



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

FACOLTÀ DI AGRARIA E SCIENZE MM. FF. NN.

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA AMBIENTALE E PRODUZIONI VEGETALI

TESI DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

## **MONITORAGGIO DELLE PRESTAZIONI DI IMPIANTI DI FITODEPURAZIONE**

Relatore: prof. Maurizio Borin

Correlatori: dott. Davide Tocchetto

dott. Matteo Passoni

Laureando: Massimiliano De Antoni Migliorati

matricola 549759 / STT

ANNO ACCADEMICO 2007/2008



# Indice

<b>INDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
1.1. Il problema dell'inquinamento delle acque.....	7
1.2. Sistemi di depurazione convenzionali .....	8
1.3. Sistemi di depurazione naturali .....	9
<b>2. LA FITODEPURAZIONE.....</b>	<b>11</b>
2.1. Generalità.....	11
2.2. Tipologie di impianti .....	12
2.2.1. Funzionalità .....	12
2.2.2. Struttura .....	12
2.2.3. Naturalità .....	13
2.2.4. Scala di lavoro .....	13
2.2.5. Macrofite .....	13
2.2.5.1. Sistemi a macrofite flottanti (idrofite).....	14
2.2.5.2. Sistemi a macrofite radicate sommerse (idrofite).....	15
2.2.5.3. Sistemi a macrofite radicate emergenti (igrofite).....	16
2.2.6. Regime idrico .....	18
2.2.6.1. Sistemi a flusso superficiale (FWS).....	19
2.2.6.2. Sistemi a flusso sub-superficiale (SSF).....	20
2.2.6.3. Sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (h-SSF).....	21
2.2.6.4. Sistemi a flusso sub-superficiale verticale (v-SSF).....	23
2.2.6.5. Sistemi ibridi (h-SSF + v-SSF) .....	24
2.2.7. Applicazioni .....	24
2.3. Meccanismi di rimozione degli inquinanti .....	25
2.3.1. Il ruolo delle piante.....	25
2.3.2. Solidi Sospesi .....	27
2.3.3. Azoto .....	28
2.3.4. Fosforo.....	30
2.3.5. Sostanza organica .....	32
2.3.6. Microrganismi patogeni.....	33
2.3.7. Metalli.....	34
2.4. Tipologie e caratteristiche dei reflui .....	35
2.4.1. Reflui domestici.....	35
2.4.2. Reflui di aziende vitivinicole.....	37
2.5. Progettazione e gestione.....	39
2.5.1. Manutenzione degli impianti .....	40
2.5.2. Dimensionamento.....	40
2.5.2.1. Impianti a flusso sub-superficiale orizzontale.....	40
2.5.2.2. Impianti a flusso sub-superficiale verticale.....	43
2.6. La fitodepurazione in Italia .....	44

<b>3. OBIETTIVI .....</b>	<b>49</b>
<b>4. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1. Descrizione impianti.....</b>	<b>51</b>
4.1.1. Impianto A.....	53
4.1.2. Impianto B.....	61
4.1.2.1. Cicli di lavorazione .....	62
4.1.3. Impianto C.....	68
4.1.4. Impianto D.....	74
<b>4.2. Metodi di campionamento .....</b>	<b>80</b>
<b>5. RISULTATI.....</b>	<b>85</b>
<b>5.1. Impianto A – Ristorante, h-SSF .....</b>	<b>87</b>
5.1.1. Vegetazione .....	87
5.1.2. Rese depurative.....	89
5.1.2.1. Temperatura .....	89
5.1.2.2. pH.....	90
5.1.2.3. Ossigeno disciolto .....	91
5.1.2.4. Conducibilità elettrica .....	92
5.1.2.5. Azoto totale.....	94
5.1.2.6. Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	96
5.1.2.7. Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	98
5.1.2.8. COD .....	100
5.1.2.9. Fosforo totale .....	102
5.1.2.10. Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	104
<b>5.2. Impianto B – Cantina vinicola, h-SSF .....</b>	<b>107</b>
5.2.1. Vegetazione .....	107
5.2.2. Rese depurative.....	109
5.2.2.1. Temperatura .....	110
5.2.2.2. pH.....	111
5.2.2.3. Ossigeno disciolto .....	112
5.2.2.4. Conducibilità elettrica .....	113
5.2.2.5. Azoto totale.....	115
5.2.2.6. Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	117
5.2.2.7. Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	119
5.2.2.8. COD .....	121
5.2.2.9. Fosforo totale .....	123
5.2.2.10. Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	125
<b>5.3. Impianto C – Abitazione, h-SSF.....</b>	<b>131</b>
5.3.1. Vegetazione .....	131
5.3.2. Rese depurative.....	133
5.3.2.1. Temperatura .....	133
5.3.2.2. pH.....	134
5.3.2.3. Ossigeno disciolto .....	135
5.3.2.4. Conducibilità elettrica .....	136
5.3.2.5. Azoto totale.....	138
5.3.2.6. Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	140
5.3.2.7. Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	142
5.3.2.8. COD .....	144
5.3.2.9. Fosforo totale .....	146
5.3.2.10. Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	148
<b>5.4. Impianto D – Abitazione, v-SSF.....</b>	<b>151</b>
5.4.1. Vegetazione .....	151
5.4.2. Rese depurative.....	153
5.4.2.1. Temperatura .....	153
5.4.2.2. pH.....	154

5.4.2.3.	Ossigeno disciolto .....	155
5.4.2.4.	Conducibilità elettrica .....	156
5.4.2.5.	Azoto totale .....	158
5.4.2.6.	Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	160
5.4.2.7.	Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	162
5.4.2.8.	COD .....	164
5.4.2.9.	Fosforo totale .....	166
5.4.2.10.	Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	168
<b>6.</b>	<b>DISCUSSIONE .....</b>	<b>171</b>
<b>6.1.</b>	<b>Impianto A – Ristorante, h-SSF .....</b>	<b>173</b>
6.1.1.	Rese depurative .....	173
6.1.1.1.	Conducibilità elettrica .....	173
6.1.1.2.	Ossigeno disciolto .....	173
6.1.1.3.	Azoto totale .....	174
6.1.1.4.	Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	174
6.1.1.5.	Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	175
6.1.1.6.	COD .....	175
6.1.1.7.	Fosforo totale .....	176
6.1.1.8.	Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	176
<b>6.2.</b>	<b>Impianto B – Cantina viticola, h-SSF .....</b>	<b>179</b>
6.2.1.	Rese depurative .....	179
6.2.1.1.	Conducibilità elettrica .....	179
6.2.1.2.	Ossigeno disciolto .....	180
6.2.1.3.	Azoto totale .....	181
6.2.1.4.	Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	182
6.2.1.5.	Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	183
6.2.1.6.	COD .....	184
6.2.1.7.	Fosforo totale .....	185
6.2.1.8.	Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	186
<b>6.3.</b>	<b>Impianto C – Abitazione, h-SSF .....</b>	<b>189</b>
6.3.1.	Rese depurative .....	189
6.3.1.1.	Conducibilità elettrica .....	189
6.3.1.2.	Ossigeno disciolto .....	190
6.3.1.3.	Azoto totale .....	191
6.3.1.4.	Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	192
6.3.1.5.	Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	193
6.3.1.6.	COD .....	194
6.3.1.7.	Fosforo totale .....	195
6.3.1.8.	Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	196
<b>6.4.</b>	<b>Impianto D – Abitazione, v-SSF .....</b>	<b>199</b>
6.4.1.	Rese depurative .....	199
6.4.1.1.	Conducibilità elettrica .....	199
6.4.1.2.	Ossigeno disciolto .....	200
6.4.1.3.	Azoto totale .....	201
6.4.1.4.	Azoto Nitrico (N_NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	202
6.4.1.5.	Azoto Ammoniacale (N_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	203
6.4.1.6.	COD .....	204
6.4.1.7.	Fosforo totale .....	205
6.4.1.8.	Fosforo solubile (P_PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) .....	206
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>209</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>213</b>
	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>221</b>

<b>Allegato A Allegato 5 alla parte terza del D. Lgs. 152/06 .....</b>	<b>223</b>
<b>Allegato B Metodologie chimiche .....</b>	<b>249</b>
<b>Metodologie chimiche .....</b>	<b>250</b>
<b>ELENCO FIGURE .....</b>	<b>259</b>
<b>ELENCO GRAFICI .....</b>	<b>261</b>
<b>ELENCO TABELLE.....</b>	<b>267</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>269</b>

# ***1. Introduzione***

## **1.1. Il problema dell'inquinamento delle acque**

L'acqua è da sempre considerata dall'Uomo come condizione fondamentale per la vita stessa.

Necessaria per svolgere pressoché tutte le attività elementari, fin dall'inizio della civiltà fu considerata un bene prezioso ma assai di rado, se non per motivi geografici, una risorsa limitata.

Soltanto a partire dalla seconda metà del secolo scorso, con il rapido svilupparsi di fenomeni tra loro interconnessi come l'industrializzazione, l'aumento demografico, l'urbanizzazione, il disboscamento di vaste superfici per la loro conversione ad aree coltivabili e l'inurbamento di grandi masse di persone, ha iniziato a farsi sempre più concreto il concetto di acqua come risorsa da proteggere nei confronti di uno sfruttamento eccessivo.

La serie di concause sopra citate hanno infatti determinato una crescente conflittualità nell'uso dell'acqua fra diverse domande, quali l'allevamento, l'industria, la conservazione del minimo ambientale dei corpi idrici e l'alimentazione umana.

Inoltre tali attività spesso pregiudicano la qualità delle acque che restituiscono ai corpi recettori (acque sotterranee, superficiali e costiere): considerando la dimensione globale del problema sanitario legato all'inquinamento delle acque – ogni anno si stima che muoiano 5 milioni di persone per malattie legate alla qualità dell'acqua (FAO, 2005)- appare evidente la necessità di una corretta gestione della risorsa idrica.

È all'interno di questa logica che s'inquadra uno di punti cardine della politica per la tutela ambientale intraprese a livello europeo, ovvero il problema del trattamento delle acque reflue d'origine agricola, civile ed industriale.

Da un punto di vista pratico si considera inquinata un'acqua le cui proprietà chimiche, fisiche e biologiche si discostano dalle condizioni ritenute ottimali per un determinato obiettivo di qualità. Gli standard qualitativi di una determinata acqua sono quindi legati al significato ambientale e funzionale ad essa attribuito; per valutare oggettivamente l'entità e la pericolosità di un inquinamento è però necessario disporre di appropriate misure di caratteri fisiologici, chimici, fisici e microbiologici.

Nel primo gruppo rientrano parametri quali il gusto e l'odore, del secondo fanno parte pH, salinità, BOD, COD, Ossigeno disciolto, elementi trofici, metalli pesanti e sostanze organiche di origine sintetica, mentre riguardo alle caratteristiche fisiche di un'acqua si possono elencare la temperatura, il colore, la torbidità, la presenza di schiume e la radioattività. Passando infine

all'aspetto microbiologico, i parametri più frequentemente rilevati sono la presenza di colibatteri, streptococchi e salmonelle, specie indicatrici di germi patogeni più difficilmente rintracciabili.

Per completare il quadro del problema, a fianco delle caratteristiche dell'inquinamento idrico è infine indispensabile individuare il tipo di fonti che lo originano.

In primo luogo si deve distinguere l'inquinamento naturale, dovuto ad esempio da fenomeni erosivi, da quelli artificiali, all'interno dei quali si possono individuare fonti diffuse e fonti puntiformi. Le prime sono costituite da superfici estese e sono generalmente caratterizzate da immissioni di inquinanti a basse concentrazioni e sotto l'influenza delle condizioni meteorologiche; sotto questo tipo di sorgenti vengono annoverate le attività agricole e la rete viaria. Le fonti di inquinamento puntiforme sono invece esattamente individuabili nel territorio e versano nei corpi idrici in maniera indipendente dagli eventi naturali: tipici esempi di questo tipo di sorgenti sono insediamenti abitativi, industriali e grandi allevamenti.

## **1.2. Sistemi di depurazione convenzionali**

La depurazione delle acque reflue è un aspetto fondamentale degli sforzi tesi a conciliare la protezione dei corpi idrici con lo sviluppo industriale nonché agro-zootecnico ed è una parte integrante del più ampio quadro della gestione delle risorse idriche.

Finalizzati ad abbattere in modo significativo le concentrazioni degli inquinanti prima che le acque di scarico vengano riversate in fognatura o nei corsi d'acqua, i processi depurativi convenzionali sfruttano una serie di trattamenti fisici, chimici e biologici qui di seguito elencati: Come tutte le tipologie di depurazione delle acque, anche i sistemi convenzionali sono regolamentati dal recente D. Lgs. 152/06 "Norme in materia di ambientale".

Il suddetto testo di legge rappresenta un testo unico teso a raccogliere ed organizzare, in maniera coerente e nel rispetto dell'ordinamento comunitario, l'intera normativa italiana relativa alla regolamentazione della materia ambientale e delle risorse naturali.

In particolare, la parte terza del decreto è interamente dedicata a disciplinare "la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche"; di specifico interesse e riportato all'allegato A del presente lavoro, l'allegato 5 alla parte terza "Limiti di emissione dagli scarichi idrici" contiene le tabelle relative alle varie tipologie di acque reflue, di corpi recettori e di inquinanti.

Come spiegato in seguito nel capitolo "Materiali e metodi", per confrontare i dati ottenuti dal monitoraggio dei quattro impianti studiati sono state consultate le tabelle 3 -"Valori limite di emissione in acque superficiali e in fognatura"- e 4 -"Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano su suolo"-.



## **Pre-trattamenti**

Sono dei processi prevalentemente di tipo fisico ed hanno la funzione di fermare la parte solida più grossolana contenuta nel refluo: l'esempio di impianto più diffuso è la grigliatura.

## **Trattamenti primari**

Anche i primari sono trattamenti che operano essenzialmente attraverso operazioni di tipo fisico; vi fanno parte i processi di *disabbiatura*, *disoleatura*, *sedimentazione*, *flottazione* ed *essiccamento*.

## **Trattamenti secondari**

Sono processi biologici finalizzati alla rimozione dei solidi più fini e della sostanza organica ancora presenti nell'acqua reflua. Tali lavorazioni sfruttano le caratteristiche metaboliche di funghi e batteri, stimolandone lo sviluppo all'interno di appositi impianti in cui il refluo è mantenuto in movimento per favorirne l'arieggiamento e quindi la degradazione aerobica. Si distinguono due principali soluzioni tecniche: filtri percolatori e vasche a fanghi attivi.

## **Trattamenti terziari**

Chiamati anche processi di affinamento e non sempre presenti negli impianti di depurazione delle acque, si basano su metodi sia chimici che fisici per abbattere specificatamente determinati inquinanti - quali metalli pesanti, fitonutrienti, microrganismi, inquinanti organici di sintesi - caratterizzanti il refluo in oggetto.

## **1.3. Sistemi di depurazione naturali**

Come appena illustrato, allo scopo di massimizzarne l'efficienza i sistemi tradizionali di depurazione si basano su processi naturali supportati da una serie di apparati meccanici alimentati da energia esterna.

Sebbene nell'accezione moderna non sia possibile sviluppare sistemi naturali di depurazione totalmente privi da elementi artificiali, essi si basano principalmente sui processi svolti dalle componenti biotiche per raggiungere gli obiettivi di depurazione richiesti, necessitando per questo motivo superfici superiori, ma minori fabbisogni tecnologici ed energetici.

Tali impianti, pur avendo costi di realizzazione e manutenzione molto inferiori a quelli tradizionali, possono infatti richiedere in alcuni casi l'utilizzo di pre-trattamenti - quali *grigliatura*, *disabbiatura*, *disoleatura* o *vasca Imhoff* - pompe e tubature senza tuttavia dipendere

esclusivamente da fonti esterne di energia per mantenere i propri processi di funzionamento (Reed et al., 1995).

Attualmente sotto la definizione “sistemi naturali di depurazione” vengono classificate principalmente le seguenti tecniche:

- subirrigazione;
- fertirrigazione;
- lagunaggio biologico aerobico, anaerobico, facoltativo;
- fitodepurazione.

## ***2. La fitodepurazione***

### **2.1. Generalità**

La fitodepurazione è un termine che individua un insieme di processi naturali di trattamento delle acque reflue dovuto all'interazione delle stesse con il sistema biosfera-suolo.

Tale principio sfrutta infatti la normale capacità depurativa caratteristica delle zone umide o *wetlands*, definite, secondo l'art.1 della Convenzione di Ramsar (Iran, 2 febbraio 1971), come tutte quelle “zone paludose, nonché tutte le estensioni d'acqua di meno di 6 m di profondità, siano esse dolci o salate, temporanee o permanenti, stagnanti o correnti” (Ghetti, 1993).

Prendendo in considerazione l'aspetto pedologico, l'E.P.A. (2000), mentre riporta quanto indicato nel “Clean Water Act” del 1972, descrive le zone umide come aree inondate o saturate in cui la presenza di acqua nel corso dell'anno è tale da alterare le proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo, escludendo perciò la possibilità di vita per specie vegetali non adatte a suoli umidi.

Le zone umide, considerate da un punto di vista biologico tra gli ecosistemi più produttivi della Terra (Kadlec e Knight, 1996), rappresentano dunque zone di transizione tra ambiente terrestre e acquatico in grado di ricevere, trattenere o degradare inquinanti e nutrienti provenienti dal bacino di drenaggio.

In tali sistemi gli inquinanti sono infatti rimossi da una combinazione di processi chimici, fisici e biologici, tra i quali i principali sono la sedimentazione, dovuta all'azione combinata della rizofiltrazione e della lentezza del flusso, l'adsorbimento di alcune molecole alla matrice pedologica, l'assorbimento dei nutrienti e dei metalli pesanti all'interno delle piante, la degradazione delle molecole organiche per opera degli esudati radicali e, soprattutto, del metabolismo batterico.

Le dinamiche sopra citate conferiscono alle wetland delle peculiarità che le rendono dei sistemi altamente flessibili: innanzitutto, essendo sistemi naturali, sono dei sistemi economici in termini di realizzazione e manutenzione e inoltre, utilizzando essenze arboree appropriate possono essere impiegate all'interno di un'ampia fascia di latitudini e per l'abbattimento di numerosi tipi di inquinanti. In secondo luogo sono dei sistemi che, grazie alle moderne tecniche di dimensionamento, possono essere efficacemente adattati al trattamento di un grande spettro di portate, dalle acque reflue delle piccole utenze a grandi corpi idrici.

Proprio questo ultimo punto, associato alla maggiore capacità delle wetland di abbattere inquinanti presenti in basse concentrazioni rispetto ai tradizionali sistemi di depurazione, consente di ottenere notevoli risultati sui bilanci di massa di questi ultimi.

Infine, la loro indipendenza quasi assoluta da fonti energetiche le rende perfettamente adatte ad essere impiegate come sistemi di trattamento diffusi nel territorio: associando questo punto con quanto detto in precedenza, le loro applicazioni ottimali si trovano nel trattamento delle acque derivate da fiumi, laghi, insediamenti abitativi, attività zootecniche, bacini agrari e prima degli impianti di sollevamento in aree di bonifica.

A fronte di tali vantaggi si devono comunque ricordare altri importanti aspetti delle wetland, come l'elevato bisogno di superficie, la maggiore sensibilità alle condizioni meteorologiche rispetto ai sistemi tradizionali e l'inerzia iniziale durante la fase di insediamento della vegetazione e dei microrganismi.

## **2.2. Tipologie di impianti**

I sistemi naturali di depurazione possono essere classificati in svariati modi se si considerano le rispettive caratteristiche di funzionalità, struttura, naturalità, scala di lavoro, tipologia di macrofite utilizzate e regime idrico.

### **2.2.1. Funzionalità**

Sotto il punto di vista delle funzioni, la fitodepurazione può essere adottata come *trattamento unico* per il miglioramento della qualità dell'acqua o come *trattamento di finissaggio* se inserita alla fine di un processo di depurazione convenzionale.

### **2.2.2. Struttura**

Considerando la disposizione dei sistemi di fitodepurazione, questi possono essere collocati in *sistemazioni singole o in batterie* di più impianti, anche di tipologie diverse, quale ad esempio una fascia tampone posta attorno ad una palude.

### **2.2.3. Naturalità**

Secondo il livello di antropizzazione si individuano diversi tipi di impianti. Si possono innanzitutto distinguere sistemi naturali, ovvero zone palustri intatte e già esistenti; vi sono poi sistemi ricostruiti, come ad esempio sistemi tampone in aree golenali o paludi ripristinate, riportanti in massima parte i caratteri dei precedenti ma adattati sotto i profili relativi a forma, dimensioni e indirizzo funzionale prevalente. Durante la progettazione di queste aree spesso si deve infatti scegliere quale delle diverse finalità debba avere la precedenza: essendo queste aree naturali di pregio, oltre che sulla semplice depurazione delle acque si può puntare su una valorizzazione della biodiversità, piuttosto che su altri aspetti come il ripopolamento faunistico, la fruibilità turistica, il valore paesaggistico, ecc (Corazza et al., 2006).

Si passa poi a sistemi seminaturali quali fasce tampone, anche in questo caso gestite secondo uno scopo teso più alla depurazione delle acque drenanti dalle superfici coltivate o al miglioramento della biodiversità all'interno dell'ecosistema agrario (Zuin et al., 2007). Infine si distinguono gli impianti artificiali, vasche impermeabilizzate, solitamente di forma regolare, vegetate con essenze selezionate per le loro capacità depurative.

### **2.2.4. Scala di lavoro**

La fitodepurazione, per via delle sue ottime rese nel trattamento di flussi caratterizzati da concentrazioni di inquinanti medio-basse, è un sistema assai flessibile riguardo alla dimensione della scala di lavoro. Si parla quindi di fitodepurazione *estensiva* quando il trattamento delle acque inquinate prende atto in vaste superfici di territorio agrario; in essa vi ricadono l'impiego irriguo di acque inquinate e le tecniche di regolazione delle falde. La fitodepurazione *diffusa* vede l'impiego di sistemi medio-piccoli distribuiti in maniera puntiforme o lineare sul territorio, quali ad esempio aree umide o fasce tampone, mentre è definita *localizzata* quando consiste in impianti di piccole dimensioni –definiti letti vegetati- collegati a fonti puntiformi di inquinamento.

### **2.2.5. Macrofite**

Uno degli aspetti distintivi degli impianti di fitodepurazione è senza dubbio la tipologia di macrofite utilizzate (Brix, 1993); sfruttandone le peculiari caratteristiche fisiologiche, i sistemi di fitodepurazione possono essere suddivisi in 3 tipologie di sistemi.

### 2.2.5.1. Sistemi a macrofite flottanti (idrofiti)

I sistemi a macrofite flottanti sono costituiti da bacini poco profondi, con il fondo impermeabilizzato da argilla o geomembrane (Figura 3), al cui interno vengono fatte crescere essenze vegetali che ben si adattano a corpi d'acqua stagnante o a lento scorrimento, quali *Eichhornia crassipes* (giacinto d'acqua) (Figura 1) e *Lemna minor*. (lenticchia d'acqua) (Figura 2) (Reed et al., 1995).



Figura 1 - *Eichhornia crassipes*



Figura 2 - *Lemna minor*

Tali piante, data l'elevata produttività, ricoprono uniformemente tutta la superficie del bacino e vanno a creare particolari condizioni chimico-fisiche che sono sfruttate per il trattamento secondario e terziario dei reflui.

La fitta copertura vegetale infatti limita sia la penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua, inibendo in questo modo la crescita algale, che la diffusione dell'Ossigeno atmosferico, creando di conseguenza un'alternanza di zone anaerobiche ed aerobiche grazie all'Ossigeno prodotto dalla fotosintesi e diffuso tramite l'apparato radicale sommerso (Kadlec e Knight, 1996).



**Figura 3** - Rappresentazione di un sistema a macrofite galleggianti con *Eichornia crassipes* (Brix, 1993)

Sebbene l'utilizzo di questa tipologia di sistemi presenti indubbi vantaggi quali la relativa semplicità di progettazione, i bassi costi di costruzione e gestione ed il valore naturalistico, attualmente sono poco utilizzati per via della grande superficie richiesta, la completa dipendenza dal clima oltre al verificarsi di fenomeni quali la diffusione di odori molesti e la proliferazione di insetti.

#### **2.2.5.2. Sistemi a macrofite radicate sommerse (idrofiti)**

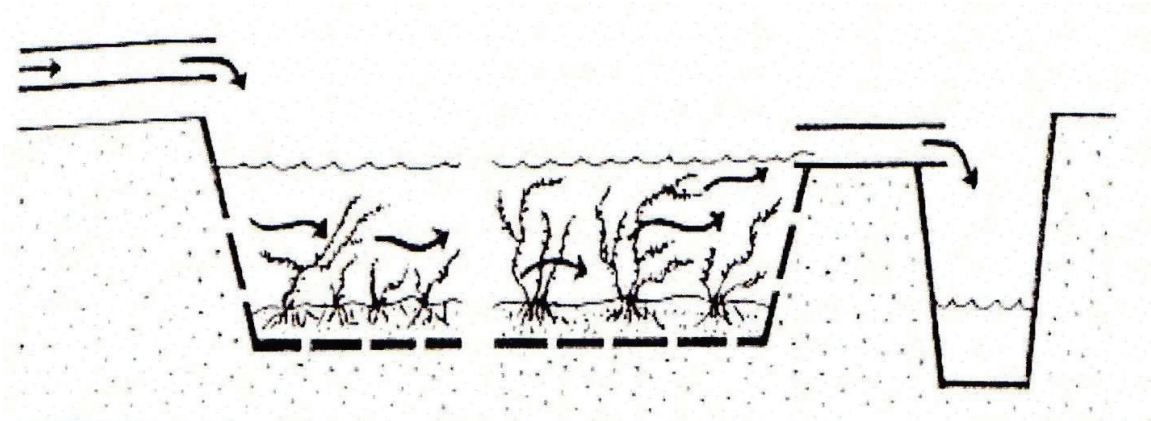
I sistemi a macrofite radicate sommerse fanno ricorso a idrofite quali *Elodea canadensis* (Figura 4), ovvero piante in cui tutti i tessuti, fiori e foglie compresi, sono completamente sommersi (E.P.A.,2000).



**Figura 4** - *Elodea canadensis*

Questo tipo di impianti attualmente è ancora in fase di sperimentazione per il trattamento dei reflui in quanto queste piante necessitano di acque ben ossigenate, caratterizzate da carichi organici

limitati e sufficientemente limpide affinché la luce solare possa raggiungere le piante (Reed et al., 1995). In tali condizioni la loro attività fotosintetica si mantiene ad elevati livelli, comportando così una diminuzione del Carbonio inorganico disciolto e la liberazione di Ossigeno nelle acque, condizioni queste favorevoli alla volatilizzazione dell'ammoniaca, alla precipitazione del Fosforo e alla mineralizzazione della sostanza organica (Brix, 1993).



**Figura 5** - Rappresentazione di un sistema a macrofite sommerse con *Elodea canadensis* (Brix, 1993)

### 2.2.5.3. Sistemi a macrofite radicate emergenti (igrofite)

Gli impianti che impiegano le macrofite radicate emergenti sono in assoluto i sistemi più diffusi. Generalmente questo tipo di piante è caratterizzato da foglie, fusto e organi riproduttivi emersi e da un esteso apparato radicale, spesso di tipo rizomatoso, adatto a crescere su terreni saturi o completamente sommersi grazie al parenchima aerifero (aerenchima, Figura 6) molto sviluppato che permette il trasporto dell'Ossigeno dalle foglie fino alle radici e ai rizomi.



**Figura 6** - Aerenchima in *Phragmites australis*



Nonostante le specie impiegabili in questo tipo di sistemi di fitodepurazione siano diverse -si ricordano *Iris pseudacorus* ( Figura 7), *Carex* spp. (Figura 8), *Scirpus lacustris* (Figura 9) e *Juncus* spp. ( Figura 10)-, a livello globale si registra una marcata predominanza prima di tutto di *Phragmites australis* (cannuccia di palude) e secondariamente di *Typha latifolia* (mazzasorda). Per questo motivo ed essendo in particolare *Phragmites australis* la specie utilizzata negli impianti monitorati nella parte sperimentale, queste due elofite meritano una specifica descrizione.



**Figura 7** - *Iris pseudacorus*



**Figura 8** - *Carex* spp.



**Figura 9** - *Scirpus lacustris*



**Figura 10** - *Juncus* spp



**Figura 11** - *Phragmites australis*



**Figura 12** - *Typha latifolia*

*Phragmites australis*, monocotiledone della famiglia delle Poaceae, è una graminacea rizomatosa perenne con culmi molto fitti (50-200 per m<sup>2</sup>) eretti, cavi e nodosi dal diametro di circa 1 cm. e alti complessivamente 2-3 metri (Figura 11). La dinamica di assorbimento dei fitonutrienti anticipa leggermente quella di accrescimento epigeo ed è seguita dal periodo di traslocazione negli organi ipogei di riserva.

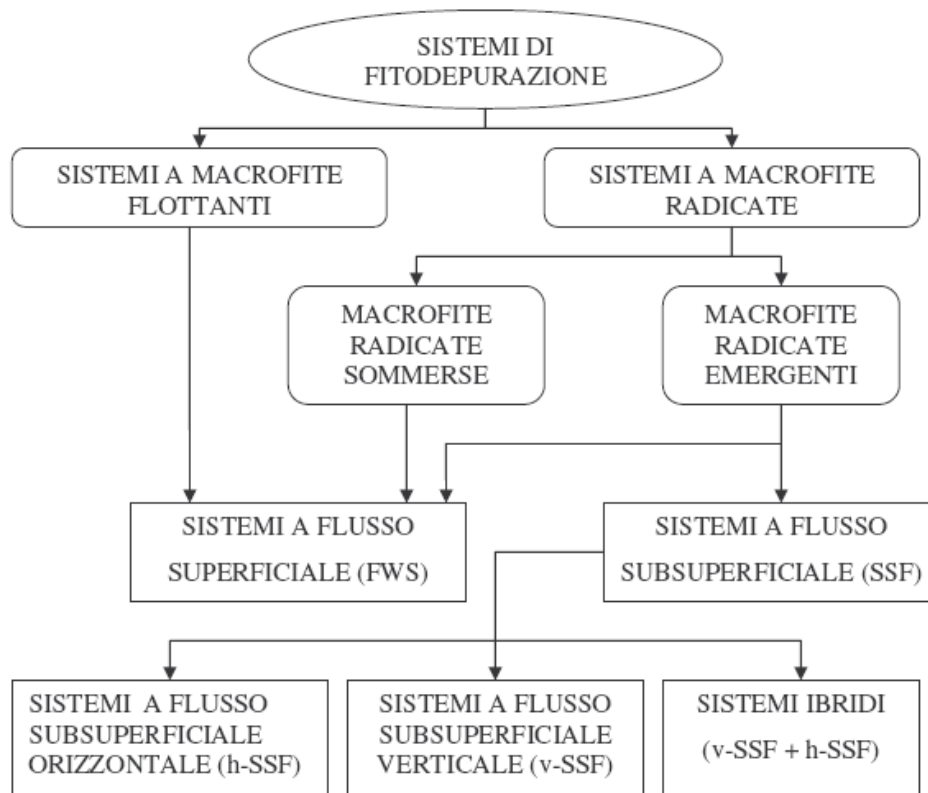
Dotata di un lungo e robusto apparato radicale che si concentra nei primi 60 cm di terreno, è una delle specie più produttive (25-35 t/ha di sostanza secca) e dotata di un'ampia adattabilità in differenti situazioni climatiche (Borin, 2003). La notevole potenzialità competitiva è conferita dal lungo rizoma stolonifero, dalla notevole velocità di crescita delle sue radici e dalla capacità di vivere in acque fortemente eutrofizzate o caratterizzate da una pronunciata salinità (fino a 45 ppm). Essendo provvista di parenchimi aeriferi molto sviluppati consente la formazione di microzone aerobiche a livello della rizosfera, dove si verificano processi di degradazione della sostanza organica e di nitrificazione ad opera di popolazioni batteriche specializzate.

La *Typha latifolia* (Figura 12), appartenente alla famiglia delle tifee, è anch'essa una pianta erbacea perenne e rizomatosa. Il fusto raggiunge altezze comprese tra i 150 e i 250 cm ed è guainato dalle stesse foglie di forma allungata. Dotata di gradevoli infiorescenze, *Typha latifolia* presenta caratteristiche che si discostano leggermente da quelle di *Phragmites australis*: meno resistente ad acque ricche di sali (massimo 30 ppm), cresce bene anche in presenza di alte concentrazioni di metalli pesanti e tollera anche pH molto bassi. Anche la crescita e lo sviluppo si discostano abbastanza da quelli relativi al caso precedente: caratterizzata da una minore produzione di biomassa (20-30 t/ha di sostanza secca) e da una crescita leggermente più lenta, *Typha l.* tende a concentrare maggiormente i nutrienti all'interno dei tessuti epigei e, nella stagione autunnale, a presentare una traslocazione degli stessi più marcata e anticipata di circa un mese.

### **2.2.6. Regime idrico**

In un impianto di fitodepurazione la matrice solida può essere mantenuta stabilmente o in maniera discontinua in condizioni di *sommersione*, di *saturazione* o di *insaturazione*, mentre il flusso d'acqua può essere prevalentemente verticale o orizzontale.

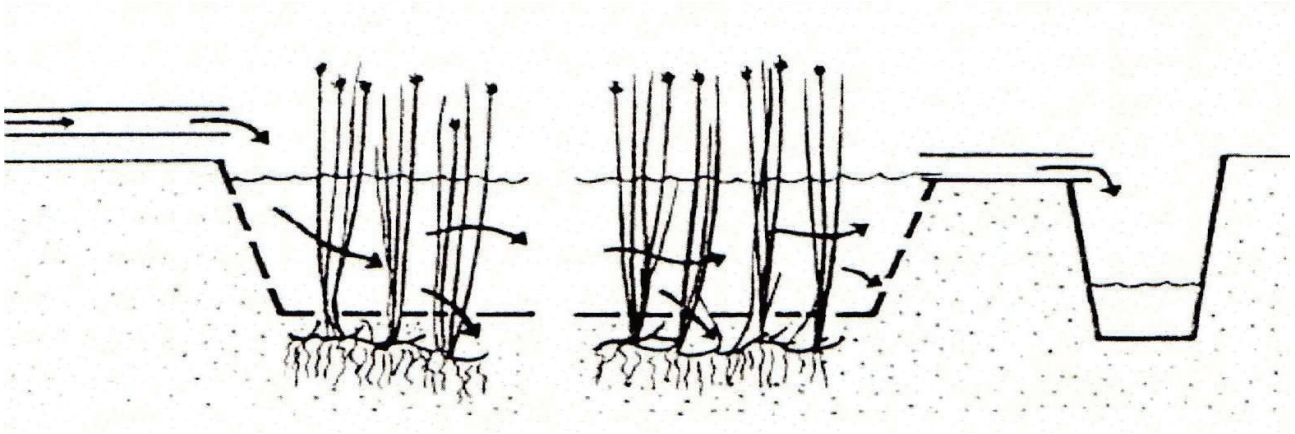
Si vengono così a definire principalmente tre tipologie di sistemi: a flusso superficiale (Free Water Surface – FWS), a flusso sub-superficiale (Sub-Surface Flow – SSF), che a loro volta si suddividono in sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (horizontal Sub-Surface Flow – h-SSF), a flusso sub-superficiale verticale (vertical Sub-Surface Flow – v-SSF) ed infine sistemi ibridi (h-SSF + v-SSF) (Figura 13).



**Figura 13** - Classificazione dei sistemi di fitodepurazione

### 2.2.6.1. Sistemi a flusso superficiale (FWS)

I sistemi a flusso superficiale riproducono in tutto le caratteristiche delle zone umide naturali (Reed et al., 1995): costituiti da una laguna contenente 20-30 cm di suolo radicato, poco profonda ed impermeabilizzata solitamente con uno strato di argilla, in essi il refluo pre-trattato viene immesso in continuo. In tali sistemi il trattamento avviene ad opera dell'interazione tra attività microbiologica e vegetazione acquatica mentre il lento deflusso dei reflui attraversa il filtro costituito dagli steli e dalle radici delle piante.



**Figura 14** - Rappresentazione di un sistema a flusso superficiale (FWS) a macrofite radicate emergenti (Brix, 1993)

La presenza della vegetazione rallenta inoltre la velocità del flusso aumentando così il tempo di contatto tra le piante stesse e i reflui. In questo modo, oltre a limitare la velocità del vento -che ostacolerebbe il processo di sedimentazione (Watson et al., 1989), viene favorita la sedimentazione dei solidi sospesi e lo svolgimento dei processi biologici di degradazione.

Poiché, contrariamente ai sistemi a macrofite flottanti, la superficie del bacino è quasi completamente a contatto con l'atmosfera, la disponibilità di Ossigeno disciolto è fortemente correlata col tasso di diffusione atmosferica: analizzando la sezione verticale dello specchio d'acqua, si presenta un massimo di concentrazione di Ossigeno nell'interfaccia aria-acqua che poi decresce con l'aumentare della profondità (I.T.R.C., 2003).

Questa tipologia di sistemi viene applicata principalmente al trattamento di elevati volumi di reflui derivanti da bacini agrari o da ampi insediamenti abitativi.

#### **2.2.6.2. Sistemi a flusso sub-superficiale (SSF)**

Questi sistemi rappresentano la tipologia di impianti di fitodepurazione maggiormente utilizzata in Europa (Vymazal et al., 1998): in questi impianti il fondo è solitamente impermeabilizzato da membrane sintetiche, quali HDPE o PVC, anche se talvolta si utilizzano strati di argilla o vasche prefabbricate di calcestruzzo.

Riguardo le specie di macrofite più frequentemente utilizzate in Europa è *Phragmites australis* a riscontrare il maggior successo, mentre negli U.S.A., dove è considerata specie infestante, si preferiscono essenze quali *Typha latifolia*. e *Scirpus* spp. (E.P.A., 2000).

La principale differenza dal tipo di sistema precedentemente esposto è la presenza all'interno dei bacini di un medium di riempimento costituito da materiale inerte filtrante (ghiaia, sabbia o pietrisco) nel quale le radici delle macrofite possono svilupparsi. In tali impianti le acque reflue non scorrono superficialmente, ma attraverso il medium di riempimento, la cui permeabilità contribuisce

a determinare il regime idrico necessario affinché il livello dell'acqua venga mantenuto al di sotto della superficie (Vismara et al., 2000).

I vantaggi derivanti dal fatto che il refluo scorre al di sotto della superficie del medium sono numerosi in quanto l'assenza di un pelo libero d'acqua impedisce l'instaurarsi di diversi fenomeni quali la proliferazione di insetti, lo svilupparsi di odori molesti, l'esposizione diretta a contaminanti e patogeni pericolosi sia per l'uomo che per gli animali, mentre le varie operazioni di monitoraggio e gestione, come i periodici sfalci e prelievi della vegetazione macrofita, sono rese più semplici grazie all'accesso diretto sulla superficie asciutta dell'impianto.

Questi sistemi risentono poco delle variazioni climatiche esterne: dato che i processi depurativi avvengono essenzialmente nel substrato a livello dell'apparato radicale, la loro efficienza rimane relativamente costante anche nei periodi più freddi dell'anno; grazie poi all'accumulo della biomassa morta sulla superficie dell'impianto si viene a creare una protezione termica che mantiene attivi i processi biologici anche nei periodi di copertura nevosa.

Infine tali sistemi, grazie alla presenza del substrato inerte che aumenta la superficie utile per i processi depurativi mediati dai batteri, necessitano di aree inferiori (1-5 m<sup>2</sup>/a.e., Reed et al., 1988) rispetto ai sistemi a flusso superficiale (da 4 -20 m<sup>2</sup>/a.e. per i trattamenti terziari fino a 20-40 m<sup>2</sup>/a.e. per i secondari, Vismara et al., 2000; Masi, 2001).

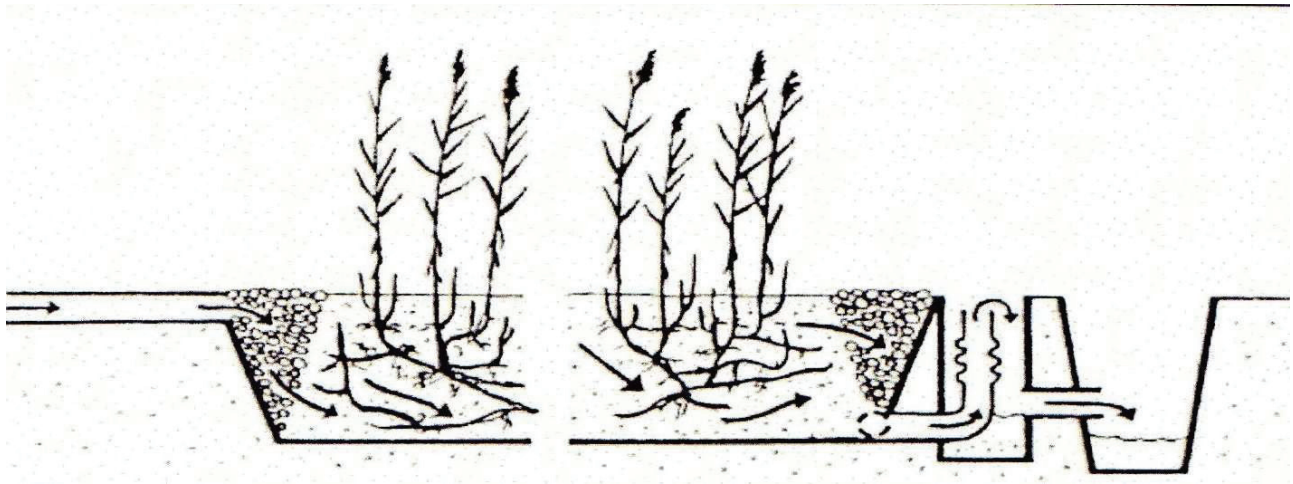
### **2.2.6.3. Sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (h-SSF)**

Questi impianti sono così definiti poiché il refluo, immesso in continuo all'inizio del bacino, scorre in senso orizzontale attraverso il medium sfruttando una minima pendenza del fondo del letto (circa 1%), per poi giungere nella sezione terminale dove viene raccolto attraverso una tubazione forata posizionata sul fondo e convogliato in un pozzetto di uscita (Figura 15).

In tale pozzetto sono poste le strutture di regolazione del livello idrico del letto filtrante costituite, generalmente, da tubazione flessibili regolabili in altezza. Per evitare percorsi preferenziali da parte del liquame, la granulometria degli inerti all'inizio e alla fine del letto filtrante è maggiore (50-100 mm) di quella del tratto centrale (10-30 mm).

Lungo il percorso attraverso il medium gli inquinanti vengono rimossi dalla combinazione di processi di natura chimica, fisica e biologica quali la sedimentazione, la precipitazione, l'adsorbimento sulle particelle del suolo, l'assimilazione da parte dei tessuti delle macrofite e i processi microbici (Brix, 1993; Vymazal et al., 1998).

I solidi sospesi che non vengono abbattuti dai sistemi di pre-trattamento posti a monte vengono efficacemente rimossi grazie ai processi di filtrazione e sedimentazione che, nei sistemi a flusso sub-superficiale, si verificano in maggior misura nella sezione di ingresso del letto filtrante (E.P.A., 1993).



**Figura 15** - Rappresentazione di un sistema a flusso sub-superficiale orizzontale (h-SSF) (Brix,1993)

I composti organici sono rimossi mediante filtrazione e degradazione microbica, che viene operata da microrganismi sia anaerobi che aerobi; questi ultimi, necessitando di Ossigeno, si sviluppano nella rizosfera e nella parte superficiale del medium a contatto con l'atmosfera (Reed et al., 1988). È da sottolineare che la decomposizione anaerobica ed anossica giocano un ruolo fondamentale in questi sistemi, poiché, come numerosi studi hanno dimostrato, la capacità di trasporto di Ossigeno risulta insufficiente a garantire lo sviluppo dei processi di decomposizione aerobica al di fuori delle zone più prossime alle radici e ai rizomi delle piante (Brix, 1990).

Nonostante la rimozione dell'Azoto avvenga principalmente attraverso la volatilizzazione dell'ammoniaca, altri importanti meccanismi di rimozione sono l'assorbimento radicale, l'adsorbimento e, in particolar modo, la nitrificazione e denitrificazione operate dai batteri rispettivamente in corrispondenza di zone aerobiche ed anaerobiche (Vymazal 1999).

Il processo di diffusione radicale dell'Ossigeno non interessa comunque tutto il volume del letto filtrante; questo aspetto limita perciò la nitrificazione completa del flusso (Vismara, 2002) ed anche la rimozione del Fosforo, asportato dai reflui attraverso adsorbimento sulla superficie degli inerti, co-precipitazione e in minima parte per richiesta metabolica delle piante, non è favorita a causa della mancanza di Ossigeno (Bostrom et al., 1982). In ogni modo il meccanismo di rimozione di questo elemento risulta più efficace rispetto a quello dei sistemi a flusso superficiale grazie alla maggiore superficie di contatto tra reflu e substrato.

Queste tipologie di impianti possono essere utilizzate come trattamento secondario dei reflui di origine civile ed industriale, essere adibite alla depurazione degli scarichi di case isolate nonché alla depurazione di utenze a forte fluttuazione stagionale, a patto che le punte di carico si presentino nel periodo estivo o primaverile, corrispondente cioè alla massima attività vegetativa macrofitica.

#### 2.2.6.4. Sistemi a flusso sub-superficiale verticale (v-SSF)

Questi sistemi sono dal punto di vista costruttivo del tutto simili a quelli a flusso orizzontale appena descritti: la differenza è rappresentata dalla modalità di immissione del refluo e dalla tipologia di riempimento del sistema.

Il liquame, dopo il pre-trattamento, è distribuito dall'alto in maniera uniforme su tutta la superficie grazie a delle tubazioni forate o provviste di ugelli. Le acque reflue percolano attraverso il medium - di granulometria crescente con la profondità - verso il fondo, dove vengono raccolte, eventualmente riciclate ed infine convogliate in un pozzetto di uscita (Figura 16).

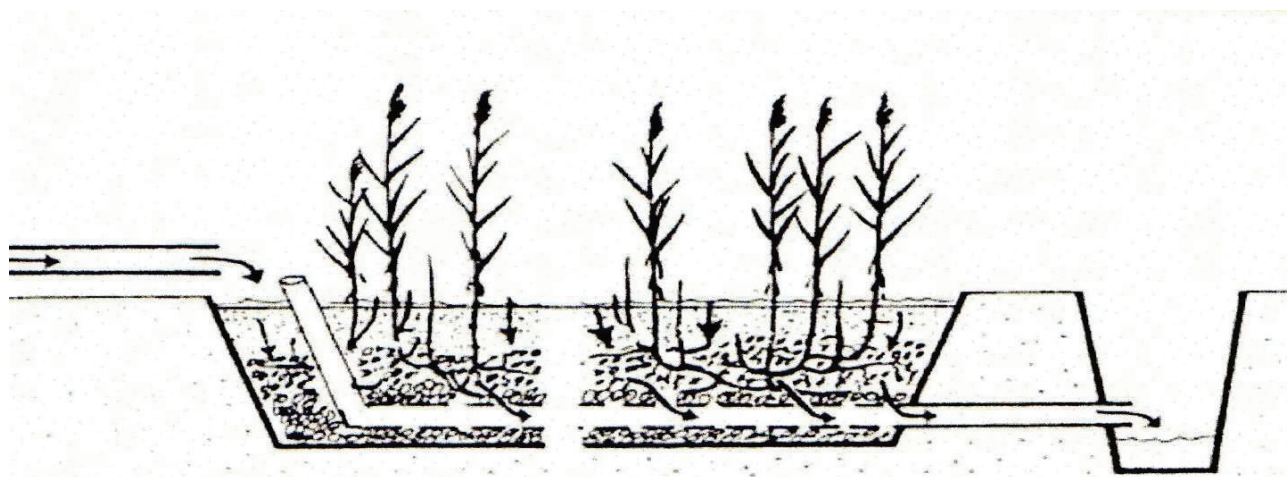


Figura 16 - Rappresentazione di un sistema a flusso subsuperficiale verticale (v-SSF) (Brix, 1993)

Il riempimento di queste tipologie di sistemi avviene in maniera discontinua, attraverso cicli alternati di riempimento e svuotamento, per cui il substrato non risulta costantemente saturo. Tale caratteristica comporta una maggiore concentrazione di Ossigeno nel sistema e conseguentemente una superiore efficacia nei processi di degradazione della sostanza organica e nella nitrificazione rispetto ai sistemi orizzontali (Cooper et al., 1996).

Nella fase di svuotamento infatti il liquame, percolando verso il basso, crea un potenziale negativo e permette così la progressiva occupazione degli interstizi nel medium da parte dell'aria. Quest'ultima, nella successiva fase di caricamento, verrà sostituita dal nuovo flusso di refluo, garantendo in questo modo un'alternanza di condizioni aerobiche e anaerobiche. Il miglior rendimento nella rimozione della sostanza organica e dell'Azoto consente inoltre una significativa riduzione della superficie dei sistemi a flusso verticale ( $1\text{m}^2/\text{a.e.}$ ) rispetto a quelli orizzontali ( $2-5\text{m}^2/\text{a.e.}$ ) (Reed et al. 1988).

In ultima analisi, nonostante le maggiori prestazioni intermini di capacità ossidante, i sistemi verticali rimangono meno utilizzati di quelli orizzontali per via della minore efficienza nei processi

di denitrificazione, di rimozione dei solidi sospesi, oltre che per la maggiore complessità impiantistica e gestionale (Brix, 1994).

#### **2.2.6.5. Sistemi ibridi (h-SSF + v-SSF)**

Gli impianti ibridi sono costituiti dalla sistemazione in batteria dei sistemi descritti in precedenza al fine di sfruttarne i rispettivi vantaggi.

Come già accennato, i sistemi orizzontali sono infatti particolarmente efficaci nell'abbattere i solidi sospesi e, poiché caratterizzati da un ambiente principalmente anossico, assicurano una buona denitrificazione; i sistemi verticali invece, disponendo di maggior Ossigeno, ben si prestano all'ossidazione biologica della sostanza organica e alla nitrificazione.

I vari stadi, che possono comprendere uno o più bacini, sono posti in serie ed in alcuni casi si ricorre ad un ricircolo del refluo per ottenere maggiori rese depurative.

#### **2.2.7. Applicazioni**

In Europa più che in altre parti del mondo, a causa degli spazi utilizzabili più limitati, i sistemi a flusso sub-superficiale hanno trovato varie applicazioni nella depurazione delle acque.

L'ottima applicabilità al servizio di piccole medie utenze diffuse sul territorio e difficilmente allacciabili alla rete fognaria ha reso gli impianti di tipo SSF, ed in special modo quelli a flusso orizzontale, dei sistemi particolarmente vocati al trattamento, oltre che delle acque reflue domestiche, anche di quelle di origine zootecnica e vinicola.

La zootecnia moderna, caratterizzata da elevati numeri di capi concentrati in poche grandi aziende, è un'importante fonte di inquinamento puntiforme: l'impiego della fitodepurazione per attenuare l'impatto ambientale degli allevamenti è ovviamente un fattore di notevole interesse, ma va aggiunto che a causa delle proprietà delle deiezioni animali questo tipo di soluzione può essere adottato solo per il trattamento delle acque di lavaggio provenienti dalle sale di mungitura.

L'applicabilità all'industria vinicola è invece più estesa in quanto gli impianti a flusso sub-superficiale sono adatti a trattare tutte le acque provenienti dal lavaggio delle botti di acciaio e di legno, delle pompe adibite al travaso dei vini durante le lavorazioni ed infine dei macchinari impiegati durante la vinificazione, quali raspatori e presse pneumatiche.



## **2.3. Meccanismi di rimozione degli inquinanti**

Le aree umide rappresentano sistemi molto complessi che separano e trasformano le sostanze inquinanti utilizzando processi fisici, chimici e biologici che possono avvenire simultaneamente o sequenzialmente durante la permanenza dell'acqua all'interno dell'area.

I processi, che costituiscono nel loro insieme la capacità di autodepurazione, sono noti da tempo dal punto di vista teorico e qualitativo; tuttavia, la loro natura e la loro stretta interconnessione ha a tutt'oggi impedito, per alcuni di essi, di poter approfondirne sperimentalmente la conoscenza.

I due meccanismi principali a cui si può attribuire la capacità di autodepurazione di una area umida sono la separazione della fase solida da quella liquida e la trasformazione delle sostanze presenti nell'acqua.

### **2.3.1. Il ruolo delle piante**

Come già evidenziato, le piante all'interno di un impianto di fitodepurazione sono solo una parte, benché fondamentale, di un sistema molto più complesso quale è una zona umida; è quindi dalla loro compartecipazione con i microrganismi, il sedimento e il refluo che si realizza la degradazione e la trasformazione degli inquinanti.

Le piante palustri, adattate ad ambienti sommersi, possiedono un esteso apparato aerenchimatico che può occupare fino al 60% del volume totale dei tessuti (Belgiorno et al.,2001). Tale struttura è specializzata nel trasporto di Ossigeno dalle zone aeree ai rizomi e di metano e anidride carbonica in senso inverso (Tabella 1).

Apparato	Ruolo nel processo di trattamento
Tessuti epigei aerei	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attenuazione della luce → riduce la crescita di fitoplancton</li> <li>• Influenza sul microclima → isolamento durante l'inverno</li> <li>• Diminuzione della velocità del vento → riduce la risospensione</li> <li>• Apparenza estetica del sistema</li> <li>• Accumulo di nutrienti</li> </ul>
Tessuti vegetali in acqua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effetto filtrante → filtrazione del materiale in sospensione</li> <li>• Riduzione della velocità della corrente → aumenta il tasso di sedimentazione, riduce la risospensione</li> <li>• Fornisce superficie per l'attacco di biofilm</li> <li>• Liberazione di O<sub>2</sub> fotosintetico → aumenta la degradazione aerobica</li> <li>• Assimilazione di nutrienti</li> </ul>
Radici e rizomi nei sedimenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilizzazione del sedimento → minor erosione</li> <li>• Previene l'otturazione nei sistemi a flusso verticale</li> <li>• Rilascio di ossigeno che stimola la degradazione (e nitrificazione)</li> <li>• Assimilazione di nutrienti</li> <li>• Rilascio di antibiotici → aumentano l'efficienza della disinfezione</li> </ul>

**Tabella 1** - Sommario dei principali ruoli delle macrofite nelle wetland costruite (Brix, 1997)

Il trasferimento di Ossigeno all'interno della pianta avviene principalmente per diffusione passiva secondo il gradiente di concentrazione del gas negli spazi interni e per flusso convettivo guidato dal gradiente di pressione che si genera per i diversi processi fisici presenti. Diversi autori indicano come cause del gradiente di pressione le differenze di temperatura e di tensione di vapore dell'acqua attraverso i setti porosi dei tessuti vegetali, oppure l'effetto Venturi-indotto che si genera dal gradiente di velocità del vento attorno alla pianta (Armstrong et al., 1996, Brix, 1993). L'effetto Venturi-indotto consente il passaggio di Ossigeno nelle piante danneggiate o morte anche durante l'inverno e di notte, poiché non dipende dalla temperatura esterna.

