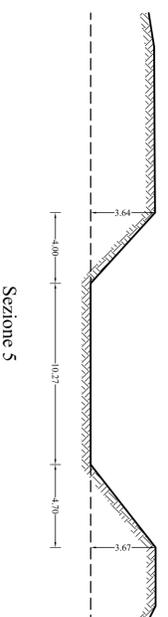
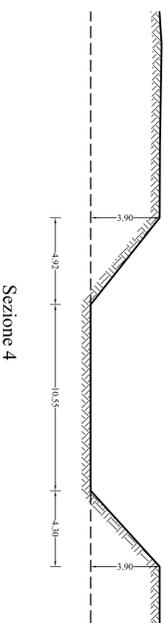
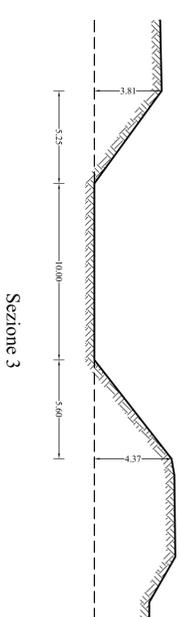
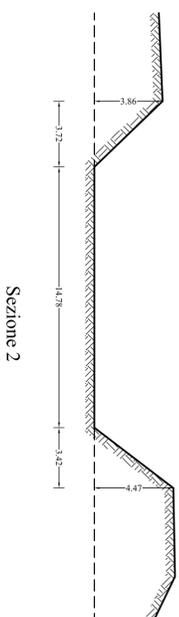
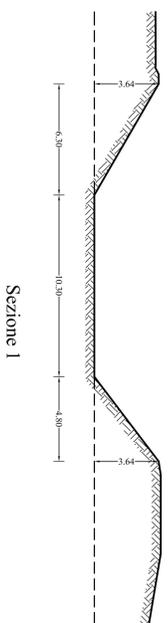
Un ringraziamento particolare al Prof. Ing. Maurizio Mancini per la professionalità e la notevole disponibilità dimostrate in questi mesi in cui questo lavoro è stato realizzato.

A tutta la mia famiglia (nonni, zii, cugini compresi) che non ha mai smesso di incoraggiarmi in questi anni di università.

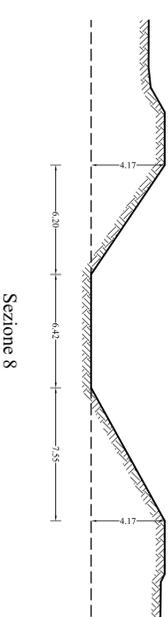
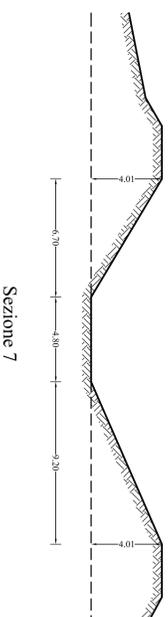
A Elena, per avermi “sfangato” a lungo.

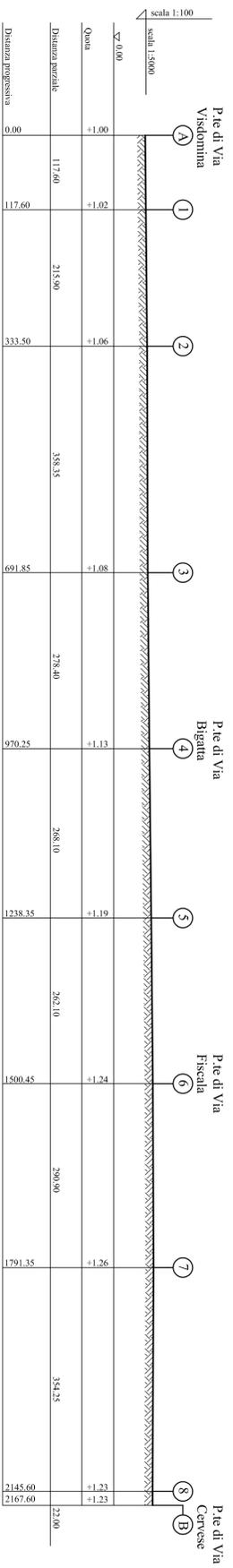
A tutti i miei amici.

A me stesso.



PROFILO SEZIONI TRASVERSALI





PROFILO PENDENZE DEL FONDO