Nonostante sulla quantità di Ossigeno trasferito alle radici non esistano valori univoci in letteratura, per *Phragmites australis* si assume un valore compreso che oscilla da 0,02 g/m<sup>2</sup>/d fino a 5- 45 g/m<sup>2</sup>/d (Reed e Brown,1992), variabili secondo la densità delle piante, la richiesta da parte del suolo saturo e la permeabilità delle radici.

Comunque, l'Ossigeno non utilizzato per il metabolismo vegetale viene rilasciato dalle radici, dove le colonie di batteri nitrificanti trovano un ambiente favorevole e la degradazione aerobica

della sostanza organica viene così stimolata. Oltre a rilasciare l'eccesso di Ossigeno, le radici secernono anche una vasta gamma di composti organici sfruttati dai batteri nitrificanti come fonte di Carbonio (Platzer, 1996).

L'apparato radicale fornisce inoltre ampie superfici per lo sviluppo del film batterico, il quale è il principale responsabile della degradazione e della trasformazione degli inquinanti. Gli effetti fisici di rallentamento del refluo favoriscono anche la sedimentazione dei solidi sospesi, stabilizzano il suolo e aumentano il tempo di contatto tra pianta e refluo, rendendo in questo modo il processo depurativo ancor più efficiente.

Le macrofite sono inoltre responsabili dell'assorbimento diretto dei nutrienti per la loro crescita; secondo Brix e Schierup (1989) tali quantità, comprese in un range di 30-150 kg/ettaro/anno per il Fosforo e di 200-250 kg/ettaro/anno per l'Azoto, sono comunque irrilevanti rispetto ai carichi in entrata al sistema wetland.

Di seguito si riportano i processi più rilevanti che determinano la rimozione delle seguenti classi di inquinanti in aree umide ricostruite: solidi sospesi, Azoto, Fosforo, sostanza organica, microrganismi patogeni e metalli.

### **2.3.2. Solidi Sospesi**

I Solidi Sospesi Totali (TSS), definiti secondo gli Standard Methods (Greenberg et al., 1998) come quei solidi che vengono trattenuti da un filtro in fibra di vetro (WHATMAN GF/F), vengono rimossi principalmente attraverso i meccanismi di sedimentazione e filtrazione.

Nel primo processo le particelle più pesanti, che nelle acque superficiali vengono mantenute in sospensione da velocità e turbolenze maggiori di quelle presenti nelle aree umide, sedimenteranno in prossimità dei punti di immissione, mentre la sedimentazione di particelle più piccole dipenderà dai tempi di permanenza, dalle loro specifiche caratteristiche chimico-fisiche e dalla qualità dell'acqua.

La sedimentazione può riguardare, però, anche particelle che raggiungono le condizioni necessarie per la loro caduta solo dopo meccanismi di aggregazione con altre particelle o sostanze. Questo processo, chiamato flocculazione, è favorito dal movimento relativo delle particelle e dalla conseguente probabilità di collisione.

La filtrazione nelle aree umide è dovuta essenzialmente al biofilm presente sull'interfaccia sedimento-acqua e costituito da organismi di vario tipo (batteri, alghe, funghi, protozoi). Questa sostanza può semplicemente trattenere per adesione le particelle che vi collidono oppure può metabolizzare sostanze disciolte, o colloidali, con produzione di biomassa e sostanze solubili.

L'efficienza di intercettazione dipenderà dalla velocità di scorrimento dell'acqua, dalla densità e dimensione delle particelle, dalle caratteristiche delle particelle e dei substrati del biofilm.

### 2.3.3. Azoto

Nelle acque superficiali le forme azotate di maggior interesse sono nitrati, nitriti, ammoniaca e Azoto organico. Tutte queste forme, incluso l'Azoto gassoso, sono biochimicamente interconnesse e partecipano al ciclo dell'Azoto (Figura 17)

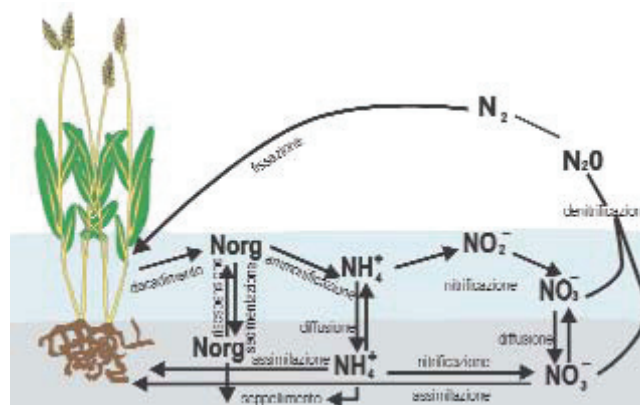


Figura 17 - Rappresentazione del ciclo dell'Azoto in una wetland (ANPA, 2002)

L'Azoto, come nitrato ed in misura minore come ammoniaca, rappresenta un importante nutriente per la produzione primaria. La sua abbondanza nelle acque, derivante dall'utilizzo di fertilizzanti e dalla ossidazione delle forme organiche ed ammoniacali contenute negli scarichi domestici, è una delle cause dei fenomeni di eutrofizzazione delle acque.

L'Azoto può essere rimosso sia per effetto di reazioni chimiche e biochimiche che costituiscono nel loro insieme il ciclo dell'Azoto, sia, nel caso dell'Azoto organico, per separazione fisica. In questo secondo caso valgono le stesse considerazioni fatte per i solidi sospesi, includendo cioè processi quali la flocculazione, la sedimentazione e la filtrazione.

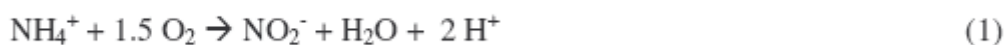
Le trasformazioni bio-chimiche che coinvolgono l'Azoto all'interno della zona umida (Chapra and Reckhow, 1983; Gumbricht, 1993; Kadlec and Knight, 1996) sono complesse dato che tale elemento ha in natura un numero di ossidazione variabile da -III ( $\text{NH}_3$ ) a +V ( $\text{NO}_3^-$ ).

La vegetazione nel breve periodo costituisce un deposito temporaneo di Azoto: questa funzione è svolta tramite il processo dell'assimilazione che permette di utilizzare i composti azotati inorganici per la sintesi di macromolecole organiche che costituiscono la biomassa vegetale.

Le macrofite emergenti e, in parte, quelle sommerse, assimilano le sostanze nutritive minerali in forma disciolta attraverso le radici situate nel sedimento, mentre fitoplancton e macrofite flottanti assimilano i nutrienti disciolti nella colonna d'acqua.

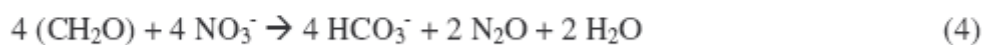
La sostanza organica derivante dalla morte degli organismi e dalla sedimentazione dei solidi sospesi viene decomposta con rilascio di Azoto organico spesso disciolto (urea, aminoacidi, proteine). La mineralizzazione dell'Azoto é il processo che trasforma tale elemento dalla forma organica alla forma inorganica di ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Questo processo, fortemente dipendente dalla temperatura, può avvenire sia in condizioni anaerobiche che in condizioni aerobiche.

In ambiente aerobico si realizza la nitrificazione di  $\text{NH}_4^+$ : tale processo consiste nell'ossidazione biologica multi-stadio dell'ammonio a nitrato, con il nitrito come intermedio nella serie di reazioni (Hauck, 1984). La prima reazione (1), mediata da batteri chemioautotrofi quali *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*, *Nitrosococcus* e *Nitrosomonas*, dà come prodotto il nitrito, che successivamente viene ossidato a nitrato (2) da batteri del genere *Nitrobacter*. Entrambi i processi servono per ottenere l'energia necessaria a fissare  $\text{CO}_2$  e per la successiva sintesi di composti organici.



La velocità delle reazioni di ossidoriduzione sopra riportate dipende dalla temperatura, dal potenziale redox e dal pH; dato il tipo di reagenti richiesti, queste reazioni avvengono solo in presenza di Ossigeno e pertanto hanno luogo nella fase acquosa per opera del film microbico adeso alla vegetazione, precisamente nello strato ossidato del sedimento a contatto con l'acqua oppure nell'ambiente ossidante creato dalle piante palustri attorno alle loro radici.

Il nitrato prodotto può seguire diversi destini: nel terreno può essere assimilato dalle piante attraverso le radici, oppure, in presenza di condizioni riducenti (anaerobiosi), può subire un'altra trasformazione, la denitrificazione, ovvero la riduzione biologica del nitrato ad Azoto molecolare (3) o ad ossidi di Azoto (4) (Hauck, 1984) che è, in concomitanza con la nitrificazione, il principale processo per la rimozione di Azoto dalle acque reflue.



La denitrificazione avviene nel sedimento, dove l'ambiente anossico ospita batteri anaerobi facoltativi (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*) che utilizzano il nitrato, in luogo dell'Ossigeno, come accettore finale di elettroni per la degradazione della sostanza organica; tale processo, come i precedenti, è influenzato da parametri quali la temperatura, il pH, la tessitura del suolo e il potenziale redox nonché dalla disponibilità di sostanza organica.

L' N<sub>2</sub> prodotto da questa reazione può essere liberato in atmosfera o può fungere da riserva per essere poi fissato da specifici microrganismi nel sedimento e nelle zone aerobiche della rizosfera.

Come si nota dalla stechiometria, la denitrificazione richiede una forma ossidata di Azoto e un ambiente anaerobico, due condizioni cioè contrastanti tra loro. Nelle aree umide la denitrificazione diventa un processo rilevante grazie alla presenza di microzone aerobiche, necessarie alla sintesi del nitrato, circondate da ambienti anaerobici, favorevoli alla denitrificazione.

La contiguità di questi due tipi di condizioni (aerobiche ed anaerobiche) si riscontra attorno all'interfaccia sedimento-acqua e alle radici (rizosfera) di piante tipiche delle aree umide che vivono radicate nel sedimento anaerobico e che trasferiscono Ossigeno atmosferico al sedimento attraverso gli apparati radicali.

Un altro processo che all'interno della zona umida coinvolge l'Azoto è la volatilizzazione dell'ammoniaca: tale passaggio di fase ha luogo in presenza di elevati pH e di temperature medio-alte e prevede il passaggio dell'ammoniaca (NH<sub>3</sub>) alla fase gassosa e quindi il suo trasferimento in atmosfera.

L'entità di questo processo è rilevante durante tutto l'anno per via della temperatura mai inferiore ai 15° C dei reflui, ma può diventare particolarmente importante durante i mesi caldi, quando si raggiungono temperature superiori a 20°C e la produzione fotosintetica può indurre valori di pH elevati (8 – 8.5).

#### **2.3.4. Fosforo**

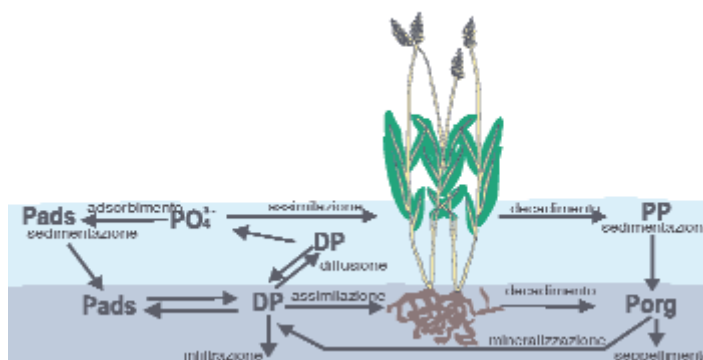
Il Fosforo è presente nelle acque superficiali come Fosforo solubile inorganico, prevalentemente nella forma di ortofosfato, e come Fosforo organico, sia in forma disciolta che particellata.

L'ortofosfato è l'unica forma di Fosforo che può essere utilizzata direttamente da piante e batteri e, nonostante per questo motivo rappresenti spesso per i produttori primari un fattore nutritivo limitante, in virtù del suo ciclo prevalentemente sedimentario il Fosforo tende ad essere trattenuto principalmente nel suolo (95%).

È per questo motivo che esso si ritrova nella composizione dei fertilizzanti e rappresenta, assieme ai sali di Azoto, una delle sostanze responsabili dei fenomeni di eutrofizzazione, specialmente nei corpi idrici recettori delle acque superficiali.

Il ciclo del Fosforo (Figura 18) non ha una fase gassosa e questo comporta, nei sistemi naturali, una graduale perdita di questo elemento nei sedimenti dei corpi idrici. Tale comportamento si ripropone all'interno delle aree umide, dove la sottrazione di Fosforo avviene per immobilizzazione nei sedimenti, che con il tempo vengono seppelliti e così sottratti all'attività biologica di riciclo degli elementi.

Generalmente i sistemi di fitodepurazione mostrano un marcato abbattimento di questo elemento durante i primi anni di funzionamento, quando la capacità di assorbimento del suolo è alta, mentre col progredire degli anni tale processo rallenta e si stabilizza (Reed et al., 1995).



**Figura 18** - Rappresentazione del ciclo del Fosforo in una wetland (ANPA, 2002)

Il Fosforo nel suolo si trova prevalentemente nello stato di valenza +5 (ossidato), poiché gli stati a più bassa ossidazione sono sfavoriti dal punto di vista termodinamico; di conseguenza gli ioni di Fosforo con valenza inferiore a +5 vengono prontamente ossidati a  $PO_4^{3-}$ , anche in suoli altamente riducenti.

Il Fosforo può trovarsi anche in forma gassosa come  $PH_3$  (fosfina), composto solubile in acqua ma caratterizzato da una elevata pressione di vapore che nelle zone umide può essere prodotto assieme al metano in condizioni strettamente riducenti (Devai et al. 1988).

La rimozione dell'ortofosfato è promossa sia da processi di natura biologica, quale l'assimilazione da parte delle piante, che da processi di natura chimica e chimico-fisica (adsorbimento-deadsorbimento, precipitazione, complessazione) che ne favoriscono la sottrazione dalla colonna d'acqua per sedimentazione.

Per quanto riguarda gli apporti biologici alla residenza del Fosforo, l'assimilazione da parte delle piante attraverso l'apparato radicale gioca un ruolo minore di quello visto per l'Azoto e quantificabile in un rapporto in peso N/P di 1/7, cioè ogni 7 grammi di Azoto ne viene assimilato 1 di Fosforo.

Il Fosforo è adsorbito su particelle di suolo o sedimento in presenza di una quantità sufficiente di ioni quali Al, Fe, Ca e Mg. Quale tra questi ioni sia il più attivo nel sequestrare il Fosforo è funzione del pH del sistema e della quantità relativa di ciascun ione (Richardson, 1999). Nei suoli acidi, il Fosforo inorganico è adsorbito dagli idrossidi di ferro e alluminio, e può quindi precipitare come fosfato insolubile di ferro (Fe-P) e di alluminio (Al-P). La precipitazione di fosfato insolubile di calcio (Ca-P) e magnesio (Mg-P) domina invece nei suoli con pH molto basico, oltre 8 (Richardson, 1999).

Poiché le reazioni di adsorbimento/precipitazione sono parzialmente reversibili, il suolo funge da stock di riserva di fosfati e da tampone, regolando la concentrazione di fosfati nella soluzione (Nichols, 1983).

Il ruolo dei batteri più che di assimilazione, la quale procede ad un'intensità relativamente bassa, è di conversione delle forme organiche disciolte in forme assimilabili dalle piante, le quali possono influenzare notevolmente il ciclo del Fosforo in modo diretto (assimilazione, rilascio) o indiretto.

In quest'ultimo caso ciò avviene attraverso i cambiamenti indotti dalla fotosintesi nei parametri dell'acqua e dell'interfaccia sedimento-acqua quali pH ed Ossigeno disciolto (Vymazal, 1995).

L'assimilazione di Fosforo da parte delle macrofite è normalmente più elevata durante la fase iniziale della stagione di crescita (in molte regioni addirittura durante l'inizio della primavera), ovvero prima che il tasso massimo di crescita sia raggiunto (Garver et al., 1988).

Vymazal (1995) riporta che il valore annuale di assorbimento nelle wetland naturali varia tra 0,77 e 40 g P × m<sup>-2</sup> × anno<sup>-1</sup> per le specie emergenti e tra 10,5 e 126 g P × m<sup>-2</sup> × anno<sup>-1</sup> per le specie flottanti.

### **2.3.5. Sostanza organica**

La composizione della sostanza organica presente nelle acque superficiali è complessa essendo costituita da molte forme chimiche presenti in basse concentrazioni. Essa viene quindi misurata con parametri che tengono conto di tutti i composti organici presenti nel campione quali ad esempio il BOD (richiesta di Ossigeno per l'ossidazione biologica), il COD (richiesta di Ossigeno per l'ossidazione chimica) e il TOC (Carbonio organico totale).

La sostanza organica può essere presente sia in forma solubile che particellata: in questa forma essa è soggetta a flocculazione e successivamente a sedimentazione, a intercettazione ed assimilazione da parte del biofilm che ricopre le piante e l'interfaccia sedimento-acqua, ed infine a mineralizzazione ad opera della flora microbica.

Sostanze organiche disciolte possono invece venire assimilate e decomposte dai microrganismi presenti nel biofilm e nel sedimento, mentre alcune sostanze organiche, caratterizzate da valori



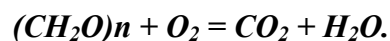
elevati della costante di Henry, possono anche trasferirsi dalla fase acquosa a quella aerea grazie al processo di volatilizzazione.

La rimozione della sostanza organica biodegradabile, in un ambiente naturale, avviene per successive trasformazioni biochimiche operate da un insieme di organismi specializzati che traggono da tale attività l'energia e le sostanze necessarie al proprio sostentamento.

La demolizione della sostanza organica permette lo sfruttamento dell'energia liberata durante le reazioni di ossido-riduzione che comportano il trasferimento di elettroni da composti organici a sostanze che fungono da accettori di elettroni.

L'ambiente può influenzare marcatamente il tipo di trasformazione biochimica: ad esempio la disponibilità di Ossigeno come accettore finale di elettroni permette una serie di reazioni che costituisce la respirazione aerobica.

Questa via metabolica risulta essere la più efficiente ed energeticamente favorita forma di conversione della materia organica ed è governata dai batteri aerobici eterotrofi secondo la reazione:



La respirazione anaerobica invece utilizza come accettori finali di elettroni molecole inorganiche ossidate come  $NO_3^-$ ,  $Fe_3^+$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $CO_2$ , producendo in tal modo  $N_2$ ,  $Fe_2^+$ ,  $H_2S$  e  $CH_4$ . Inoltre, in condizioni anaerobiche, avvengono i processi di fermentazione che differiscono dalla respirazione poiché degradano meno a fondo i composti organici.

La degradazione anaerobica infatti è un processo multi-step: al principio i primi prodotti della fermentazione sono l'acido acetico, l'acido butirrico, l'acido lattico e gli alcoli, successivamente questi composti sono utilizzati come substrato per il metabolismo di batteri anaerobici come i solfato-riduttori e i metanigeni (Vymazal, 1995).

Dunque la rimozione della sostanza organica procede più velocemente se segue la via aerobica; tuttavia nelle wetlands, quando l'Ossigeno è limitato e il carico organico elevato, la degradazione anaerobica tende a dominare nei suoli sommersi (Cooper et al., 1996).

### **2.3.6. Microrganismi patogeni**

I microrganismi patogeni presenti nelle acque sono rappresentati da virus, batteri, funghi e protozoi. Essendo la loro rilevazione onerosa e spesso difficile, di solito è affidata alla quantificazione di indicatori più generici quali salmonella, coliformi totali e fecali, streptococchi fecali ed altre classi di batteri che indicano con la loro presenza la probabilità di inquinamento di tipo fecale delle acque.

Negli impianti di fitodepurazione una serie di processi fisici, chimici e biologici contribuiscono all'abbattimento della carica microbica, che solitamente vi perviene adesa ai solidi sospesi o sottoforma di colonie sospese. I processi fisici sono costituiti dalla filtrazione e dalla sedimentazione; i fattori chimici includono l'ossidazione, l'esposizione a tossine secrete da piante e altri organismi e l'esposizione, nei sistemi FWS, alla radiazione ultravioletta della luce solare; tra i fattori biologici si elencano la predazione di nematodi, protisti e zooplancton, l'attacco di altri batteri litici e virus, oppure la morte naturale per incompatibilità con l'ambiente (Seidel, 1976).

I patogeni infatti, adattati a vivere all'interno di organismi a sangue caldo, si trovano in una matrice ambientale ostile: essi richiedono temperature alte e substrati ricchi di sostanza organica per vivere e generalmente non sopravvivono alla competizione della comunità di microrganismi ambientali.

La rimozione degli organismi patogeni, in ogni caso, è correlata alla rimozione dei solidi sospesi e ai fattori che la influenzano come il tempo di residenza (Vymazal, 2003).

In generale l'efficienza di rimozione è intorno al 98% e in molte situazioni eccede il 99,9%, come citato da Gersberg et al., (1987) e da Terry (1993). È da ricordare inoltre che i tassi di eliminazione a lungo termine sono di 2-5 ordini di grandezza superiori a quelli che si registrano negli impianti a fanghi attivi (Hagendorf et al., 1994).

### **2.3.7. Metalli**

I metalli possono entrare nelle aree umide in forma disciolta o come composti insolubili associati ai solidi sospesi. In quest'ultimo caso, essi subiranno i processi di flocculazione/sedimentazione, filtrazione e intercettazione.

I metalli in forma disciolta invece, possono essere sequestrati dalla fase acquosa per essere associati a quella solida da processi di scambio cationico e chelazione con il sedimento o con i solidi sospesi, possono formare legami con la frazione umica del sedimento, oppure possono precipitare come sali insolubili di solfuri, carbonati, idrossidi ed essere così assimilati da piante, alghe e batteri.

In funzione del pH e del potenziale redox, i composti insolubili possono essere solubilizzati e ritornare alla colonna d'acqua; tuttavia, il destino principale dei metalli è quello di formare composti con i solfuri presenti nel sedimento anossico formando composti non biodisponibili e finendo col tempo per essere seppelliti con il sedimento.

Anche le piante possono assimilare i metalli, ma l'entità di questa assimilazione dipende molto dal tipo di pianta e dalla specie di metallo.

Nonostante piante come *Lemna minor* e *Thypha latifolia* abbiano dimostrato rilevanti tolleranze nei confronti dei metalli pesanti, numerosi studi hanno dimostrato che le macrofite utilizzate negli impianti di fitodepurazione presentano comunque la tendenza a concentrare tali elementi nelle radici, rendendo perciò trascurabile la rimozione degli stessi tramite la raccolta della vegetazione (Vymazal, 1995).

## **2.4. Tipologie e caratteristiche dei reflui**

Le acque reflue trattate dagli impianti studiati in questo lavoro, per via della diversità delle rispettive caratteristiche, possono essere ricondotte essenzialmente a due categorie a seconda della loro provenienza: i reflui domestici e quelli proveniente da aziende vitivinicole.

### **2.4.1. Reflui domestici**

I reflui domestici sono caratterizzati da una rilevante presenza di sostanze organiche, inorganiche, minerali, solidi sospesi e disciolti; le componenti che contengono tali sostanze sono essenzialmente di tre tipi e possono essere raggruppate a seconda della provenienza: residui metabolici (WC), sostanze derivanti da lavaggi (lavandini, docce, lavastoviglie, lavatrici) e grassi alimentari (cucine).

I residui metabolici sono composti da una miscela di feci e urine che rispettivamente in media un adulto produce quotidianamente in quantità comprese tra 80-250 grammi e 1-1,6 litri.

Le deiezioni solide sono composte principalmente da residui alimentari non digeribili, come cellulosa e cheratina, ma anche da residui di acidi gastrici, bile, muco, composti sia azotati che fosfati e, in parte considerevole, da batteri e acqua; le urine invece sono costituite principalmente da acqua, urea, acido urico, cloruro di sodio, zuccheri e ammoniaca.

Come già detto, oltre a questa tipologia di apporti, i reflui domestici sono caratterizzati da una quantità variabile di altre sostanze quali saponi, detersivi, pesticidi, oli alimentari, frammenti cartacei, cere e terriccio.

I detersivi in particolare sono costituiti da miscele di diversi composti, tra i quali una componente tensioattiva avente la funzione di portare i grassi in soluzione e una componente ad azione sequestrante nei riguardi del calcio dell'acqua di lavaggio (Marchetti, 1993).

È comunque importante sottolineare che i contributi di Fosforo e Azoto per abitante possano variare considerevolmente da luogo a luogo a seconda del consumo di generi alimentari e delle abitudini della popolazione locale (Loehr et al., 1989).

La composizione media di un refluo domestico è quindi complessa e dipende da molti fattori quali il clima e le abitudini igieniche e alimentari dei residenti; la sua variabilità rimane comunque confinata entro limiti piuttosto ristretti e noti da tempo in letteratura internazionale.

I reflui domestici quindi, grazie alla limitata variabilità della composizione e a valori relativamente bassi per parametri quali COD, Solidi sospesi (TSS), Fosforo totale (TP), Azoto totale (TN), ammoniacale, nitrico e CFU, ben si prestano al trattamento tramite fitodepurazione (Tabella 2).

Come si può notare, tale tipologia di trattamento fornisce prestazioni particolarmente buone per l'abbattimento del carico organico, mentre i valori dei parametri legati all'Azoto e al Fosforo vengono ridotti meno marcatamente.

Parameter	Inflow (mg l <sup>-1</sup> )	Outflow (mg l <sup>-1</sup> )	Efficiency (%)	N
BOD <sub>5</sub>	108	16.0	85	164
COD	284	72	75	131
TSS	107	18.1	83	158
TP	8.74	5.15	41	149
TN	46.6	26.9	42	137
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	38.9	20.1	48	151
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	4.38	2.87	35	79
FC (CFU/100 ml)	1.27 × 10 <sup>7</sup>	9.96 × 10 <sup>5</sup>	92	51

**Tabella 2** – Valori medi dei reflui in ingresso ed uscita e relative efficienze di abbattimento dei sistemi di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. La colonna di dati N presenta il numero di campioni studiati per il dato parametro. (Dati da Australia, Austria, Brasile, Canada, Repubblica Ceca, Danimarca, Germania, India, Messico; Nuova Zelanda, Regno Unito, Slovenia, Svezia e USA). (J. Vymazal / Ecological Engineering, 2005)

Da un punto di temporale -soprattutto a livello giornaliero- i flussi dei reflui domestici presentano un'intrinseca intermittenza e discontinuità sia per quanto riguarda le portate che le relative concentrazioni di inquinanti.

Tale problematica, che potrebbe comportare una notevole sofferenza per la vegetazione ed i microrganismi del medium di riempimento, è comunque risolvibile con un corretto dimensionamento dei sistemi di pre-trattamento quale soprattutto la vasca Imhoff, che, se sufficientemente grande, garantisce una buona costanza sia del volume che dei parametri caratterizzanti il refluo in ingresso al letto vegetato.

L'importanza di tali sistemi a monte della vasca di fitodepurazione risulta evidente osservando la Tabella 3: i valori medi di parametri quali BOD<sub>5</sub>, COD, Solidi Sospesi Totali e Azoto organico nei reflui in entrata al letto vegetato sono caratterizzati da un ordine di grandezza inferiore dopo il

passaggio attraverso i pre-trattamenti, garantendo alla fine dell'intero processo di depurazione abbattimenti superiori al 90% rispetto al refluo grezzo.

Parameter	Inflow (mg l <sup>-1</sup> )	After pre- treatment (mg l <sup>-1</sup> )	Outflow (mg l <sup>-1</sup> )	Efficiency (%)
BOD <sub>5</sub>	373	73	9.7	97
COD	1118	182	37	97
TSS	639	44	9.1	99
TP	17.1	10.6	10.6	38
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	59	62	51	14
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0	0	2.9	
Norg	24.2	9.1	1.1	95
TN	85	72	55	35

**Tabella 3** – Entità del ruolo svolto da un sistema di pre-trattamento correttamente progettato. Le efficienze di abbattimento sono calcolate sul confronto dei valori prima dei pre-trattamenti e all'uscita del letto vegetato (Vymazal, Rep. Ceca, 2003-2004).

#### 2.4.2. Reflui di aziende vitivinicole.

I reflui derivanti dalle cantine possono essere suddivisi in due tipologie: acque reflue di lavaggio dei pavimenti e acque di lavaggio delle attrezzature. La loro produzione, che generalmente oscilla intorno ai 3 litri di refluo ogni litro di vino prodotto (Phillips, 1997), è discontinua nel corso dell'anno ed è caratterizzata da un picco produttivo in corrispondenza delle attività di vendemmia e vinificazione.

Inoltre, come suggerito da Jourjon e Arcanger (1998), da una cantina all'altra diversi fattori quali il metodo di vinificazione, il tipo di vino prodotto, la dimensione dei tini e non ultima l'abilità dei produttori, incidono notevolmente sulla caratterizzazione inquinante dei reflui di processo: all'interno di una singola realtà infine, la produzione varia in quantità e qualità nel corso della stagione e spesso della giornata lavorativa stessa.

In generale le acque reflue delle aziende vitivinicole, derivando esclusivamente dai processi di vinificazione, non presentano la complessa composizione dei reflui domestici ma sono caratterizzate da elevati carichi organici (Tabella 4). Tipicamente durante la vendemmia e la vinificazione si rilevano infatti elevati valori di COD, anche 100 volte superiori ai reflui domestici, alti valori di conducibilità elettrica e sostanze solide (residui di foglie, bucce degli acini, semi e raspi, prodotti residui dei vari stadi di vinificazione, resti di sostanze che intervengono nella

lavorazione del vino, zuccheri, acidi organici a catena corta, proteine, composti fenolici). Il pH risulta tendenzialmente acido nelle acque provenienti dalle attività di lavorazione proprio per i processi di fermentazione, mentre risulta alcalino nelle acque derivanti dal lavaggio di attrezzature e bottiglie (Shepherd et al. 2001) .

	Average $\pm$ SD	Minimum	Maximum
pH <sup>a</sup>	6.14 $\pm$ 1.10	4.62	8.13
COD <sup>a</sup> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	2250 $\pm$ 565	1100	3000
BOD <sub>5</sub> <sup>a</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	1000 $\pm$ 88	900	1200
TSS <sup>b</sup> (mg total solidsL <sup>-1</sup> )	92 $\pm$ 36	58	200
TKN <sup>b</sup> (mg TKN-NL <sup>-1</sup> )	188 $\pm$ 17	150	220
NH <sub>3</sub> <sup>b</sup> (mg NH <sub>3</sub> -NL <sup>-1</sup> )	100 $\pm$ 14	75	135
NO <sub>3</sub> <sup>b</sup> (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -NL <sup>-1</sup> )	44 $\pm$ 9	36	67
Total P <sup>b</sup> (mg PL <sup>-1</sup> )	1.0 $\pm$ 0.7	0.1	2.0
Total Cr <sup>b</sup> (mg CrL <sup>-1</sup> )	0.027 $\pm$ 0.075	<0.001	0.360
Cr VI <sup>b</sup> (mg CrL <sup>-1</sup> )	0.004 $\pm$ 0.006	<0.001	0.020
<sup>a</sup> n = 44.			
<sup>b</sup> n = 24.			

**Tabella 4** - Valori medi in entrata per alcuni parametri caratteristici delle acque di aziende vinicole (mg/l-1)

Per la depurazione di tale particolare tipologia di refluo in passato sono stati tentati trattamenti di tipo biologico tradizionale e/o trattamenti chimico-fisici: l'alta variabilità del carico organico ed idraulico, le alte concentrazioni di BOD e COD però, oltre a richiedere l'impiego di personale tecnico specializzato, comportavano rilevanti consumi energetici e risultati non sempre ottimali.

In ogni caso la realtà italiana del settore vitivinicolo è fatta di piccoli produttori che non possiedono né sufficienti risorse per sostenere un impianto di tipo tecnologico, né quantità di reflui tali da giustificare l'installazione: allo stato attuale è quindi pratica corrente il ricorso a stagni di accumulo (in cui il refluo subisce una sommara evaporazione) e al successivo spargimento per fertirrigazione nei terreni agricoli.

Questa tecnica comporta pertanto una notevole pressione sui corpi idrici, che, ricevendo le acque dai fossi di scolo dei campi, subiscono l'arricchimento di elevati carichi organici e di nutrienti.

La fitodepurazione può essere una valida alternativa in quanto, a fronte di ottime efficienze depurative è caratterizzata da bassi costi energetici e di manutenzione; inoltre tali sistemi di

depurazione hanno il vantaggio di sopportare notevoli variazioni di carico idraulico ed organico senza che vengano penalizzati eccessivamente i rendimenti dell'impianto.

Come in effetti viene riportato in vari casi in letteratura, e più specificatamente in uno studio condotto in Toscana nel 2002, gli impianti di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale impiegati per il trattamento di reflui di cantina presentano ottime prestazioni soprattutto nell'abbattimento del carico organico, con rimozioni del COD prossime al 90%.

Per quanto riguarda le prestazioni relative all'Azoto totale, viene indicato che le efficienze di rimozione, a causa del rapporto C/N richiesto dai microrganismi, incrementano all'aumentare del contenuto di sostanza organica all'interno del refluo; vengono comunque riportati valori compresi tra il 50% ed il 60% (Tabella 5).

	<b>In</b>	<b>Out</b>	<b>Efficiency (%)</b>
<b>pH</b>	<b>6,6</b>	<b>7,2</b>	
<b>COD (mg/L)</b>	<b>721,7</b>	<b>90</b>	<b>87,5</b>
<b>BOD<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>353,7</b>	<b>29,7</b>	<b>91,6</b>
<b>TN (mg/L)</b>	<b>65,2</b>	<b>27,5</b>	<b>57,8</b>

**Tabella 5** – Valori medi in entrata, uscita ed efficienze di abbattimento per alcuni parametri rilevati in una cantina vinicola in Toscana (Masi et al., 2002)

## **2.5. Progettazione e gestione**

Uno degli aspetti caratteristici di un impianto naturale di trattamento delle acque è che è un sistema vivo. Questa peculiarità implica che ogni pianificazione progettuale relativa ad una wetland deve essere sito-specifica dato che aspetti quali la caratterizzazione quali-quantitativa del refluo da trattare, il conseguimento degli obiettivi di qualità, la scelta del sito ed il suo clima variano di caso in caso.

Una corretta progettazione è inoltre fondamentale per ridurre i costi e l'impatto sull'ambiente circostante; ottimizzando l'inserimento di un impianto di fitodepurazione nella morfologia del sito, grazie all'intrinseco valore estetico, è infatti possibile contribuire alla riqualificazione ambientale di aree urbane e agricole.

È comunque opportuno scegliere un luogo accessibile per facilitare le operazioni di costruzione, monitoraggio e gestione, nonché sufficientemente ampio per l'impianto proposto e le sue eventuali modifiche. Si deve poi cercare di posizionare il sito al disotto ed in prossimità della sorgente del refluo per far arrivare le acque per gravità; al fine di non contaminare la falda l'impianto dovrà

inoltre essere impermeabilizzato attraverso materiali naturali (strati di argilla) o artificiali (HDPE, PVC).

Comunque, a livello generale, un buon progetto deve saper sfruttare gli aspetti caratteristici delle wetland naturali: dovrà essere perciò il più semplice possibile, a favore di una minima manutenzione e all'utilizzazione di energie naturali, come pure dovrà considerare il fatto che essendo un trattamento naturale, la wetland costruita avrà bisogno di un periodo di assestamento prima di raggiungere i livelli ottimali di prestazione.

### **2.5.1. Manutenzione degli impianti**

Gli impianti di fitodepurazione, grazie alla relativa semplicità costruttiva, richiedono una gestione limitata ed esente di un impegno costante; tuttavia, essendo ecosistemi viventi e dinamici non possono essere considerati una soluzione “build and forget”.

Al fine di assicurare un buon funzionamento è necessario che il sistema di trattamento primario (vasca condensa grassi, fossa Imhoff) sia periodicamente controllato e pulito, per evitare che un suo eventuale malfunzionamento provochi l'ostruzione del medium o dei sistemi di distribuzione e quindi un conseguente minor rendimento del processo depurativo o fenomeni di allagamento.

È bene inoltre che gli argini di sicurezza, le tubature e i sistemi di controllo vengano ispezionati periodicamente ed in particolar modo dopo eventuali fenomeni straordinari di portata: il regolare mantenimento del livello dei reflui all'interno degli impianti è infatti fondamentale per la crescita ottimale delle piante, soprattutto nei primi mesi dopo la piantumazione.

Infine, nel periodo invernale è opportuno effettuare lo sfalcio della vegetazione che potrà essere subito asportata o lasciata nel sito. In quest'ultimo caso essa fungerà da strato protettivo fino all'arrivo della primavera, quando dovrà essere rimossa per evitare che la decomposizione della biomassa restituisca al sistema i nutrienti assimilati.

### **2.5.2. Dimensionamento**

#### **2.5.2.1. Impianti a flusso sub-superficiale orizzontale**

Nonostante siano diverse le possibilità offerte in letteratura riguardo il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale, in questo lavoro viene preso in considerazione uno tra i più accreditati dalla bibliografia internazionale e suggerito dalle Linee Guida APAT, ovvero quello proposto da Reed Crites e Middlebrooks (1995).



Tali equazioni si basano sull'assunzione di un modello a plug-flow del primo ordine per quegli inquinanti che vengono rimossi principalmente da processi biologici: domanda biochimica di Ossigeno ( $BOD_5$ ), ammoniaca ( $NH^{4+}$ ) e nitrati ( $NO^{3-}$ ). Reed suggerisce differenti equazioni per i solidi sospesi totali (TSS) e per il Fosforo totale (TP), basate su analisi di regressione di una prima versione del NADB (North America Data Base for Constructed Wetlands) (Knight et al., 1993). Per la rimozione dei patogeni suggerisce il medesimo approccio usato per gli stagni di stabilizzazione. Per la rimozione di  $BOD_5$ ,  $NH^{4+}$  e  $NO^{3-}$  si ha:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right) = K_T \cdot t$$

dove:

$t = (A_s * y * n) / Q$  = tempo di ritenzione idraulico, in giorni;

$A_s$  = superficie richiesta dalla vasca;

$C_e$  = Concentrazione dell'inquinante nell'affluente, fissata in base all'obiettivo depurativo, in mg/l

$C_i$  = Concentrazione dell'inquinante in entrata all'impianto (dopo eventuale trattamento primario) in mg/l;

$K_T = K_R * \theta_R^{(T_W - T_R)}$  = costante cinetica alla temperatura  $T_w$ , in  $giorni^{-1}$ ;

$\theta_R$  = coefficiente di temperatura per la costante cinetica;

$K_R$  = costante cinetica alla temperatura di riferimento, in  $giorni^{-1}$ ;

$T_W$  = temperatura del refluo nella zona umida, in  $^{\circ}C$ ;

$T_R$  = temperatura di riferimento, in  $^{\circ}C$ ;

$n$  = porosità espressa come frazione % ;

$y$  = profondità media della zona umida;

$Q$  = carico idraulico medio giornaliero in m<sup>3</sup>/giorno

Quindi, la superficie richiesta dal trattamento può esser ricavata da:

$$A_s = \frac{Q}{K_T \cdot y \cdot n} \ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right)$$

Gli autori propongono i valori riportati in tabella per i coefficienti in gioco a seconda dell'inquinante considerato.

Il metodo considera la dipendenza dalla temperatura nel dimensionamento di impianti di fitodepurazione: le rese depurative degli inquinanti, il cui abbattimento è considerato dipendente da  $T_w$ , sono superiori a temperature maggiori; molte volte, quindi, lo scenario più critico da valutare risulta essere quello invernale (Tabella 6).

Se $1 < T_w < 10$			
Parametro	BOD <sub>5</sub>	N_NH <sub>4</sub>	N_NO <sub>3</sub>
T <sub>R</sub>	20	10	10
C <sub>residua</sub>	6	0,20	0,20
K <sub>R</sub>	1,104	K <sub>10</sub>	1,000
θ <sub>R</sub>	1,06	1,15	1,15
Se $T_w > 10$			
Parametro	BOD <sub>5</sub>	N_NH <sub>4</sub>	N_NO <sub>3</sub>
T <sub>R</sub>	20	20	20
C <sub>residua</sub>	6	0,20	0,20
K <sub>R</sub>	1,104	K <sub>NH</sub>	1,000
θ <sub>R</sub>	1,06	1,048	1,15

**Tabella 6** - Valori dei parametri riportati da Reed Crites & Middlebrooks

Per la rimozione dei solidi sospesi gli autori avanzano la formula seguente, proponendo una soglia di fondo di 6 mg/l:

$$C_e = C_i \cdot (0.1058 + 0.0011 \cdot HLR)$$

$HLR$  = Coefficiente di carico idraulico in cm/giorno;

$C_e$  = Concentrazione di SST nell'effluente fissata in base all'obiettivo depurativo, in mg/l;

$C_i$  = Concentrazione di SST in entrata all'impianto (dopo eventuale trattamento primario) in mg/l.

Per il Fosforo gli autori propongono, invece, la formula seguente:

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp\left(-\frac{K_p}{HLR}\right)$$

dove:

$C_i$  = concentrazione di Fosforo nell'affluente (mg/l);

$C_e$  = concentrazione di Fosforo nell'effluente (mg/l);

$K_p$  = costante di rimozione per il Fosforo = 2.73 cm/d;

### 2.5.2.2. Impianti a flusso sub-superficiale verticale

Per il dimensionamento dei bacini a flusso verticale sono comunemente utilizzate le seguenti procedure:

- si calcola il fabbisogno di Ossigeno sulla base di 1.0 Kg di  $O_2$  per Kg di  $BOD_5$  da rimuovere e di 4.3 Kg di  $O_2$  per Kg di  $NH_3$  da ossidare (Cooper, 1996).
- si dimensiona il letto a flusso sub-superficiale verticale considerando un coefficiente di aerazione superficiale pari a 30 grammi di  $O_2$  per  $m^2$  di superficie (Brix, 1998) e si fissa la sua altezza pari ad 0.9 m; data, quindi, la conoscenza del fabbisogno di Ossigeno ( $OD$ ) e del coefficiente di aerazione superficiale ( $ka$ ), si ricava una superficie poi aumentata del 25% come fattore cautelativo.

$$A_s = \frac{OD}{Ka} + \frac{OD}{Ka} \cdot 0.25$$

## 2.6. La fitodepurazione in Italia

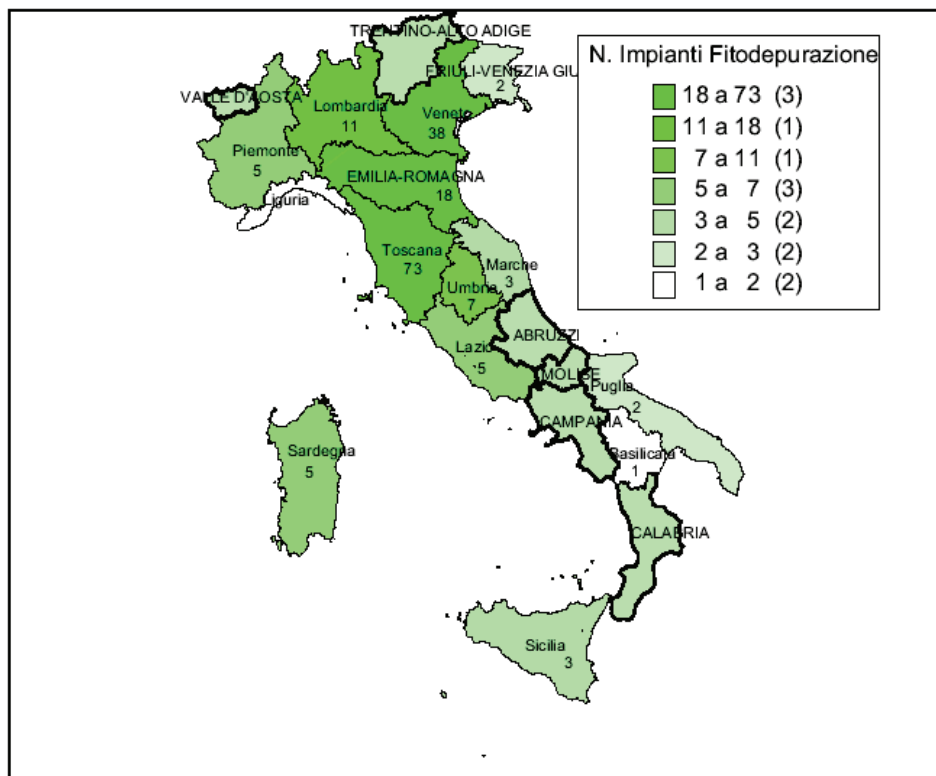
Nonostante le favorevoli condizioni climatiche, in Italia il tema dei sistemi naturali di depurazione idrica ha riscontrato una notevole diffidenza, atteggiamento che per anni ne ha pregiudicato lo sviluppo e la diffusione (Masi et al., 2002).

Infatti solo nel 1999 lo Stato italiano recepisce le Direttive europee 91/271/CEE e 91/676/CEE con il D. Lgs. 152/1999 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento” –poi corretto ed integrato dal D. Lgs. 258/2000-, introducendo di fatto la promozione, ove possibile, di soluzioni naturali per il trattamento delle acque reflue.

Nelle indicazioni generali si legge infatti che è ritenuto auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale, quali il lagunaggio o la fitodepurazione, per insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 a.e.; tali trattamenti sono poi consigliati come soluzioni di affinamento in impianti dimensionati per insediamenti con popolazione equivalente compresa tra 2000 e 25000 a.e.

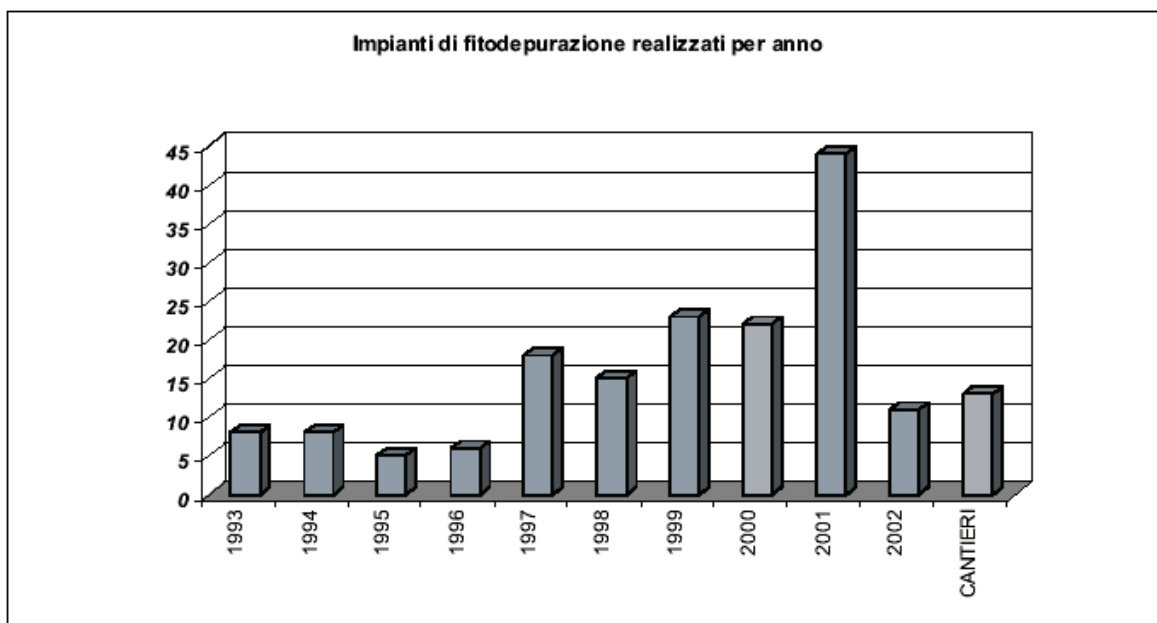
Entrata ormai a far parte delle tecnologie considerate affidabili, nel 2003 il D. Lgs. 185/2003 “Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue” incentiva in particolare l’impiego della fitodepurazione, prevedendo una maggiore tolleranza della carica batterica per il riutilizzo di acque reflue provenienti da impianti di fitodepurazione rispetto ad acque trattate con sistemi tradizionali.

Confluite nel D. Lgs. n.152 del 3 Aprile 2006, le suddette normative hanno avuto un effetto disomogeneo all’interno del territorio italiano: come si può infatti notare dalla rappresentazione grafica della distribuzione degli impianti di fitodepurazione realizzati fino al 2002 (Figura 19), la maggior parte dei sistemi era concentrata nel Centro e nel Nord Italia. Il 75% delle 172 strutture censite era infatti distribuita fra Toscana, Veneto ed Emilia Romagna, regioni in cui le autorità locali si sono dimostrate maggiormente recettive.



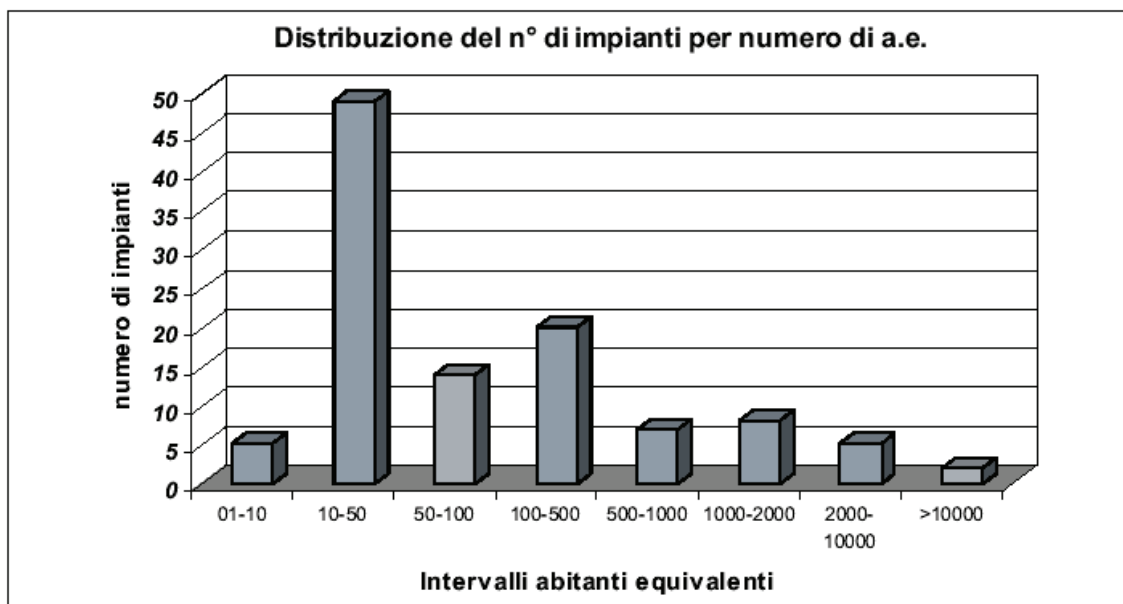
**Figura 19** - Distribuzione territoriale degli impianti di fitodepurazione in Italia (Masi 2002)

Passando alla Figura 20 , si nota il crescente sviluppo dell'applicazione dei sistemi di depurazione naturale nel nostro Paese (tutti gli impianti realizzati nel periodo 1985-1993 sono stati accorpati nell'anno 1993, mentre il numero di impianti riportati per il 2002 –anno di realizzazione dello studio- è incompleto). Dall'osservazione di questo trend di crescita ci si può aspettare che tale incremento di realizzazioni sia continuato fino al 2007 e possa progredire in futuro, in special modo andando a considerare l'applicazione di piccoli-medi impianti per il trattamento di case isolate.



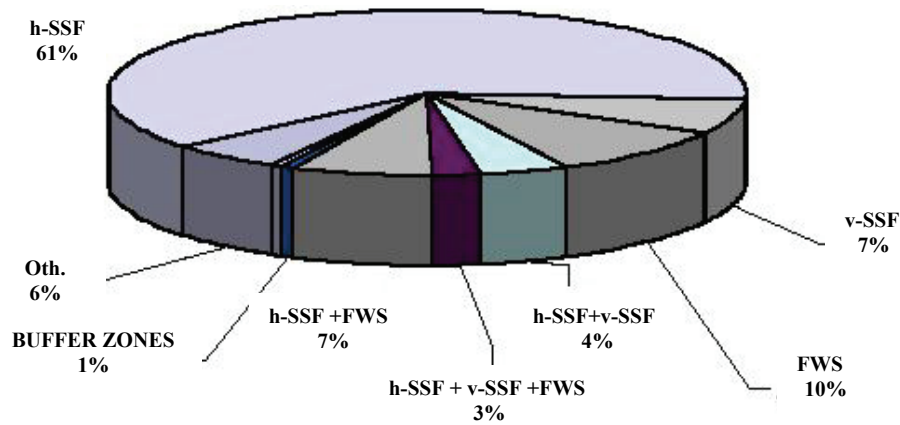
**Figura 20** - Numero di impianti realizzati dal 1993 al 2002 (Masi , 2002)

Osservando la Figura 21 si può notare come gli impianti di fitodepurazione realizzati nel nostro Paese siano in gran parte di piccola-media taglia. Da notare che il numero riportato di impianti per case singole (da 1 a 10 a.e.) è sicuramente sottostimato per le difficoltà incontrate nel censimento degli stessi, ma si può dare una stima credibile del loro ammontare in circa 150-200 unità.



**Figura 21** - Distribuzione del numero di impianti per fasce di utenza (Masi, 2002).

Concludendo questo rapido quadro sulla situazione nazionale è infine interessante notare che, per motivi legati alla semplicità costruttiva, alle limitate dimensioni e alla bassa richiesta energetica, in Italia la tipologia di sistema di fitodepurazione più diffuso è sicuramente la wetland artificiale a flusso sub-superficiale orizzontale (61%), seguito dagli impianti a flusso superficiale (10%), sub-superficiale verticale (7%) e misto (h-SSF + FWS) (Figura 22).



**Figura 22** - Diffusione delle diverse tipologie di sistemi di depurazione naturali in Italia (Masi, 2002)





### ***3. Obiettivi***

Analizzando le problematiche presentate nei capitoli precedenti, si comprende come la tecnologia e il sistema che svolge la fitodepurazione nella sua interezza siano ancora parzialmente incompresi o comunque presentino tematiche dense di affascinanti spunti di ricerca.

Ed è proprio questa constatazione che spinge ormai da molti anni i ricercatori e i tecnici progettisti afferenti alle varie branche della ricerca internazionale a studiare questo genere di impianti, al fine di mettere a punto sistemi ed accorgimenti che consentano di aumentarne l'efficacia e la flessibilità.

Il presente lavoro si inserisce quindi in questa ottica e fa parte di un più ampio progetto di monitoraggio di una serie di letti vegetati di varia natura tecnica.

L'obiettivo di questa tesi sperimentale è stato quello di sviluppare una campagna di studio per dodici mesi, riguardante quattro impianti di fitodepurazione ad un anno dalla piantumazione con *Phragmites australis*.

Analizzata infatti in un precedente lavoro l'efficienza di rimozione di macroinquinanti nel primo anno dall'avvio di tre dei quattro impianti interessati da questa tesi, si è deciso di continuare a studiarne l'evoluzione delle prestazioni per approfondire la conoscenza delle variazioni dei parametri, le dinamiche legate alla stagionalità, ed eventualmente individuare se esistono delle relazioni tra il progredire dell'insediamento della vegetazione e l'efficienza di rimozione degli inquinanti.

Per poter ampliare il più possibile il ventaglio di tipologie di impianti oggetto di studio nel medesimo territorio, come già anticipato, si è scelto di continuare a monitorare tre impianti per piccole utenze, aggiungendone un quarto dimensionato per utenze maggiori.

Come si vedrà più dettagliatamente in seguito, i quattro impianti differiscono tra loro sotto molteplici punti di vista: il primo è un letto vegetato a flusso orizzontale per il trattamento secondario di reflui di un ristorante, un secondo impianto a flusso orizzontale, servente una piccola azienda viticola, è destinato a ricevere e trattare le acque dei servizi igienici e di lavaggio delle attrezzature adibite alla produzione di vino, mentre il terzo ed il quarto impianto sono adibiti al trattamento secondario di reflui derivanti da singole abitazioni (4-8 abitanti equivalenti) e sono rispettivamente dei letti vegetati a flusso orizzontale e verticale.

Infine, nonostante in certi casi relativi ad impianti di fitodepurazione si possa far riferimento ad esperienze internazionali, non si deve dimenticare che si tratta di sistemi biologici, il cui

comportamento è significativamente influenzato dalle peculiarità dell'ambiente ed è perciò di fondamentale importanza disporre di informazioni locali.

È per questo motivo che scopo non ultimo di questo lavoro è stato approfondire le conoscenze sulle dinamiche e le criticità legate alle peculiarità di tali tipologie di impianti riguardo al territorio italiano e più specificatamente dell'area padana.

A tal riguardo è stata quindi prestata una specifica attenzione nel verificare la funzionalità degli impianti accertando, in particolar modo per il letto vegetato che riceve il refluo dall'azienda vitivinicola, il rispetto degli scarichi sversanti in acque superficiali con la normativa vigente (D. Lgs. 152/06 testo unico "Norme in materia ambientale").

## 4. Materiali e metodi

### 4.1. Descrizione impianti

Durante il presente lavoro di tesi sono stati monitorati quattro impianti: come evidenziato in Figura 23, due erano localizzati nella provincia di Reggio nell'Emilia - più precisamente dei comuni di Rolo (impianto A) e Quattro Castella (impianto B) - e due nella provincia di Modena, nei comuni di Castelnuovo Rangone (impianto C) e Nonantola (impianto D).

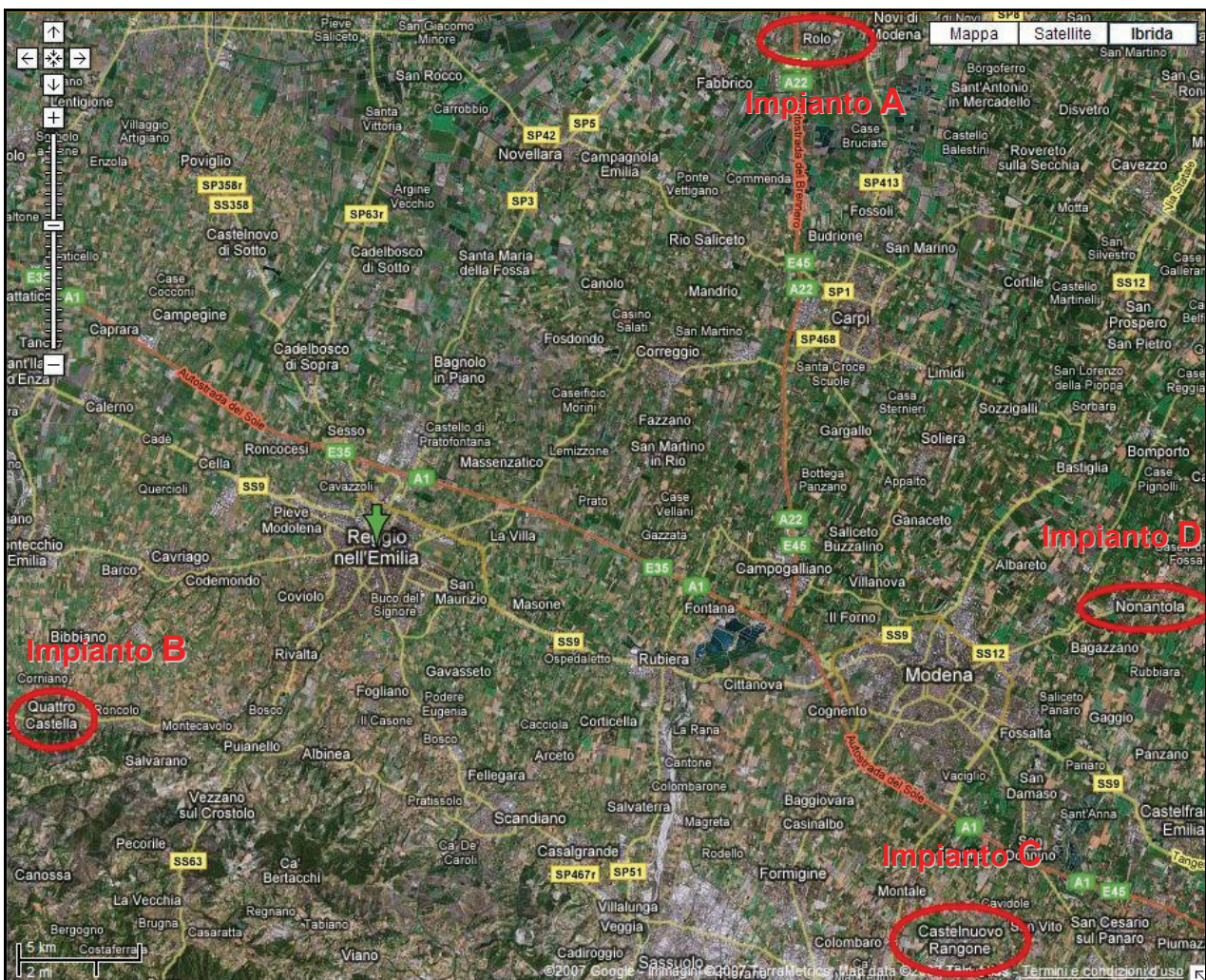


Figura 23 - Localizzazione geografica dei comuni dei quattro impianti.

Tutti i quattro impianti sono caratterizzati dal servire piccole-medie utenze il cui allacciamento al sistema fognario sarebbe risultato troppo oneroso: due di questi infatti trattano i reflui di singole abitazioni, uno tratta i reflui di un ristorante mentre un quarto serve una piccola cantina viticola.

Di seguito vengono presentati i quattro impianti evidenziandone la posizione, il tipo di struttura che è adibito a servire, le fasi di trattamento del refluo, le planimetrie, le caratteristiche costruttive, le osservazioni e presentando le relative foto.

È infine importante sottolineare che per il dimensionamento e per i criteri di progettazione degli impianti di fitodepurazione, seguendo le direttive imposte dalla delibera della Giunta dell'Emilia Romagna del 9 giugno 2003, ci si è riferiti alle Linee Guida APAT 2005.

Infatti la L.R. dell'Emilia Romagna n. 1053/03 impone che per tutti gli impianti di fitodepurazione serventi meno di 50 a.e. si debba seguire un criterio geometrico di dimensionamento basato sulla correlazione “superficie del letto vegetato - carico organico”, ovvero  $5 \text{ m}^2/\text{a.e.}$  per h-SSF,  $1 \text{ m}^2/\text{a.e.}$  per v-SSF.

Bisogna inoltre specificare che, come previsto dalla L.R. dell'Emilia Romagna n. 1053/03, questi impianti sotto i 50 a.e. non sono tenuti a rispettare i limiti allo scarico previsti dal D. Lgs. 152/06.

Dal punto di vista normativo l'abitante equivalente è specificato all'art. 74 comma 1 lett. a) del D. Lgs. 152/06 dove viene definito come il “carico organico biodegradabile avente una richiesta di Ossigeno a 5 giorni ( $\text{BOD}_5$ ) pari a 60 grammi di Ossigeno al giorno”.

#### 4.1.1. Impianto A

L'impianto in oggetto, caratterizzato da un regime idrico di tipo h-SSF, tratta i reflui prodotti dagli impiegati dell'ufficio all'interno del magazzino e dai clienti della sala convegni e del ristorante.

Posto in una zona pianeggiante a circa 10 metri dal capannone adiacente (Figura 24), più precisamente tra il parcheggio del ristorante e a 1 metro da un piccolo bosco ornamentale composto di piante alte circa 7 metri.

Questi alberi, oltre ad essere eccessivamente vicini all'impianto, non sono stati potati in maniera sufficiente ad impedire che le chiome sovrastino il letto vegetato, con l'effetto di adombrarlo eccessivamente e limitandone quindi lo sviluppo della vegetazione.

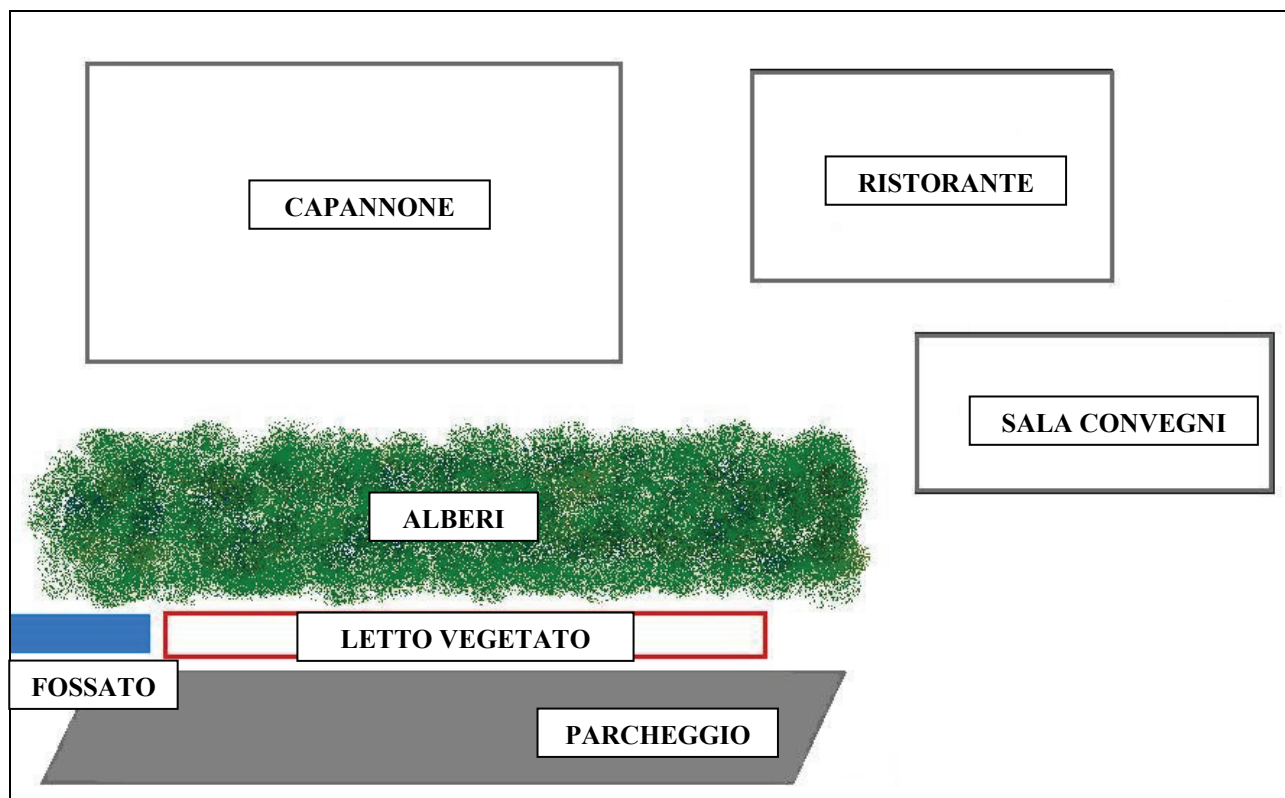


Figura 24 - Ricostruzione planimetrica del complesso servito dall'impianto A (particolare)

Prima di arrivare al letto vegetato le acque reflue sono pretrattate secondo la loro origine: le “acque grigie”, provenienti dai lavabi dei servizi igienici e dalle cucine, sono convogliate alla linea che porta alla vasca condensa-grassi e successivamente al pozzetto di raccolta posto a monte della fossa Imhoff; le “acque nere” invece, provenienti dagli scarichi dei WC, sono immesse direttamente nella medesima fossa Imhoff.

Le acque, confluite nel pozzetto di raccolta, passano alla vasca di accumulo e, tramite pompa di sollevamento, condotte al pozzetto di controllo posizionato prima dell’ingresso del letto vegetato. Al fine di evitare che un’eccessiva quantità di solidi non sedimentati nella fossa Imhoff raggiunga la vasca di fitodepurazione, all’interno di tale pozzetto è installato trasversalmente alla direzione del flusso un filtro in Poliuretano (Figura 25).

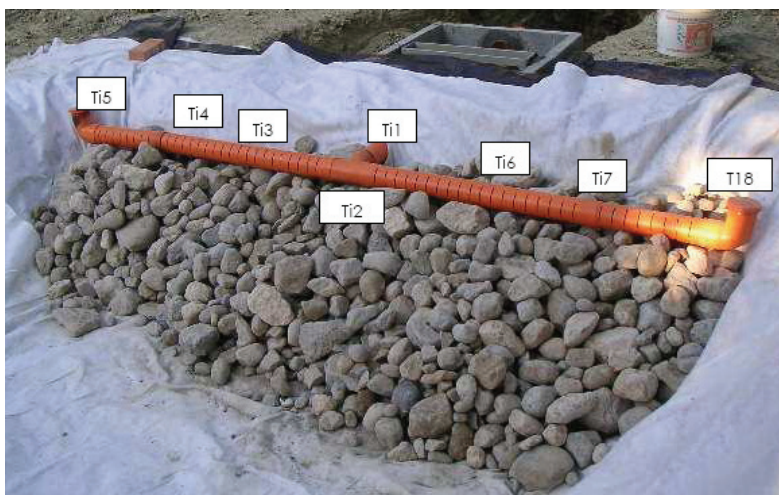


**Figura 25** - Il filtro in Poliuretano montato all’interno di un pozzetto di ingresso e l’opera di filtrazione.

Le modalità e le strutture di distribuzione dei reflui qui di seguito presentate sono le medesime che caratterizzano tutti gli impianti a flusso sub-superficiale orizzontale studiati in questo lavoro.

Il refluo filtrato che ha superato il pozzetto d’ingresso viene distribuito lungo la sezione trasversale della testa del letto vegetato tramite un tubo forato in PVC del diametro di 100 mm.

Al fine di garantire ulteriormente una percolazione omogenea e completa del refluo in entrata, la parte prossima all’ingresso di ogni vasca di fitodepurazione è stata riempita con ghiaia di fiume lavata più grossolana (50-100 mm) rispetto a quella presente nella parte centrale (10-30 mm) (Figura 26).

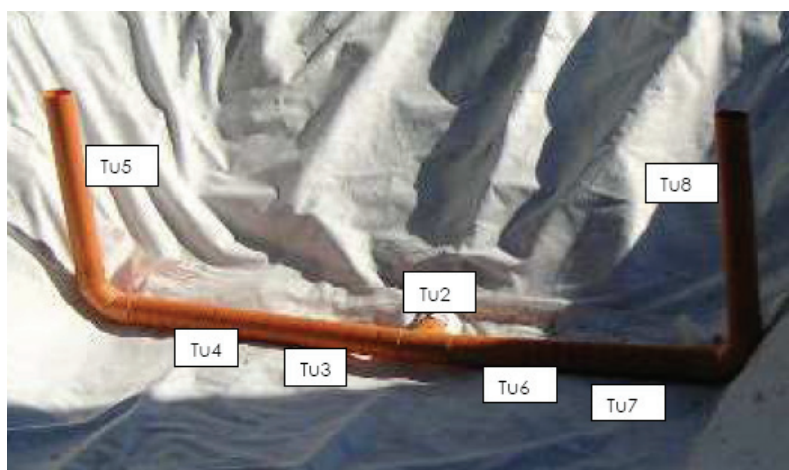


**Figura 26** - Tubo drenante in PVC Ø 100 per la dispersione del refluo in entrata.

Grazie alla pendenza dell'1% conferitagli in fase di costruzione, l'acqua così distribuita scorre lentamente verso la parte finale della vasca, dove viene raccolta da una tubazione in PVC sempre del diametro di 100 mm adagiata sul fondo (Figura 27).

Anche lungo questa estremità è stata creata una fascia costituita da ghiaia del diametro di 50-100 mm. al fine di evitare l'instaurarsi di flussi preferenziali e quindi la formazione di zone a scarso ricambio idrico.

Le acque reflue infine, vengono convogliate nel pozzetto d'uscita e riversate per gravità in fossati adiacenti ai perimetri delle singole proprietà: i limiti pertanto imposti a questi scarichi sono attualmente regolamentati dalla Tabella 3 Allegato 5 del D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152.



**Figura 27** - Tubo drenante in PVC Ø 100 per la raccolta del refluo in uscita.

È infine importante rilevare che la vasca dell'impianto in esame, come tutte quelle monitorate in questo lavoro, sono state impermeabilizzate mediante una guaina in materiale sintetico (HDPE) compresa tra due strati di geotessuto (400-800 g/m<sup>2</sup>) al fine di prevenirne eventuali abrasioni.

L'impianto è stato piantumato nel settembre 2005 a *Phragmites australis* tramite la posa di pani di terra con rizomi e parte aerea provenienti da vivaio.

In riferimento alla gestione della vegetazione è da sottolineare che in ogni impianto, al fine di favorire la ripresa vegetativa primaverile e l'asportazione di nutrienti, è previsto che le piante di *Phragmites australis* vengano tagliate a Febbraio di ogni anno, operazione che è stata effettuata in tutti i quattro casi già nel 2007.

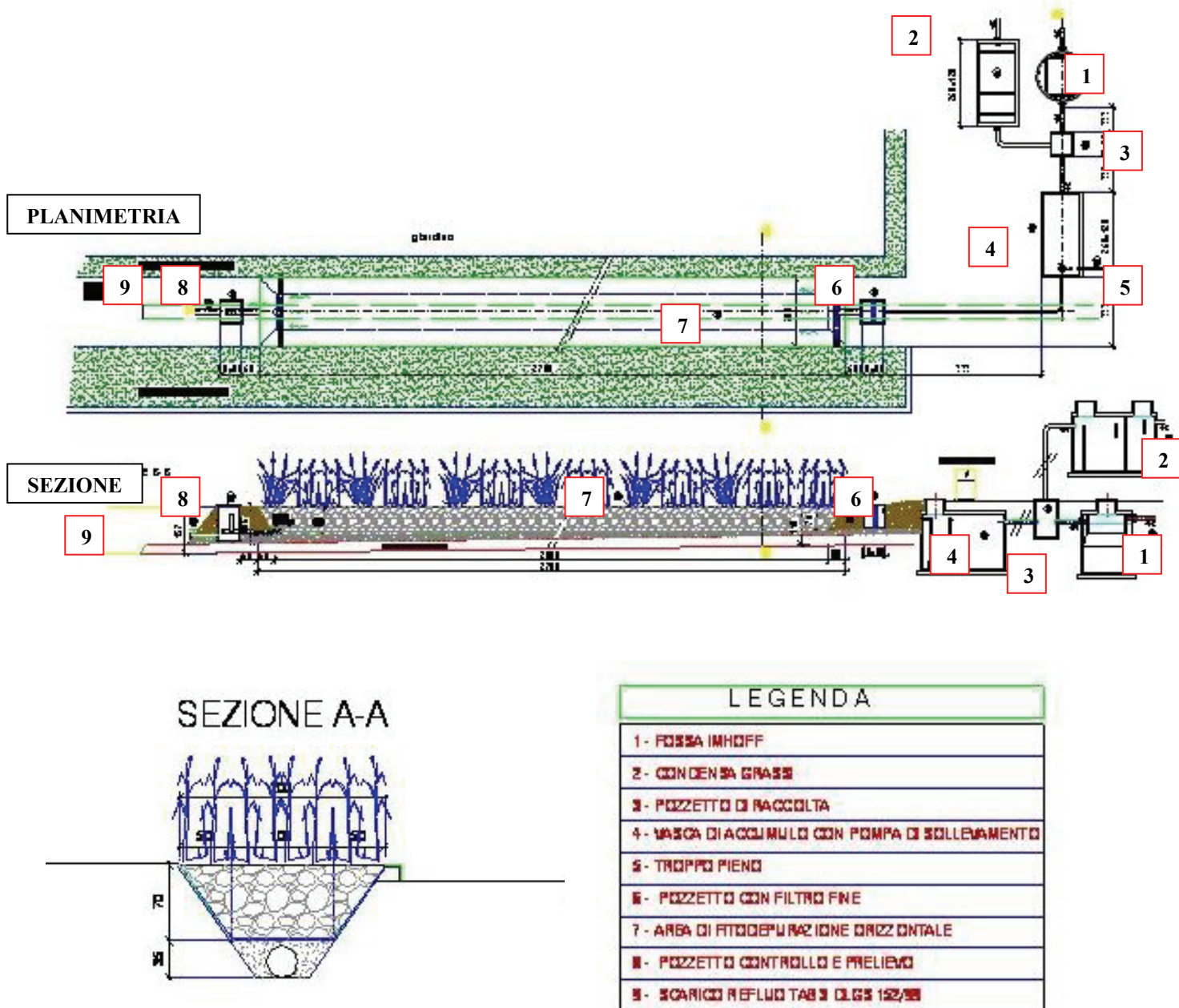


Figura 28 - Planimetria e sezione dell'impianto A



## **Dati di progetto**

### Abitanti equivalenti

Sala conferenze per 100 posti a sedere 1 volta alla settimana per 52 settimane → stima Arpa 3 Ae

Ristorante con 49 coperti 2 volte al giorno per 52 settimane → stima Arpa 7 Ae

totale abitanti equivalenti: 10

### Portate di progetto

10 a.e. x 0,2 m<sup>3</sup>/d x 0,75 (% afflusso all'impianto) x 365 d = 547,50 m<sup>3</sup>/anno

scarico settimanale: 10,5 m<sup>3</sup>/settimana; apporto medio giornaliero all'impianto: 1,5 m<sup>3</sup>/d

tempo di residenza idraulica complessivo dell'impianto: 10 giorni

carico organico in entrata: (60 g/ a.e.\* d valore medio di bibliografia accettato a livello Nazionale)

= 60 g x 10 a.e. = 0,60 Kg / d

### Dimensioni vasca a flusso sottosuperficiale orizzontale

- lunghezza: **27 m**;
- larghezza: **2 m**;
- superficie totale: **54 m<sup>2</sup>**;
- altezza del medium di riempimento in ingresso: **0,7 m**;
- altezza del medium di riempimento in uscita: **0,9 m**;
- porosità medium di riempimento: **35%**;
- pendenza longitudinale del fondo: **1 %**;
- volume vasca: **15 m<sup>3</sup>**.

### Regime idrico

h-SSF

### Specie vegetale utilizzata

Phragmites australis

a.e.	10
Portata (m <sup>3</sup> / d)	1,5
Tempo di Ritenzione Idraulico (d)	10
Carico organico IN (Kg O <sub>2</sub> / d)	0,60
Area (m <sup>2</sup> )	54
Profondità vasca IN (cm)	0,7
Porosità medium	35%

Pendenza	1%
Volume medio vasca (m <sup>3</sup> )	15%
Tipologia impianto	h-SSF
Pretrattamenti	Imhoff + condens. grassi
Tipologia refluo	domestico
Piantumazione	Giugno 2006
Entrata in funzione	Dicembre 2006

**Tabella 7** - Tabella riassuntiva dati impianto.

## Osservazioni

L'impianto, progettato per il trattamento di reflui provenienti dal ristorante e dalla sala convegni, ora risulta leggermente sovradimensionato in quanto il ristorante –inaugurato il 24 dicembre 2006- non è ancora entrato in piena attività.

Questa situazione ha finora comportato l'instaurarsi di un minor flusso in entrata nell'impianto sia in termini di m<sup>3</sup> che di concentrazioni di inquinanti rispetto alle stime di progetto: per questo motivo nella parte terminale del letto vegetato si riscontra una notevole mancanza di piante di *Phragmites australis*, che in ogni modo, con l'incremento dell'attività del ristorante, stanno aumentando.

Inoltre, a causa dell'ombra originata dagli alberi a ridosso dell'impianto, lungo questo lato si nota una minor concentrazione di culmi rispetto a quello rivolto verso il parcheggio.



**Figura 29** - Veduta dell'ingresso dell'impianto A a Dicembre 2006 (in alto) e a Giugno 2007 (in basso)



**Figura 30** - Veduta dell'uscita dell'impianto a Dicembre 2006 (a sinistra) e ad Agosto 2007 (a destra). Da notare il diradamento della vegetazione nella parte finale e lungo il lato ombreggiato dagli alberi.

#### 4.1.2. Impianto B

Questo impianto, sito in località Bergonzano (330 m.s.l.m.) nel comune di Quattro Castella, è dotato di un letto vegetato a flusso orizzontale sub-superficiale (h-SSF).

L'impianto è situato su un declivio rivolto a Nord e, sebbene sia posto a circa 25 metri in linea d'aria dalla cantina, tra di essi intercorre un dislivello di circa 3 metri.

Attorno al letto vegetato, già di per sé non particolarmente soleggiato per via dell'esposizione, crescono due boschi: a Est vi è un vasto querceto governato a ceduo, mentre 10 metri a Nord si estende una piccola piantagione di noce americano (Figura 31).

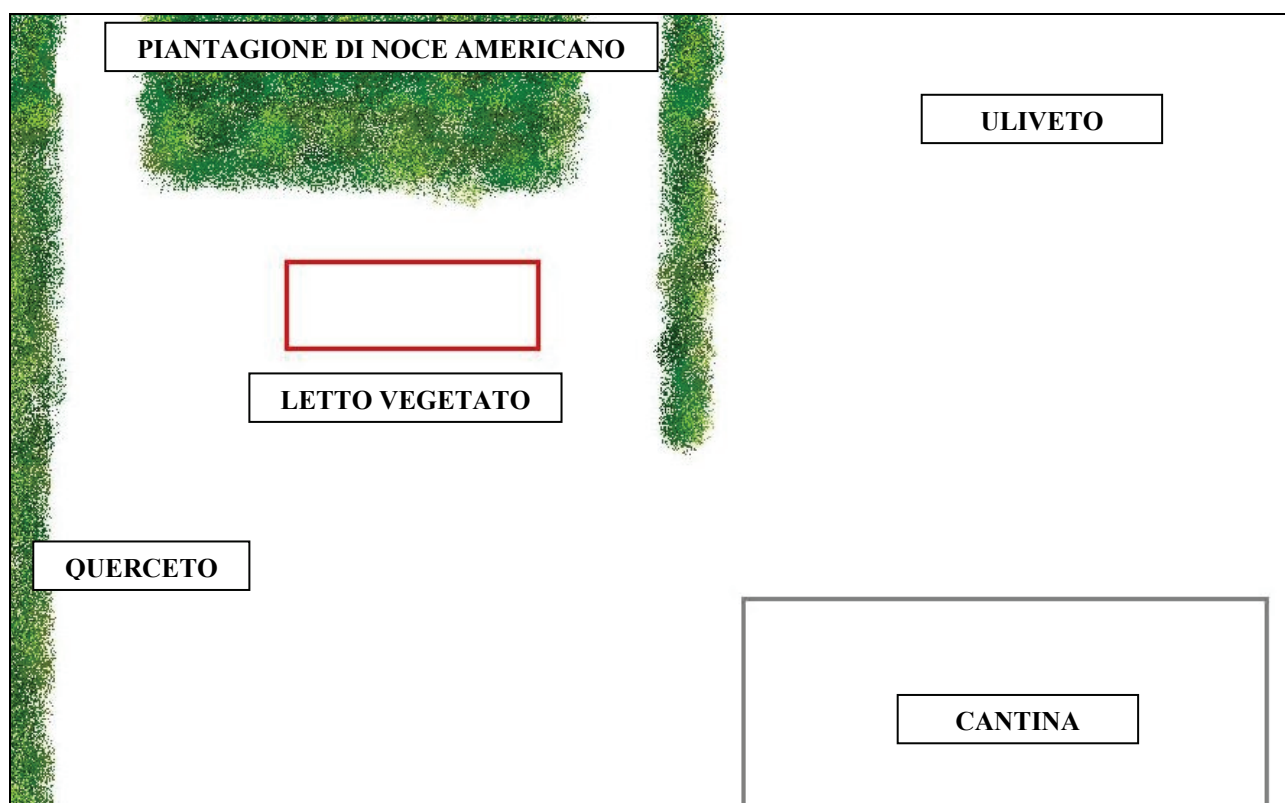


Figura 31 - Ricostruzione planimetrica dell'azienda vitivinicola servita dall'impianto B (particolare)

L'impianto B è stato progettato per accogliere varie tipologie di reflui e per questo motivo è servito da tre linee distinte: una prima tubazione conduce le "acque nere" provenienti dai WC alla fossa Imhoff, mentre una seconda proviene dai lavandini (nella cantina non sono presenti cucine) e sversa nella vasca condensa grassi; entrambe si congiungono ad un pozzetto di raccolta collegato direttamente al pozzetto d'entrata del letto vegetato.

La terza linea è quella collegata al locale che ospita le botti d'acciaio, ovvero il luogo dove vengono eseguite tutte le operazioni ed i travasi previsti dai cicli di lavorazione: ciò che si raccoglie sui pavimenti a seguito dei lavaggi delle botti e dei macchinari (pompe di travaso, raspatore e pressa pneumatica, nonché quelli necessari alla produzione di una modesta quantità di olio), viene convogliato alla linea che sbocca ad un pozzetto di cemento armato dotato di una griglia di acciaio inox e stabilizzate in una vasca di omogeneizzazione (Figura 32).

Le tre linee si incontrano direttamente nel pozzetto di ingresso dotato di filtro in Poliuretano che distribuisce il refluo nell'fitodepurazione tramite i tubi in PVC visti in precedenza.

Infine l'acqua uscita dall'impianto viene raccolta nel pozzetto d'uscita e distribuita 10 metri a valle tramite sub-diffusione nel terreno i limiti che pertanto verrebbero imposti a questi scarichi sono attualmente regolamentati dalla Tabella 4 Allegato 5 del D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152.

Si precisa che l'assimilazione di questo particolare refluo industriale al refluo domestico è in accordo con la delibera di Giunta dell'Emilia Romagna n. 1053 del 9 giugno 2003 in quanto più dei 2/3 della materia prima lavorata proviene dalle proprietà aziendali.



**Figura 32** - La griglia in acciaio inox a monte del pozzetto di ingresso e la relativa opera di filtrazione.

#### **4.1.2.1. Cicli di lavorazione**

La stagionalità che caratterizza la produzione di vino implica forti variazioni di carico durante l'anno e comporta quindi specifiche problematiche di variazioni di flusso in entrata negli impianti di fitodepurazione.

La cantina presa in considerazione produce 12 tipologie di vini, per una produzione totale annua che in media raggiunge i 200 quintali di vino a partire dalla spremitura di 300 quintali di uva.

In particolare la ditta dispone di 18 vasche in acciaio: durante l'anno ognuna viene lavata dopo ogni travaso previsto dalla lavorazione, ovvero in media 7 volte. A questo ciclo standard si deve però aggiungere la massima attività legata al periodo autunnale, che nel 2007 è stata anticipata di un mese per via della temperatura che durante l'intero anno è stata costantemente più alta rispetto la media.

A partire dal 16 Agosto 2007 è iniziata la vendemmia, che si è conclusa il 25 Settembre: durante i mesi della vinificazione, ovvero Agosto, Settembre ed Ottobre, ogni vasca è stata quindi lavata 2 volte al mese, portando così il totale dei lavaggi annuali a 234.

A questo consumo intensivo di acqua, sempre in tale periodo si deve inoltre aggiungere quello legato al lavaggio dei diversi macchinari aziendali, che, come già accennato, consistono in un raspatore, una pressa pneumatica e diverse pompe da travaso.

La cantina infine annualmente produce di media 80 litri di olio dalla spremitura di un quintale di olive, comportando un totale di 3 lavaggi dei macchinari distribuiti in 3 giorni.

Per meglio quantificare l'entità dei picchi di carico entrante nel letto vegetato è stato quindi confrontato il consumo idrico annuale dell'azienda con quello relativo ai tre mesi della vinificazione: dai dati forniti si è visto che dal 4 Settembre 2006 – data di inizio della scorsa vendemmia – al 17 Agosto 2007 – data di inizio della vendemmia monitorata in questo lavoro – sono stati consumati 225 m<sup>3</sup> di acqua.

Se si considera che nei sessanta giorni compresi tra il 25 Agosto e il 25 Ottobre 2007 il consumo mensile totale si aggirava attorno ad una media di 25 m<sup>3</sup>, si deduce che mediamente durante gli altri dieci mesi dell'anno l'impianto riceve 17 m<sup>3</sup> al mese.

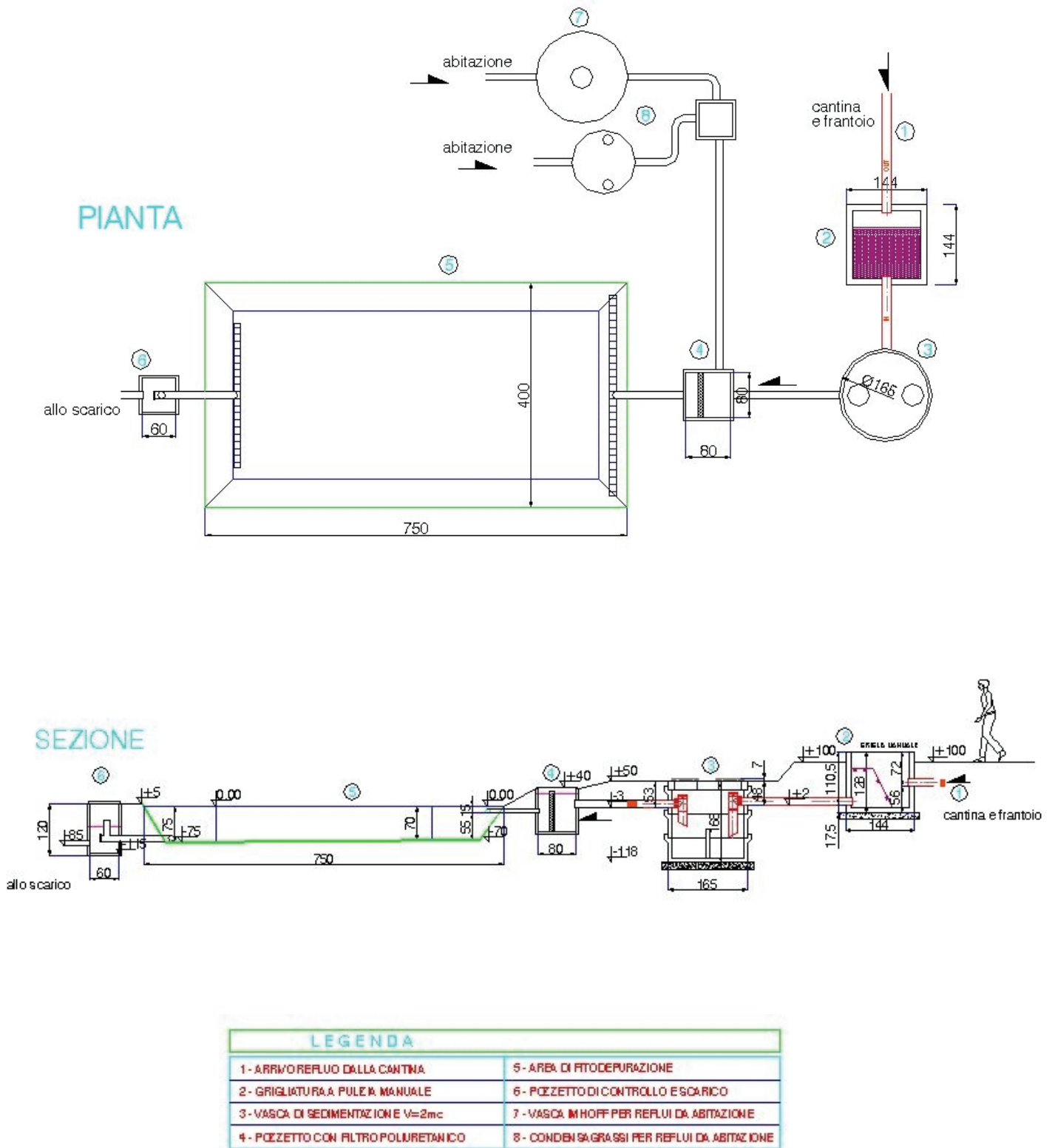


Figura 33 - Planimetria e sezione dell'impianto B



## Dati di progetto

### Abitanti equivalenti

Secondo stima Arpa 18, pari a 6 a.e. civili e 12 a.e. dall'attività di cantina/frantoio.

### Portate di progetto

Per il dimensionamento si deve considerare la portata di punta durante il periodo di lavorazione delle uve e delle olive, ovvero, secondo quanto comunicato dalla ditta, da metà Settembre a metà Novembre. Il picco di produzione di acque reflue è stimato quindi in  $2,9 \text{ m}^3$  al giorno nel periodo di punta ( $0,5 \text{ m}^3$  civili e  $2,4 \text{ m}^3$  dall'attività produttiva).

### Dimensioni vasca a flusso sottosuperficiale orizzontale

- lunghezza: **7,5 m**;
- larghezza: **4 m**;
- superficie totale:  **$30 \text{ m}^2$** ;
- altezza del medium di riempimento in ingresso: **0,7 m**;
- altezza del medium di riempimento in uscita: **0,8 m**;
- porosità medium di riempimento: **35%**;
- pendenza longitudinale del fondo: **1 %**.

### Regime idrico

h-SSF

### Specie vegetale utilizzata

Phragmites australis

a.e.	18
Portata ( $\text{m}^3 / \text{d}$ )	1,1
Tempo di Ritenzione Idraulico (d)	7
Carico organico IN ( $\text{Kg O}_2 / \text{d}$ )	0,36
Area ( $\text{m}^2$ )	30
Profondità vasca IN (cm)	0,7
Porosità medium	35%

Pendenza	1%
Volume medio vasca ( $\text{m}^3$ )	7,9%
Tipologia impianto	h-SSF
Pretrattamenti	Imhoff + condens. Grassi + grigliatura + vasca omogenizzazione
Tipologia refluo	Domestico + produttivo
Piantumazione	Settembre 2005
Entrata in funzione	Settembre 2005

**Tabella 8** - Tabella riassuntiva dati impianto

## Osservazioni

L'impianto in questione, come già detto, è caratterizzato dal verificarsi di un notevole picco relativo all'afflusso di reflui in un delimitato periodo dell'anno.

L'improvviso aumento del carico inquinante che avviene in questo intervallo di tempo comporta una notevole sofferenza per l'intera parte biotica dell'impianto. Per le piante ciò risulta più evidente nella prima parte del letto vegetato, dove il refluo appena entrato non ha ancora subito i processi di depurazione

La già sfavorevole situazione delle piante di *Phragmites australis* è ulteriormente peggiorata dalla presenza di una piccola piantagione di noce americano prospiciente l'impianto.



**Figura 34** – Veduta completa dell'impianto B come si presentava ad Agosto 2007. Da notare la vegetazione visibilmente più diradata e meno sviluppata nella prima parte dell'impianto (a sinistra nella foto) e la piantagione di noce americano retrostante



**Figura 35** - I residui di lavorazione fermati dalla griglia a monte dell'impianto (a sinistra) e il refluo nel pozzetto d'ingresso, prima del filtro in poliuretano (a destra)

### **4.1.3. Impianto C**

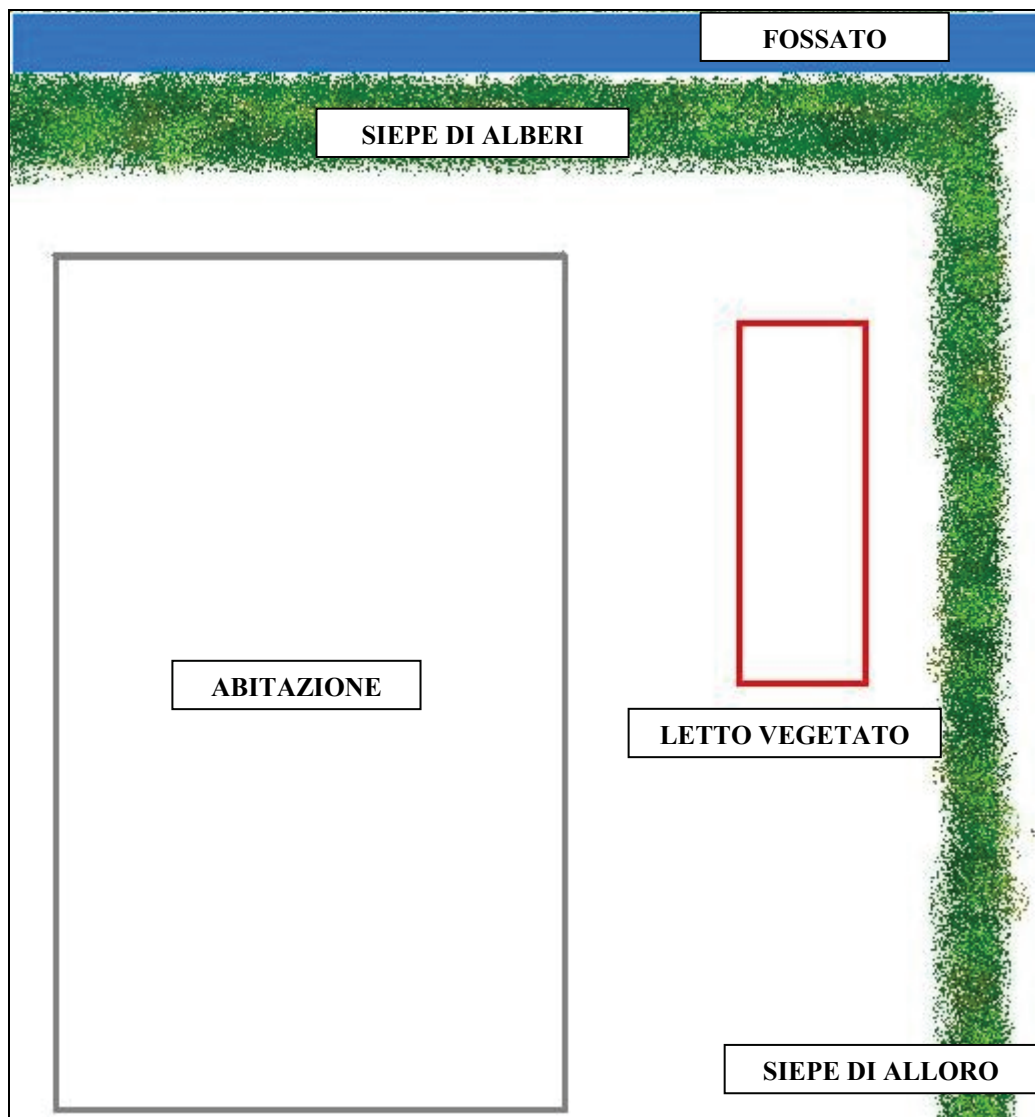
L'impianto è caratterizzato da un regime idrico di tipo h-SSF servente un'abitazione di tre persone; è posizionato all'interno del giardino, a circa 3 metri dall'abitazione (Figura 36), e costeggiato su due lati rispettivamente da una siepe di alberi e una di alloro (coperta nelle foto da una rete di nylon).

A differenza degli altri impianti, in questo non vi è una separazione delle acque “grigie” da quelle “nere” e quindi tutte le acque reflue prodotte dall'abitazione sono convogliate direttamente alla vasca Imhoff (Figura 37).

Da qui passano ad un pozzetto di raccordo già esistente prima della costruzione dell'impianto e quindi condotte al pozzetto d'ingresso dotato di filtro in Poliuretano e pompa idraulica per il sollevamento e la distribuzione nel letto vegetato.

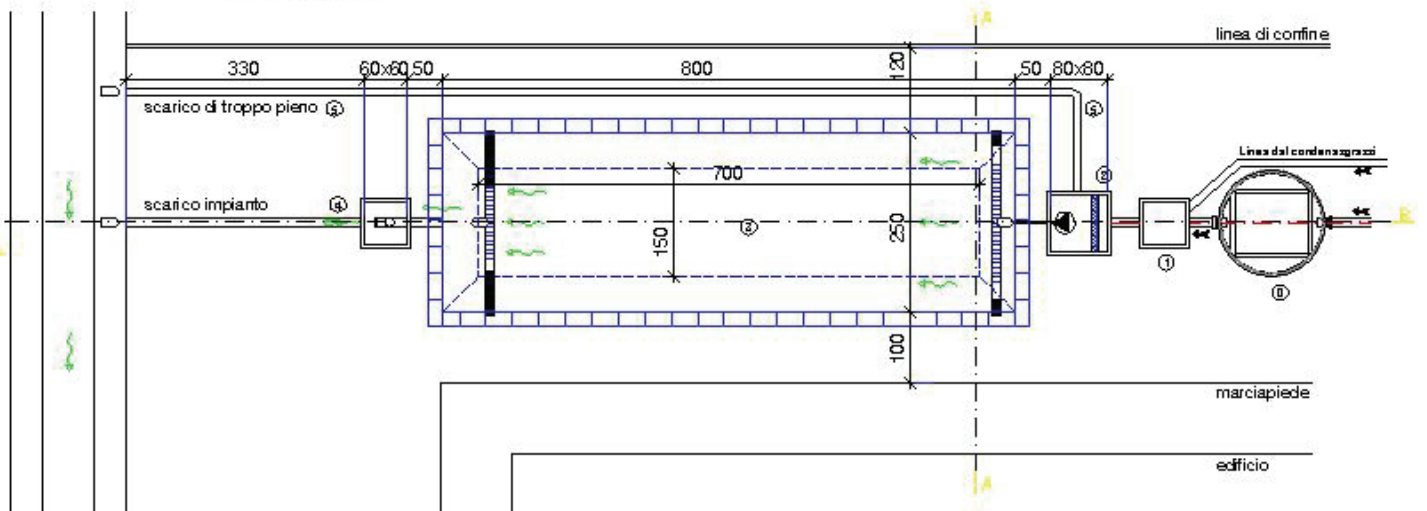
Al pozzetto d'ingresso è collegata anche la linea del troppo pieno, progettata per bypassare il letto vegetato nel caso in cui otturazioni dello stesso o piogge troppo abbondanti vi impediscano la distribuzione del refluo.

Questa tubazione, come quella che fuoriesce dal pozzetto d'uscita, conduce al fossato retrostante la siepe alberata.

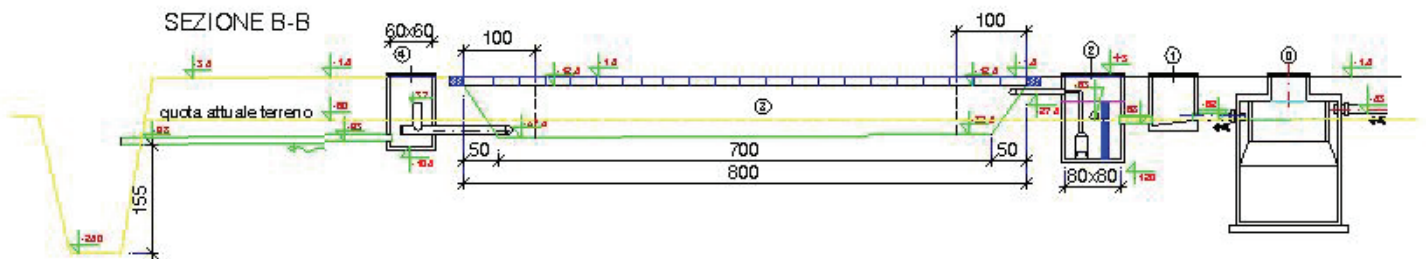


**Figura 36** - Ricostruzione planimetrica della proprietà servita dall'impianto C (particolare)

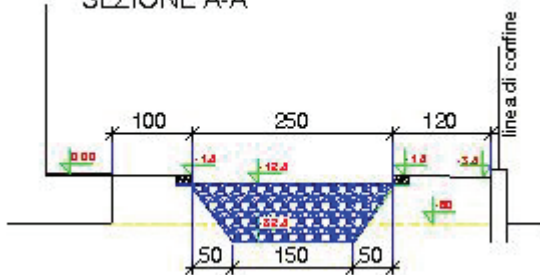
PLANIMETRIA



SEZIONE B-B



SEZIONE A-A



LEGENDA

B	- INHOFF ESISTENTE
1	- POZZETTO DI RACCORDO ESISTENTE
2	- POZZETTO CON FILTRO E POMPA
3	- AREA DI FITODEPURAZIONE ORIZZONTALE
4	- USCITA RE FLUO DEPURATO T.B. 2
5	- SCARICO DI TROPPO PIENO

Figura 37 - Planimetria e sezione dell'impianto C

## **Dati di progetto**

### Abitanti equivalenti:

4, numero massimo di presenze giornaliere nel corso dell'anno;

### Portate di progetto:

4 a.e. x 0,2 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup> x 0,75 (% afflusso all'impianto) x 365 d = **219 m<sup>3</sup> · anno<sup>-1</sup>**

scarico settimanale: **4,2 m<sup>3</sup> · settimana<sup>-1</sup>**

apporto medio giornaliero all'impianto: **0,6 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>**

tempo di residenza idraulica complessivo dell'impianto: **8 giorni**

carico organico in entrata: (60 g·a.e.<sup>-1</sup> · d<sup>-1</sup> valore medio di bibliografia accettato a livello Nazionale) = 60 g x 4 a.e. = **0,24 Kg · d<sup>-1</sup>**

### Dimensioni vasca a flusso sottosuperficiale orizzontale:

- lunghezza: **6,70 m**;
- larghezza: **3 m**;
- superficie totale: **20 m<sup>2</sup>**;
- altezza del medium di riempimento in ingresso: **0,7 m**;
- altezza del medium di riempimento in uscita: **0,77 m**;
- porosità medium di riempimento: **35%**;
- pendenza longitudinale del fondo: **1 %**;
- volume medio vasca: **14 m<sup>3</sup>**.

### Regime idrico

h-SSF

### Specie vegetale utilizzata

Phragmites australis

a.e.	4
Portata (m <sup>3</sup> / d)	0,6
Tempo di Ritenzione Idraulico (d)	8
Carico organico IN (Kg O <sub>2</sub> / d)	0,24
Area (m <sup>2</sup> )	20
Profondità vasca IN (cm)	0,7
Porosità medium	35%

Pendenza	1%
Volume medio vasca (m <sup>3</sup> )	5,1%
Tipologia impianto	h-SSF
Pretrattamenti	Imhoff + condens. grassi
Tipologia refluo	domestico
Piantumazione	Giugno 2006
Entrata in funzione	Marzo 2006

**Tabella 9** - Tabella riassuntiva dati impianto

### Osservazioni

Anche in questo impianto, probabilmente a causa dell'eccessivo carico inquinante in entrata, la vegetazione insediata nella prima parte del letto vegetato ha sofferto di più, presentando uno sviluppo ed una colonizzazione del terreno inferiori a quelli registrati nella parte terminale dello stesso.



**Figura 38** - Veduta completa dell'impianto C come si presentava a Giugno 2007. Da notare la vegetazione visibilmente più diradata e meno sviluppata nella prima parte dell'impianto (a destra nella foto)





**Figura 39** - Particolare della parte iniziale dell'impianto C come si presentava ad Agosto 2007. Come si può notare in questa sezione del letto vegetato molte piante di *Phragmites australis* sono già entrate in quiescenza a causa dell'eccessivo stress.

#### 4.1.4. Impianto D

L'impianto in oggetto serve una casa di sei abitanti ed è dotato di una vasca di fitodepurazione a flusso sub-superficiale verticale; è situato nel giardino della proprietà (Figura 40), a circa 4 metri a Nord-Ovest dell'abitazione. Nonostante questa posizione, l'assenza di siepi nelle vicinanze assieme alla vicinanza ad un campo e ad una strada secondaria garantiscono comunque al letto vegetato un buon irraggiamento.

Il letto vegetato dell'impianto D è un particolare filtro percolatore aerobico a basso carico idraulico, al cui interno i reflui provenienti dalla Imhoff scorrono per gravità attraverso un medium poroso - in questo caso argilla espansa (parte superiore 2cm Ø, parte inferiore 0,5cm Ø) - sulla superficie del quale si insediano i microrganismi degradatori.

La copertura della superficie con essenze erbacee quali *Phragmites australis* e *Iris pseudacorus*, oltre a conferire un aspetto visivo più gradevole, favorisce ulteriormente l'instaurarsi di condizioni ottimali per lo sviluppo della popolazione batterica e quindi per l'abbattimento degli inquinanti.

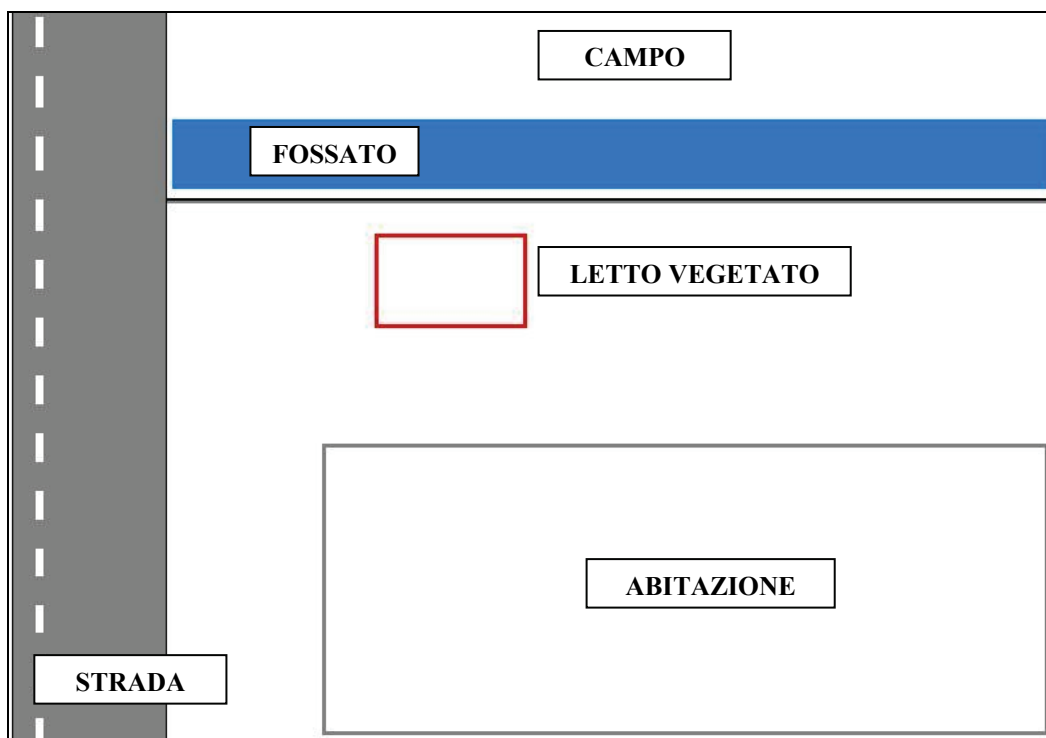
L'impianto è l'unico sistema a flusso sub-superficiale verticale (v-SSF) (Figura 41) monitorato in questo lavoro, ma lo schema dei trattamenti delle acque è il medesimo visto in precedenza negli altri impianti di trattamento di reflui domestici: le "acque nere" sono infatti divise da quelle "grigie" e vengono incanalate rispettivamente verso la vasca Imhoff e la condensa grassi, per poi ricongiungersi appena a monte del pozzetto d'ingresso -dotato di filtro in Poliuretano-.

Da qui il refluo passa direttamente nel letto vegetato ad una profondità di 0,8 m e lasciato percolare fino al fondo del letto di argilla espansa, dove, al fine di regolarizzare da un punto di vista temporale il flusso in ingresso e garantire un tempo di permanenza all'interno del filtro percolatore sufficiente alla depurazione del refluo, ogni 15 minuti viene prelevato per 2 minuti da un pompa idraulica da 0,75 kw e distribuito appena sotto la superficie della vasca di fitodepurazione.

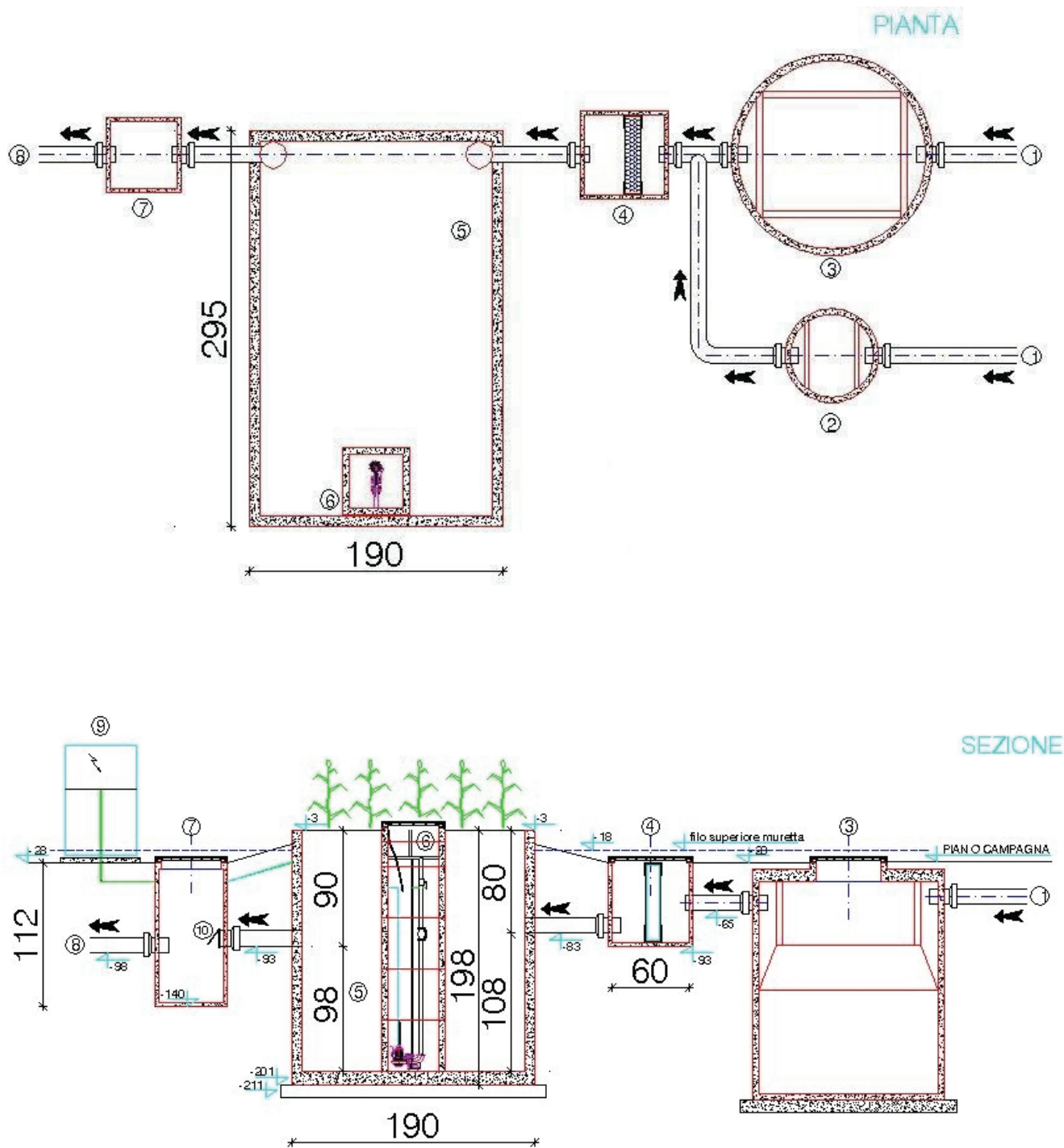
Nonostante il carico idraulico tipico degli insediamenti abitativi non sia costante, garantire una tale regolarità di distribuzione è fondamentale, in quanto l'instaurarsi di periodi di intermittenza troppo lunghi potrebbe causare l'essiccamento della pellicola batterica d'estate ed il congelamento d'inverno.

Le acque reflue infine, dopo essere state riciclate all'interno del filtro aerobico vegetato, vengono convogliate nel pozzetto d'uscita e riversate per gravità in un fossato adiacente al perimetro della singola proprietà: i limiti che pertanto verrebbero imposti a questi scarichi sono attualmente regolamentati dalla Tabella 3 Allegato 5 del D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152.

Come già accennato, questo impianto è vegetato a *Phragmites australis* e, lungo il perimetro dello stesso, a *Iris pseudacorus*; la messa a dimora, avvenuta a giugno 2006, anche in questo caso è stata effettuata tramite la posa di pani di terra con rizomi e parte aerea provenienti da vivaio.



**Figura 40** - Ricostruzione planimetrica della proprietà servita dall'impianto D (particolare)



LEGENDA	
1 - INGRESSO REFLUI	2 - FOSSA CONDENSAGRASSI
3 - FOSSA IMHOFF	4 - POZZETTO 60x60 CON FILTRO
5 - AREA FILTRANTE AEROBICA	6 - POMPA DI SOLLEVAMENTO CON ELETTROUVELLI VEGETATA
7 - POZZETTO PRELIEVO CAMPIONI	8 - SCARICO EFFLUENTE DEPURATO
9 - QUADRO ELETTRICO	10 - VALVOLA DI NON RIFLUSSO

**Figura 41** - Planimetria e sezione dell'impianto D

## **Dati di progetto**

### Abitanti equivalenti

8, numero massimo di presenze giornaliere nel corso dell'anno;

### Portate di progetto

8 a.e. x  $0,2 \text{ m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  x 0,75 (% afflusso all'impianto) x 365 d = **438,00  $\text{m}^3 \cdot \text{anno}^{-1}$**

scarico settimanale: **8,4  $\text{m}^3 \cdot \text{settimana}^{-1}$**

apporto medio giornaliero all'impianto: **1,2  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$**

tempo di residenza idraulica complessivo dell'impianto: **9** giorni

carico organico in entrata: ( $60 \text{ g} \cdot \text{a.e.}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  valore medio di bibliografia accettato a livello Nazionale) =  $60 \text{ g} \times 5 \text{ a.e.} =$  **0,30  $\text{Kg} \cdot \text{d}^{-1}$**

### Dimensioni vasca a flusso sottosuperficiale verticale

- lunghezza: **1,0 m**
- larghezza: **4 m**
- superficie totale: **4,0  $\text{m}^2$** ;
- altezza del medium di riempimento in ingresso: **0,7 m**;
- altezza del medium di riempimento in uscita: **0,8 m**;
- porosità medium di riempimento: **35%**;
- pendenza longitudinale del fondo: **1 %**;
- volume vasca: **3  $\text{m}^3$** .

### Regime idrico

v-SSF

### Specie vegetale utilizzate

Phragmites australis al centro, Iris pseudoacorus lungo i bordi

a.e.	8
Portata (m <sup>3</sup> / d)	1,2
Tempo di Ritensione Idraulico(d)	8
Carico organico IN (Kg O <sub>2</sub> / d)	0,48
Area (m <sup>2</sup> )	5,13
Profondità vasca IN (cm)	1,80
Porosità medium	32%

Pendenza	1%
Volume medio vasca (m <sup>3</sup> )	8,8%
Tipologia impianto	v-SSF
Pretrattamenti	Imhoff + condens. grassi
Tipologia refluo	domestico
Piantumazione	Giugno 2006
Entrata in funzione	Marzo 2006

**Tabella 10** - Tabella riassuntiva dati impianto

### Osservazioni

L'impianto a flusso sub-superficiale verticale D sotto molti punti di vista presenta delle caratteristiche ottimali per un impianto di fitodepurazione: è situato in una zona soleggiata, è dotato di sistema di immissione del refluo che ne garantisce la costanza e, non ultimo, ne viene curata la manutenzione da parte dei proprietari.

È inoltre da aggiungere che durante gran parte dell'anno il numero di residenti è inferiore o uguale a 6 invece degli 8 stimati durante il dimensionamento dell'impianto.



**Figura 42** - Veduta dell'ingresso dell'impianto D come si presentava a Giugno 2007.



**Figura 43** - Veduta dell'uscita dell'impianto D come si presentava a Giugno 2007. L'intero perimetro del letto vegetato è stato piantumato ad *Iris pseudoacorus* per aumentarne la gradevolezza estetica



**Figura 44** - Il refluo all'uscita dall'impianto

## 4.2. Metodi di campionamento

La fase di prelievo dei campioni è stata condotta da Dicembre 2006 fino a Dicembre 2007 ad eccezione dei mesi di Gennaio e Febbraio 2007 per problemi di natura pratica. Per garantire la massima omogeneità nella raccolta dei dati si è deciso di effettuare i campionamenti dei quattro impianti con cadenza mensile ed in particolare nei giorni immediatamente attigui al venticinquesimo giorno del mese (Tabella 11).

Unica eccezione è stata la cantina, per la quale è stato ritenuto opportuno affiancare, nei mesi di massima attività ( Settembre, Ottobre 2007 ), altri due campionamenti, rispettivamente nei giorni immediatamente attigui al quinto e al quindicesimo giorno del mese. Una sola irregolarità si è verificata il 5 Ottobre, quando non è stato possibile eseguire il campionamento programmato.

	Impianto A	Impianto B	Impianto C	Impianto D	
Dicembre 2006	✓	✓	✓	✓	giorno 13
Gennaio 2007					
Febbraio 2007					
Marzo 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 22
Aprile 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 20
Maggio 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 24
Giugno 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 25
Luglio 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 25
Agosto 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 22
Settembre 2007			✓		giorno 5
			✓		giorno 18
	✓	✓	✓	✓	giorno 27
Ottobre 2007					giorno 5
			✓		giorno 18
	✓	✓	✓	✓	giorno 29
Novembre 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 25
Dicembre 2007	✓	✓	✓	✓	giorno 20

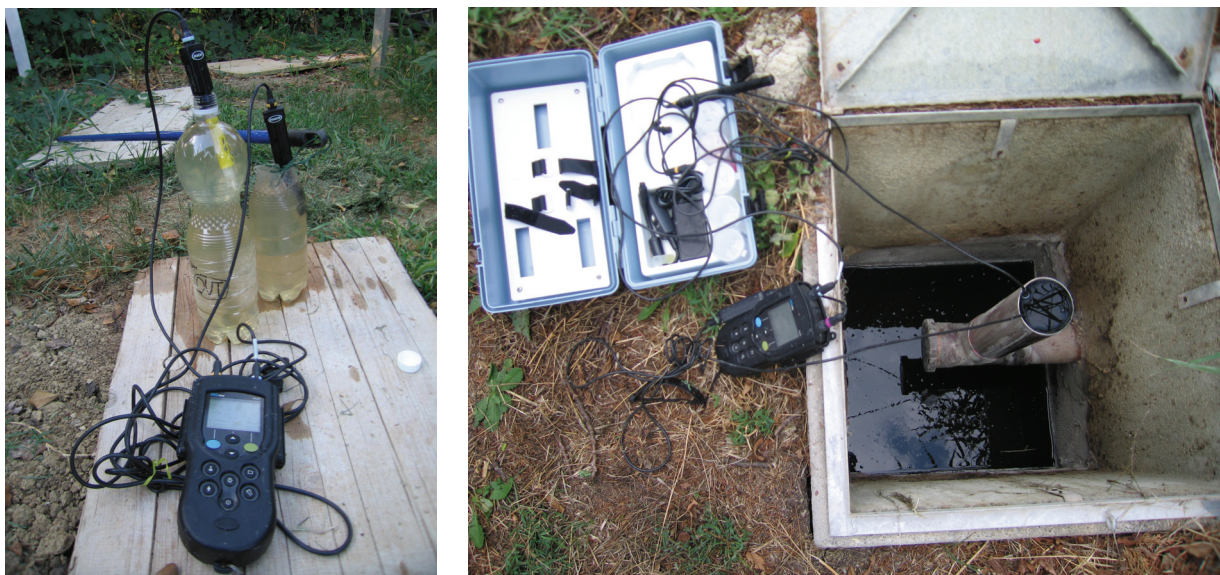
Tabella 11 - Giornate di campionamento.



Durante il monitoraggio per ogni impianto si raccoglieva un litro e mezzo di refluo nel pozzetto di uscita e a valle del filtro poliuretano nel pozzetto di entrata.

Ogni campione veniva poi versato in una bottiglia in PET al fine di garantirne la conservazione durante il trasporto; tramite l'Analizzatore elettrochimico multiparametrico Hach Lange HQD 40 sul posto si procedeva quindi a misurare nella stessa i valori di pH, temperatura, Conduttività elettrica e Ossigeno disciolto –quest'ultimo a partire da Giugno 2007- del refluo raccolto nel pozzetto in ingresso, mentre i medesimi parametri relativi al refluo in uscita venivano misurati direttamente allo sbocco del tubo sversante nel pozzetto di uscita (Figura 45)

L'accorgimento descritto era necessario per evitare che la sonda dello strumento, andando accidentalmente ad urtare il fondo o le pareti del pozzetto d'entrata, andasse ad inficiare la misurazione dei parametri interessati.



**Figura 45** - Rilevazione dei parametri del refluo in entrata (sinistra) ed in uscita (destra).

I campioni così raccolti erano conservati in sacche termiche fino all'arrivo in giornata ai laboratori del Dipartimento di Agronomia dell'Università di Padova, dove venivano trasferiti in appositi refrigeratori (-20° C) fino alla successiva fase di analisi.

Presso gli stessi laboratori ogni campione veniva infatti sottoposto alle seguenti analisi chimiche:

- COD (richiesta chimica di Ossigeno);
- N<sub>tot</sub> (Azoto totale);
- N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Azoto ammoniacale);
- N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Azoto nitrico);
- P<sub>tot</sub> (Fosforo totale);
- P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Ortofosfato: frazione solubile del Fosforo), a partire da Aprile 2007.

Per la descrizione dei metodi analitici impiegati si rimanda all'allegato B.

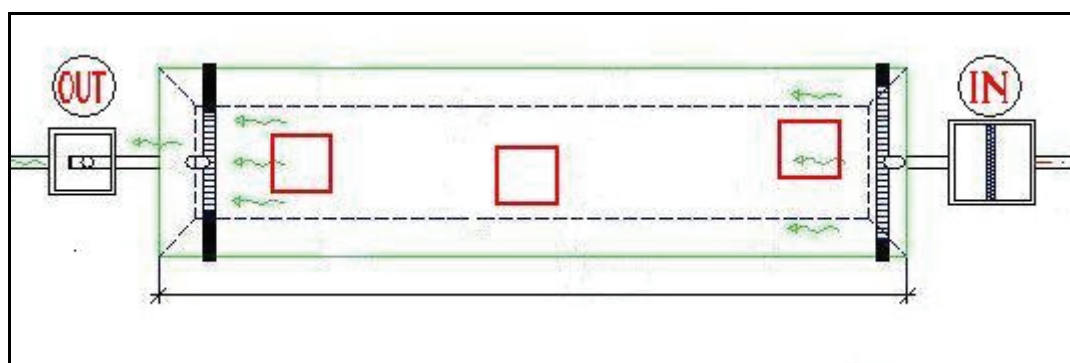
Utilizzando i valori in ingresso ed in uscita, sono state calcolate le percentuali di variazione del parametro secondo la formula:

$$[\text{IN}] - [\text{OUT}] / [\text{IN}] * 100$$

che, nel caso di un valore positivo (ad eccezione che per l'Ossigeno disciolto), esprime un risultato depurativo; nel caso di un valore negativo indica l'aumento della concentrazione del parametro considerato.

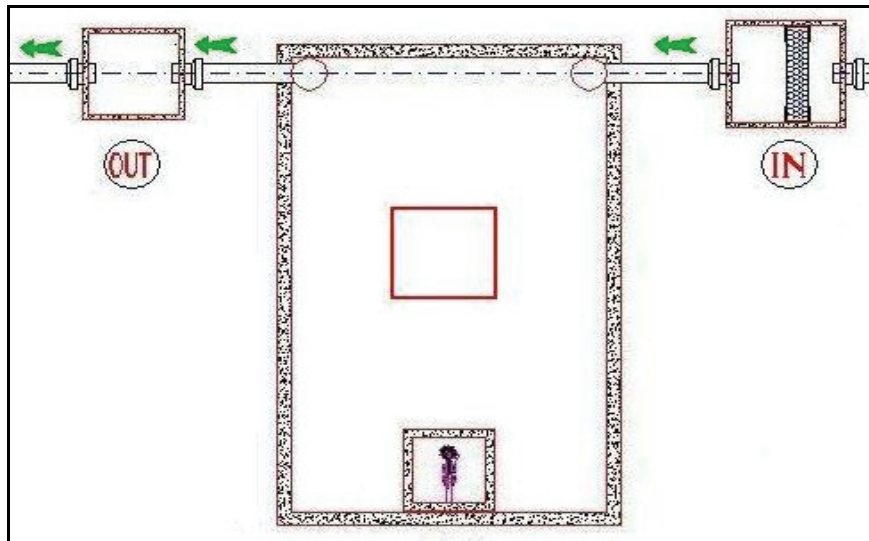
Parallelamente a questa serie di campionamenti dei reflui, al fine di poter individuare possibili correlazioni tra l'efficienza dell'impianto e le condizioni della relativa vegetazione da Aprile 2007 è stata condotta una campagna di monitoraggio delle piante.

A tal fine per ogni impianto a flusso sub-superficiale (h-SSF) orizzontale sono stati costruiti tre quadrati con misure 50x50 cm, che sono stati quindi posizionati ad egual misura lungo l'asse maggiore dell'impianto e casualmente lungo l'asse minore (Figura 46).



**Figura 46** - Schema del posizionamento dei quadrati di saggio (in rosso) in un impianto h-SSF.

Riguardo all'unico impianto a flusso sub-superficiale verticale (v-SSF) monitorato, date le modeste dimensioni, si è ritenuto opportuno posizionare un solo quadrato delle stesse dimensioni nel centro dello stesso (Figura 47).



**Figura 47** - Schema del posizionamento del quadrato di saggio (in rosso) nell'impianto v-SSF.

In questo modo è stato possibile censire mensilmente lo sviluppo delle medesime piante, misurando l'altezza media ed il numero di culmi cresciuti all'interno dei quadrati.



## 5. Risultati

Di seguito sono presentati i risultati ottenuti dal monitoraggio mensile dei quattro impianti.

Per ogni impianto innanzitutto è riportata la sezione riguardante l'andamento della vegetazione sotto il profilo della densità dei culmi e della loro altezza media lungo i letti vegetati; di seguito vengono mostrati i grafici concernenti le variazioni temporali dei 10 parametri studiati in entrata ed in uscita.

Per ognuno dei 10 parametri all'interno di tali grafici viene inoltre visualizzata la percentuale di variazione avvenuta all'uscita rispetto all'entrata –calcolata come la differenza tra i valori in entrata ed uscita diviso il valore in entrata e moltiplicato per 100- e, ove previsti, i valori limite prescritti dal D. Lgs. 152/06 (vedi Allegato A).

Parallelamente sono mostrati i connessi grafici a *box and whiskers* per evidenziare le differenze esistenti tra le popolazioni di valori in entrata ed in uscita per quanto riguarda le mediane (*Median*), la distribuzione del secondo e del terzo quartile (25%-75%), del primo e quarto quartile (*Non Outlier Range*) ed i valori esterni a tale distribuzione (*Outliers*); i dati caratterizzati dal valore più alto e da quello più basso di tutta la popolazione (*Extremes*) non sono visualizzati per migliorare la leggibilità dei grafici.

A fianco viene poi mostrato un altro grafico a *box and whiskers* riportante le medesime informazioni relative alla popolazione delle variazioni percentuali avvenute tra i valori rilevati in ingresso ed uscita agli impianti.

Al termine della presentazione dei risultati ottenuti per ogni singolo impianto è infine presentata una tabella riassuntiva riportante i valori delle Mediane dei dati in entrata, in uscita, la significatività della differenza tra i valori in entrata ed uscita, la relativa variazione percentuale sulle mediane, i limiti previsti dal D. Lgs. 152/06 e la percentuale di casi in cui sono stati superati dai reflui in entrata ed uscita: per gli impianti A, C e D, scaricanti in corpo idrico superficiale, ci si è riferiti alla Tabella 3, per l'impianto B, recapitante su suolo, alla Tabella 4.

Nonostante, come già detto, la L.R. dell'Emilia Romagna n. 1053/03 specifichi che gli impianti sotto i 50 a.e. non sono tenuti a rispettare i limiti allo scarico previsti dal D. Lgs. 152/06, questo lavoro ha voluto prenderli lo stesso in considerazione al fine di meglio valutare l'efficacia depurativa degli impianti studiati e la loro applicabilità in Italia.



## 5.1. Impianto A – Ristorante, h-SSF

### 5.1.1. Vegetazione

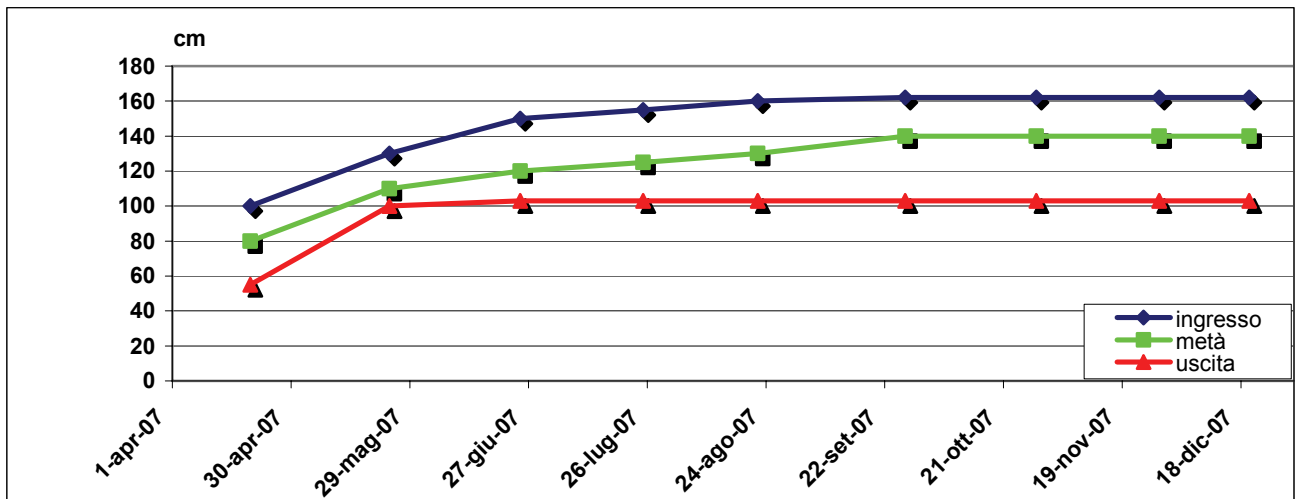


Grafico 1 - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

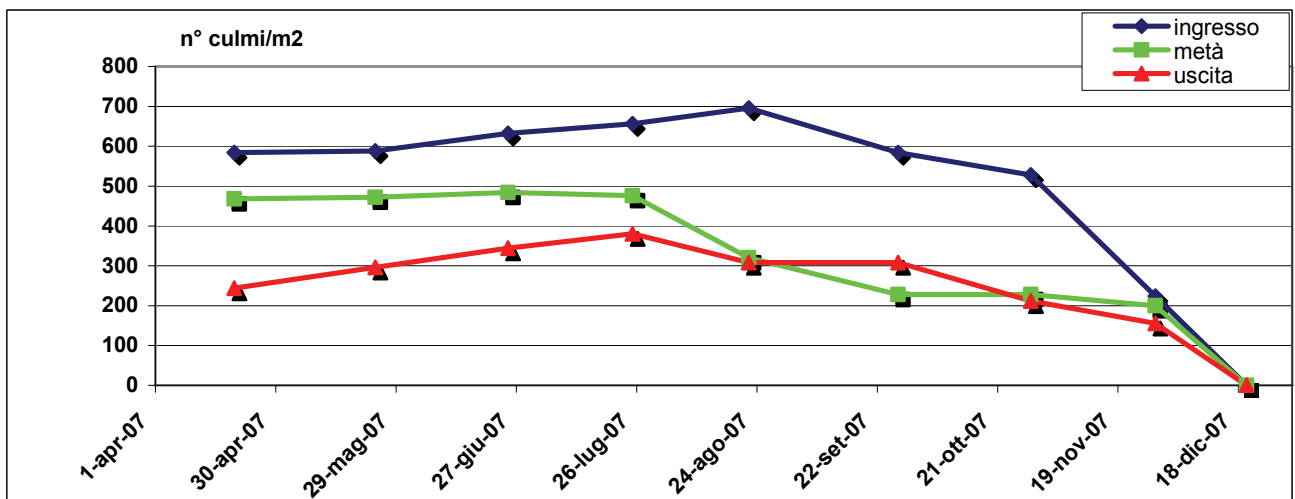


Grafico 2 - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

Analizzando i grafici relativi alla vegetazione di quest'impianto (Grafico 1 e Grafico 2), si può notare come le piante di *Phragmites australis* si comportino in maniera differente in base alla loro locazione lungo l'impianto e quindi alle concentrazioni di nutrienti trasportate dal flusso intercettato.

Con l'avanzare del refluo lungo l'impianto e quindi con la sua progressiva depurazione, le piante hanno dimostrato una progressiva perdita di vigoria, sia sotto l'aspetto dell'altezza media che del numero di culmi per m<sup>2</sup>.

Il Grafico 1 dimostra come lo sviluppo epigeo sia avanzato molto velocemente fino a giugno (in media circa 25 cm il mese), per poi raggiungere il *plateau* tra luglio ed agosto.

È interessante notare come la crescita delle piante poste nella parte terminale dell'impianto, oltre ad essere stata marcatamente inferiore a quelle nate nelle zone mediana e iniziale (rispettivamente 100, 140 e 160 cm), si sia fermata già in maggio, mentre per le altre lo sviluppo è continuato fino a settembre.

Passando al Grafico 2 sulla concentrazione di culmi per m<sup>2</sup>, da un lato si può confermare la maggiore vitalità delle piante cresciute nella prima parte del letto vegetato sulle altre, dall'altro si nota come l'emissione di nuovi culmi abbia seguito una dinamica leggermente diversa da quella della loro crescita stessi in altezza.

Il massimo numero di culmi, infatti, è stato raggiunto tra luglio (metà e fine impianto) e agosto (inizio impianto), ma l'aumento è stato più graduale, lento e disomogeneo nelle tre zone. Nella parte finale della vasca la moria di culmi, seguita al momento di massimo sviluppo vegetativo, è stata in proporzione più lenta, soprattutto rispetto alla parte mediana, tanto che a settembre i culmi a fine impianto erano mediamente di più che a metà.

Nella parte mediana invece, tra aprile e luglio, le piante non hanno emesso nuovi culmi, per poi subire un brusco calo protrattosi fino a settembre, quando il numero di culmi vivi si è assestato attorno ai 200/m<sup>2</sup> fino a novembre.

In ogni modo a partire da ottobre il crollo del numero di culmi vivi è stato sempre più evidente in tutto l'impianto, fino ad arrivare alla situazione di novembre e dicembre 2007, quando il numero medio di culmi era il medesimo lungo tutto il letto vegetato.

La fine del periodo vegetativo e l'inizio a tutti gli effetti della quiescenza invernale si può notare a dicembre 2007, quando non sono stati più rinvenuti culmi vivi.

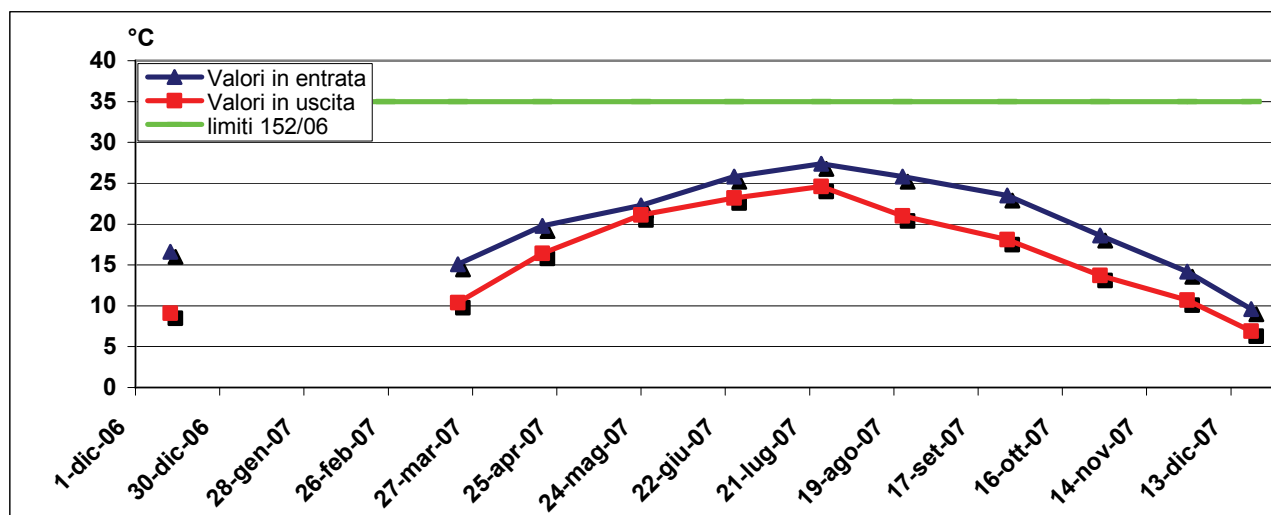


## 5.1.2. Rese depurative

Il monitoraggio dell'impianto in esame ha evidenziato un progressivo aumento, a partire dai mesi di agosto e settembre, dei valori legati ai parametri della Conducibilità elettrica, Azoto totale, Azoto nitrico, Azoto ammoniacale, COD, Fosforo totale e Fosforo solubile.

Dopo un colloquio con il gestore del ristorante –che è stato inaugurato il 24 dicembre 2006- si è potuto ricondurre tale situazione al progressivo aumento della clientela, intensificatosi al termine della pausa estiva.

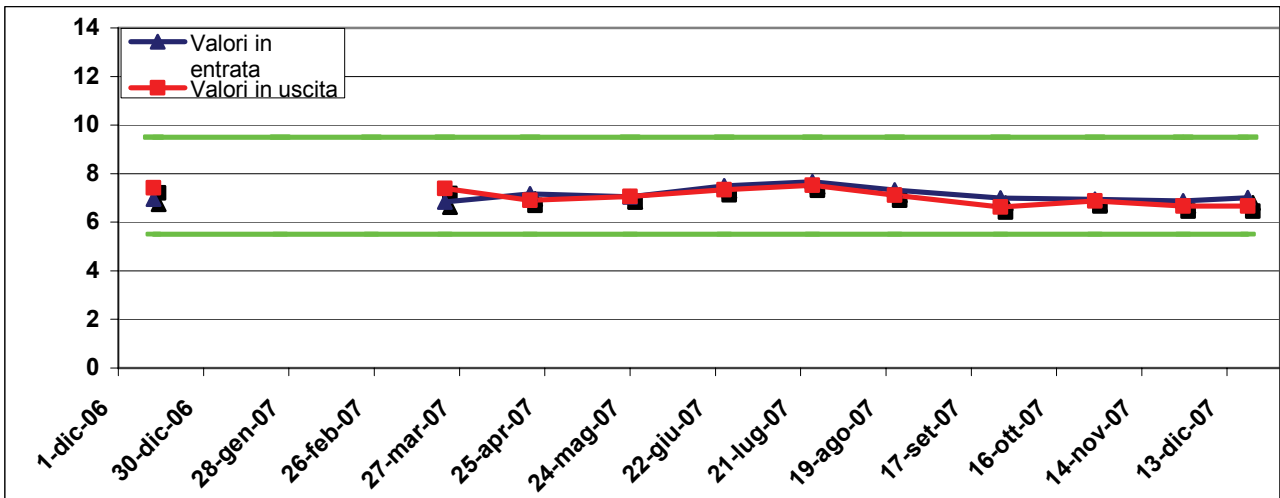
### 5.1.2.1. Temperatura



**Grafico 3** – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Il Grafico 3 denota come durante tutto l'anno la temperatura del flusso in uscita sia inferiore a quella del refluo in entrata e come neanche nel periodo più caldo –tra giugno ed agosto- nessuno dei due raggiunge la temperatura di 35° C, il limite fissato dal D. Lgs. 152/06.

### 5.1.2.2. pH

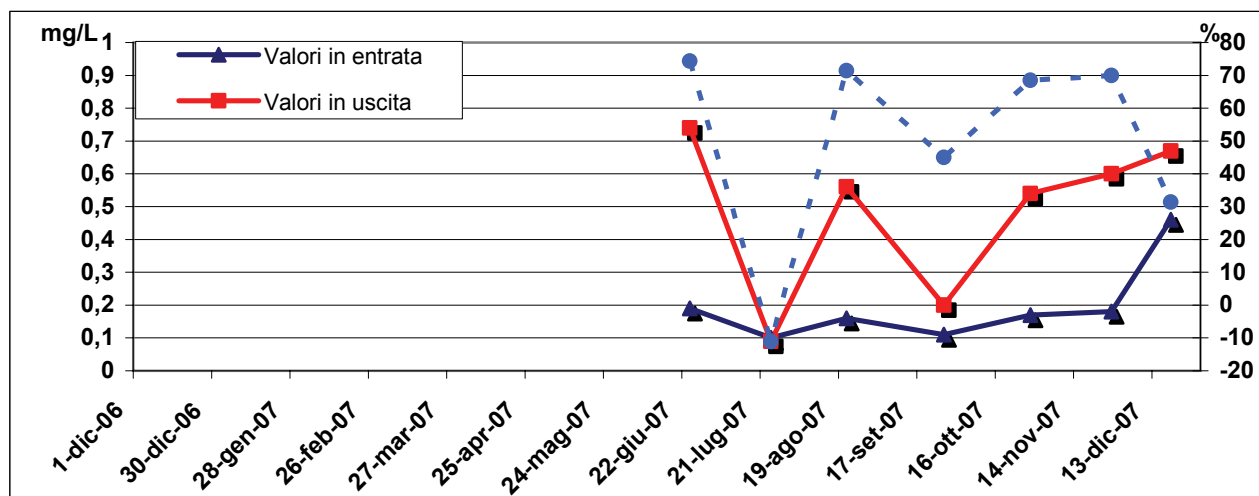


**Grafico 4** – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Osservando il Grafico 4 si nota come il pH dei reflui abbia subito minime variazioni durante il percorso all’interno del letto vegetato, mantenendosi sempre attorno a valori neutri.

Anche questo parametro è sempre rimasto all’interno dell’intervallo compreso tra 5,5 e 9,5 imposto dal D. Lgs. 152/06.

### 5.1.2.3. Ossigeno disciolto



**Grafico 5** – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Nel Grafico 5 si nota che l’Ossigeno contenuto nel refluo in uscita (mediamente tra gli 0,5 e gli 0,7 mg/L) sia in genere stato marcatamente superiore a quello nel refluo in entrata, normalmente caratterizzato da valori oscillanti tra gli 0,1 e gli 0,2 mg/L.

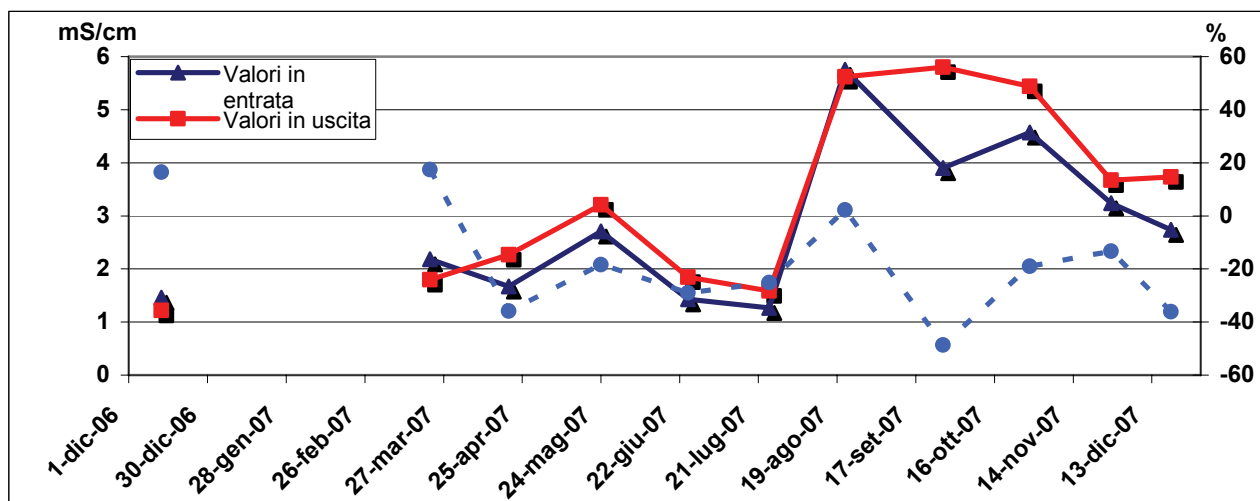
Questo aspetto ha fatto sì che durante il periodo monitorato, tra ingresso ed uscita siano stati riscontrati incrementi della concentrazione di Ossigeno assestati tra il 45 e il 70 %.

Le uniche due eccezioni si sono avute nei mesi di luglio e dicembre 2007: se nel primo caso la concentrazione di Ossigeno del flusso uscente era leggermente inferiore a quella rilevata in quello entrante (variazione percentuale tra ingresso ed uscita pari a -10%), a dicembre la differenza nel contenuto di questo elemento tra entrata ed uscita era leggermente inferiore alla media (con una variazione percentuale tra ingresso ed uscita poco superiore al 30 %).

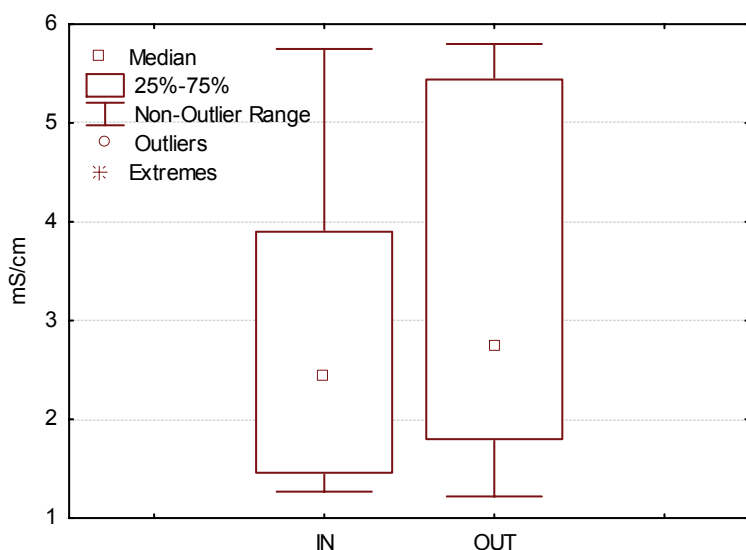
Questi risultati si possono spiegare se si considera il tempo idraulico di ritenzione (HRT) del letto vegetato: il flusso d’acqua impiega infatti 5 giorni a passare da un capo all’altro dell’impianto, ma il prelievo dei campioni di refluo in entrata ed uscita avveniva il medesimo giorno.

Per questo motivo i valori dei reflui in uscita sono da riferire alle caratteristiche di quelli entrati nell’impianto 5 giorni prima e non sono quindi confrontabili, in modo assoluto, con quelli del refluo in entrata prelevati lo stesso giorno.

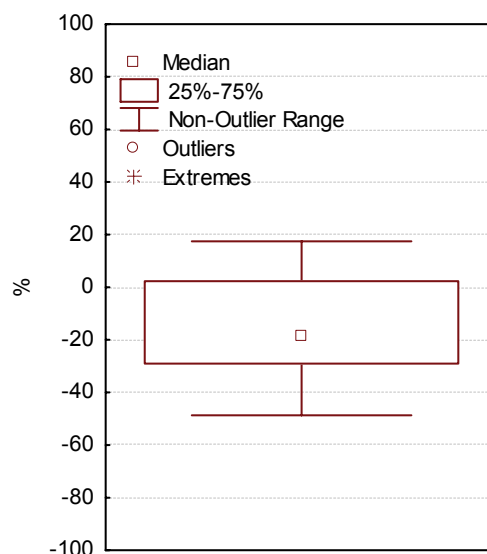
### 5.1.2.4. Conducibilità elettrica



**Grafico 6** - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 7** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 8** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Dall'analisi del Grafico 6 si può vedere come la conducibilità elettrica del refluo, in uscita dall'impianto, sia tendenzialmente superiore rispetto a quella del refluo in entrata, con variazioni percentuali di solito negative. Tale situazione è interpretabile considerando che il fenomeno dell'evapotraspirazione –in questo caso particolarmente rilevante date le dimensioni del letto vegetato- ha portato ad una maggiore concentrazione del refluo in uscita rispetto a quello in entrata.

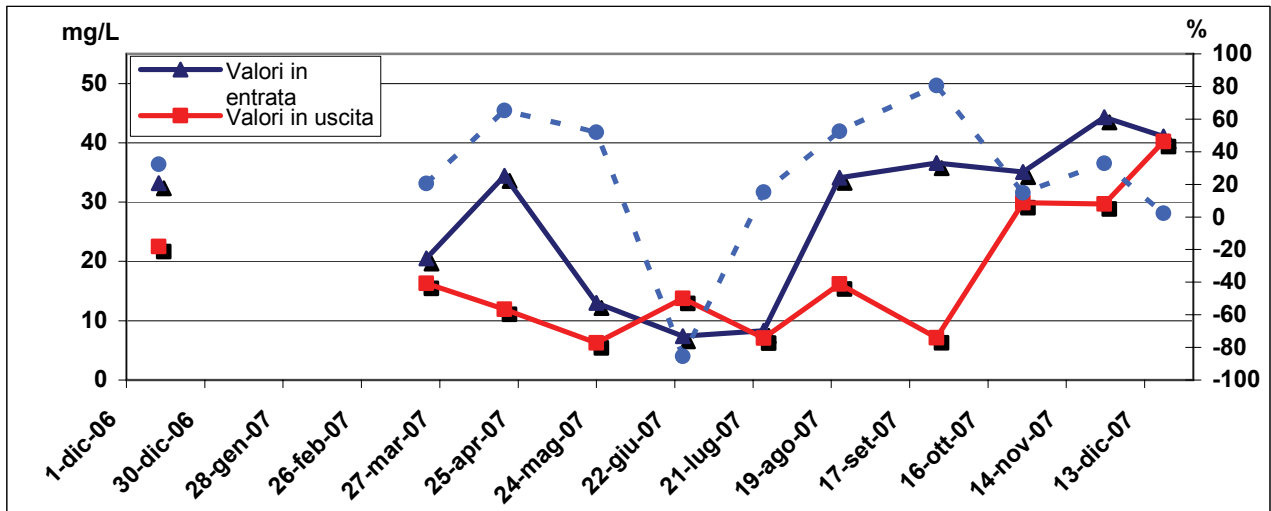
Le eccezioni riscontrate nei mesi di dicembre 2006 e marzo 2007 sono spiegabili se si considerano la scarsa evapotrazione che avviene nei mesi più freddi e il fattore del tempo idraulico di residenza, mentre la situazione di luglio è riconducibile solo a quest'ultimo aspetto.

Il Grafico 7, relativo alla distribuzione statistica delle due popolazioni di dati, mostra come per i reflui in entrate ed uscita siano stati rilevati gli stessi valori massimi e minimi (rispettivamente 6 mS/cm e 1 mS/cm), mentre, come osservato nel primo grafico, la mediana dei valori dei flussi in uscita è leggermente superiore a quella dei flussi in entrata; dal test statistico effettuato non sono comunque state rilevate differenze significative tra le due popolazioni di dati (Tabella 12).

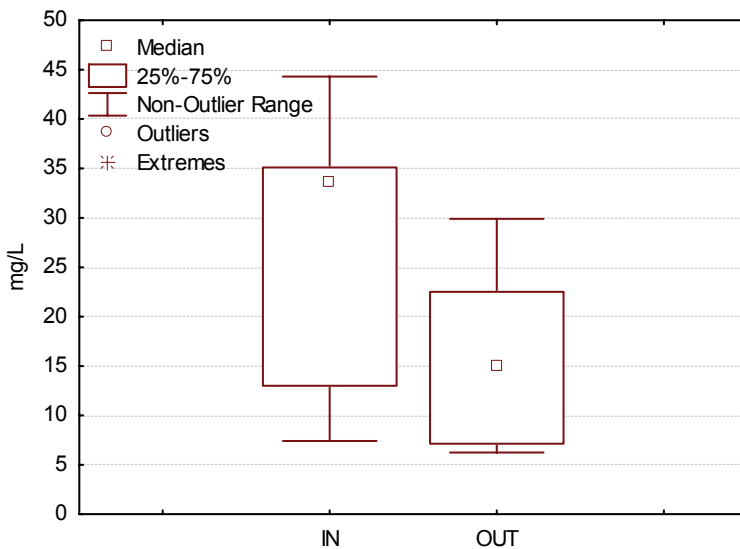
Si evidenzia inoltre come la popolazione dei reflui in uscita sia racchiusa tra un I e un III percentile più alti rispetto a quelli in entrata, mostrando al contempo una maggiore variabilità; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno comunque presentato differenze significative.

Il Grafico 8 infine riporta la distribuzione della popolazione dei valori delle variazioni percentuali, tutti compresi tra il -50 e il 20%, con la mediana situata poco sopra il -20%.

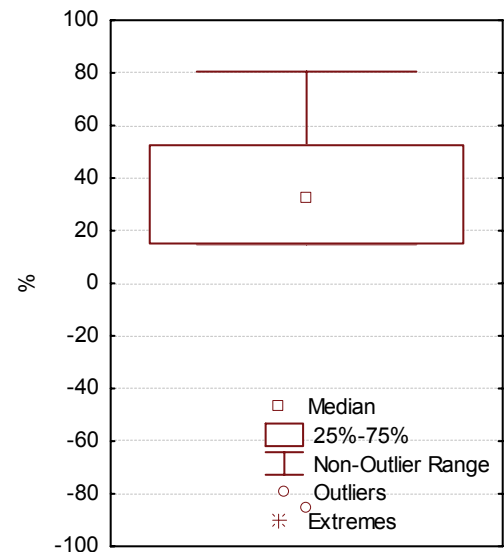
### 5.1.2.5. Azoto totale



**Grafico 9** - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 10** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 11** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 9, relativo all'andamento temporale delle concentrazioni di Azoto totale nei reflui, mostra una notevole variabilità dei valori in entrata (dai 7 mg/L a giugno ai 43 mg/L di novembre), a cui si contrappone una relativa stabilità di quelli in uscita per gran parte dell'anno.

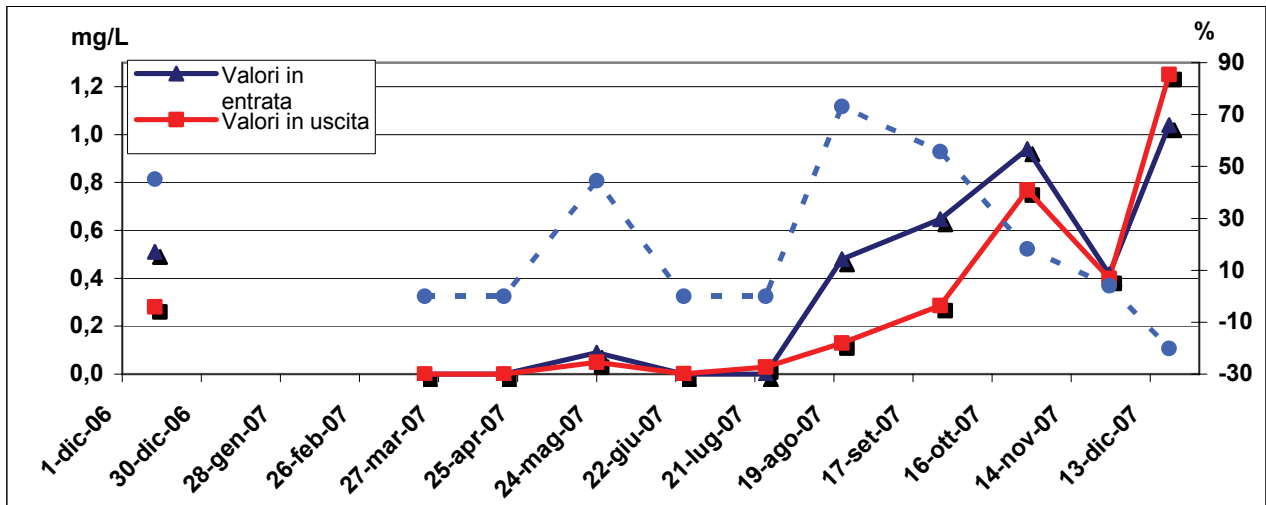
Anche le percentuali di variazione tra ingresso ed uscita tendono a rimanere tra il 15 e il 70% durante la maggior parte dei mesi: l'unica eccezione negativa si registra a giugno con un valore di -84% riconducibile al fenomeno del HRT.

A partire da ottobre si nota poi un incremento delle concentrazioni Azoto contenute nelle acque in uscita, probabilmente da addebitare all'aumento della clientela di questo ristorante, inaugurato a fine dicembre 2006.

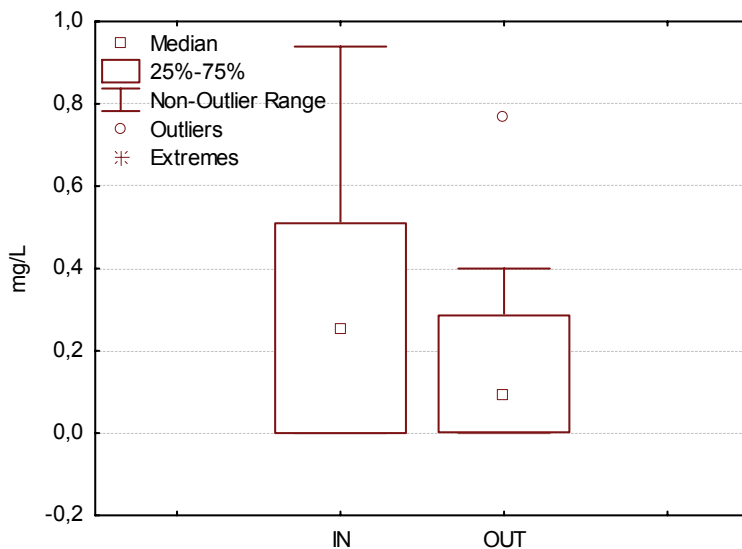
Il Grafico 10 conferma in ogni caso la minore variabilità dei dati rilevati nei reflui in uscita, caratterizzati inoltre da una mediana più bassa e valori massimi e minimi più contenuti rispetto ai dati riscontrati in entrata: tali diversità sono state confermate anche dal test statistico effettuato, che ha confermato che le differenze tra le due popolazioni di dati sono significative (Tabella 12).

Il Grafico 11 evidenzia infine una popolazione di valori di variazioni percentuali sempre positivi, a parte il valore di -80% individuato dal programma di elaborazione come "esterno" alla popolazione, nel 50% dei casi compresi tra il 15 e il 46%.

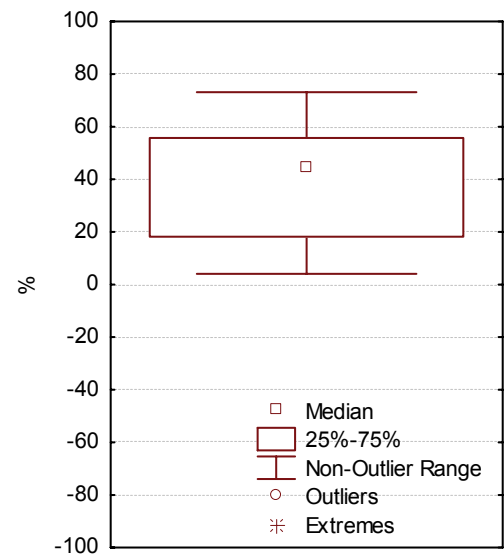
### 5.1.2.6. Azoto Nitrico (N<sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</sub>



**Grafico 12** – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde 20 mg/L, non visualizzata per migliorare la leggibilità del grafico, indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 13** -Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 14** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 12 sembrerebbe confermare che il ristorante servito dall’impianto in esame abbia avuto un progressivo aumento della clientela, con un costante aumento dei nitrati immessi nell’impianto.

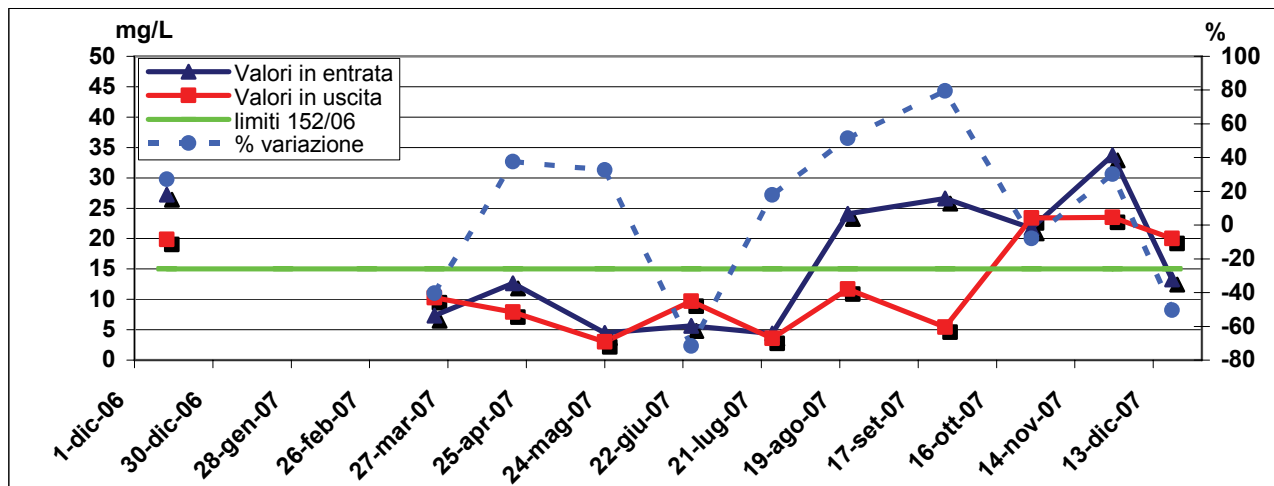
In questo caso i valori rilevati in uscita sono sempre stati inferiori a quelli registrati in entrata, con l’unica eccezione di dicembre 2007, da addebitare all’aspetto del tempo idraulico di ritenzione.



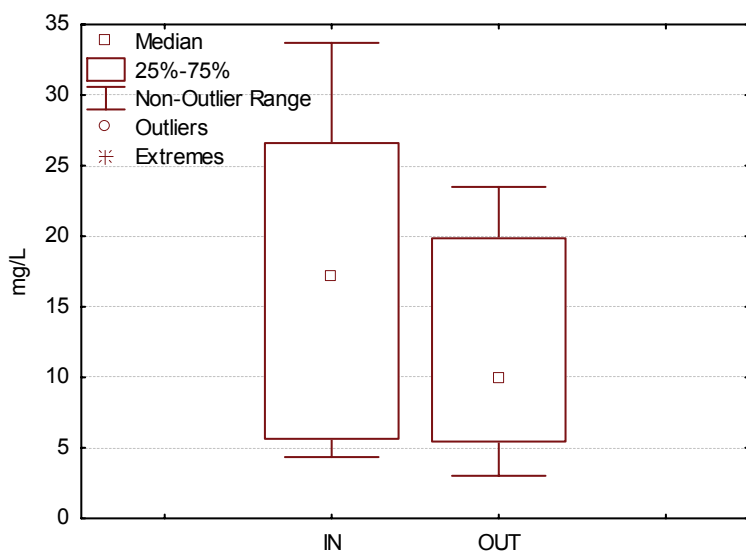
È interessante notare come nel caso nell'Azoto nitrico i valori dei reflui in uscita seguano in maniera costante le variazioni riscontrate per i reflui in entrata, garantendo comunque percentuali di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita comprese tra il 6 e il 75% (ad eccezione del valore di -20% di dicembre 2007) e nel 50% dei casi compresi tra il 19 e il 57%.

Analizzando il Grafico 13 si possono notare delle differenze –anche se statisticamente non significative (vedi Tabella 12)- tra le due popolazioni di dati: se il 50% dei valori in entrata era compreso tra gli 0,0 e gli 0,5 mg/L – con il massimo valore del IV quartile superiore agli 0,9 mg/L ed una mediana di 0,25 mg/L- i valori in uscita erano compresi nel 50% dei casi tra lo 0,0 e gli 0,28 mg/L, con un valore massimo di 0,4 mg/L ed una mediana inferiore agli 0,1 mg/L.

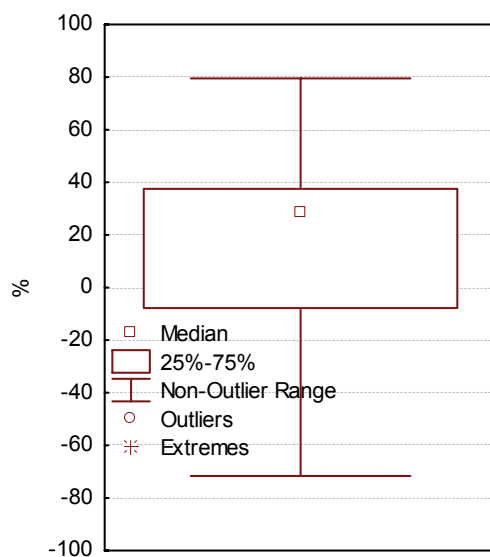
### 5.1.2.7. Azoto Ammoniacale (N<sub>NH4</sub><sup>+</sup>)



**Grafico 15** – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 16** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 17** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

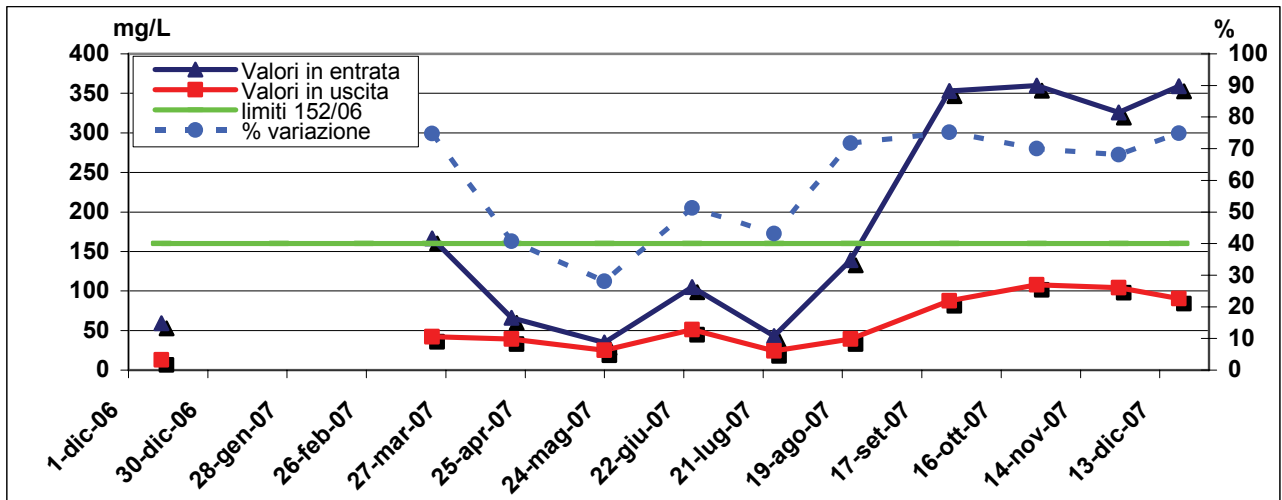
Il Grafico 15 relativo all’andamento dell’Azoto ammoniacale durante gli undici mesi di monitoraggio ha evidenziato a partire da agosto un forte innalzamento dei valori in entrata fino ad avvicinarsi a quelli registrati a dicembre 2006.

L’innalzamento dei valori ha interessato anche i reflui in uscita, che in ogni caso hanno superato il limite di 15 mg/L solo negli ultimi tre mesi.

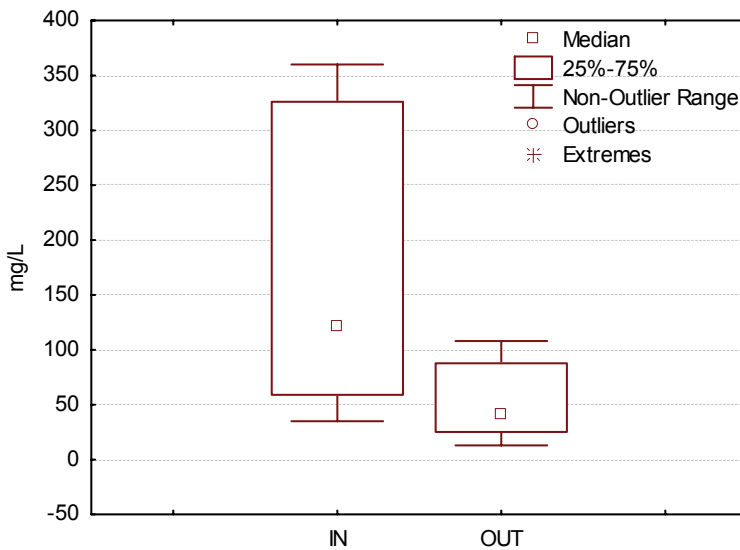
Passando ai grafici a *box and whiskers* (Grafico 16 e Grafico 17) si nota che comunque i valori dei reflui in uscita hanno mostrato di essere sensibilmente inferiori sotto il punto di vista della mediana dei massimi, dei minimi e del II e III quartile, dimostrando al contempo una minore variabilità rispetto ai valori in entrata; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno comunque presentato differenze significative (Tabella 12).

Il range dei valori di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita si è dimostrato invece notevolmente ampio, andando da un minimo di quasi -80 ad un massimo di 80%, anche se il 50% dei casi era compreso tra il -7 e il 38%.

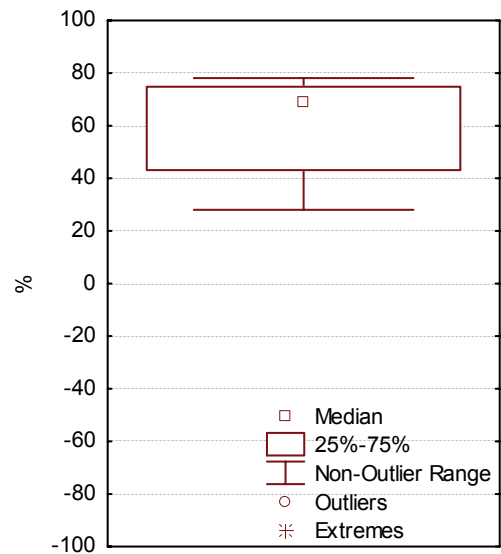
### 5.1.2.8. COD



**Grafico 18** - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 19** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 20** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

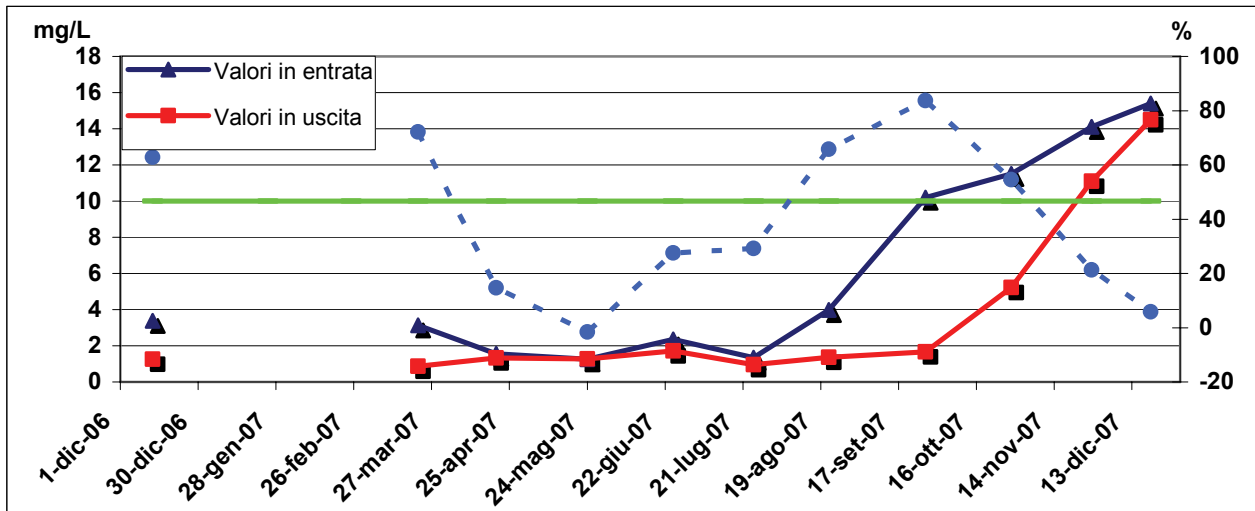
Anche il Grafico 18, relativo all'andamento temporale dei valori di COD, sembra mostrare un aumento dell'attività dei clienti a partire dai mesi di agosto-settembre: ad eccezione di marzo i valori in entrata erano tra i 40 mg/L ed i 110 mg/L, mentre a partire da ottobre si sono stabilizzati attorno ai 350 mg/L.

È interessante in ogni caso notare che, a fronte di una tale variabilità delle misurazioni in entrata, i valori dei reflui in uscita hanno evidenziato una notevole costanza e sono sempre rimasti abbondantemente sotto il limite di 160 mg/L imposto dal D. Lgs. 152/06.

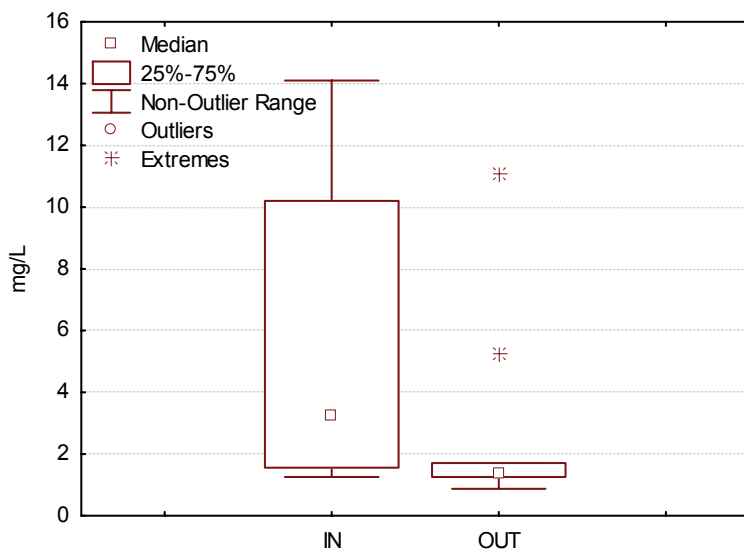
Tale aspetto si può apprezzare guardando il Grafico 19, che mostra una differenza significativa (Tabella 12) tra le due popolazioni di dati: il valore della mediana dei reflui in uscita è meno della metà di quella dei reflui in entrata, il valore massimo è tre volte inferiore e il 50% delle misurazioni è compreso tra i 20mg/L ed i 90 mg/L.

Infine le variazioni percentuali tra ingresso e uscita si sono mantenute tra valori compresi tra il 30 e l'80% e nel 50% dei casi tra il 43 e il 73%.

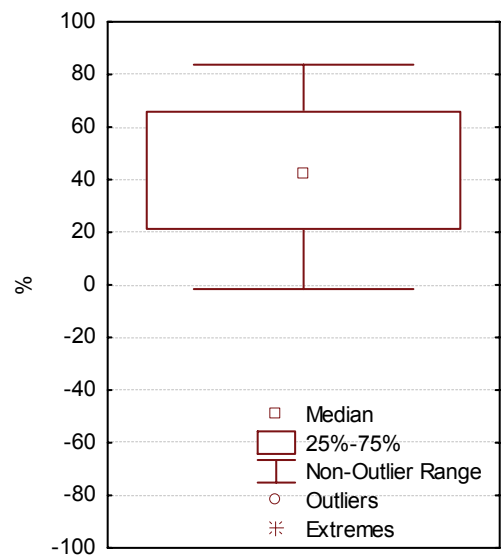
### 5.1.2.9. Fosforo totale



**Grafico 21** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 22** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 23** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Osservando il Grafico 21 si individua una netta differenza tra l’andamento di questo parametro prima e dopo agosto: fino a luglio infatti le concentrazioni in entrata si erano mantenute tra gli 0,8 e i 3,7 mg/L, per poi crescere costantemente fino ai 15,6 mg/L rilevati a dicembre 2007.

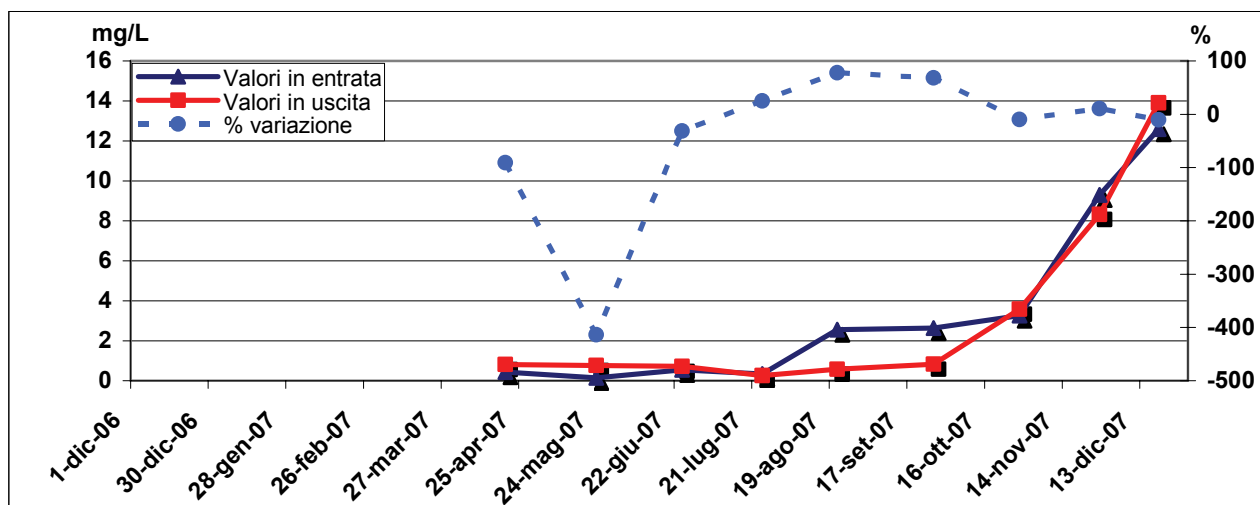
Anche in questo caso il limite di legge previsto è stato superato dai reflui in uscita negli ultimi due mesi del 2007, mentre per quelli in entrata ciò è avvenuto già a partire da settembre.

Un altro aspetto interessante che si denota nella prima parte della curva sembra essere che a maggiori concentrazioni di Fosforo totale nelle acque corrispondano superiori abbattimenti, mentre di sotto a una certa soglia le piante ed i batteri non sembrano in grado ad asportare quantità apprezzabili dell'elemento.

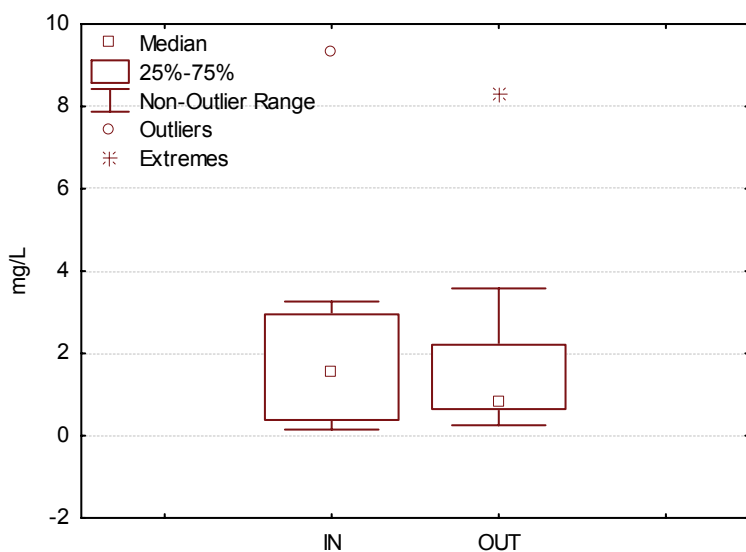
Un tale fenomeno sembra comunque mitigarsi nella seconda parte della curva, a partire da novembre, probabilmente a causa delle temperature più rigide e dell'inizio della quiescenza invernale.

Il Grafico 22 mostra comunque la differenza statisticamente significativa (vedi Tabella 12) tra le due popolazioni di dati, sia sotto il punto di vista delle concentrazioni che della variabilità, mentre il terzo evidenzia che i valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita sono sempre stati positivi e nel 50% dei casi compresi tra il 20 ed il 65%.

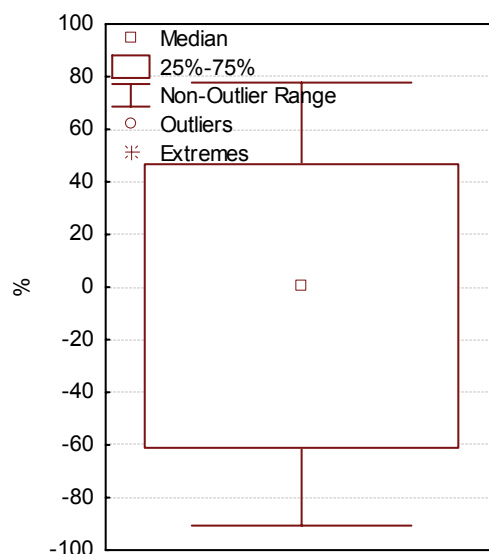
### 5.1.2.10. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 24** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 25** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 26** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

L'andamento dei valori di Ortosolfato nei reflui ha essenzialmente denotato minime differenze tra le concentrazioni in entrata e in uscita

Confrontando il Grafico 24 e Grafico 26 si può notare come, sebbene le variazioni percentuali tra ingresso e uscita abbiano evidenziato una forte variabilità fluttuando tra valori compresi tra il -90 e il 77%, la mediana è assestata sullo 0%.



Questo aspetto viene infine confermato analizzando il Grafico 25, che illustra la relativamente scarsa differenza tra le mediane, i valori massimi e minimi e il II e III quartile delle due popolazioni di dati; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative(vedi Tabella 12).

	<b>Mediana IN</b>	<b>Mediana OUT</b>	<b>Diff. Signif. IN-OUT</b>	<b>Variazione %</b>	<b>Limiti 152/06</b>	<b>% IN &gt; Limiti</b>	<b>% OUT &gt; Limiti</b>
<b>T (°C)</b>	21,05	17,25		18 %	35°C	0 %	0 %
<b>pH</b>	7,03	7,09		-1 %	5,5<x<9,5	0 %	0 %
<b>E.C. (mS/cm)</b>	2,45	2,74	n.s.	-12 %			
<b>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	0,17	0,55	n.s.	-233 %			
<b>N tot (mg/L)</b>	33,65	14,98	*	55 %			
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,25	0,09	n.s.	65 %	20 mg/L	0 %	0 %
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	17,18	9,97	n.s.	42 %	15 mg /L	50 %	30 %
<b>COD (mg/L)</b>	122	40,63	*	67 %	160 mg/L	40 %	0 %
<b>P tot (mg/L)</b>	3,26	1,35	*	59 %	10 mg/l	30 %	10 %
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	1,56	0,8	n.s.	49 %			

**Tabella 12** – Tabella riassuntiva dei parametri dell’impianto A

Confrontando la tabella 12 con quelle degli altri impianti che trattano reflui domestici (Tabelle 14 e 15), si nota innanzitutto che i tutti i parametri relativi ai reflui in ingresso –ad eccezione della conducibilità elettrica e dell’Ossigeno disciolto- presentano valori più bassi.

Come già accennato infatti il ristorante è stato inaugurato a dicembre 2006 e la clientele è ancora inferiore a quella prevista.

Pertanto, nonostante l’aumento di clienti registrato a partire da fine agosto, attualmente l’impianto risulta sovradimensionato e il refluo che arriva nella parte terminale del letto vegetato è troppo diluito per consentirvi un adeguato sviluppo della vegetazione.

Le rese depurative dei parametri legati all’Azoto,al COD e al Fosforo si sono comunque dimostrate molto buone, registrando variazioni percentuali tra ingresso ed uscita comprese tra il 49% (Ortofosfato) e il 67% (COD). Tali prestazioni hanno reso possibile ridurre il numero di volte in cui i parametri N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, COD e Fosforo totale eccedevano i limiti di legge: se in ingresso ciò

avveniva rispettivamente nel 50%, 40% e 30% dei casi, in uscita le percentuali erano scese al 30%, 0% e 10% dei casi.

È interessante infine notare che è stata evidenziata una differenza significativa (\*) tra valori medi in ingresso ed uscita solo per i parametri dell'Azoto totale, del COD e del Fosforo totale, tutti caratterizzati da variazioni percentuali superiori al 50%.

## 5.2. Impianto B – Cantina vinicola, h-SSF

### 5.2.1. Vegetazione

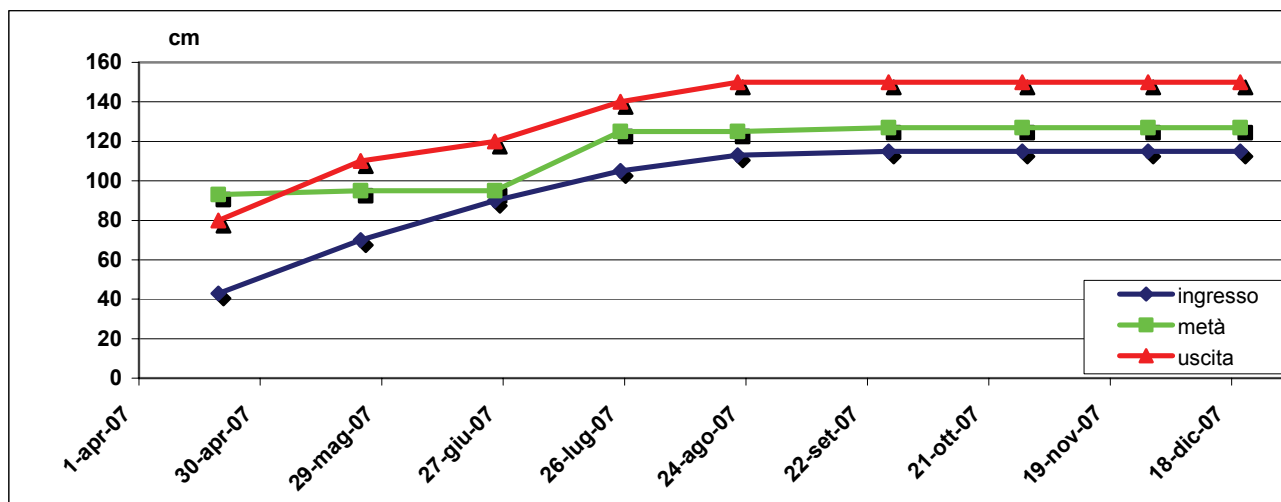


Grafico 27 - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

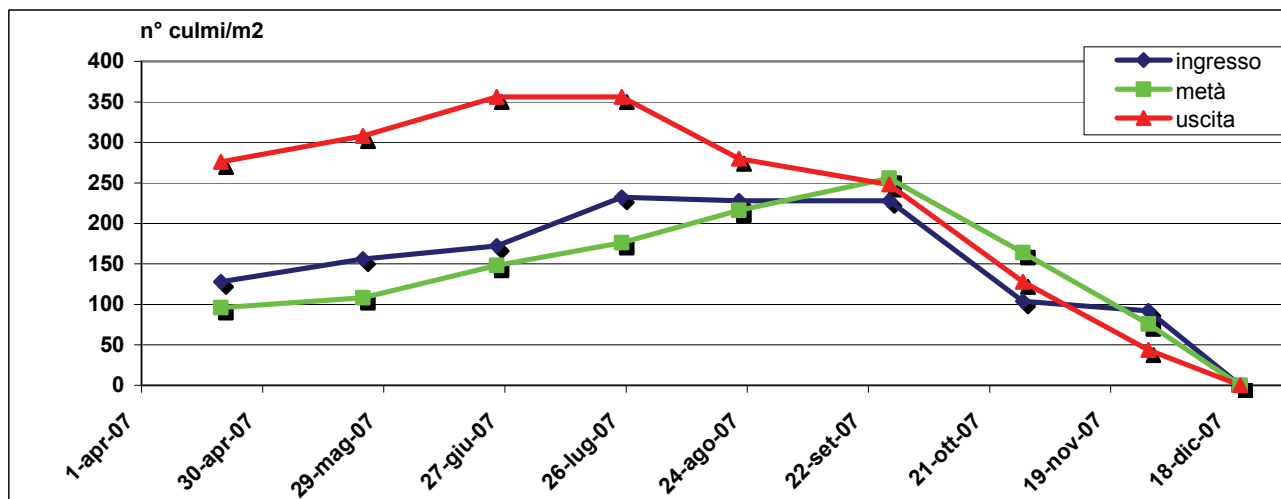


Grafico 28 - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

La situazione che si evidenzia, analizzando i Grafico 27 e Grafico 28, è opposta a quella riscontrata nell'impianto A: la vegetazione cresciuta all'inizio dell'impianto è quella che ha mostrato una maggiore sofferenza rispetto alle altre.

Questa situazione è spiegabile se si considerano le caratteristiche del flusso in ingresso, ovvero un refluo che improvvisamente, in limitati periodi dell'anno, è riversato all'interno dell'impianto in grandi volumi (5,48 m<sup>3</sup>/d rispetto alla media di 0,5 m<sup>3</sup>/d durante il resto dell'anno) e con altissime concentrazioni di inquinanti.

Le radici delle piante poste all'inizio dell'impianto si trovano così ad assorbire il refluo più inquinato e con caratteristiche troppo lontane da quelle tollerate, con conseguente sofferenza dell'intera pianta.

Scorrendo lungo il letto vegetato il refluo viene gradualmente depurato ed assume così caratteristiche via via più tollerabili per *Phragmites australis*.

Dal confronto con l'impianto A si osserva quindi che, se in quel caso le piante cresciute nella prima parte dell'impianto già ad agosto arrivavano a 160 cm di altezza, nell'impianto B ancora in settembre non avevano raggiunto i 120 cm.; inoltre nemmeno la vegetazione della fine dell'impianto, che si è dimostrata la più rigogliosa, non è cresciuta oltre i 150 cm.

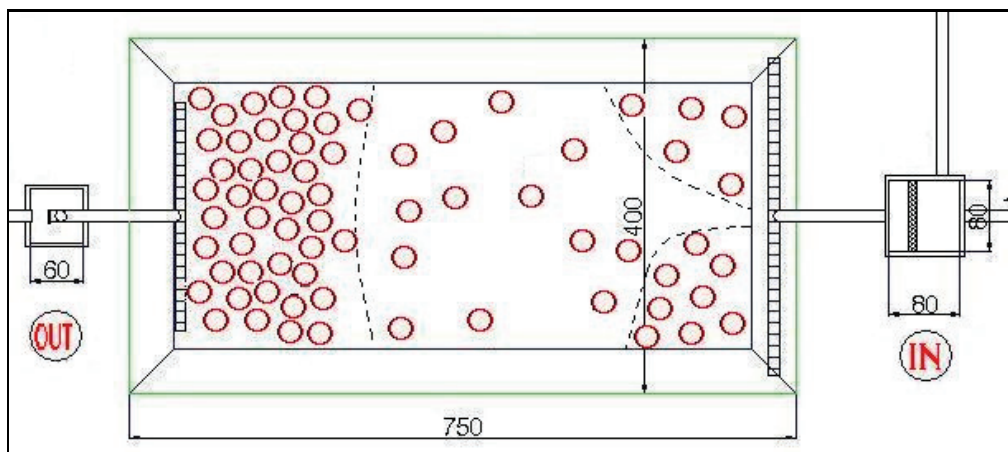
Leggermente diversa è la situazione concernente il numero dei culmi: in questo caso infatti le concentrazioni di culmi per m<sup>2</sup> ad inizio e metà del letto vegetato sono molto vicine, anche se bisogna notare che nel secondo caso l'emissione di nuovi germogli è continuata a crescere fino a settembre.

Un altro punto da rilevare è che qui la nascita di nuovi culmi –a parte nel caso appena indicato– si è fermata a luglio, un mese prima rispetto agli altri impianti: probabilmente un segno di stress della vegetazione, anche se bisogna sottolineare che per questo impianto la fine della stagione vegetativa è anticipata, dato che è situato su un versante a 330 m s.l.m.

Rimane infine interessante confrontare il numero massimo di culmi registrato negli impianti A e B: se nel primo caso si raggiungeva ad agosto una concentrazione di 700 culmi/m<sup>2</sup> all'inizio del letto vegetato, nel secondo a luglio sono stati superati di poco i 350 culmi/m<sup>2</sup> nella parte terminale della vasca di fitodepurazione.

Date le particolari condizioni a cui era sottoposta la vegetazione di questo impianto, è stato deciso di rilevare la distribuzione delle piante di *Phragmites australis* all'interno del letto vegetato, al fine di evidenziare eventuali flussi preferenziali (Figura 48).

È stata perciò tracciata una pianta ortogonale riportante le varie concentrazioni delle piante presenti a luglio 2007, riscontrando in questo modo un'anomala distribuzione delle stesse: come già individuato nel secondo grafico, il numero di piante a metà del letto era inferiore a quello rilevato nella zona iniziale, dove però erano concentrate principalmente ai bordi.



**Figura 48** - Schema della distribuzione delle piante (rappresentati da cerchi rossi) di *Phragmites australis* nell'impianto B; in nero sono tratteggiate le zone a maggior densità.

### 5.2.2. Rese depurative

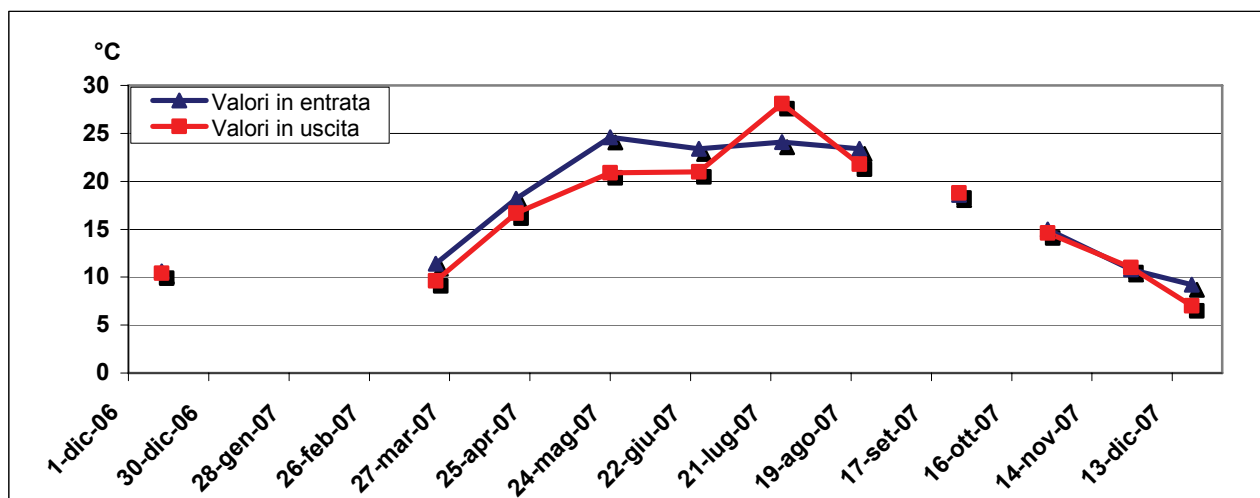
Il monitoraggio dell'impianto in esame ha portato alla luce una situazione caratterizzata da una notevole variabilità delle concentrazioni dei parametri nei reflui in ingresso

Tale situazione è stata riscontrata durante l'intero anno di monitoraggio, ma in particolar modo nel corso della vinificazione, ovvero da agosto ad ottobre 2007.

Un altro aspetto da tenere in considerazione durante la lettura dei grafici seguenti è che spesso in uscita sono state rilevate concentrazioni superiori rispetto all'entrata, evento questo da ricondurre al tipo di campionamento: è infatti importante tenere presente che tutti gli impianti sono stati monitorati con cadenza mensile e il campionamento istantaneo non ha permesso di confrontare il refluo in entrata con la sua effettiva uscita.

Questa limitazione, unita alla forte variabilità del refluo in ingresso riscontrata in particolare per l'impianto in esame, ha più portato ad ottenere rese depurative apparentemente negative.

### 5.2.2.1. Temperatura

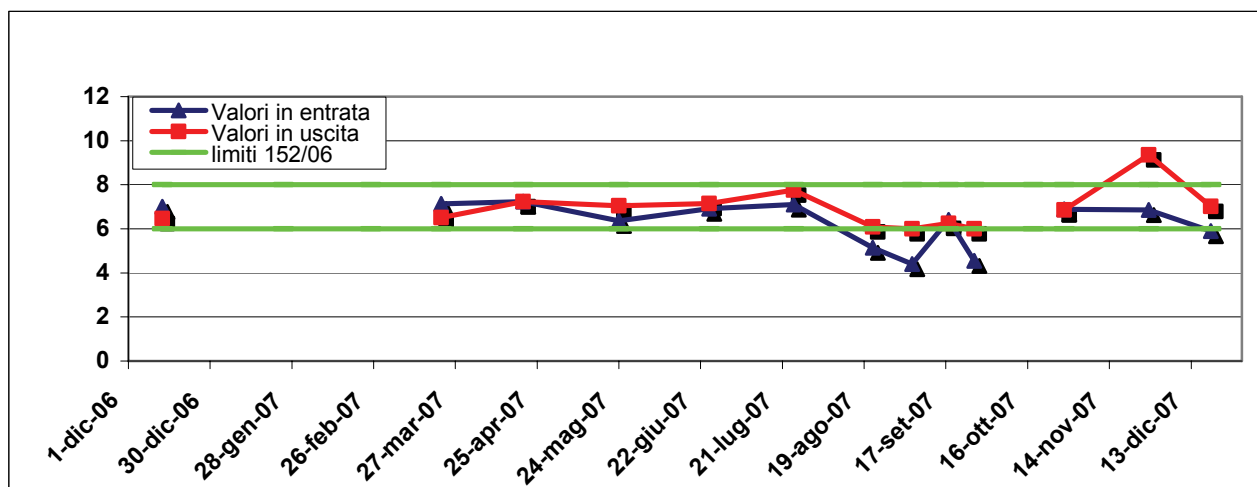


**Grafico 29** – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto.

Dal Grafico 29 si può vedere come, sebbene l'impianto sia situato a 330 m s.l.m., le temperature dei reflui in entrate ed uscita siano confrontabili con quelle degli altri impianti in pianura.

Anche in questo caso le differenze di temperatura tra entrata ed uscita sono minime, mentre è da notare che, recapitando su suolo, secondo la Tabella 4 del D. Lgs. 152/06 per la temperatura delle acque uscite da questo impianto non sono previsti limiti.

### 5.2.2.2. pH



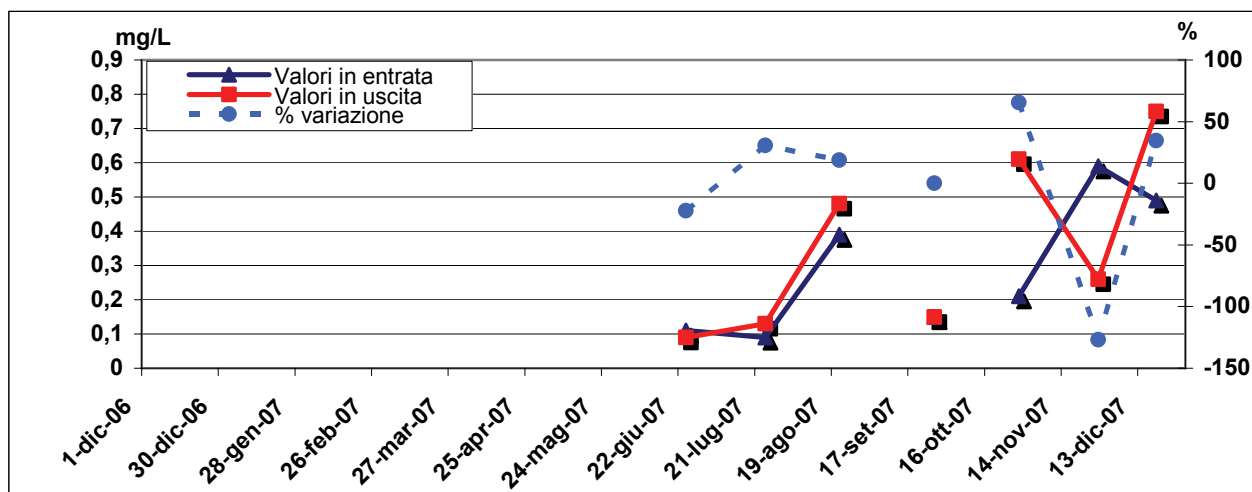
**Grafico 30** – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5).

Osservando il Grafico 30 si può notare come il pH dei reflui abbia subito delle variazioni più marcate del caso visto in precedenza: ciò è avvenuto soprattutto nei mesi della vinificazione, con un’acidificazione dei valori sia in entrata che in uscita.

Sebbene in questo periodo il pH dei reflui usciti dall’impianto fosse più neutro di quello misurato in entrata, lo stesso sembra non sia avvenuto nel mese di novembre; bisogna in ogni caso prendere in considerazione che il refluo in uscita è il prodotto della depurazione di quello entrato cinque giorni prima.

Resta comunque positivo il fatto che se il refluo in entrata ha superato i limiti di legge nel 25% dei casi, per i reflui in uscita ciò è avvenuto solo l’8% delle volte.

### 5.2.2.3. Ossigeno disciolto



**Grafico 31** – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

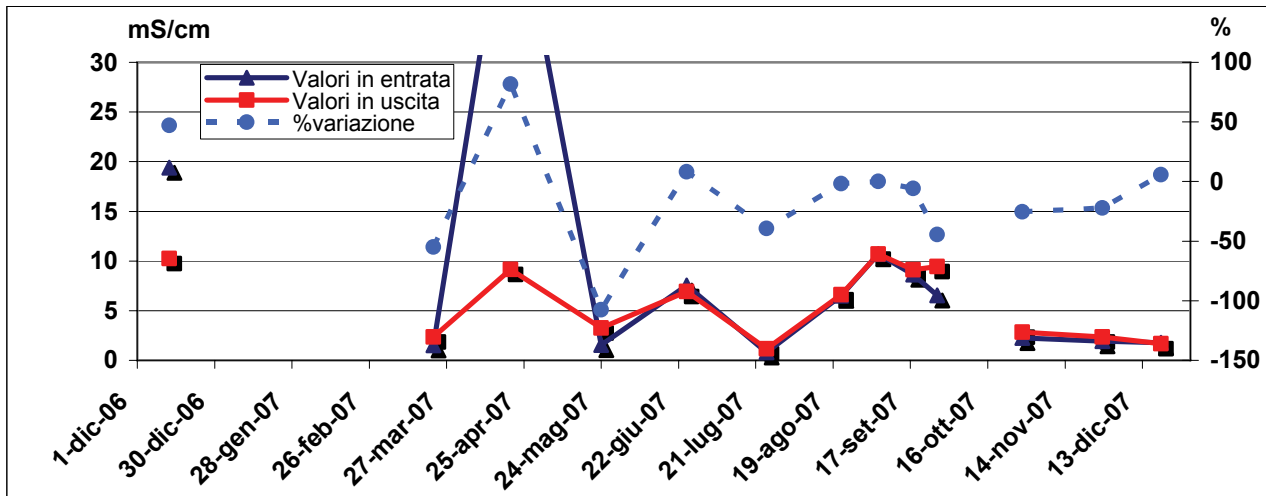
Dal Grafico 31 si nota come nei due reflui siano state rilevate forti variazioni dei contenuti di Ossigeno e delle variazioni percentuali dello stesso tra ingresso ed uscita.

I valori relativi alle acque in entrata vanno dal minimo di 0,09 mg/L di luglio al massimo di 0,59 mg/L di novembre; per le acque in uscita si hanno rispettivamente i valori di giugno (0,09 mg/L) e di dicembre (0,75 mg/L), facendo fluttuare le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita dell'elemento da -120% al 65%.

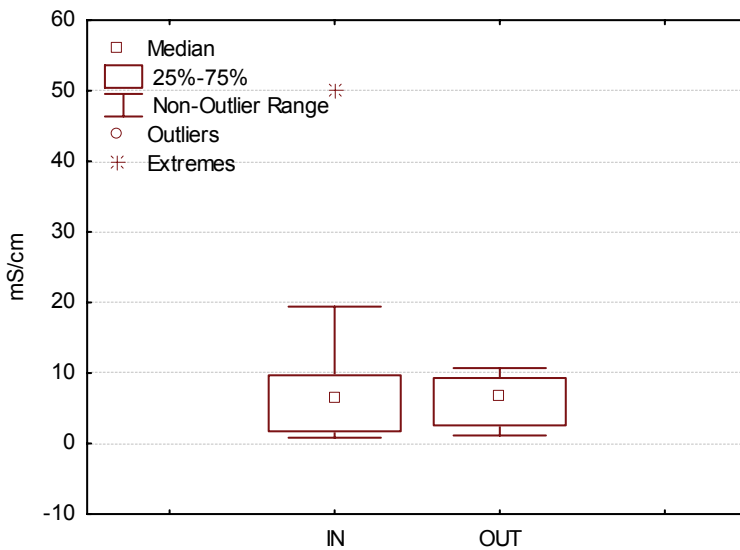
Nel caso dell'impianto in considerazione bisogna rilevare che i 5 giorni dell'HRT hanno un'influenza ancora maggiore nella variabilità dei dati, in quanto se il monitoraggio avveniva a 6 giorni dal lavaggio di una botte o di un macchinario il refluo in uscita era notevolmente più concentrato inquinato di quello prelevato lo stesso giorno in entrata.



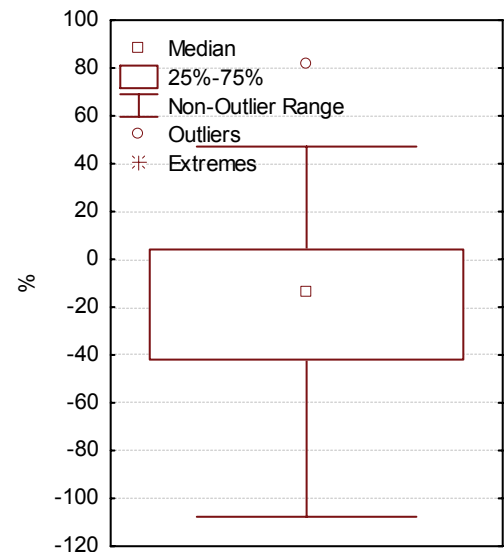
### 5.2.2.4. Conducibilità elettrica



**Grafico 32** - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 33** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 34** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Sebbene l'impianto fosse stato fornito sia di una grigliatura statica prima della vasca di omogeneizzazione, sia di griglie poste sui pavimenti dei locali di lavorazione per evitare tali inconvenienti, nel refluo del pozzetto in entrata sono stati riscontrati elevati valori di conducibilità elettrica, superiori a quelle riportate da altre esperienze condotte tra l'altro sulle acque reflue di cantine che lavoravano maggiori quantità di uva (Shepherd et al., 2001).

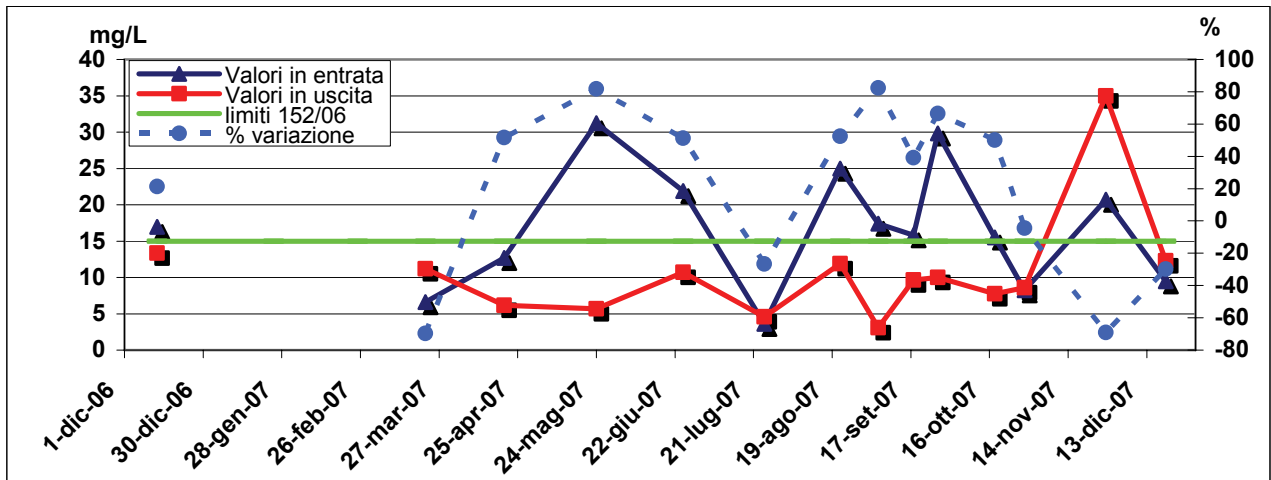
Dall'analisi del Grafico 32 si può vedere come, a parte nel caso osservato a marzo, quando la lettura del refluo in entrata andò fuori scala, i valori di conducibilità elettrica rilevati a monte e a valle dell'impianto siano stati sempre grossomodo equivalenti o leggermente inferiori.

Questa situazione è probabilmente dovuta al fatto che il refluo fosse troppo concentrato per permettere che l'evapotraspirazione influisse su una sua ulteriore concentrazione, oltre che le temperature sull'Appennino sono mediamente più basse che in pianura.

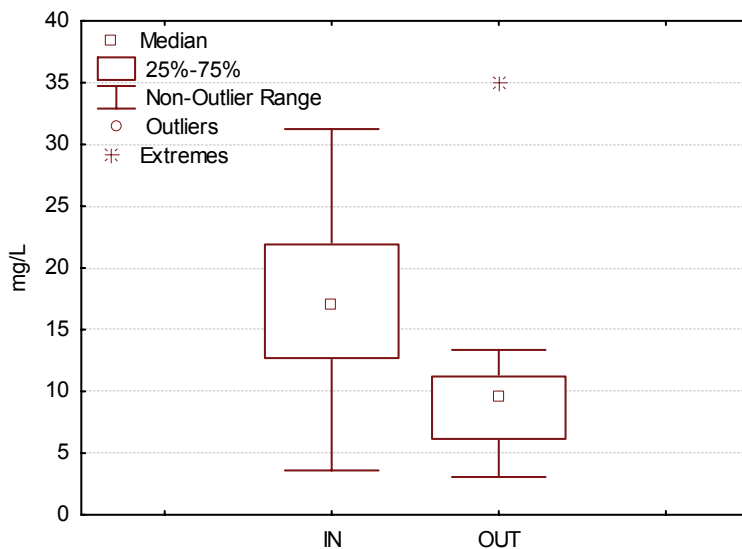
Confrontando la differenza non significativa evidenziata dal test statistico (Tabella 13) e il Grafico 33, relativo alla distribuzione statistica tra le due popolazioni di dati, si conferma che le due popolazioni sostanzialmente si equivalgono, mostrando valori molto simili per quanto concerne le mediane, i massimi, i minimi e il II e III quartile.

Infine Grafico 34 mostra una distribuzione molto ampia delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita, i cui valori estremi vanno dal 50% al -110%, mentre il 50% della popolazione di dati è compresa tra lo 0 e il -40% con la mediana posta attorno al -10%.

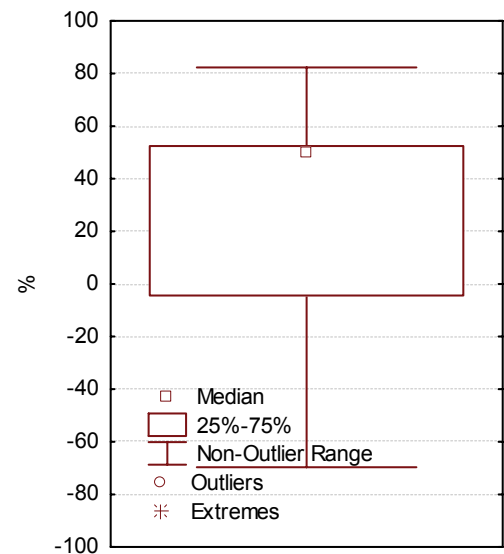
### 5.2.2.5. Azoto totale



**Grafico 35** - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi recapitanti su suolo (D L 152/06. Tabella 4, Allegato 5).



**Grafico 36** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 37** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 35, relativo all'andamento temporale delle concentrazioni di Azoto totale nei reflui, mostra una notevole variabilità dei valori in entrata (dai 3 mg/L a luglio ai 31 mg/L di aprile), contrapposta ad una variabilità più contenuta di quelli in uscita.

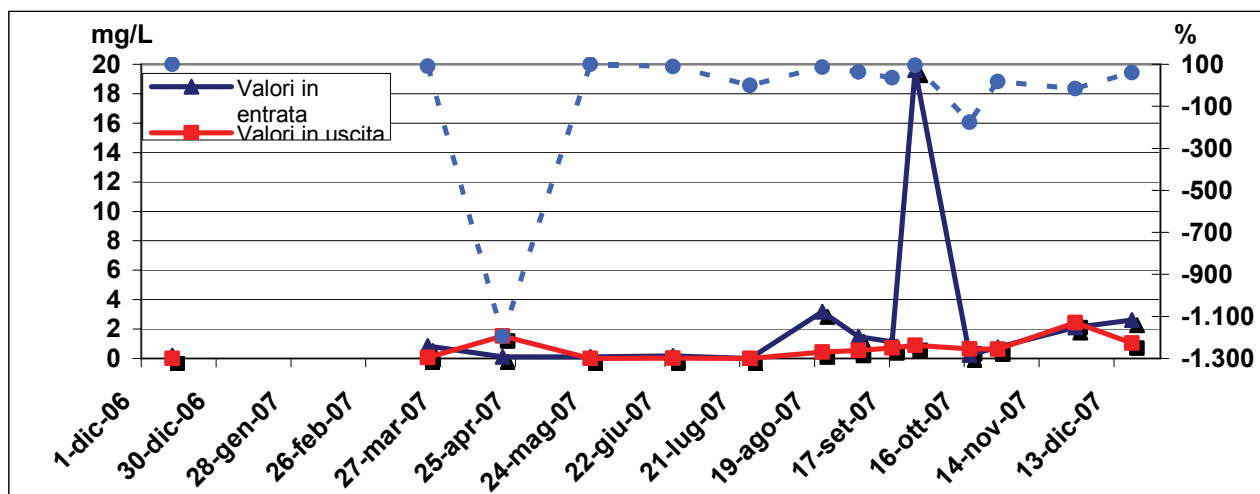
I valori dei reflui in uscita sono stati mediamente inferiori a quelli rilevati in entrata e soprattutto, nonostante questi ultimi abbiano superato i limiti di legge 7 volte in 14 monitoraggi, per i primi questa situazione si è verificata soltanto a novembre.

Confrontando questo grafico con quello relativo al COD, si può rilevare come –a parte nel caso di maggio- le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita per questo parametro si siano avute in corrispondenza di alti carichi organici, ovvero nei mesi di agosto e settembre.

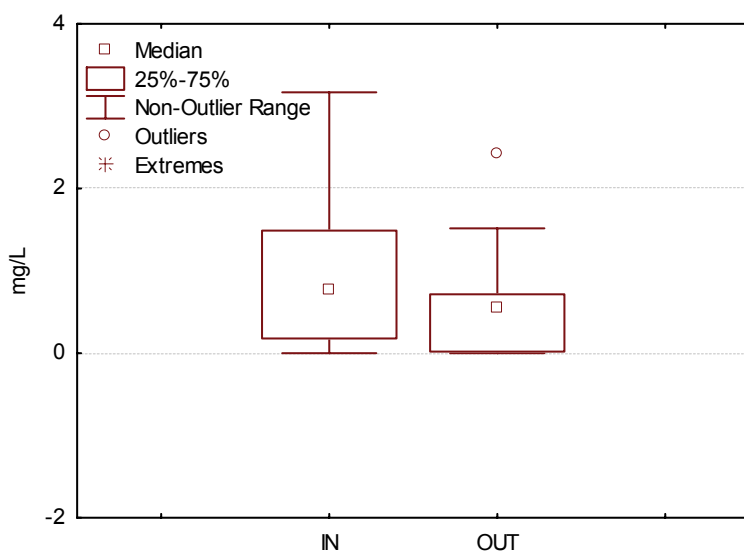
Il Grafico 36 conferma la minore variabilità dei dati rilevati nei reflui in uscita, caratterizzati inoltre da una mediana più bassa (10 mg/L contro i 17mg/L dei reflui in entrata) e valori massimi e minimi più contenuti rispetto ai dati riscontrati in entrata; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

Valutando l'andamento delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita si nota una significativa variabilità del I e IV quartile, anche se va sottolineato che la metà della popolazione dei dati è compresa tra il -5% ed il 54%, con la mediana sul 51%.

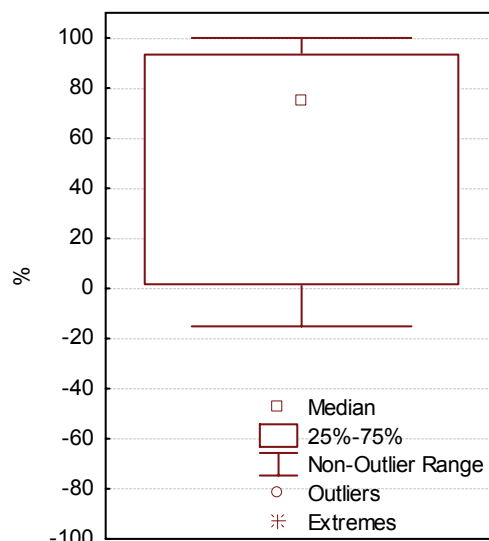
### 5.2.2.6. Azoto Nitrico ( $N_{NO_3^-}$ )



**Grafico 38** – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 39** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 40** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Dal Grafico 38 si evidenzia come sia in entrata che in uscita i valori di Azoto nitrico si siano mantenuti piuttosto bassi durante tutto l’anno e, nonostante qualche eccezione a marzo, ottobre, e novembre, le rese depurative sono state positive.

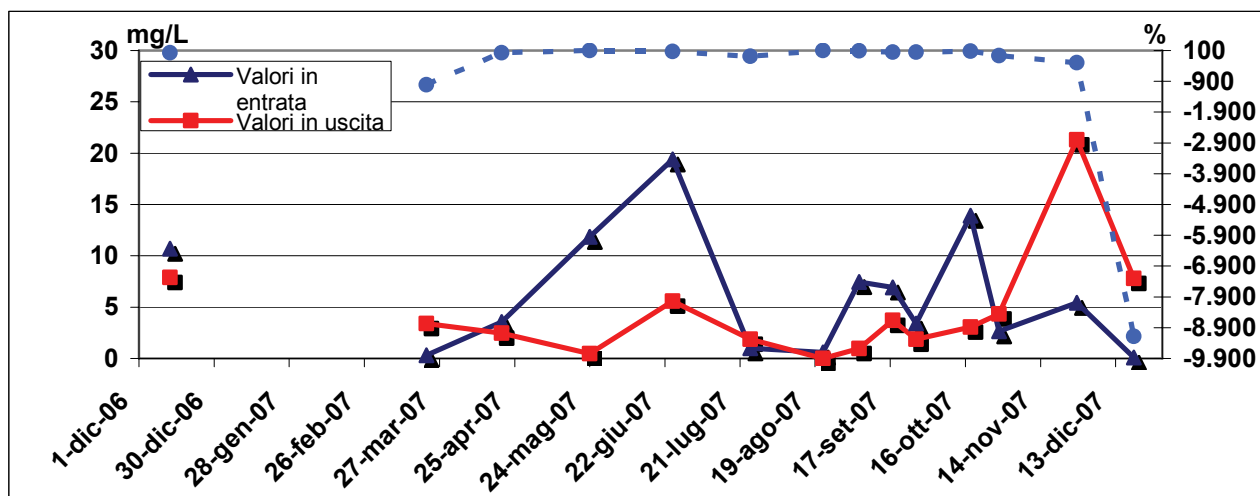
La scarsa variabilità e i contenuti valori di entrambe le popolazioni di dati si possono notare anche nel Grafico 39, dove si riscontra che il 100% dei valori in uscita e più del 75% di quelli in

entrata era compreso tra gli 0 e i 2 mg/L; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

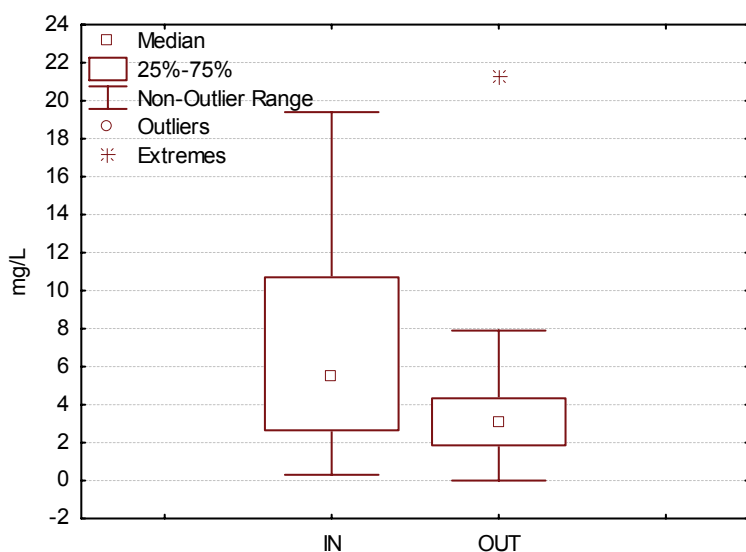
È interessante comunque notare che la popolazione dei reflui in uscita presenta una variabilità, una mediana ed i vari estremi ancora più contenuti di quella riferita ai reflui in entrata, confermando le rese depurative indicate nel Grafico 40.

In quest'ultimo si può vedere infatti come a partire dal 25° percentile tutti i valori legati alle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita siano positivi, mostrando una mediana poco inferiore all'80%.

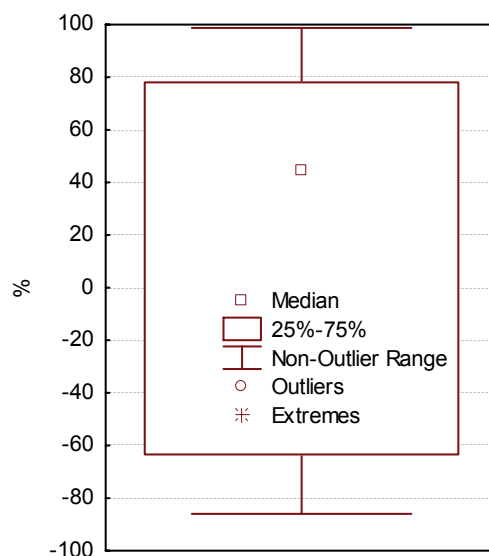
### 5.2.2.7. Azoto Ammoniacale (N<sub>NH4</sub><sup>+</sup>)



**Grafico 41** – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 42** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 43** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 41 riguardante l’andamento dell’Azoto ammoniacale nei reflui in ingresso durante gli undici mesi di monitoraggio ha evidenziato forti oscillazioni durante tutto l’anno, seguite da variazioni più contenute dei valori in uscita.

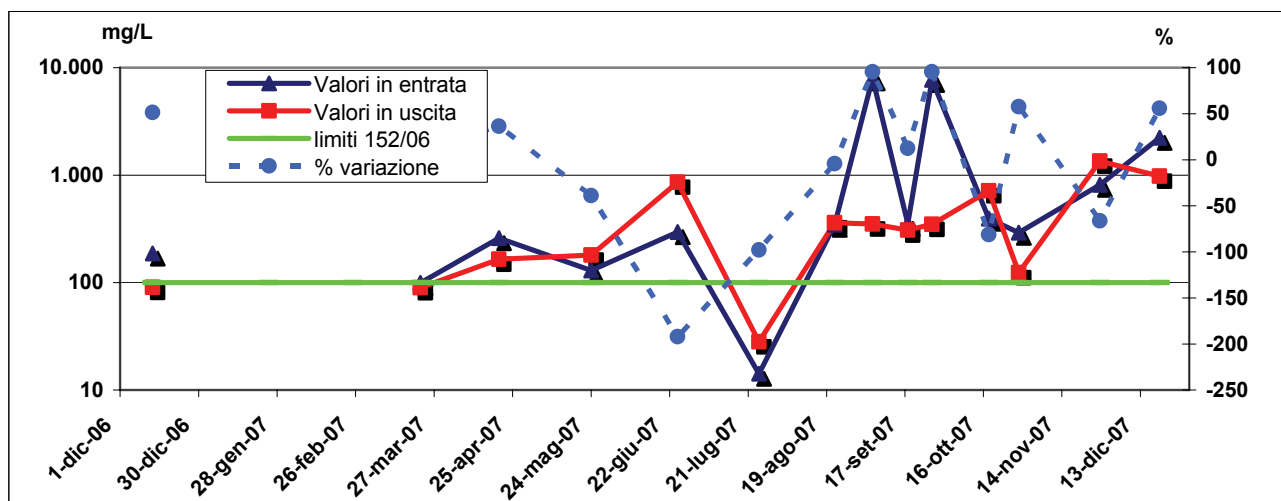
Questi ultimi sono stati anche mediamente inferiori rispetto ai primi, ad eccezione dei mesi di febbraio, luglio, ottobre, novembre e dicembre 2007, casi comunque riconducibili agli effetti del tempo idraulico di residenza.

Questa situazione è confermata dai grafici a *box and whiskers* (Grafico 42 e Grafico 43), dove si nota che i valori dei reflui in uscita, evidenziando minore variabilità rispetto ai valori in entrata, hanno mostrato di essere sensibilmente inferiori sotto il punto di vista della mediana, dei massimi, dei minimi e del II e III quartile; dal test statistico effettuato infine le due popolazioni di dati hanno presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

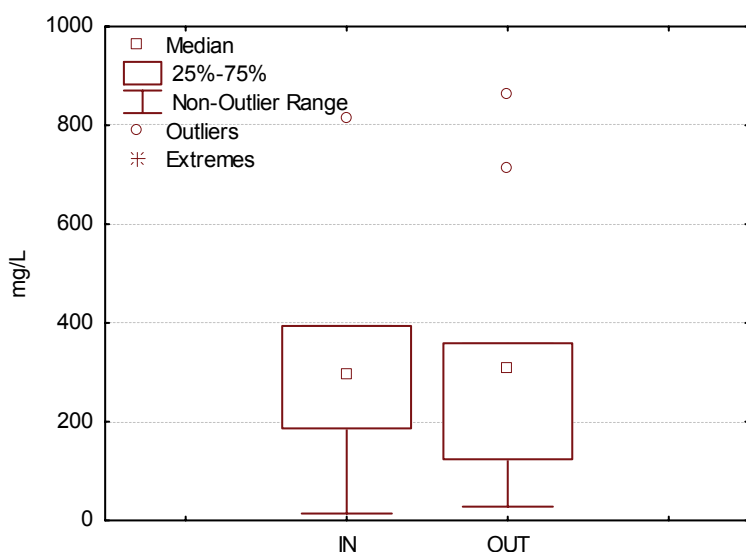
Le continue fluttuazioni dei valori hanno comunque influenzato il *range* delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, che si è dimostrato notevolmente ampio: il valore minimo infatti è pari a -90%, mentre il massimo a 100%, con il 50% dei casi era compreso tra il -64 e il 78%.



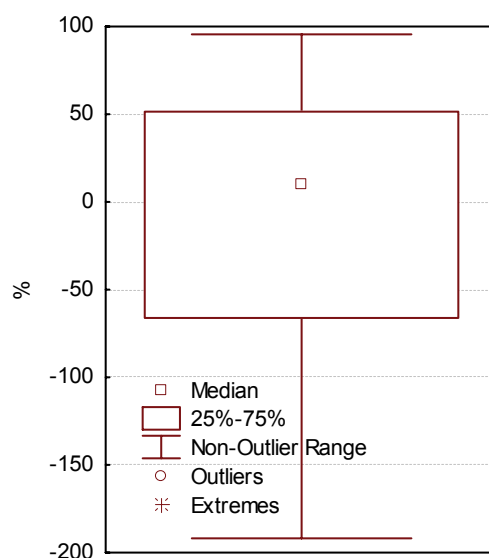
### 5.2.2.8. COD



**Grafico 44** - Valori della concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la scala in mg/L è logaritmica e la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5).



**Grafico 45** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 46** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

La scala in mg/L del Grafico 44, relativo all'andamento temporale dei valori di COD, è stata posta in forma logaritmica per consentire una migliore visualizzazione dello stesso. Si nota un andamento sostanzialmente costante e caratterizzato da valori relativamente bassi, ad eccezione di due importanti picchi registrati ad agosto e settembre, quando si sono registrati valori otto volte superiori alla norma.

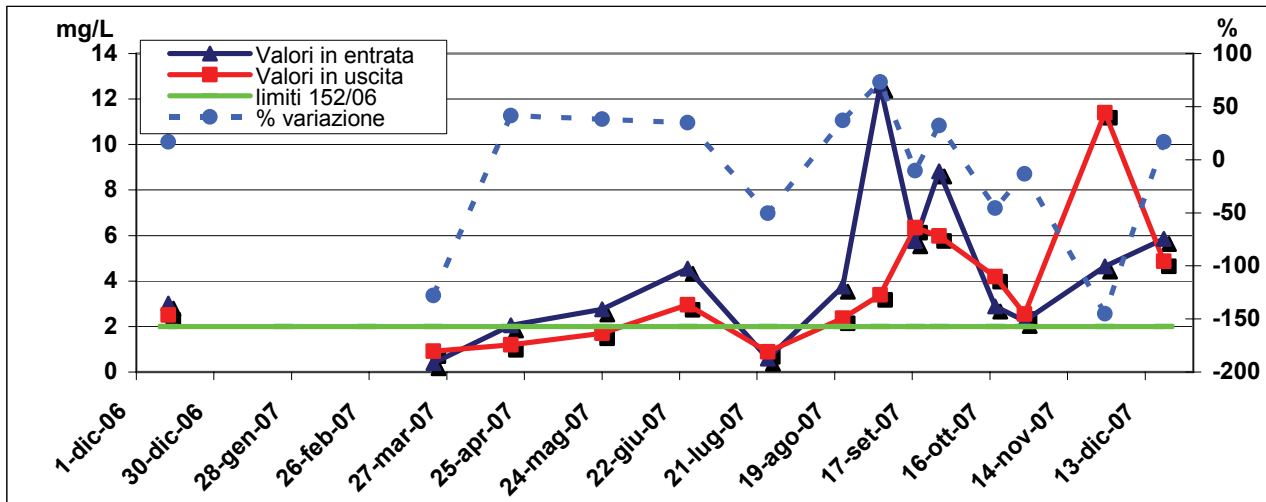
Come confermato dall'enologo della cantina in oggetto, queste due notevoli variazioni della domanda chimica di Ossigeno, assieme al caso di dicembre 2007, sono da attribuire al lavaggio delle botti effettuato nei giorni immediatamente precedenti ai monitoraggi

A parte questi casi, i valori rilevati in uscita hanno mostrato di essere tendenzialmente inferiori e abbastanza vicini a quelli di entrata, limitando in questo modo le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita di questo parametro.

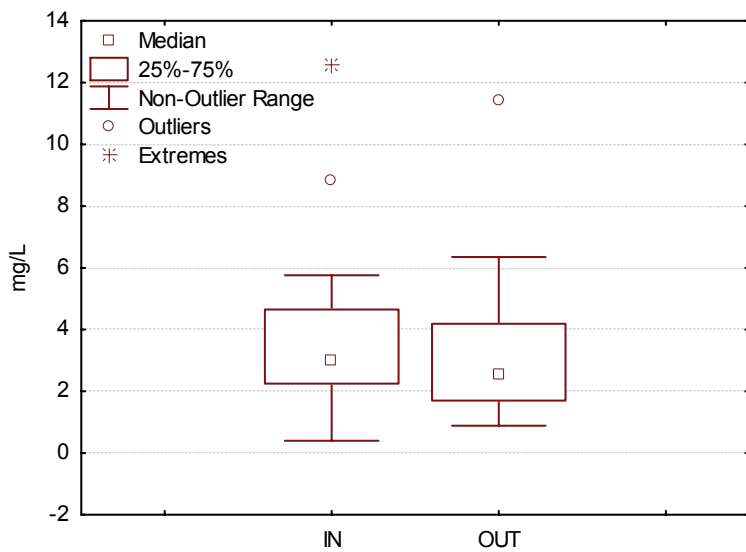
Tale aspetto è confermato dal Grafico 45, che mostra una netta somiglianza tra le mediane e i primi tre quartili delle due popolazioni di dati; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

Il Grafico 45 inoltre evidenzia un'elevata variabilità dei dati relativi alle variazioni percentuali tra ingresso e uscita, con valori estremi di -190% e 93%, la metà della popolazione compresa tra il -62% e il 50% ma la mediana posta appena sopra lo 0%.

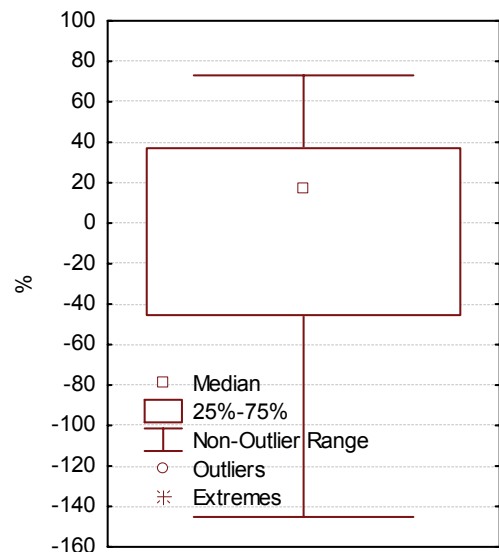
### 5.2.2.9. Fosforo totale



**Grafico 47** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5).



**Grafico 48** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 49** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Osservando il Grafico 47, si individua una netta correlazione tra le variazioni dei contenuti totali di Fosforo nei reflui campionati a monte e a valle dell’impianto.

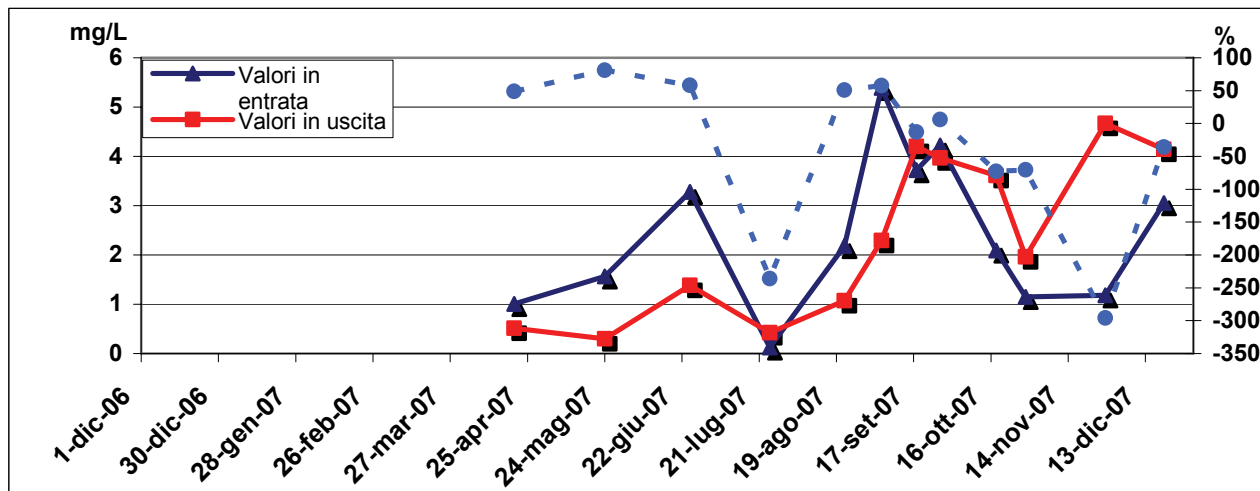
Nonostante le eccezioni di inizio ottobre e novembre, riconducibili in ogni caso ai 5 giorni di residenza della vasca di fitodepurazione, i valori dei reflui in uscita hanno seguito le marcate oscillazioni di quelli in entrata raggiungendo valori di poco inferiori o equivalenti a quelli in entrata.

Anche in questo caso il limite di legge previsto è stato superato dai reflui in entrata nella quasi totalità dei casi, mentre per quelli in uscita si è registrato un minor numero di valori superiori al limite massimo consentito.

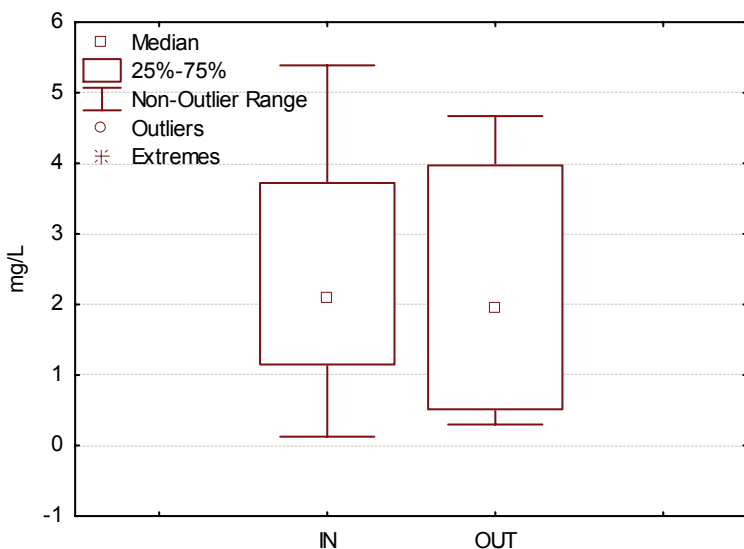
Il Grafico 48 conferma le scarse differenze che intercorrono tra queste due popolazioni di valori e che presentano valori molto simili in quanto a variabilità, mediana, estremi e quartili interni; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

Il valore leggermente inferiore della mediana e del primo quartile relativi ai reflui in uscita spiegano comunque il valore della mediana vicino al 20% nel Grafico 49, dove, assieme ad una notevole variabilità delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita registrate per questo parametro, si nota che il 50% dei valori è compreso tra il -40% ed il 40%.

### 5.2.2.10. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 50** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 51** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 52** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Anche in questo caso, l’andamento dei valori di Ortofosfato nei reflui denota minime differenze tra le concentrazioni a monte e a valle dell’impianto, presentando invece una chiara connessione tra le variazioni dei reflui in entrata ed uscita.

Negli ultimi quattro mesi di monitoraggio si è evidenziata la costante presenza di valori più alti nei reflui in uscita rispetto a quelli in entrata, ma, osservando l'andamento della curva del Fosforo totale negli stessi mesi, si ipotizza che ciò sia dovuto al tempo idraulico di ritenzione.

Confrontando il Grafico 50 e il Grafico 52 si può notare come, sebbene le variazioni percentuali tra ingresso e uscita abbiano evidenziato una forte variabilità fluttuando tra valori compresi tra il -240% e l'80%, la mediana è assestata sullo 0%.

Questo aspetto viene infine confermato analizzando il Grafico 51, che illustra la scarsa differenza tra le due popolazioni di dati: nonostante l'insieme dei valori in uscita sia caratterizzata da una maggiore variabilità della popolazione contenuta nel II e III quartile ed estremi più contenuti, il valore della mediana è molto vicino a quella dei valori in entrata; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 13).

	<b>Mediana IN</b>	<b>Mediana OUT</b>	<b>Diff. Signif. IN-OUT</b>	<b>Variazione %</b>	<b>Limiti 152/06</b>	<b>% IN &gt; Limiti</b>	<b>% OUT &gt; Limiti</b>
<b>T (°C)</b>	18,4	17,75		4 %			
<b>pH</b>	6,88	6,68		3 %	6<x<8	25 %	8 %
<b>E.C. (mS/cm)</b>	6,52	6,77	n.s.	- 4 %			
<b>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	0,18	0,21	n.s.	- 14%			
<b>N tot (mg/L)</b>	16,95	9,63	*	43 %	15 mg/L	69 %	8 %
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,76	0,54	n.s.	29 %			
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	5,43	3,05	*	44 %			
<b>COD (mg/L)</b>	295	308	n.s.	- 4 %	100 mg/L	85 %	77 %
<b>P tot (mg/L)</b>	3,01	2,55	n.s.	15 %	2 mg/l	85 %	69 %
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	2,09	1,96	n.s.	6 %			

**Tabella 13** – Tabella riassuntiva dei parametri dell'impianto B

La Tabella 13 evidenzia innanzitutto un aumento dei parametri Conducibilità elettrica, Ossigeno disciolto e COD dei reflui in uscita rispetto quelli in entrata. Nel primo caso ciò è da addebitarsi all'evapotraspirazione avvenuta nel letto vegetato che ha aumentato la concentrazione delle acque reflue, mentre l'aumento dell'Ossigeno è da ricondurre all'aerazione del medium operata dalle radici delle piante di *Phragmites*.

L'innalzamento della mediana dei valori di COD rilevati in uscita rispetto a quelli in entrata è invece interpretabile ricordando il problema legato al monitoraggio istantaneo e alla rapida variabilità temporale di questa tipologia di reflui.

Nonostante le problematiche causate dalle caratteristiche del refluo si sono comunque riscontrate delle discrete variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, in particolare per i parametri dell'Azoto totale e ammoniacale, che sono stati peraltro gli unici a registrare una differenza significativa (\*) tra le mediane dei valori in entrata ed in uscita dall'impianto.

I limiti per gli scarichi recapitanti su suolo prevista dal D. Lgs. 152/06 sono comunque stati superati per tutti i parametri, attenuando in ogni modo la situazione che si sarebbe presentata in mancanza dell'installazione di una vasca di fitodepurazione.

Se i valori di pH e Azoto totale in entrata eccedevano i limiti di legge rispettivamente nel 25% e 69% dei casi, in uscita per entrambi i parametri tale situazione si è verificata solo nell'8% dei casi.

Più problematico invece è stato l'abbattimento dei valori di COD e Fosforo totale: infatti, a fronte di percentuali di superamento in entrata pari a 85% per entrambi i parametri, a valle dell'impianto si eccedevano ancora i limiti rispettivamente nel 77% e nel 69% dei casi.

## Dimensionamento dell'impianto B

Come hanno evidenziato i risultati ottenuti per le acque in uscita dall'impianto, ovvero le alte frequenze di superamento dei limiti di legge –soprattutto per i parametri relativi al COD e al Fosforo Totale (Tabella 13)- l'impianto in considerazione risulta sottodimensionato.

Per questo motivo, utilizzando i dati reali rilevati in questo lavoro anziché quelli forniti dalla cantina, è stato calcolato quale sarebbe stata la superficie del letto vegetato effettivamente necessaria a garantire un adeguato abbattimento dei parametri previsti dal D.Lgs. 152/06.

Impiegando il modello di dimensionamento consigliato nelle Linee guida APAT, ovvero Reed, Crites e Middelbrooks (1995) e considerando i valori medi del volume e del parametro più elevati registrati durante il periodo più critico dell'anno, quindi nella vinificazione (rispettivamente 5,48 m<sup>3</sup>/d e di 2842 mg/L di COD) si ottiene una superficie del letto vegetato pari a circa 113 m<sup>2</sup> anziché gli attuali 30 m<sup>2</sup>.

$$A_s = \frac{Q}{K_T \cdot y \cdot n} \ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right)$$

$$Q = 5.5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

$$K_T = 0,582 \text{ d}^{-1}$$

$$y = 1 \text{ m}$$

$$n = 0,35 \%$$

$$\ln(C_i / C_e) = 4,263$$

$$A_s = 5.5 / (0,582 * 0.75 * 0,35) * 4,263 = \mathbf{113 \text{ m}^2}$$

Nelle vicinanze dell'attuale impianto però non vi è spazio sufficiente per aggiungervi un'ulteriore vasca di circa 80 m<sup>2</sup>, quindi l'unica soluzione praticabile sarebbe la costruzione di una vasca a flusso sub-superficiale verticale osta in batteria a quella esistente.

Le Linee Guida APAT, utilizzate come riferimento per questo lavoro, a tal riguardo specificano che per il dimensionamento di impianti v-SSF non esistono formule affidabili basate sul COD, ma suggeriscono che empiricamente si può dimensionare un impianto a flusso sub-superficiale verticale ponendo che la sua area superficiale sia il 50% di quella di un impianto a flusso sub-superficiale orizzontale dimensionato utilizzando i medesimi parametri nel modello di Reed, Crites e Middelbrooks (1995).

Il letto vegetato a flusso sub-superficiale verticale aggiuntivo dovrebbe quindi essere dotato di un'area superficiale di 40 m<sup>2</sup>; attuando la soluzione consigliata dalle Linee Guida APAT, si



dovrebbe quindi suddividere il letto vegetato in due vasche per permettere l'alternanza delle fasi dicarico.

In tal modo si otterrebbero due vasche di 20 m<sup>2</sup> ognuna poste in parallelo a valle del letto vegetato a flusso sub-superficiale orizzontale: a giorni alterni, il refluo uscito da quest'ultimo verrebbe distribuito su una delle vasche mentre l'altra verrebbe lasciata "a riposo" per ridurre lo stress delle piante e della flora batterica.

L'applicabilità di questa soluzione è confermata dal calcolo del volume dei vuoti presente in ognuna delle due sottovasche:

$$\text{Volume dei vuoti} = y * n * A_s$$

$$\text{Volume dei vuoti} = 1 \text{ m} * 0,35\% * 20 \text{ m}^2 = 7 \text{ m}^3$$

Ricordando che il volume massimo di refluo in entrata è stato stimato attorno ai 5,48 m<sup>3</sup>, si può quindi stabilire con un appropriato margine di sicurezza che ognuna delle due vasche è correttamente dimensionata per trattare le acque reflue anche nei periodi di massimo carico.



## 5.3. Impianto C – Abitazione, h-SSF

### 5.3.1. Vegetazione

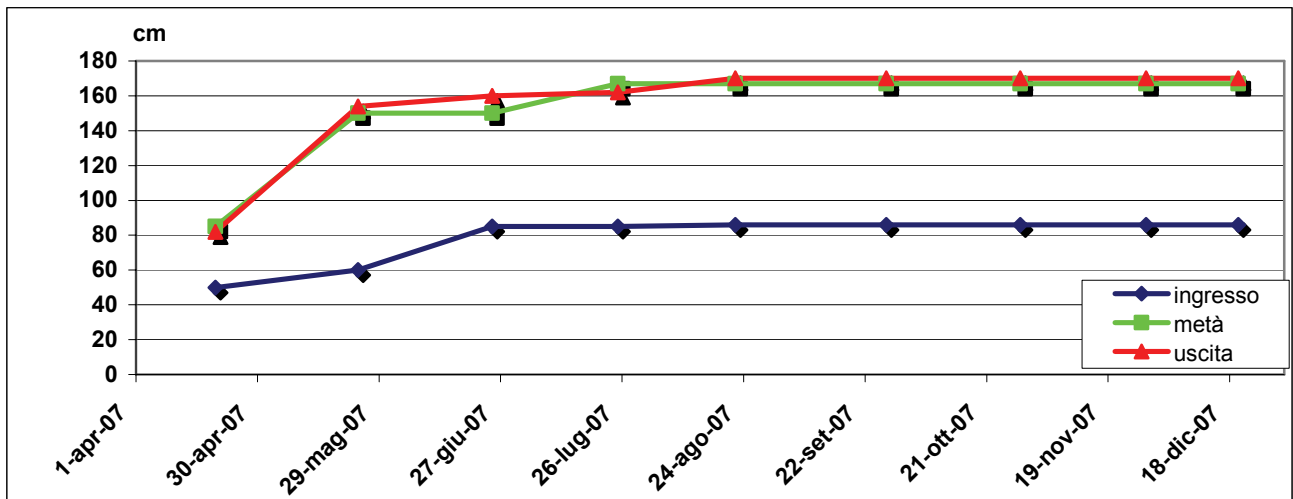


Grafico 53 - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

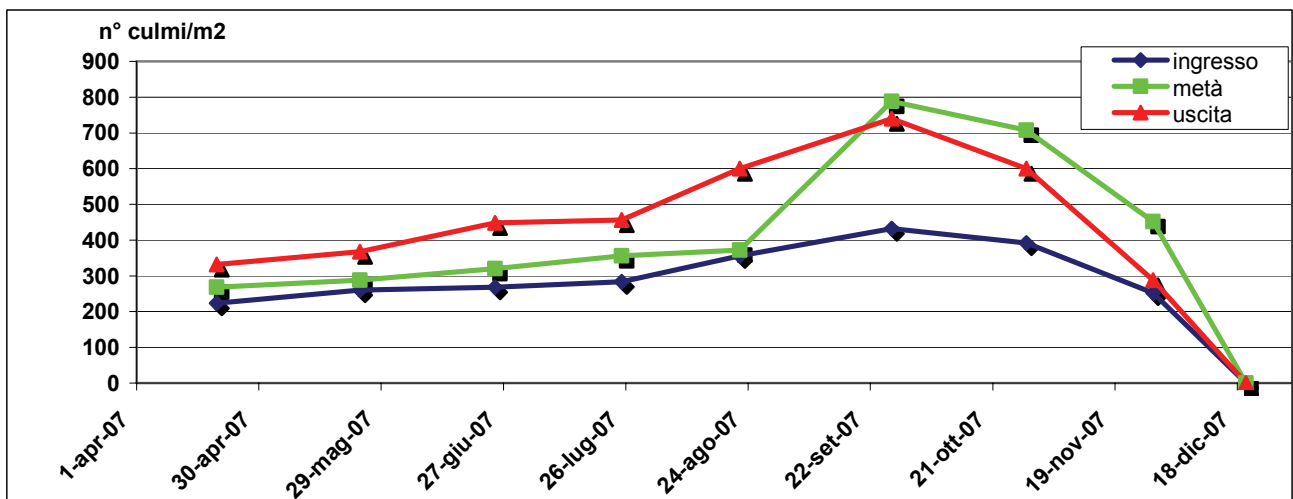


Grafico 54 - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

Anche in questo impianto le differenti risposte della vegetazione hanno evidenziato una sofferenza delle piante poste in prossimità delle zone di carico.

Confrontando infatti i valori delle acque in entrata in questo impianto con quelli degli altri impianti trattanti reflui civili, si è notato che le concentrazioni di Azoto ammoniacale erano particolarmente alte rispetto all'impianto A (h-SSF) ma confrontabili con quelle relative all'impianto D (v-SSF), dove non si sono evidenziate sofferenze della vegetazione.

In quest'ultimo caso però il refluo usciva fortemente depurato se confrontato con l'impianto in esame, segno questo che probabilmente la distribuzione verticale del liquame, favorendo un'immediata ossidazione dell'Azoto ammoniacale, ha ridotto fortemente lo stress della vegetazione.

Come si può vedere dal Grafico 53 infatti le piante poste in testa al letto vegetato sono quelle che hanno raggiunto un'altezza inferiore (appena 80 cm, 40 cm meno di quelle all'inizio dell'impianto B), concludendo lo sviluppo già a giugno.

Le piante di *Phragmites australis* nate a metà e fine impianto invece hanno continuato a crescere fino ad agosto, arrivando a misurare mediamente 170 cm, 10 cm più di quanto non fossero cresciute quelle in testa all'impianto A.

Anche sotto il profilo della concentrazione di culmi, le piante a metà e fine impianto hanno avuto prestazioni simili e superiori a quelle vicino all'ingresso, raggiungendo i 700-800 culmi/m<sup>2</sup>, un numero di poco superiore a quello riscontrato all'inizio dell'impianto A e quasi doppio in confronto alla prima parte dell'impianto in oggetto.

Passando ad analizzare le dinamiche di emissione di nuovi germogli (Grafico 54), si può notare come in questo caso l'aumento di concentrazione dei culmi sia progredito lungo tutto l'impianto fino a settembre, mentre il massimo di tale valore era stato raggiunto ad agosto e luglio nel caso rispettivamente degli impianti A e B.

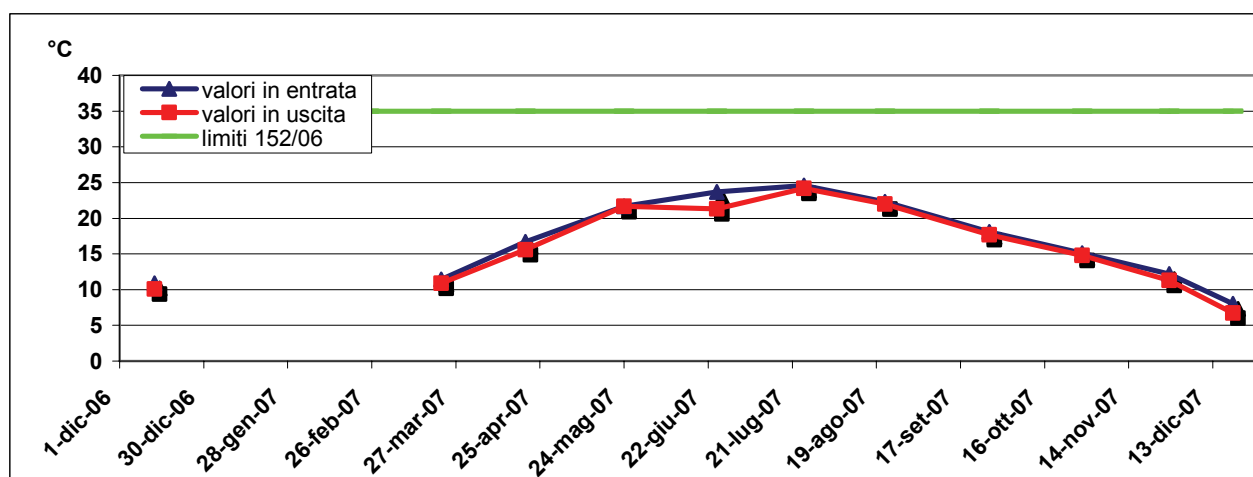
Infine, come nell'impianto B a settembre la concentrazione di culmi per m<sup>2</sup> a metà impianto ha superato quella della zona finale, attestandosi su valori superiori fino al termine della stagione vegetativa.

### 5.3.2. Rese depurative

L'impianto in esame è utilizzabile come sorta di punto di riferimento per la lettura degli altri, in quanto sotto molti punti di vista rappresenta un classico impianto di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale trattante reflui domestici.

Il monitoraggio ha evidenziato che i valori dei reflui in ingresso si sono rivelati molto simili dal punto di vista delle concentrazioni a quelli rilevati per l'impianto D (v-SSF), mentre le rese depurative sono state tendenzialmente inferiori, anche se comunque positive.

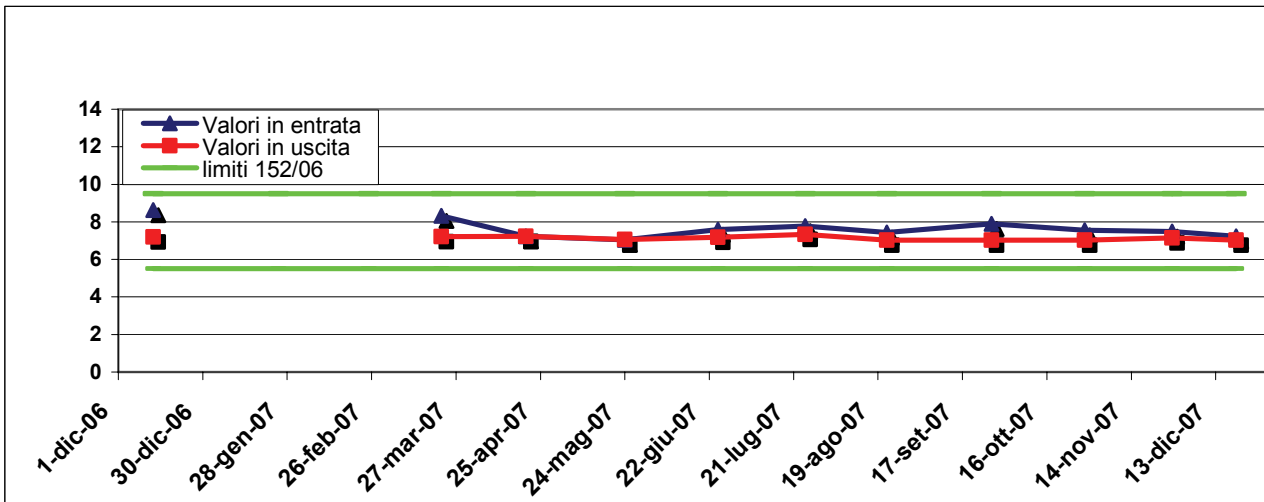
#### 5.3.2.1. Temperatura



**Grafico 55** – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Il grafico qui mostrato denota come durante tutto l'anno la temperatura del flusso in uscita sia praticamente identica a quella del refluo in entrata e come nemmeno al luglio, quando si raggiungono i 25°C, non si raggiunga il limite fissato dal D. Lgs. 152/06

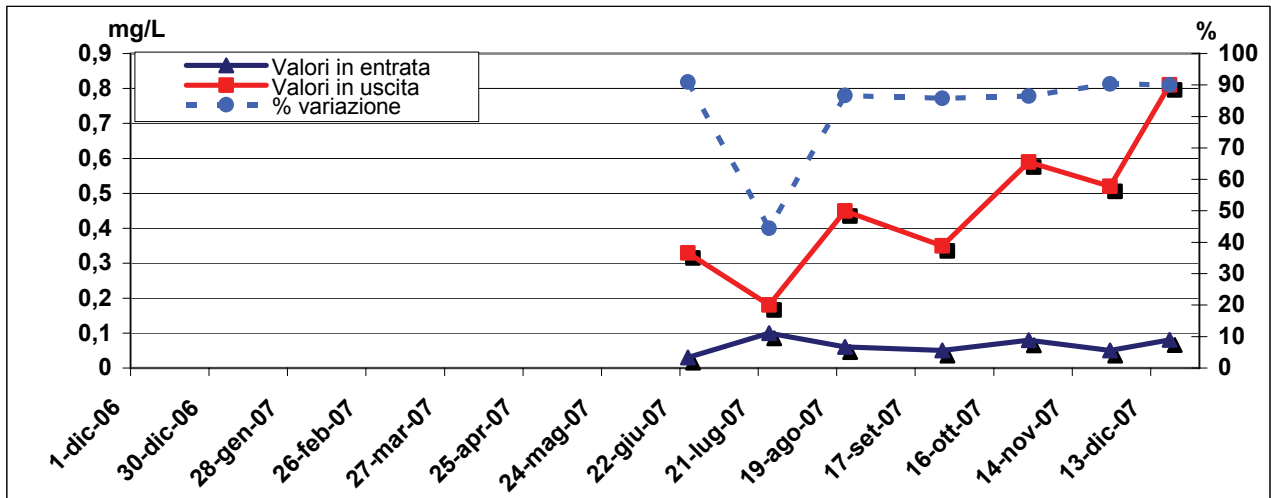
### 5.3.2.2. pH



**Grafico 56** – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Osservando il Grafico 56, si può notare come il pH dei reflui durante tutto l’anno abbia subito minime variazioni all’interno del letto vegetato, mantenendosi sempre attorno a valori neutri. Anche questo parametro è sempre rimasto all’interno dell’intervallo imposto dal D. Lgs. 152/06, compreso tra 5,5 e 9,5.

### 5.3.2.3. Ossigeno disciolto



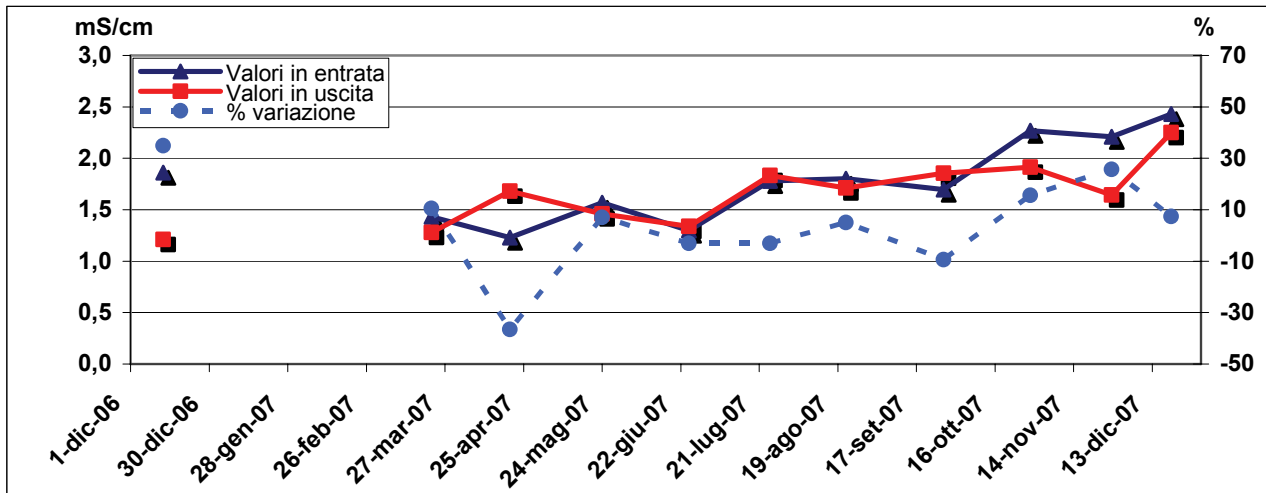
**Grafico 57** – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 57 mostra come l’Ossigeno contenuto nel refluo in uscita (mediamente tra gli 0,2 e gli 0,8 mg/L) sia sempre stato marcatamente superiore a quello nel refluo in entrata, solitamente caratterizzato da valori oscillanti tra gli 0,01 e gli 0,1 mg/L.

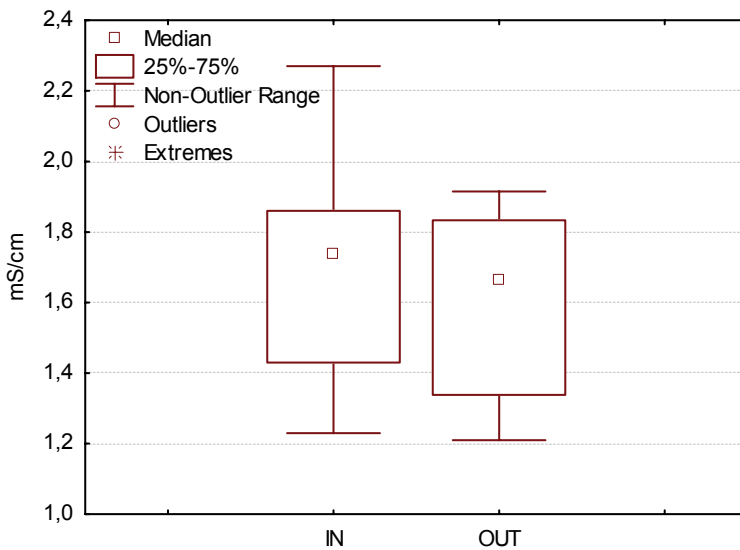
Questo aspetto ha fatto sì che durante il periodo monitorato siano state riscontrate variazioni percentuali tra ingresso ed uscita della concentrazione di Ossigeno attorno al 90%, con un minimo di 45% rilevato solo a luglio.

Inoltre è da notare come il contenuto di questo elemento nei reflui in uscita abbia un trend caratterizzato da un costante aumento durante l’intero monitoraggio, probabilmente da addebitare al progressivo insediamento della vegetazione.

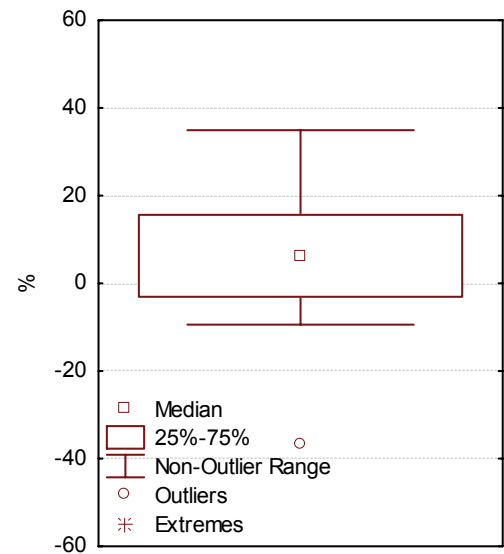
### 5.3.2.4. Conducibilità elettrica



**Grafico 58** - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 59** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 60** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Dall'analisi del Grafico 58 si può vedere come, a parte nei casi osservati a marzo, ottobre e novembre, i valori registrati nei reflui in uscita ricalchino sostanzialmente quelli dei flussi in entrata.

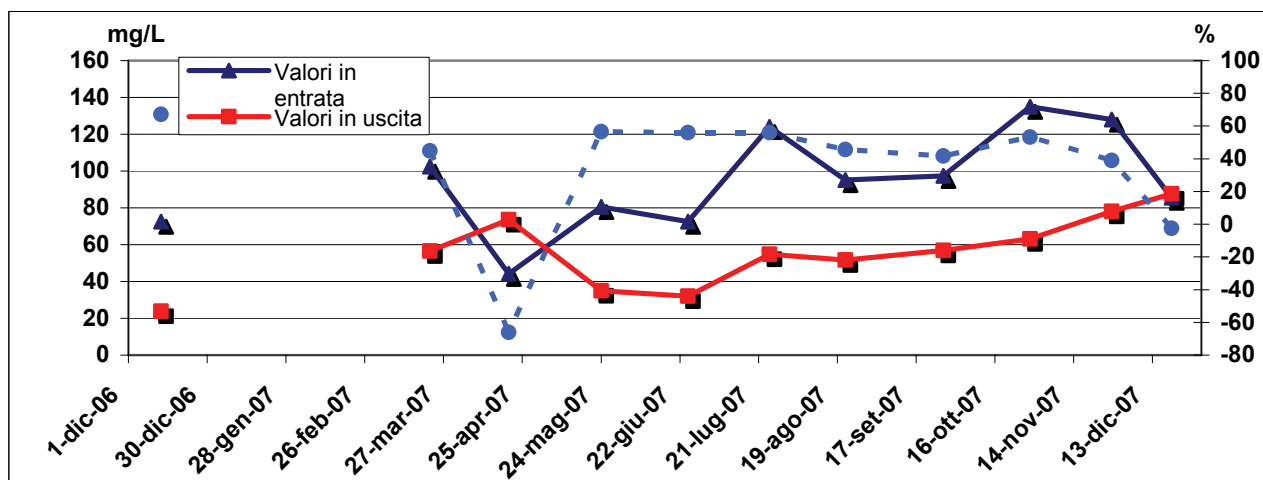


Da un'analisi più attenta si può individuare una debole crescita dei valori sia in entrata che in uscita se si considera che tra febbraio e giugno i valori erano mediamente attorno agli 1,5 mS/cm, fino ad arrivare tra ottobre e dicembre 2007, quando erano vicino ai 2,3 mS/cm.

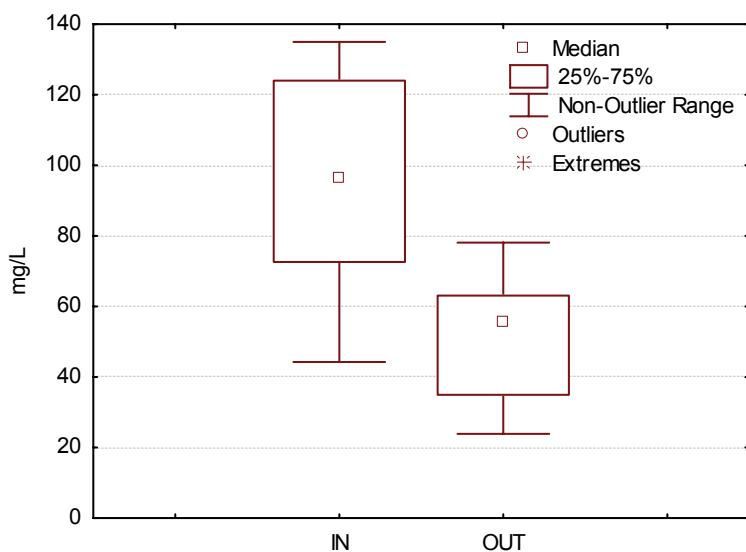
Il Grafico 59, relativo alla distribuzione statistica delle due popolazioni di dati, mostra come i reflui in uscita presentino un valore massimo e l'estremo inferiore del secondo quartile inferiori a quelli della popolazione dei reflui in entrata, mentre i rispettivi valori massimi, gli estremi superiori e le mediane sostanzialmente si equivalgono; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno comunque presentato differenze significative (vedi Tabella 14).

Il Grafico 60, infine, riporta la ridotta variabilità presente nella distribuzione della popolazione delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, tutti compresi tra il -7% e il 36%, con la mediana situata poco sotto il 10% e con la metà della popolazione compresa tra il -5% ed il 17%.

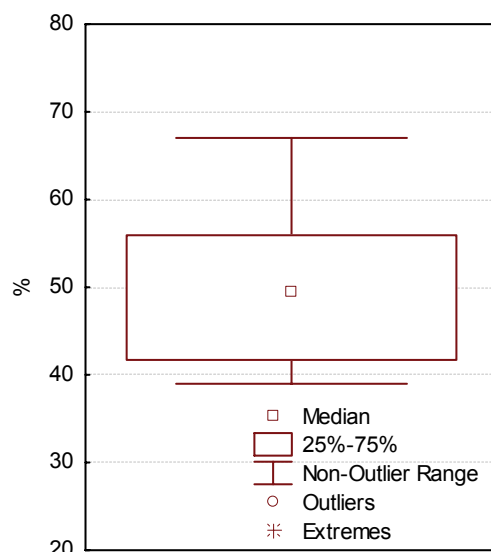
### 5.3.2.5. Azoto totale



**Grafico 61** - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 62** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 63** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

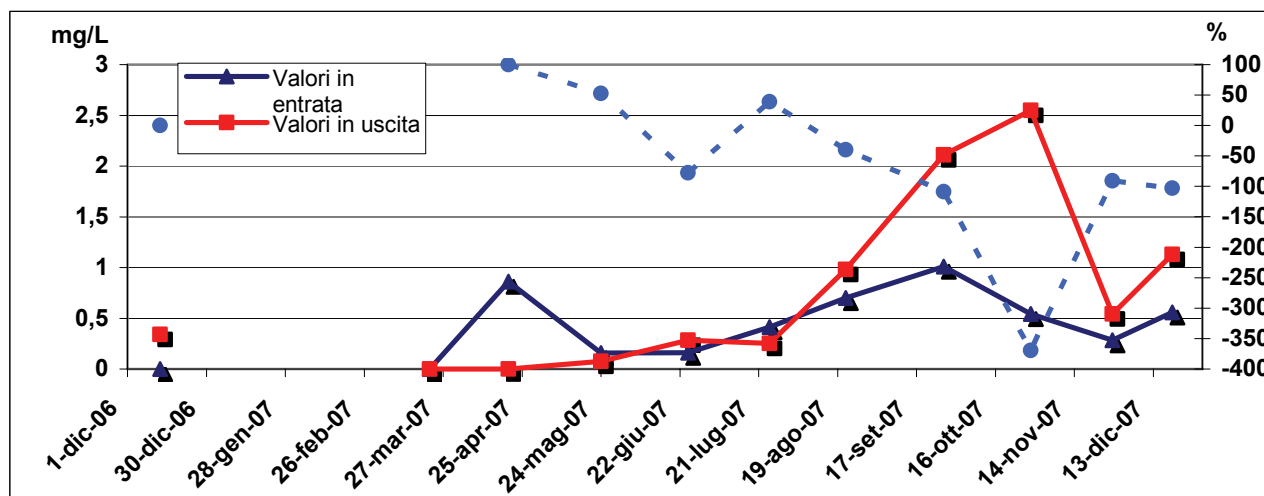
Il Grafico 61 relativo all'andamento temporale delle concentrazioni di Azoto totale nei reflui, mostra una sostanziale omogeneità dei valori in entrata (mediamente compresi tra gli 80 mg/L e i 120 mg/L) ed una ancor maggiore dei valori in uscita, di solito sotto gli 80 mg/L e, ad eccezione che in marzo, inferiori a quelli in entrata;

Le rese depurative durante la maggior parte dell'anno sono rimaste quindi costantemente comprese tra il 40% ed il 60%.

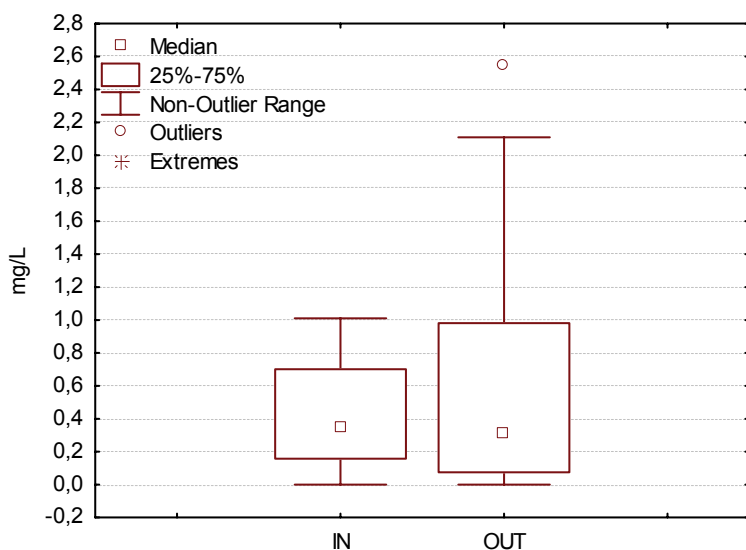
Il Grafico 62 sottolinea la minore variabilità dei dati rilevati nei reflui in uscita, caratterizzati da una mediana più bassa (45 mg/L anziché 97mg/L) e valori massimi e minimi più contenuti rispetto ai dati riscontrati in entrata; il test statistico effettuato ha confermato infatti che le due popolazioni di dati presentano differenze altamente significative (vedi Tabella 14).

Il Grafico 63 evidenzia infine una popolazione di valori, legati alle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, sempre positivi -a parte il valore di marzo: -68%, individuato dal programma di elaborazione come "esterno" alla popolazione-, nel 50% dei casi compresi tra il 42% e il 56%, con una mediana vicina al 50%.

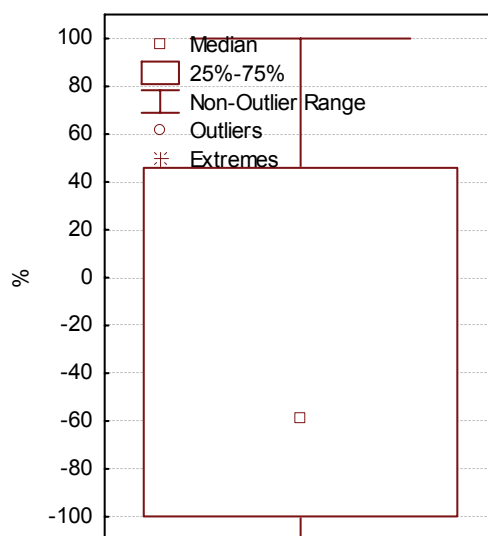
### 5.3.2.6. Azoto Nitrico ( $N_{NO_3^-}$ )



**Grafico 64** – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde -20 mg/L, non visualizzata per migliorare la leggibilità del grafico- indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 65** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 66** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

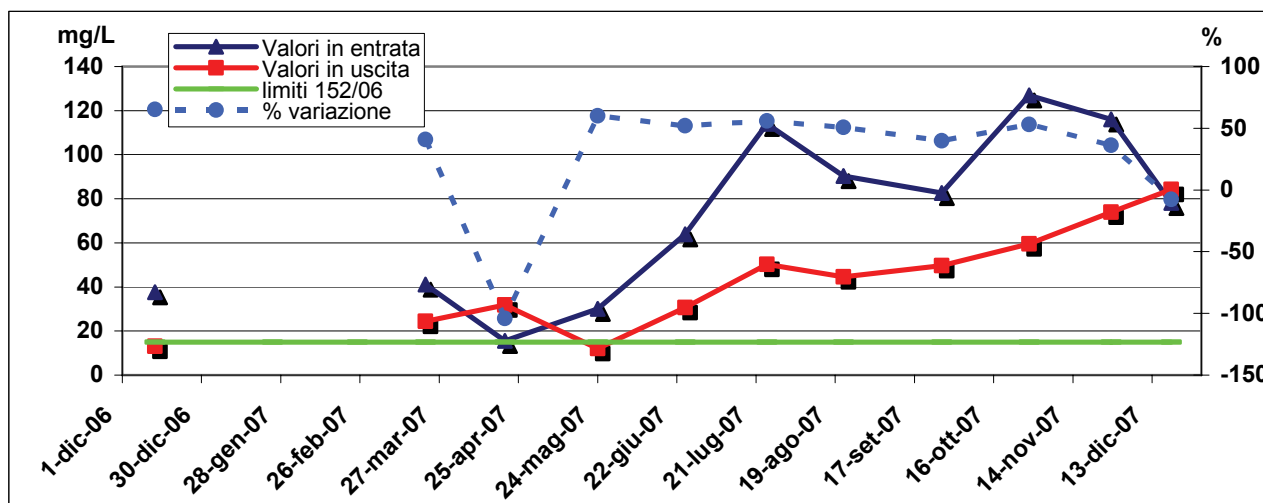
Nel Grafico 64 si nota come ad una sostanziale stabilità nel modesto contenuto di Azoto nitrico da parte dei reflui in entrata (sempre compresi tra 0 mg/L ed 1 mg/L) si contrappone un progressivo e costante aumento dei nitrati a valle dell'impianto.

Questa situazione è da confrontare con l'andamento dell'Ossigeno visto in precedenza nel paragrafo 5.3.2.3: il costante aumento di questo elemento all'interno dell'impianto ha favorito una sempre più marcata nitrificazione del refluo trattato, provocando un progressivo calo della percentuale di variazione tra ingresso ed uscita dal 100%, riscontrata a marzo, al -100% nei mesi di settembre, novembre e dicembre 2007.

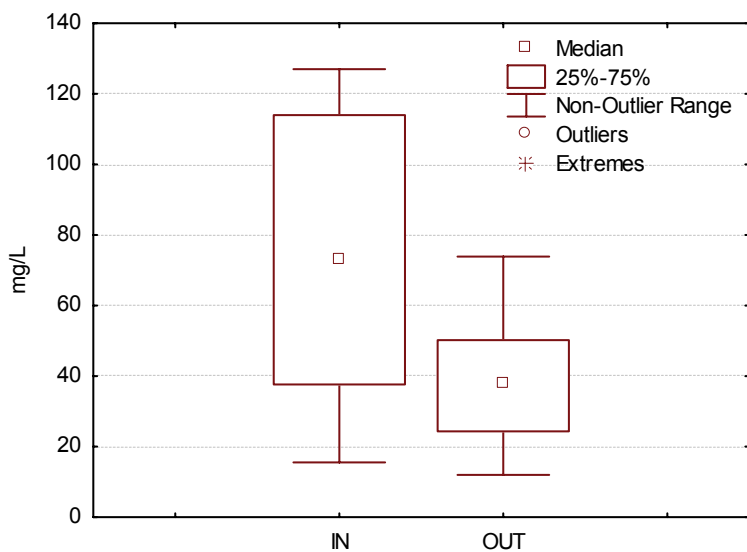
Analizzando il Grafico 65, è confermata la differenza statistica tra le due popolazioni di dati: se il 50% dei valori in entrata era compreso tra gli 0,18 mg/L e gli 0,71 mg/L – con il massimo valore del IV quartile pari ad 1 mg/L ed una mediana di 0,37 mg/L- i valori in uscita erano compresi nel 50% dei casi tra lo 0,08 e 1 mg/L, con un valore massimo di 2,13 mg/L ma una mediana sostanzialmente uguale alla precedente; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno infatti presentato differenze significative (vedi Tabella 14).

Come già anticipato in precedenza, le rese depurative sono state contraddistinte da una forte variabilità, segnando valori estremi di -110% 100%, una mediana sul 60% e la metà dell'insieme dei dati raccolta tra il -100% ed il 44%.

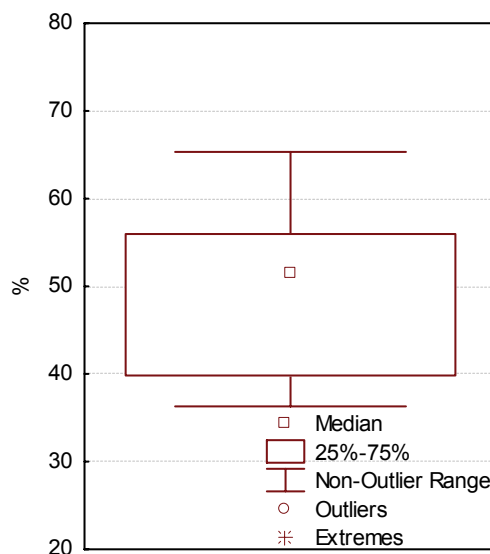
### 5.3.2.7. Azoto Ammoniacale (N\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)



**Grafico 67** – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 68** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 69** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 67 relativo ha evidenziato come a partire da maggio si sia verificato un innalzamento della concentrazione di Azoto ammoniacale sia nei reflui in entrata che in uscita dall’impianto.

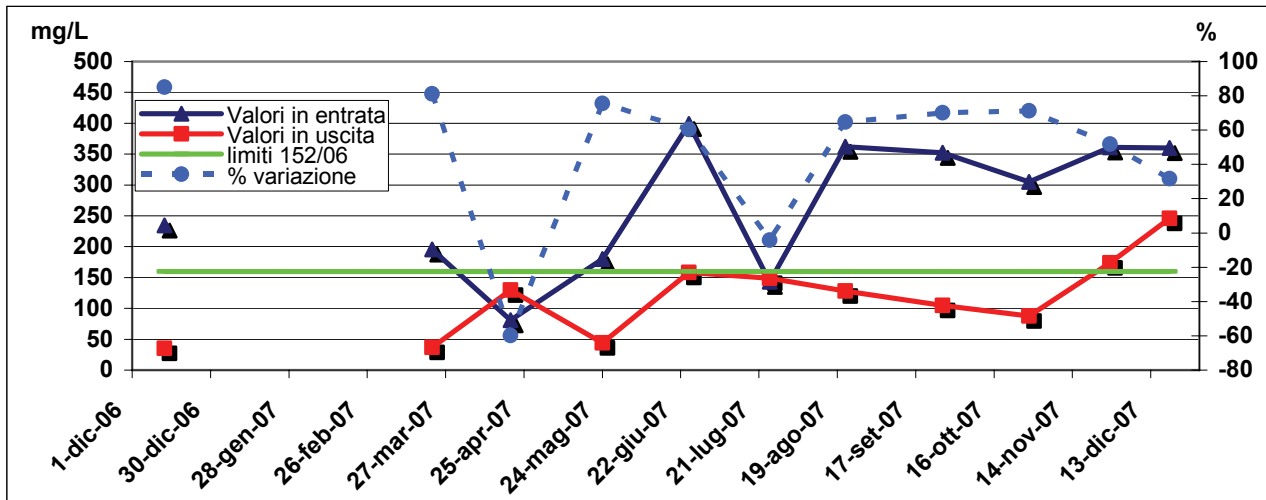
Questi ultimi hanno sempre presentato valori sensibilmente inferiori rispetto ai primi, ad eccezione che in dicembre ed in marzo, quando il refluo a valle dell'impianto ha comunque mostrato superiori valori di conducibilità elettrica, Azoto totale e COD.

Un altro aspetto da sottolineare è che nella quasi totalità dei casi sia i reflui in uscita che in entrata all'impianto hanno superato il limite di legge posto a 15 mg/L.

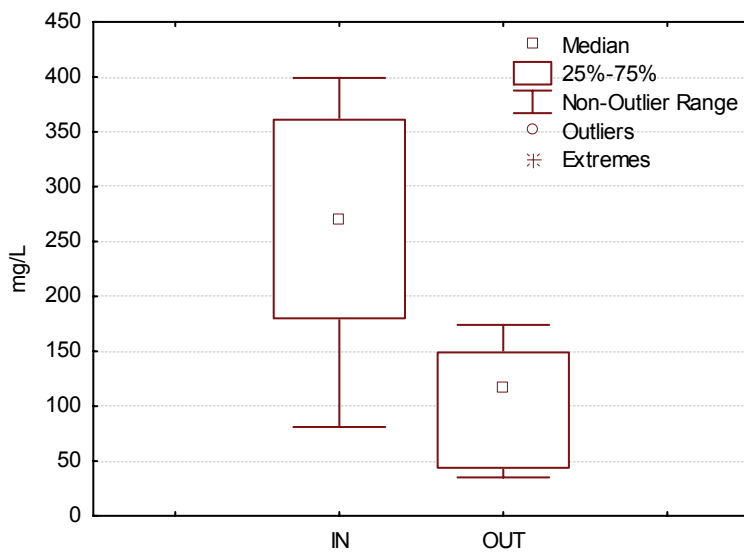
Passando ai grafici a *box and whiskers* (Grafico 68 e Grafico 69) si nota comunque che i valori dei reflui in uscita hanno mostrato di essere sensibilmente inferiori sotto il punto di vista della mediana, dei massimi, dei minimi e del II e III quartile, esibendo al contempo una minore variabilità rispetto ai valori in entrata; il test statistico effettuato ha comunque evidenziato che le due popolazioni di dati non presentano differenze significative (vedi Tabella 14).

Anche il *range* dei valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita si è dimostrato notevolmente ristretto e sempre entro valori positivi, andando da un minimo di 37% ad un massimo di 66%, mentre il 50% dei casi era compreso tra il 40 e il 56% e la mediana poco superiore al 50%.

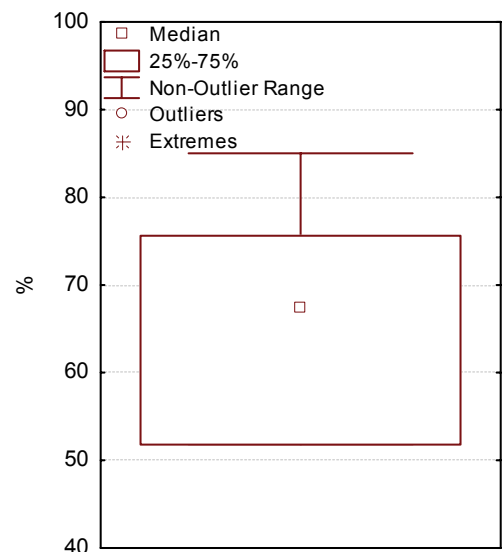
### 5.3.2.8. COD



**Grafico 70** - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 71** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 72** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

A parte nei monitoraggi eseguiti nei mesi di marzo e luglio, i valori di COD in entrata sono sempre stati superiori a quelli dei reflui in uscita, mostrando dopo giugno una certa stabilità attorno a valori compresi tra 300 mg/L e 400mg/L (Grafico 70).



Inoltre, a fronte di una tale variabilità delle misurazioni in entrata –soprattutto nei mesi di marzo e luglio-, i valori dei reflui in uscita hanno evidenziato una notevole costanza rimanendo di sotto il limite di legge ad eccezione che negli ultimi due mesi del 2007.

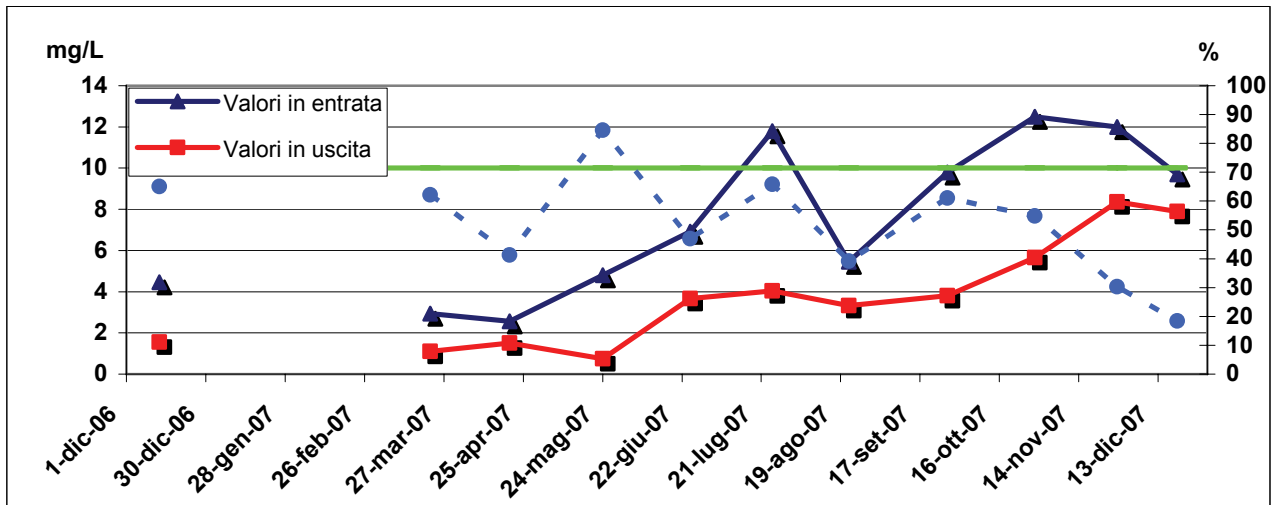
A tal proposito è interessante notare che, a partire da ottobre, ovvero con l'abbassamento delle temperature ed il rallentamento del metabolismo microbico, è calata in modo costante anche l'efficienza di abbattimento percentuale di questo parametro (dal 71 al 31%).

Il Grafico 71 mostra comunque una netta differenza tra le due popolazioni di dati: dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati hanno infatti presentato differenze altamente significative (vedi Tabella 14).

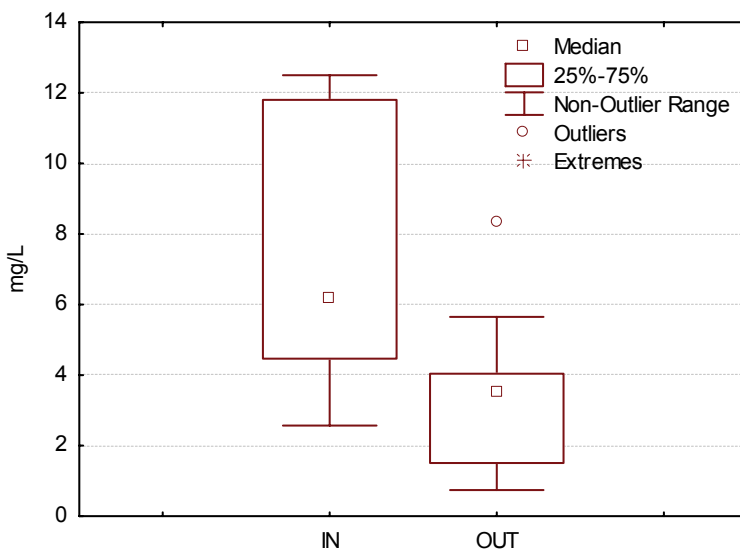
Il valore della mediana dei reflui in uscita è meno della metà di quella dei reflui in entrata, i valori estremi sono più contenuti, la variabilità dei dati è ridotta e il 50% delle misurazioni è compreso tra i 50mg/L ed i 150 mg/L.

Infine il 75% delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita si sono mantenute tra valori compresi tra il 53 e il 76%, mentre la mediana è poco inferiore al valore di 70%.

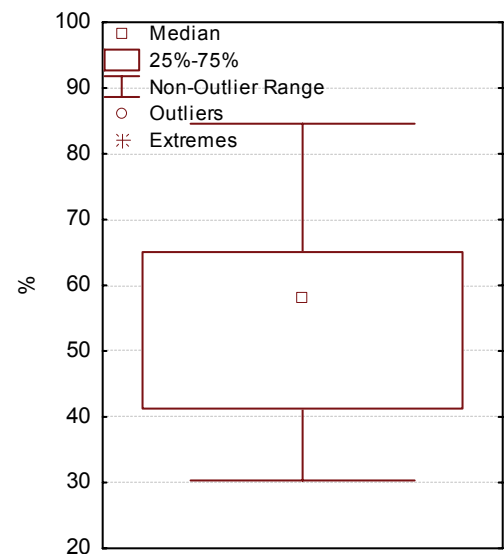
### 5.3.2.9. Fosforo totale



**Grafico 73** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 74** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 75** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

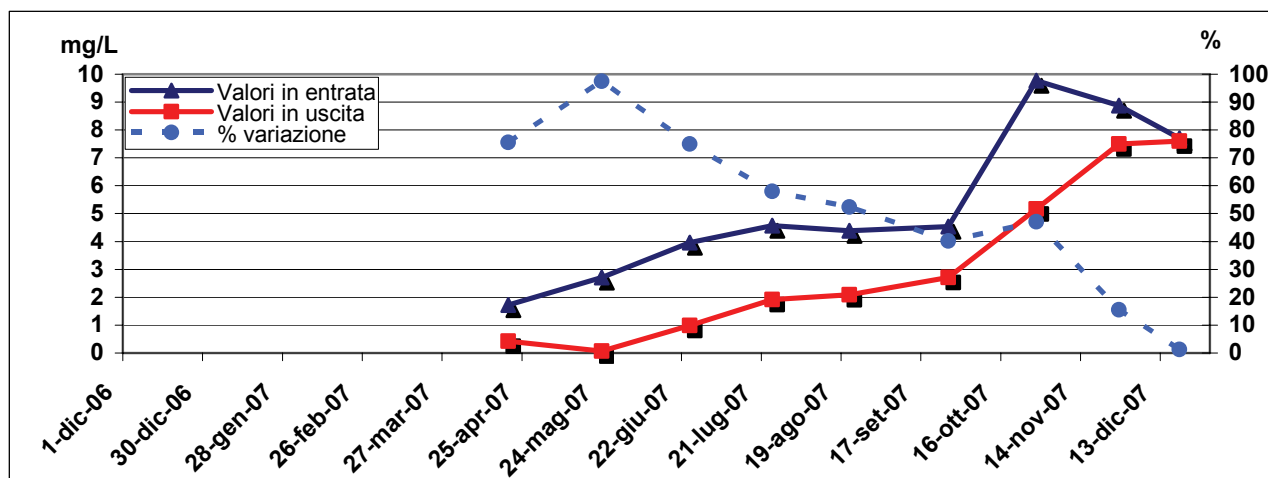
Nel caso di questo parametro da marzo ad ottobre, con l’eccezione di agosto, si può notare (Grafico 73) un aumento piuttosto costante dei valori sia in ingresso che in uscita.

Questi ultimi in ogni caso, a differenza dei primi non hanno mai superato i limiti di legge.

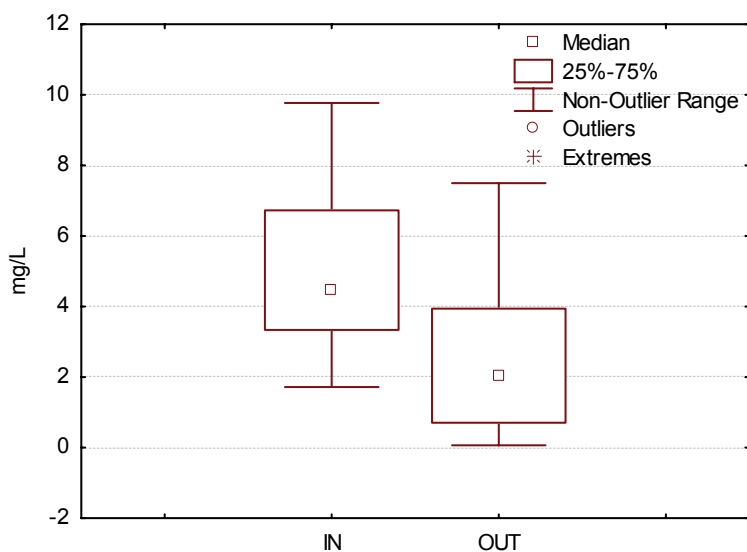
Guardando l'andamento della curva delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita, si evidenzia come nel periodo tra febbraio e settembre le rese depurative abbiano mantenuto valori mediamente prossimi al 60%, mentre a partire da ottobre –con il diminuire dell'attività microbica e vegetativa- si evidenzia un calo da valori prossimi al 90% a poco inferiori al 20%.

Il Grafico 74 mostra comunque un'evidente differenza tra le due popolazioni di dati, definita come statisticamente significativa dal test effettuato (vedi Tabella 14), sia sotto il punto di vista delle concentrazioni che della variabilità, mentre il terzo conferma l'efficienza riscontrata nell'abbattimento di questo parametro, dato che i valori vanno da un minimo del 30% ad un massimo dell'85%, nel 50% dei casi sono compresi tra il 41 ed il 66% e la mediana è poco inferiore al 60%.

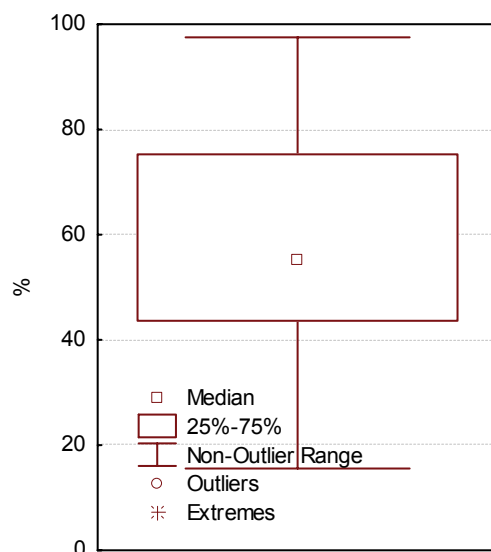
### 5.3.2.10. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 76** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, l’impianto.



**Grafico 77** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 78** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

L’andamento dei valori di Ortosolfato nei reflui ha denotato la tipica stretta connessione tra valori in entrata ed uscita, sempre inferiori ai primi.

Questo aspetto viene infine confermato analizzando il Grafico 77, che illustra la significativa differenza che intercorre tra le mediane, i minimi e il II e III quartile delle due popolazioni di dati;

dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno però presentato differenze significative (vedi Tabella 14).

Osservando la curva delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita si può constatare che a partire dal mese di aprile l'efficienza nella riduzione di questo parametro cala costantemente dal 100% a valori prossimi allo 0%.

Confrontando questo aspetto con il Grafico 78, si nota infatti che il *range* di delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita varia da meno del 20% a quasi il 100%, anche se la metà della popolazione di dati è racchiusa tra il 43% ed il 76% e la mediana è prossima al 60%.

	<b>Mediana IN</b>	<b>Mediana OUT</b>	<b>Diff. Signif. IN-OUT</b>	<b>Variazione %</b>	<b>Limiti 152/06</b>	<b>% IN &gt; Limiti</b>	<b>% OUT &gt; Limiti</b>
<b>T (°C)</b>	16,7	15,6		7 %	35°C	0 %	0 %
<b>pH</b>	7,55	7,15		5 %	5,5<x<9,5	0 %	0 %
<b>E.C. (mS/cm)</b>	1,74	1,66	n.s.	4 %			
<b>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	0,06	0,45	**	-650 %			
<b>N tot (mg/L)</b>	96,26	55,6	**	42 %			
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,35	0,31	n.s.	10 %	20 mg/L	0 %	0 %
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	73,25	38,18	n.s.	48 %	15 mg /L	100 %	80 %
<b>COD (mg/L)</b>	269,75	116,5	**	57 %	160 mg/L	80 %	10 %
<b>P tot (mg/L)</b>	6,19	3,5	*	44 %	10 mg/l	30 %	0 %
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	4,46	2,01	n.s.	55 %			

**Tabella 14** – Tabella riassuntiva dei parametri dell'impianto C

Confrontando le mediane dei parametri relativi ai reflui in ingresso rilevati in questo impianto si può notare come siano assolutamente comparabili con quelli riscontrati nell'impianto D e sensibilmente superiori a quelli dell'impianto A.

Le variazioni percentuali dei valori in uscita rispetto a quelli in ingresso hanno comunque evidenziato rese depurative molto buone, abbattendo in particolar modo le concentrazioni da Azoto totale, COD e Fosforo totale; per quest'ultimo parametro è anche stata rilevata una differenza significativa (\*) tra valori in entrata ed uscita, mentre per i primi due tali differenze sono state segnalate come altamente significative (\*\*).

Nel caso dell'Ossigeno disciolto la percentuale di variazione sulle mediane dei valori in entrata ed uscita ha denotato un aumento dello stesso del 650% a valle dell'impianto, facendo rilevare una differenza altamente significativa con i liquami in entrata e sottolineando pertanto l'entità dell'ossigenazione operata dalle radici delle piante di *Phragmites australis*.

Anche la riduzione dei casi di superamento dei limiti imposti dal D. Lgs. 152/06 ha dato risultati soddisfacenti: se in assenza di un letto vegetato infatti i reflui usciti dalla fossa Imhoff avrebbero superato i valori limite l'80% (COD) e il 30% (Fosforo totale) delle volte, grazie a tale soluzione impiantistica tali limiti sono stati superati rispettivamente nel 10% e nello 0% dei casi.

Una tale prestazione non è stata però riscontrata nel caso dell'Azoto ammoniacale, che, se in ingresso superava le concentrazioni massime consentite nella totalità degli eventi monitorati, in uscita ciò è avvenuto comunque nell'80% dei casi.

## 5.4. Impianto D – Abitazione, v-SSF

### 5.4.1. Vegetazione

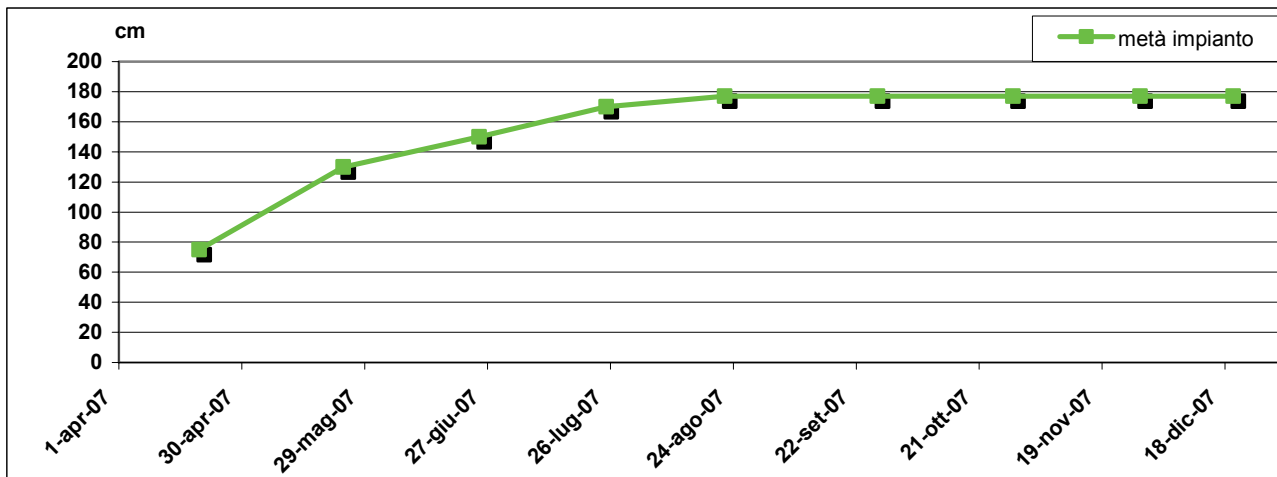


Grafico 79 - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

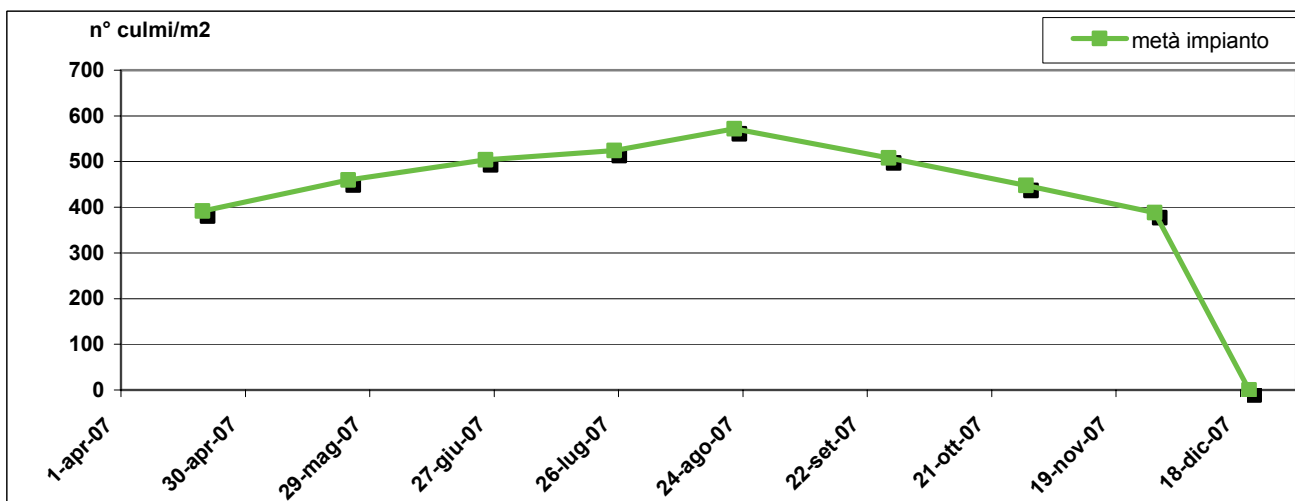


Grafico 80 - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.

Come già accennato, date le dimensioni e la tipologia di distribuzione del refluo di questo piccolo impianto a flusso sub-superficiale verticale, si è deciso di individuare e monitorare un'unica area di saggio collocata nel centro del letto vegetato.

Guardano il Grafico 79, si può notare come l'aumento dell'altezza della vegetazione sia proseguito fino ad agosto, raggiungendo il valore più elevato dei 4 impianti: 180 cm.

Anche l'aumento del numero di germogli (Grafico 80) ha mantenuto un *trend* costante fino ad agosto, raggiungendo però il valore di 600 culmi/m<sup>2</sup>, circa 100 in meno dei massimi riscontrati negli impianti A e C: questa situazione è probabilmente dovuta all'altezza raggiunta da molti culmi che, con la loro ombra, hanno impedito lo sviluppo di quelli più bassi.

In questo impianto infatti fin dalle prime fasi del monitoraggio è stata notata una diffusa moria degli steli di sotto all'altezza media.

L'omogenea distribuzione del refluo dovuta alla tipologia di regime idrico ha comunque garantito un buono sviluppo della vegetazione, sia in relazione all'altezza che alla densità dei culmi.

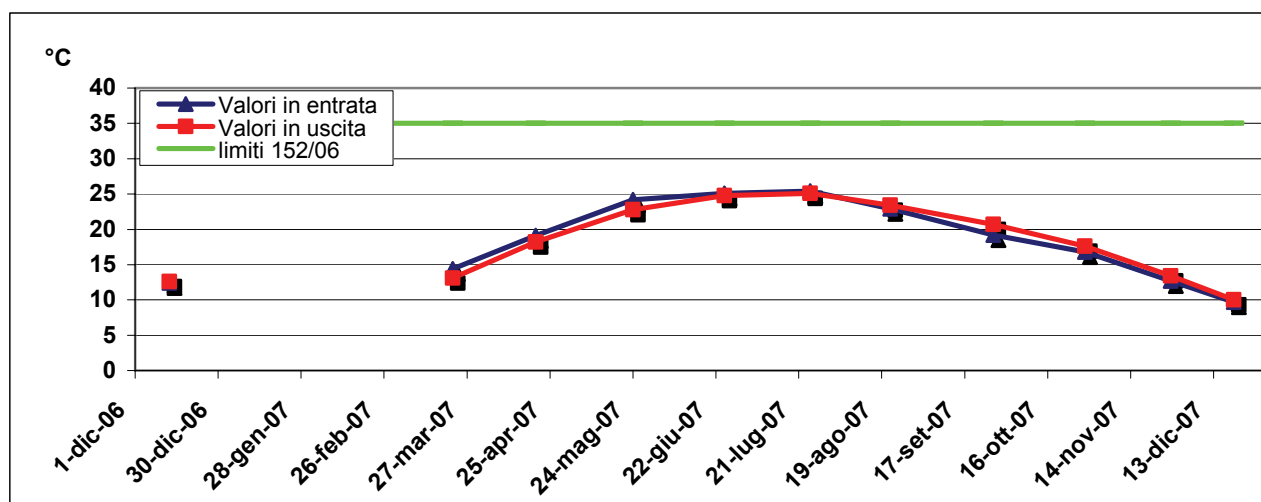


## 5.4.2. Rese depurative

L'impianto D, pur trattando un refluo caratterizzato da concentrazioni dei parametri molto vicine a quelle rilevate nell'impianto C, ha presentato variazioni percentuali tra i valori in ingresso ed in uscita marcatamente superiori.

Le prestazioni rilevate sono da ricondurre soprattutto all'intrinseca capacità di questo tipo di impianto di ossigenare il refluo trattato; tale aspetto ha però portato ad un'elevata ossigenazione dell'Azoto presente nello stesso e alla conseguente formazione di nitrati, che nel 20% dei casi analizzati hanno superato i limiti allo scarico.

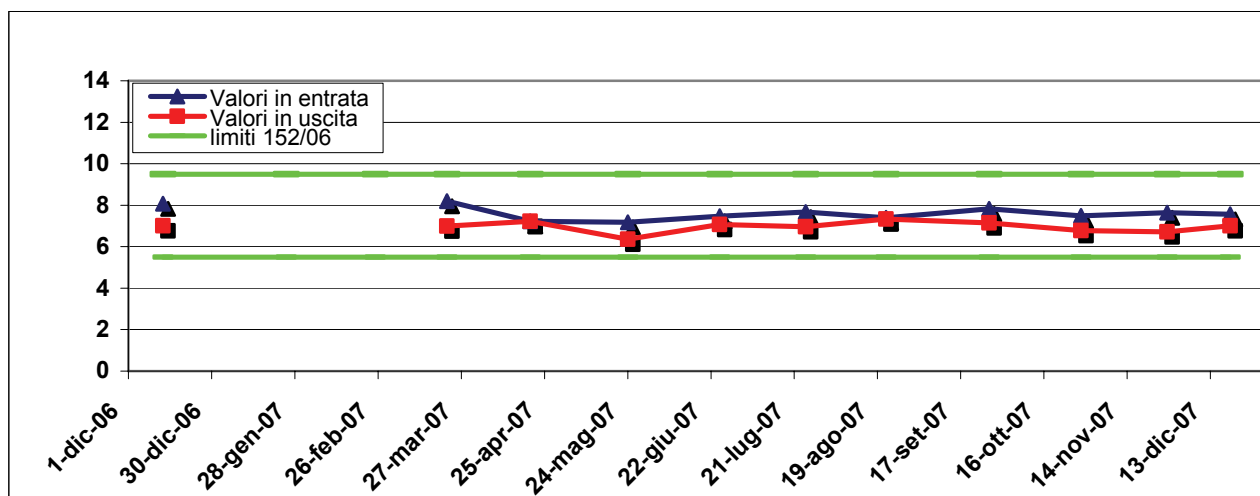
### 5.4.2.1. Temperatura



**Grafico 81** – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Il Grafico 81 denota come durante tutto l'anno la temperatura del flusso in uscita sia la medesima o a volte di poco superiore a quella del refluo in entrata e come nemmeno al luglio, quando si raggiunge la temperatura più alta, non si oltrepassi il limite fissato dal D. Lgs. 152/06

### 5.4.2.2. pH

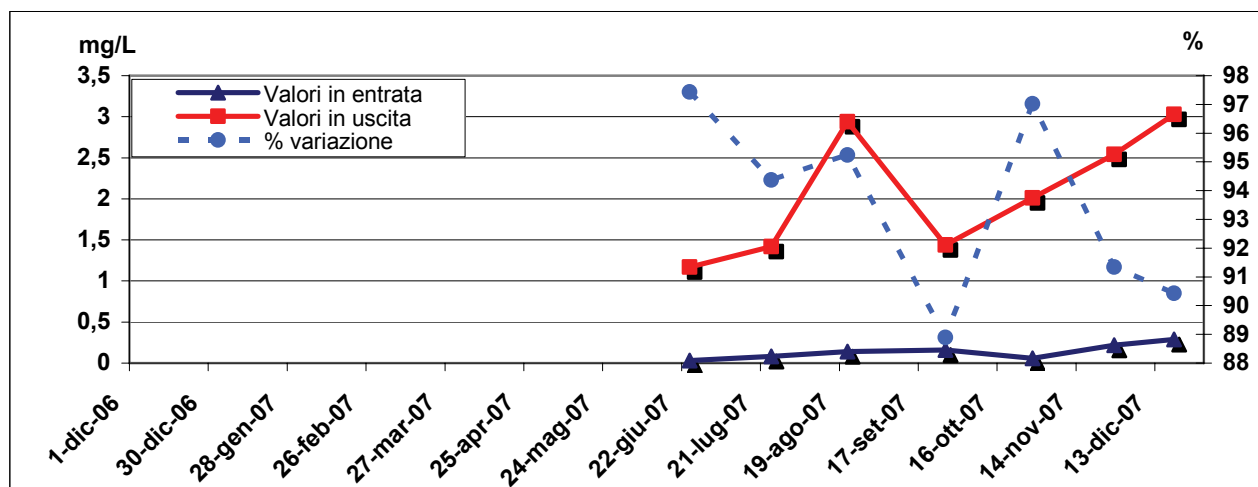


**Grafico 82** – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).

Osservando il Grafico 82 si può notare come il pH dei reflui durante tutto l’anno abbia subito minime variazioni all’interno del letto vegetato, mantenendosi sempre intorno a valori neutri e, nel caso dei reflui in entrata, leggermente più alcalini di quelli in uscita.

Anche questo parametro è sempre rimasto all’interno dell’intervallo imposto dal D. Lgs. 152/06, compreso tra 5,5 e 9,5.

### 5.4.2.3. Ossigeno disciolto



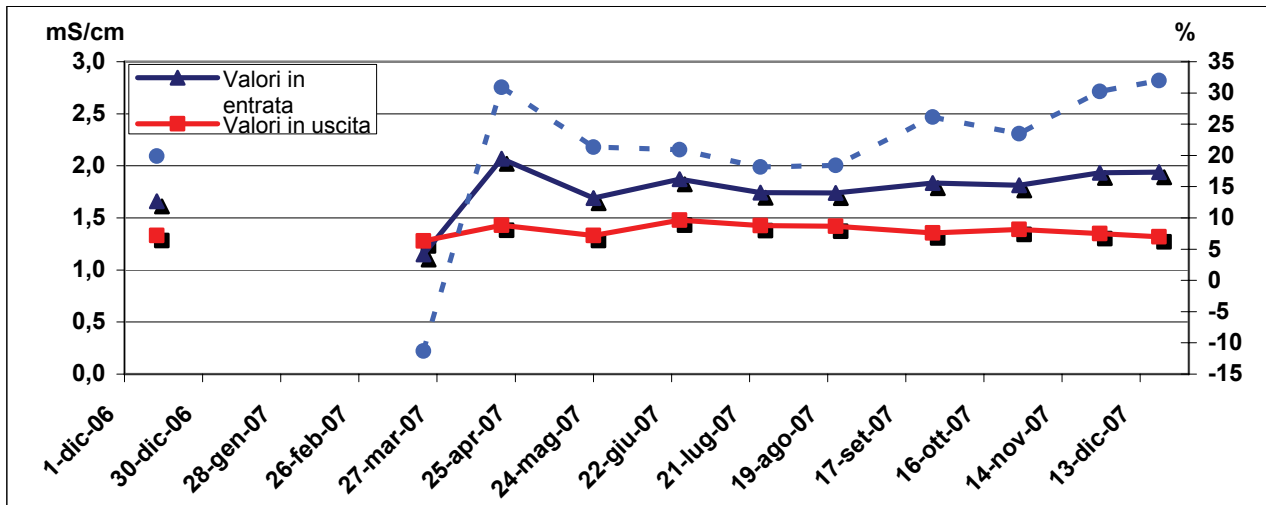
**Grafico 83** – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Il Grafico 83 mostra come l’Ossigeno contenuto nel refluo in uscita (mediamente tra 1,5 e 3 mg/L) sia sempre stato marcatamente superiore a quello nel refluo in entrata, solitamente caratterizzato da valori oscillanti tra gli 0,01 e gli 0,33 mg/L; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati hanno infatti presentato differenze altamente significative (vedi Tabella 15).

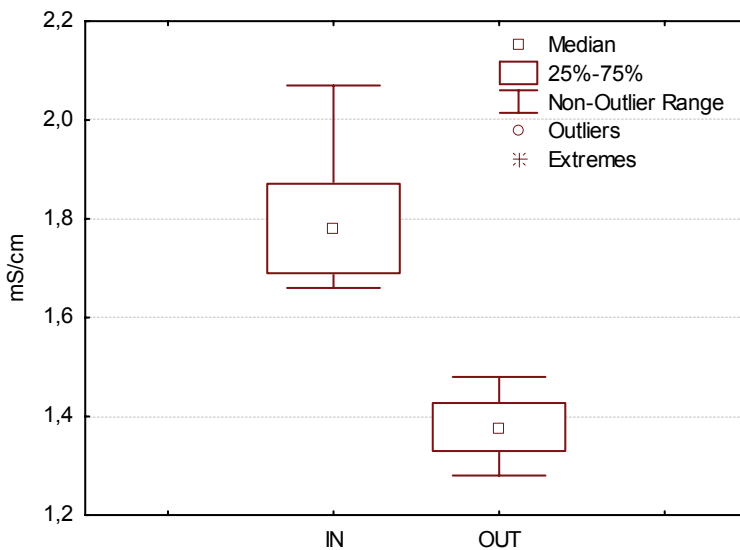
Questo aspetto ha fatto sì che durante il periodo monitorato siano stati riscontrate variazioni percentuali tra ingresso ed uscita della concentrazione di Ossigeno comprese tra il 90 ed il 97%, con un minimo di 89% rilevato solo a settembre.

Inoltre è da notare come il contenuto questo elemento nei reflui in uscita abbia visto *trend* caratterizzato da un costante aumento durante l’intero monitoraggio.

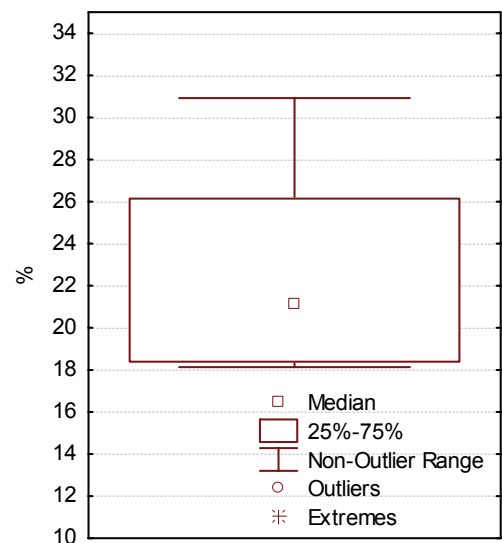
#### 5.4.2.4. Conducibilità elettrica



**Grafico 84** - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 85** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 86** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Dall'analisi del Grafico 84 si può vedere come i valori registrati nei reflui in uscita ricalchino l'andamento di quelli in entrata, pur mantenendosi costantemente al sotto dei primi (ad eccezione di marzo): tale situazione può indicare quindi che, nel caso degli impianti a flusso sub-superficiale verticale, l'evapotraspirazione non è un fenomeno abbastanza rilevante da portare alla concentrazione del refluo in uscita osservata ad esempio nell'impianto A (h-SSF).

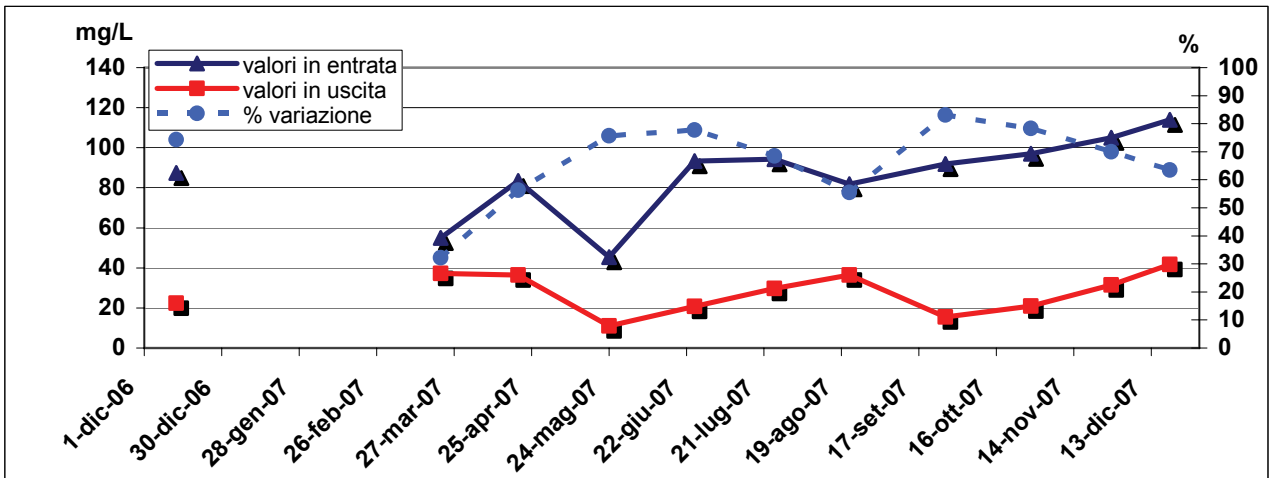
Entrambi i reflui durante l'intero anno hanno mantenuto una notevole costanza dei valori di questo parametro, garantendo una stabilità media nelle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita compresa tra il 20% ed il 34%.

Tale situazione si incontra anche nel secondo grafico, dove le popolazioni mostrano rilevanti differenze: l'estremo superiore dell'insieme dei dati relativi ai reflui in uscita è marcatamente di sotto all'estremo inferiore di quello dei reflui in entrata, la mediana del primo è di 1,4 mg/L mentre quella del secondo è 1,8 mg/L e la variabilità è più contenuta.

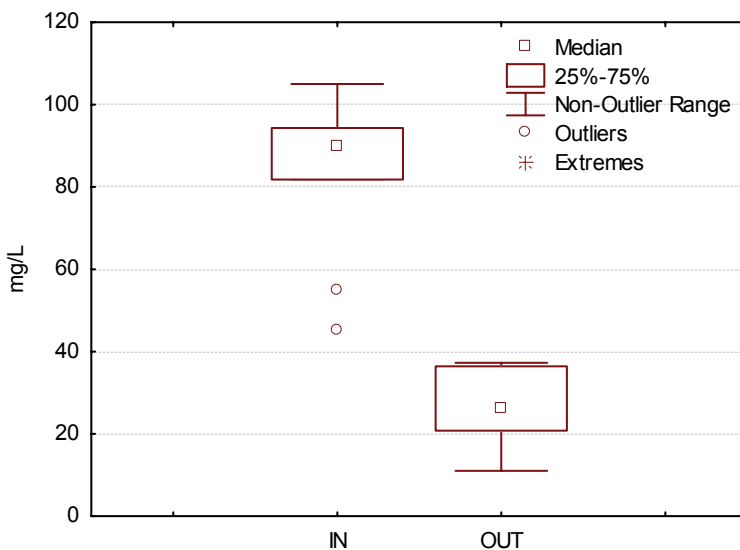
La differenza tra le due popolazioni di dati è stata confermata dal test statistico effettuato, che l'ha indicata come altamente significativa (Tabella 15).

Il terzo grafico infine riporta l'esigua variabilità presente nella distribuzione della popolazione dei valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, tutti compresi tra il 18% e il 31%, con la mediana situata poco sotto il 22% e con la metà della popolazione compresa tra il 18,4% ed il 26%.

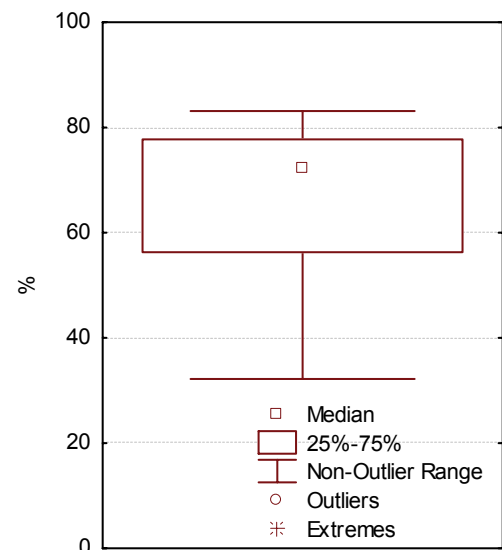
### 5.4.2.5. Azoto totale



**Grafico 87** - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 88** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 89** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

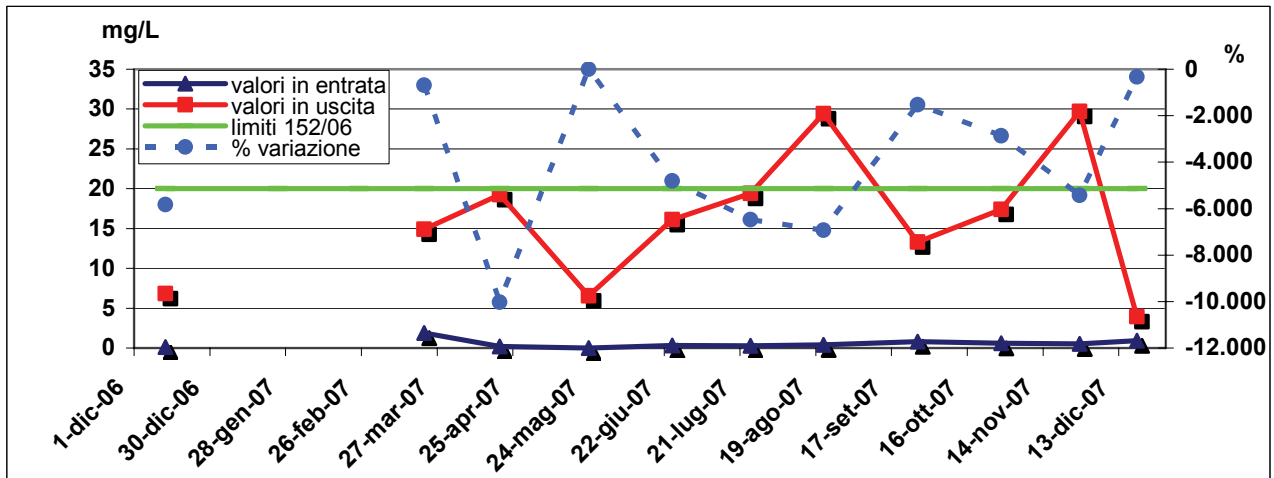
Il Grafico 87, relativo all'andamento temporale delle concentrazioni di Azoto totale nei reflui mostra una sostanziale omogeneità dei valori in entrata (mediamente compresi tra i 55 mg/L e i 110 mg/L) ed una ancor maggiore dei valori in uscita, sempre sotto i 40 mg/L ed inferiori a quelli in entrata.

Le rese depurative durante la maggior parte dell'anno sono rimaste quindi costantemente comprese tra il 60% ed il 100%, mostrando l'alta efficienza di questo impianto.

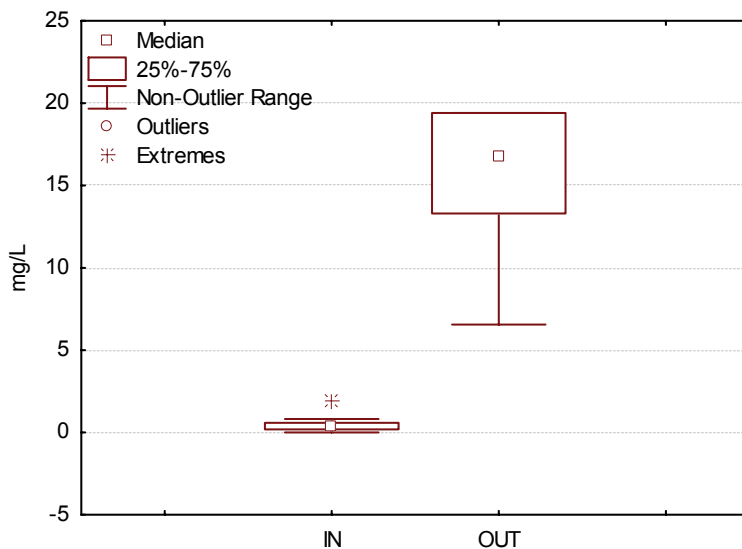
Il Grafico 88 rileva la notevole differenza – confermata come altamente significativa dal test statistico (vedi Tabella 15) - che intercorre tra le due popolazioni di dati, anche se, come già detto, entrambe sono caratterizzate da una ridotta variabilità: tutti i valori relativi ai dati in uscita sono infatti compresi tra i 10 ed i 38 mg/L con la mediana poco inferiore a 30 mg/L, mentre la popolazione dei valori in entrata è, ad eccezione di due valori esterni, interamente compresa tra gli 80 ed i 107 mg/L e la mediana pari a 91 mg/L.

Il Grafico 89 evidenzia infine una popolazione di valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita sempre positivi e totalmente compresi tra il 32% e l'83%, nel 50% dei casi compresi tra il 56% e il 78%, con una mediana superiore al 70%.

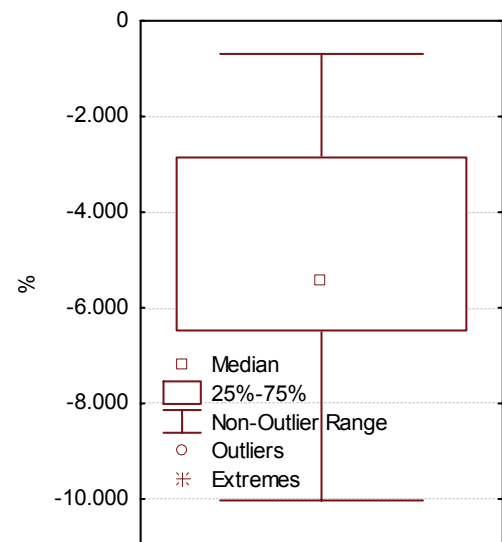
### 5.4.2.6. Azoto Nitrico ( $N_{NO_3^-}$ )



**Grafico 90** – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 91** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 92** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Nel Grafico 90 si nota come ad una sostanziale stabilità nel modesto contenuto di Azoto nitrico da parte dei reflui in entrata (sempre compresi tra 0 mg/L ed i 2 mg/L) si contrappone una concentrazione costantemente superiore in uscita, a tal punto che in due casi si sono superati i limiti di legge ed in altri due sono stati quasi raggiunti.

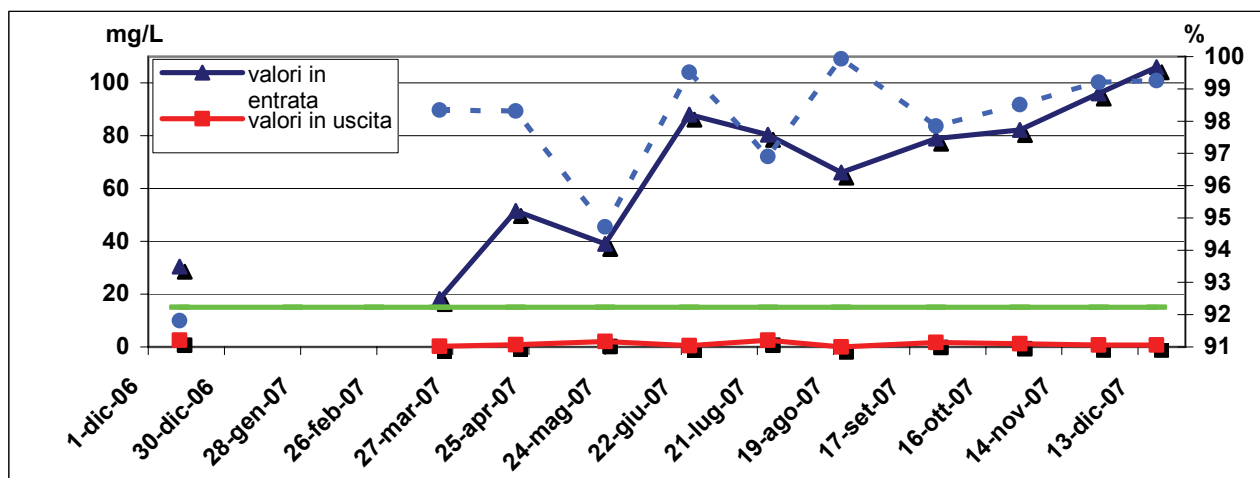


Questa situazione è da confrontare con la presenza di Ossigeno vista nel paragrafo 5.4.2.3: la distribuzione verticale dl refluo favorendo l'alta concentrazione di questo elemento all'interno dell'impianto ha causato una marcata nitrificazione del refluo trattato, provocando aumenti di nitrati mediamente compresi tra il 2000% ed il 6000%.

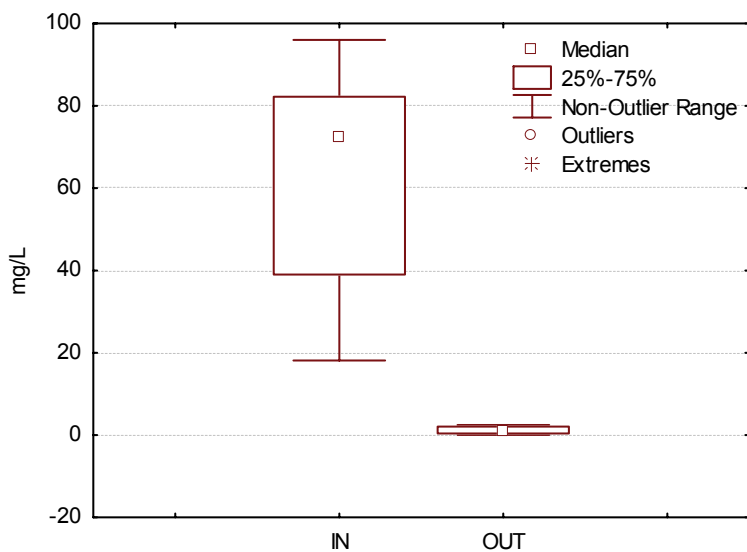
Analizzando il Grafico 91 è confermata l'evidente differenza statistica tra le due popolazioni di dati (vedi anche significatività statistica riportata in Tabella 15): se la totalità dei valori in entrata era inferiore ai 2 mg/L, i valori in uscita erano compresi nel 50% dei casi tra i 13,5 ed i 19 mg/L, con un valore minimo di 6,6 mg/L ed una mediana di 18 mg/L.

Come già anticipato, le rese depurative sono state contraddistinte da una forte variabilità, segnando valori estremi di -10000% e -700%, una mediana poco superiore a -5000% e la metà dell'insieme dei dati raccolta tra il -3200% ed il 6800%.

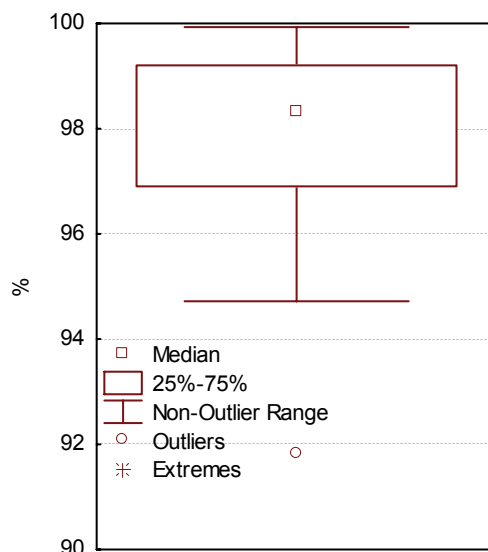
### 5.4.2.7. Azoto Ammoniacale (N\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)



**Grafico 93** – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 94** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 95** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Come riportato nel Grafico 93, l’accentuata ossigenazione del refluo vista nei paragrafi precedenti ha portato ad un quasi totale abbattimento della forma ridotta dell’Azoto: l’Ammonio.

Infatti durante tutti gli undici monitoraggi condotti, a fronte di concentrazioni di Azoto ammoniacale in entrata comprese mediamente tra i 40 ed i 100 mg/L, in uscita non sono mai state trovate quantità superiori ai 3 mg/L.

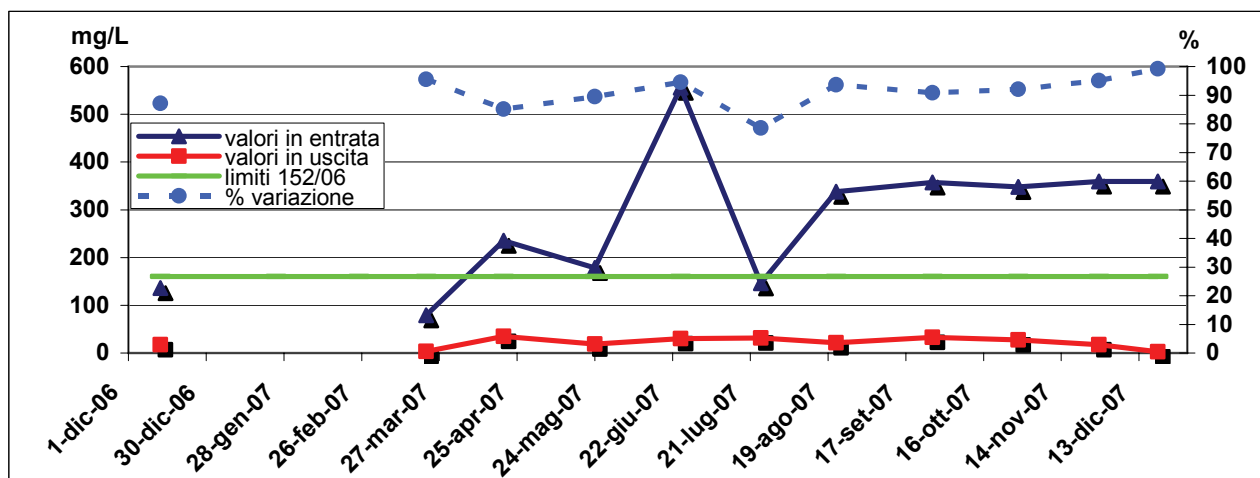
Le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita di questa sostanza sono state così sempre superiori al 91%, con punte vicine al 100% e, sebbene il refluo in entrata fosse sempre superiore ai limiti previsti dalla legge, in uscita non è mai stato riscontrato un solo superamento.

Passando al Grafico 94 e Grafico 95, si notano gli effetti provocati da elevate presenze di Ossigeno nell'impianto: se l'insieme dei valori in entrata andava da un minimo di 20 ad un massimo di 97 mg/L, con il 50% della popolazione compresa tra i 40 e gli 80 mg/L e la mediana pari a 75 mg/L, il 100% dei valori in uscita non è mai stato superiore a 2 mg/L.

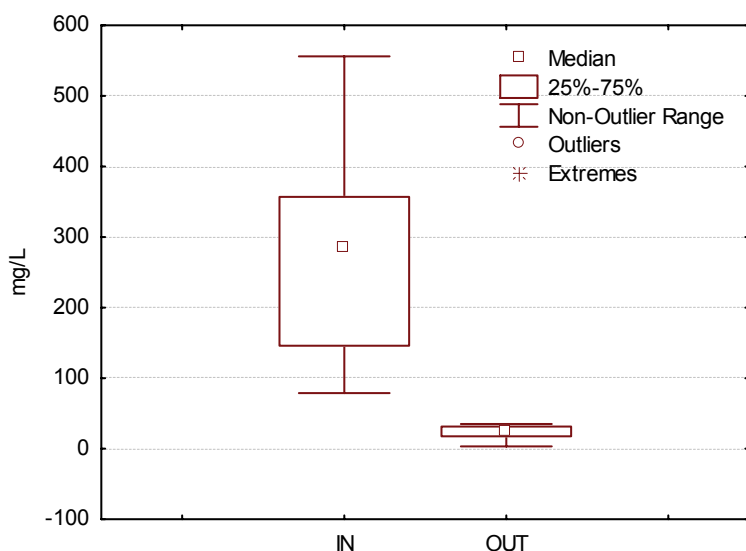
Il test statistico effettuato ha infatti confermato una differenza altamente significativa tra le due popolazioni di dati (vedi Tabella 15).

Anche il *range* dei valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita si è dimostrato notevolmente ristretto e sempre superiore al 91% andando da un minimo di 94,8% ad un massimo di 100%, mentre il 50% dei casi era compreso tra il 97 e il 99% e la mediana poco superiore al 98%.

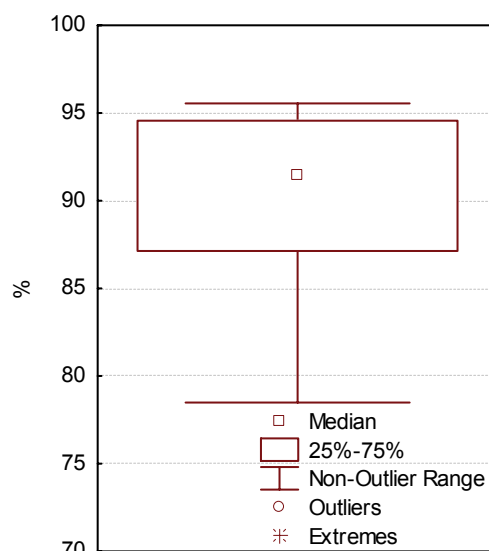
### 5.4.2.8. COD



**Grafico 96** - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 97** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto.



**Grafico 98** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

I valori di COD in uscita sono sempre stati significativamente inferiori a quelli dei reflui in entrata, mostrando dopo agosto una certa stabilità attorno a valori vicini ai 360 mg/L (Grafico 96).

Inoltre, a fronte di una certa variabilità delle misurazioni in entrata, soprattutto nei mesi di maggio, giugno e luglio, i valori dei reflui in uscita hanno evidenziato una notevole costanza non

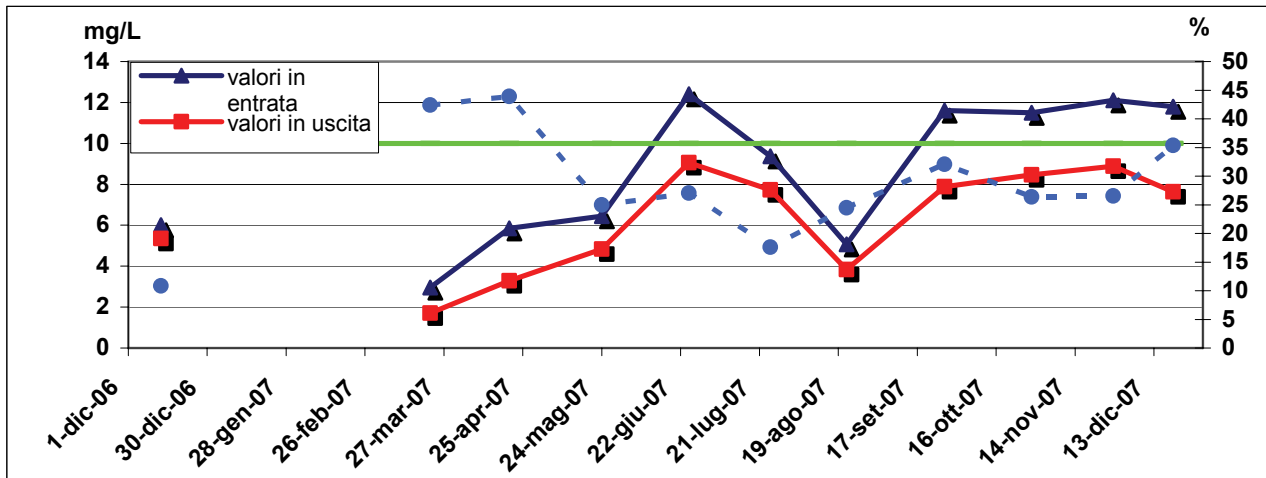
superando mai i 45 mg/L e rimanendo così abbondantemente di sotto il limite imposto dal D. Lgs. 152/06.

È poi interessante notare che in questo caso all'abbassamento delle temperature ed il rallentamento del metabolismo microbico, non è corrisposto un calo delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, che sono infatti rimaste costantemente attorno all'80%.

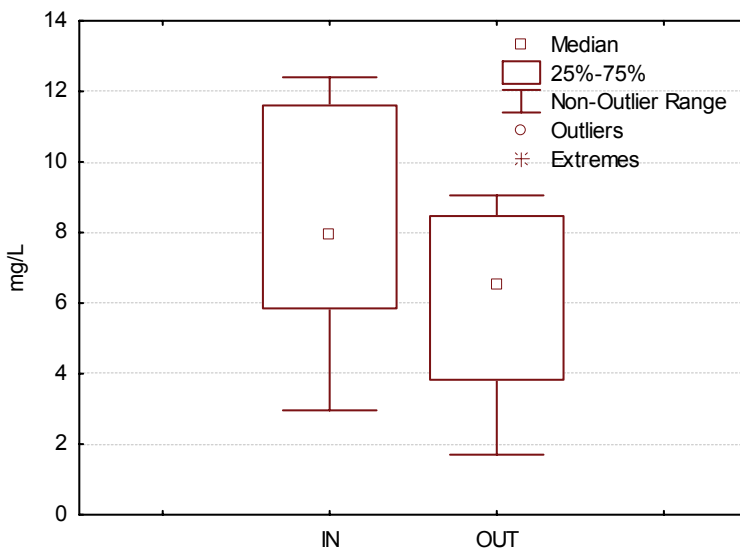
Il Grafico 97 conferma la netta differenza tra le due popolazioni di dati (vedi Tabella 15: il valore della mediana dei reflui in uscita è di un ordine di grandezza inferiore a quella dei reflui in entrata, i valori estremi sono decisamente più contenuti dato, che l'intera popolazione di valori in uscita non supera i 30 mg/L, mentre quella relativa ai valori a monte dell'impianto è compresa tra gli 80 ed i 560 mg/L, con una mediana vicina ai 300 mg/L.

Infine, se il 100% delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita era compreso tra il 78 e il 96%, il 50% da valori di 87 a 94%, mentre la mediana era del 93%.

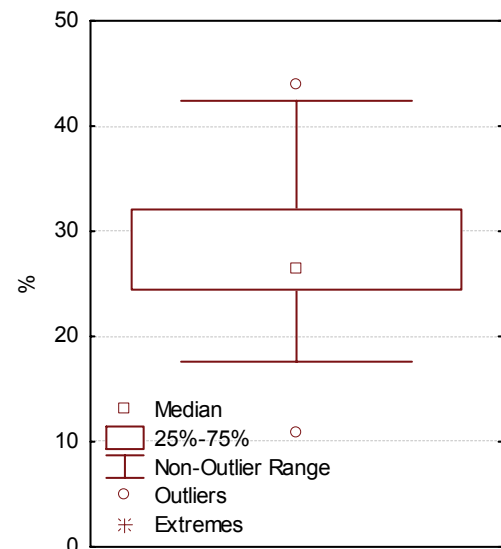
### 5.4.2.9. Fosforo totale



**Grafico 99** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).



**Grafico 100** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 101** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Osservando il Grafico 99, si individua anche per questo impianto la netta analogia nel trend temporale tra le variazioni dei contenuti totali di Fosforo nei reflui campionati a monte e a valle dell’impianto.

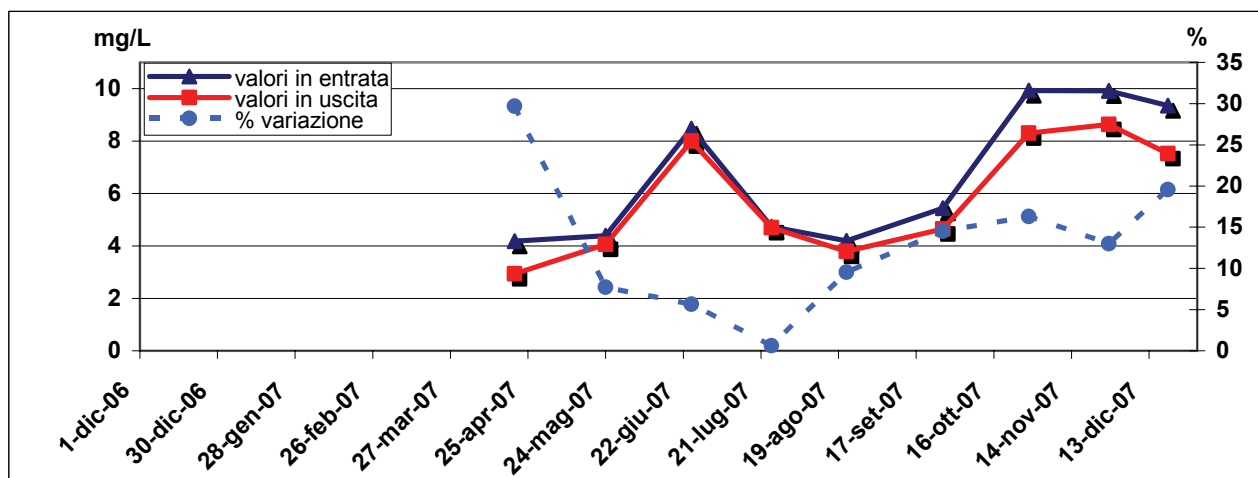
Nonostante le fluttuazioni siano state di intensità relativamente limitata, per i valori in entrata avrebbero causato il superamento del limite di legge nel 40% dei casi, cosa invece mai avvenuta per quelli in uscita.

Guardano l'andamento della curva relativa alle variazioni percentuali tra ingresso e uscita, si evidenzia come i valori siano rimasti mediamente tra il 20 ed il 30%, in questo caso non risentendo dell'abbassamento delle temperature avvenuto ad inizio autunno.

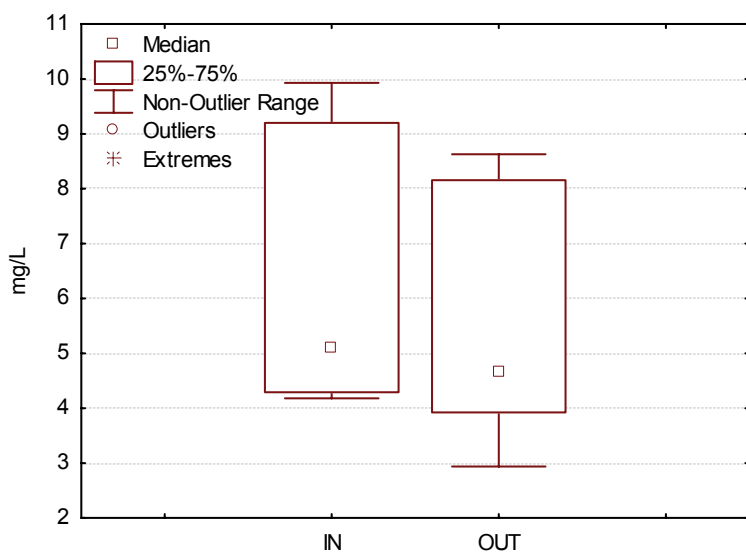
Il Grafico 100 mostra comunque delle leggere differenze tra le due popolazioni di dati, sia sotto il punto di vista delle mediane che della variabilità; dal test statistico effettuato le due popolazioni di dati non hanno comunque presentato differenze significative (vedi Tabella 15).

Il Grafico 103 conferma in ogni modo la discreta efficienza, sempre positiva, riscontrata nelle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita di questo parametro, dato che i valori vanno da un minimo del 17% ad un massimo del 43%, nel 50% dei casi sono compresi tra il 25 ed il 32% e la mediana è poco inferiore al 27%.

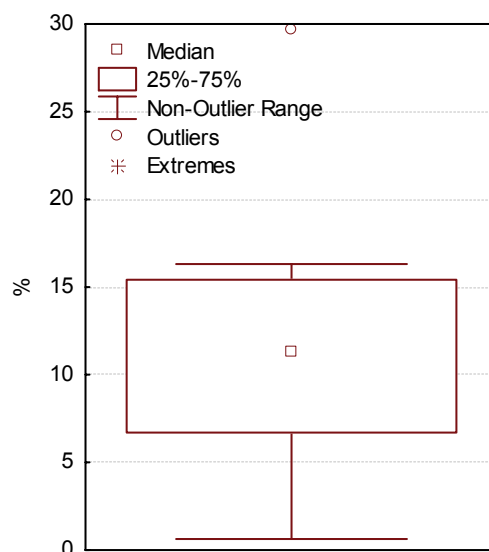
### 5.4.2.10. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 102** – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall’impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.



**Grafico 103** - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall’impianto.



**Grafico 104** - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Anche in questo caso, (Grafico 102) l’andamento dei valori di Ortofosfato nei reflui ha denotato la tipica stretta connessione tra valori in entrata ed uscita, questi ultimi sempre inferiori ai primi.

Questo aspetto viene infine confermato analizzando il Grafico 103, che illustra la vicinanza dei valori delle mediane, i minimi e il II e III quartile delle due popolazioni di dati; dal test statistico



effettuato le due popolazioni di dati non hanno comunque presentato differenze significative (vedi Tabella 15).

Osservando la curva delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita si può constatare che a partire dal mese di aprile a luglio l'efficienza nella rimozione di questo parametro è calata fino ad arrivare a valori prossimi allo 0% per poi tornare ad attestarsi nuovamente attorno al 15%.

Confrontando questo aspetto con il terzo grafico si nota infatti che il *range* delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita varia dallo 0% al 17%, anche se la metà della popolazione di dati è racchiusa tra il 7% ed il 15% e la mediana è prossima al 12%.

	<b>Mediana IN</b>	<b>Mediana OUT</b>	<b>Diff. Signif. IN-OUT</b>	<b>Variazione %</b>	<b>Limiti 152/06</b>	<b>% IN &gt; Limiti</b>	<b>% OUT &gt; Limiti</b>
<b>T (°C)</b>	19,15	19,45		-2 %	35°C	0 %	0 %
<b>pH</b>	7,56	7		7 %	5,5<x<9,5	0 %	0 %
<b>E.C. (mS/cm)</b>	1,78	1,37	**	23 %			
<b>O<sub>2</sub> (mg/L)</b>	0,11	1,73	**	-1468%			
<b>N tot (mg/L)</b>	89,68	26,08	***	71 %			
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	0,37	16,76	***	-4393%	20 mg/L	0 %	20 %
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)</b>	72,55	1,05	***	99 %	15 mg /L	100 %	0 %
<b>COD (mg/L)</b>	286,75	24,65	***	91 %	160 mg/L	70 %	0 %
<b>P tot (mg/L)</b>	7,91	6,54	n.s.	17 %	10 mg/l	40 %	0 %
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg/L)</b>	5,09	4,68	n.s.	8 %			

**Tabella 15** – Tabella riassuntiva dei parametri dell'impianto D

Come già riscontrato, l'impianto D (v-SSF), pur presentando dei reflui in entrata caratterizzati da valori assolutamente simili a quelli dell'impianto C (h-SSF), ha evidenziato rese depurative assai superiori.

Per tutti i parametri ad eccezione di quelli legati al Fosforo sono state infatti rilevate delle differenze altamente significative (\*\*\*) tra le concentrazioni in entrata ed uscita, in particolar modo per l'Azoto totale, l'Azoto nitrico, l'Azoto Ammoniacale ed il COD (\*\*\*).

È da notare che però, ad un notevole incremento della concentrazione media di Ossigeno è corrisposto un altrettanto marcato aumento dei nitrati contenuti nel refluo in uscita dall'impianto,

portando quest'ultimo parametro ed essere l'unico ad aver superato –nel 20% dei casi- i limiti di legge.

Tale situazione non è da addebitarsi al trasferimento di Ossigeno operato dalla vegetazione, bensì al regime idrico verticale dell'impianto. Il refluo infatti, ogni volta che viene distribuito appena sotto la superficie, incontra un medium in condizioni di insaturazione e quindi più ricco dei Ossigeno rispetto gli impianti a flusso sub-superficiale orizzontale.

Questa soluzione impiantistica ha comunque garantito abbattimenti medi dell'Azoto ammoniacale e del COD rispettivamente del 99% e del 91%: l'ossidazione imposta da questo tipo di regime idrico in entrambi i casi ha permesso infatti di non oltrepassare mai i limiti di legge previsti allo scarico nonostante tali valori venissero superati dai reflui in entrata nel 100% ( $N_{NH_4^+}$ ) e nel 70% (COD) dei casi.

## 6. *Discussione*

Dopo avere analizzato i risultati acquisiti durante il monitoraggio, si è voluto condurre una serie di elaborazioni statistiche per approfondire la comprensione delle eventuali relazioni tra gli stessi.

Per ciascun impianto sono quindi presentati i grafici che illustrano le correlazioni tra i valori in ingresso dei parametri relativi a Ossigeno disciolto, Conducibilità Elettrica,  $N_{tot}$ ,  $N_{NO_3^-}$ ,  $N_{NH_4^+}$ , COD,  $P_{tot}$ ,  $P_{PO_4^{3-}}$  e le relative variazioni percentuali tra ingresso e uscita, fornendo inoltre le equazioni delle rette di regressione ed il coefficiente di correlazione  $R^2$  individuati secondo il test di *Pearson*.

I risultati di questo test, che non richiede una distribuzione normale della popolazione, sono stati affiancati dal test non parametrico di *Spearman*.

Nella parte conclusiva di ogni impianto vengono pertanto riportati e commentati i valori di dell'indice di correlazione "*r*" per ranghi di *Spearman* assieme alla significatività statistica per  $P < 0,05$ , individuata tra i valori in entrata e le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita.

Per ognuno dei precedenti parametri e con l'eccezione dell'impianto A, per il quale non erano disponibili i dati del 2006, sono poi visualizzati gli andamenti temporali delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita, descritte da un precedente lavoro nel 2006, assieme a quelle registrate nel 2007.

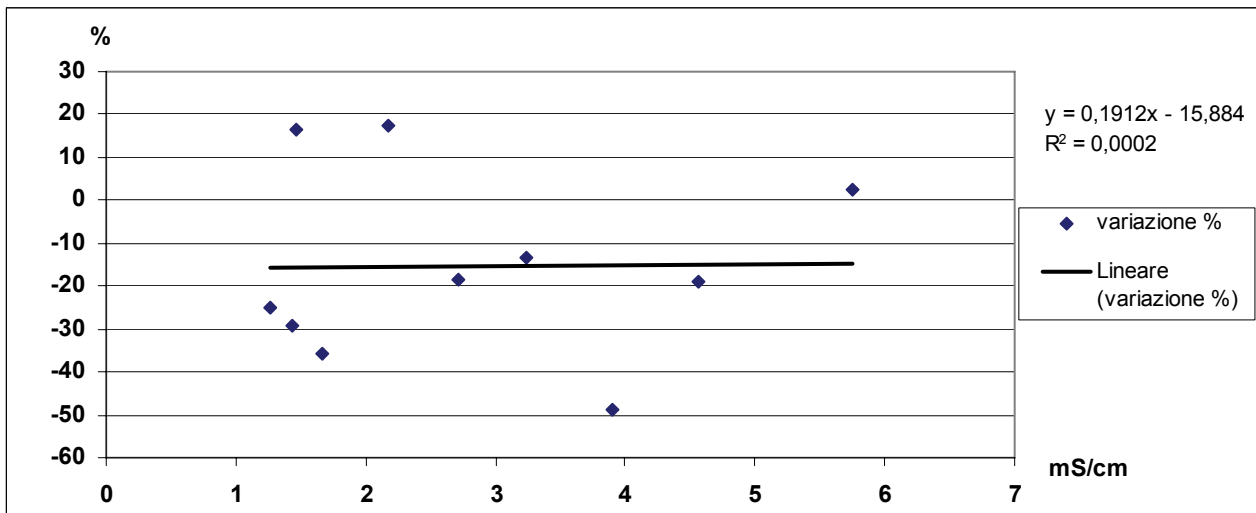
A fianco delle tabelle sopra descritte si riportano quindi i valori delle variazioni percentuali tra ingresso e uscita relative ai due anni, calcolate sulle mediane dei valori in entrata ed uscita.



## 6.1. Impianto A – Ristorante, h-SSF

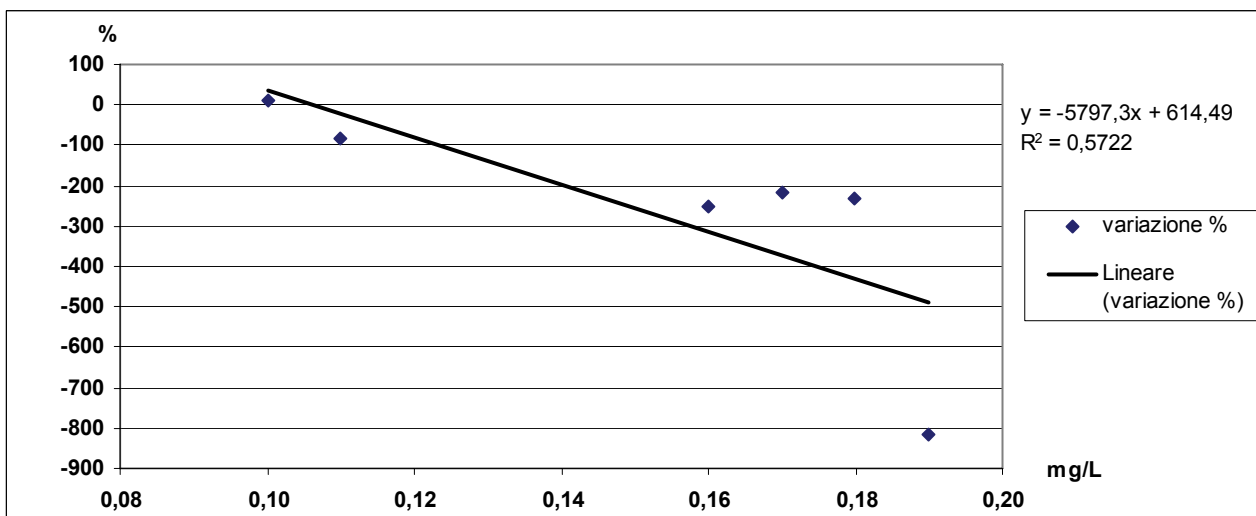
### 6.1.1. Rese depurative

#### 6.1.1.1. Conducibilità elettrica



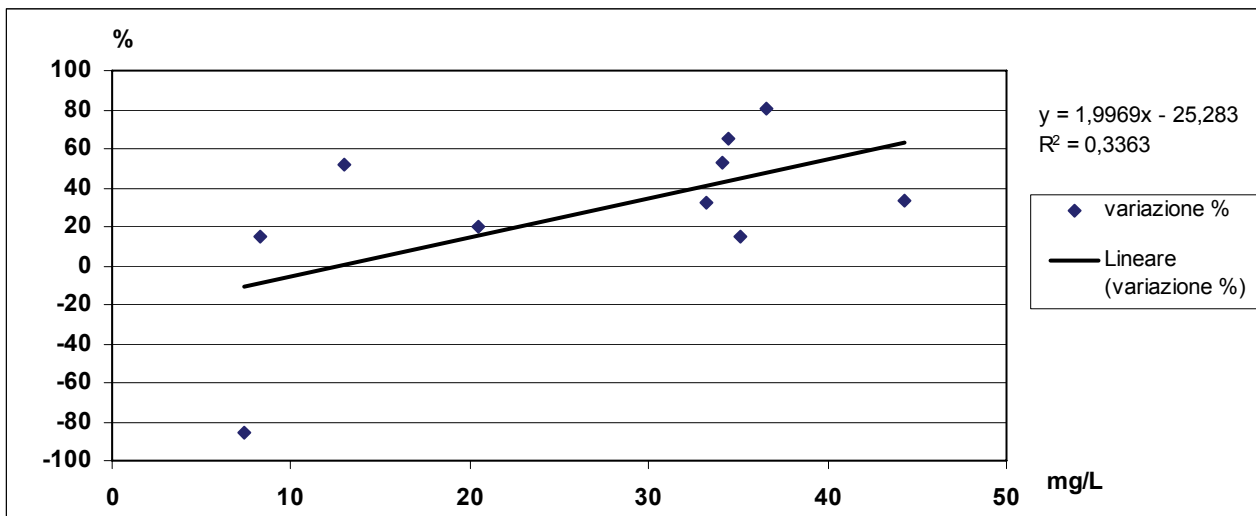
**Grafico 105** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata.

#### 6.1.1.2. Ossigeno disciolto



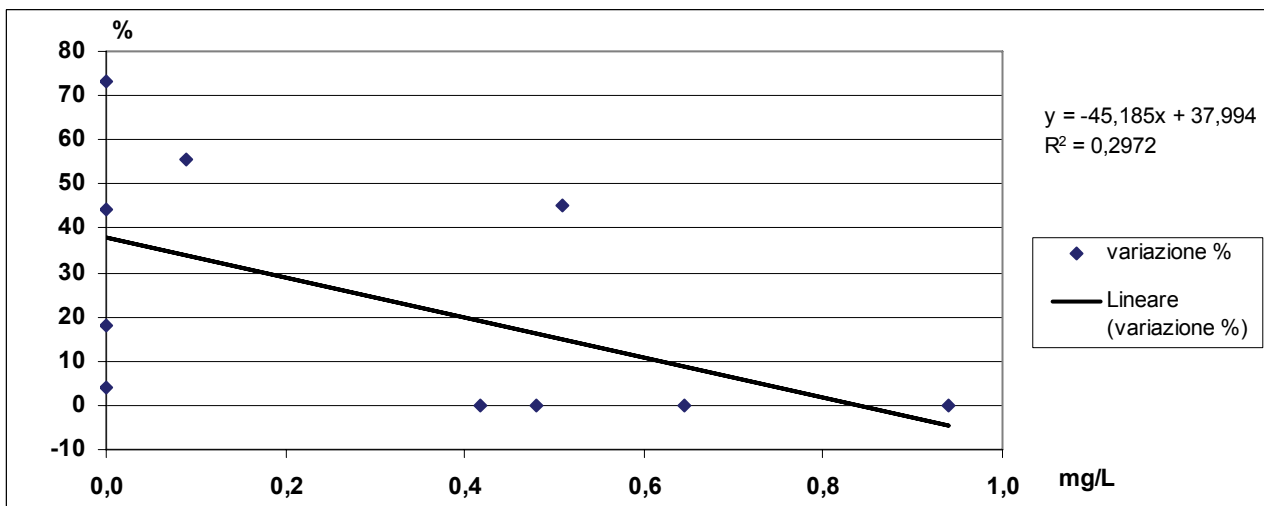
**Grafico 106** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.3. Azoto totale



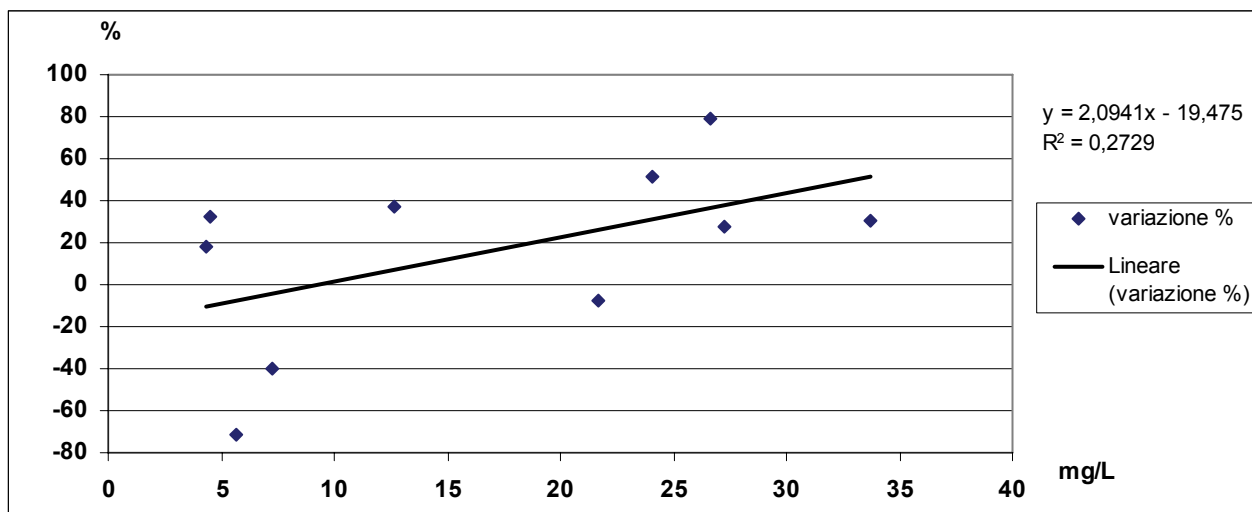
**Grafico 107** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.4. Azoto Nitrico ( $N_{NO_3^-}$ )



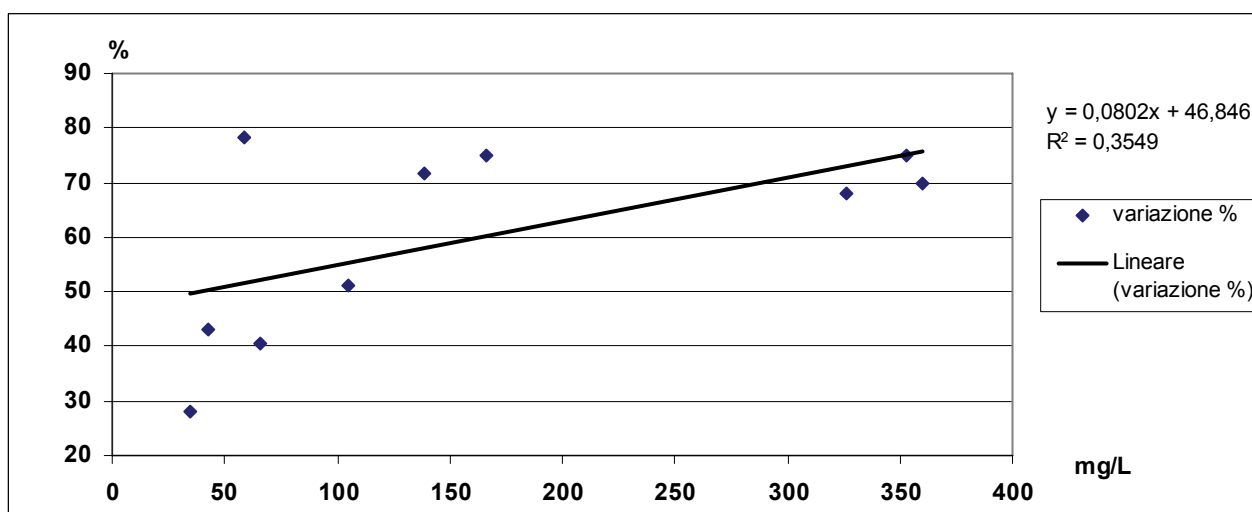
**Grafico 108** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.5. Azoto Ammoniacale (N\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)



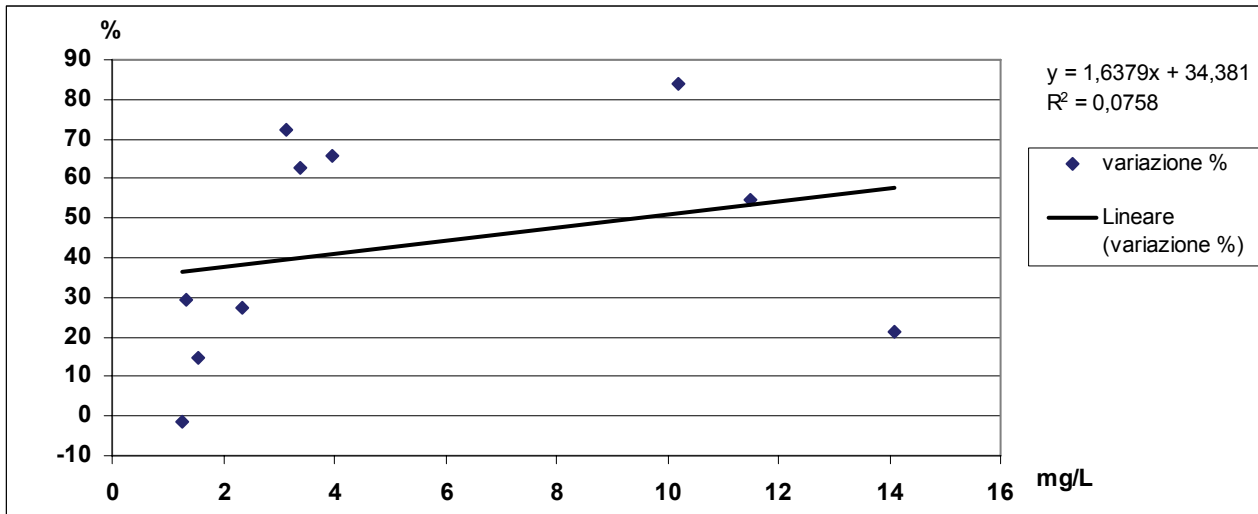
**Grafico 109** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.6. COD



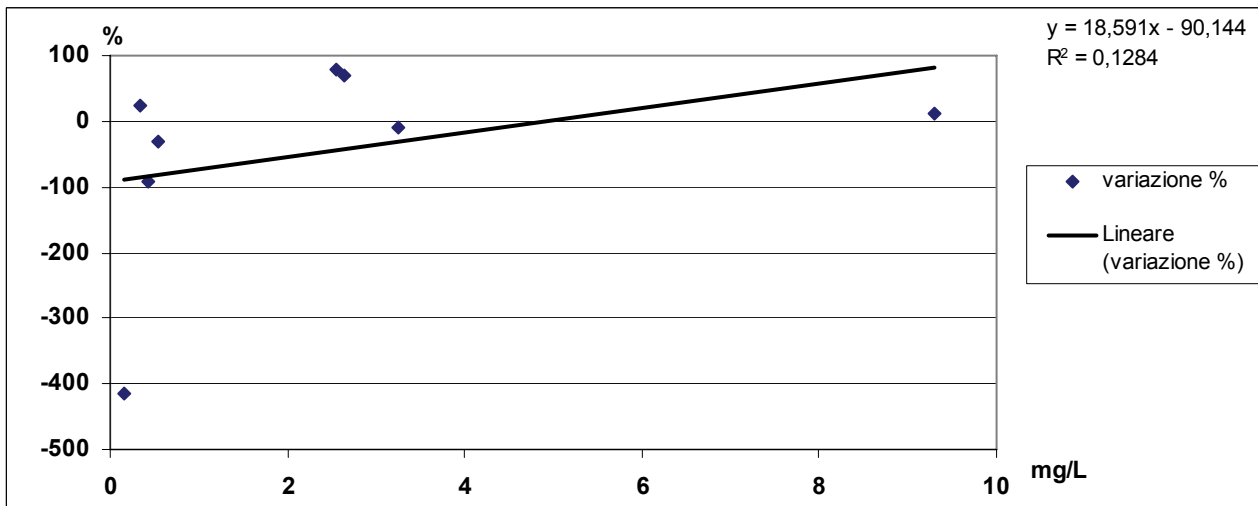
**Grafico 110** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.7. Fosforo totale



**Grafico 111** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.

### 6.1.1.8. Fosforo solubile ( $P_{PO_4^{3-}}$ )



**Grafico 112** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.



	Spearman r	Signif. per P<0,05
<b>O<sub>2</sub></b>	-0,83	*
<b>E.C.</b>	0,13	n.s.
<b>N tot</b>	0,53	n.s.
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,14	n.s.
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,39	n.s.
<b>COD</b>	0,50	n.s.
<b>P tot</b>	0,45	n.s.
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,45	n.s.

**Tabella 17** - Valori dell'indice di correlazione "r" per ranghi di Spearman e significatività statistica per P<0,05 tra i valori in entrata e le variazioni percentuali

	Variazione% IN/OUT 06	Variazione% IN/OUT 07
<b>O<sub>2</sub></b>		-233
<b>E.C.</b>		-12
<b>N tot</b>		55
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>		65
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		42
<b>COD</b>		67
<b>P tot</b>		59
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>		49

**Tabella 16** - Percentuali di variazione calcolate sulle mediane dei valori in entrata ed uscita nel 2007.

Nella prima tabella si può osservare come solamente nel caso della concentrazione di Ossigeno disciolto si sia riscontrata una correlazione statisticamente significativa tra i valori in ingresso e le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita, mentre negli altri casi al variare di tali concentrazioni non è corrisposto un aumento o un decremento significativo dell'efficienza depurativa.

La tabella a destra mostra le mediane calcolate sulle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita relative ad ogni parametro; nel caso dell'Ossigeno disciolto e della Conducibilità elettrica i valori negativi si devono leggere come incrementi degli stessi riscontrati nei reflui in uscita rispetto a quelli in entrata.

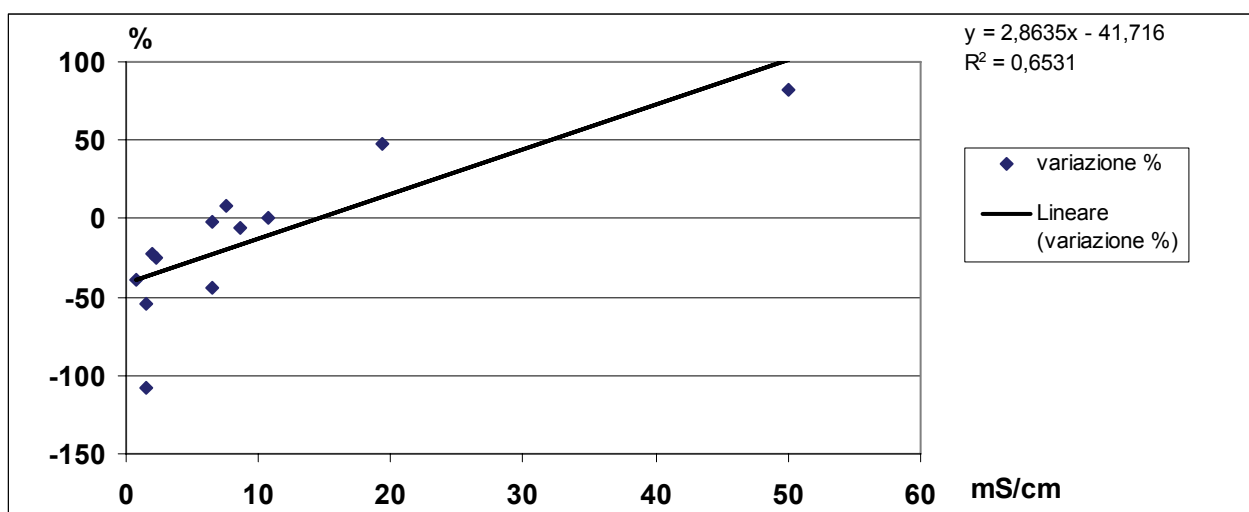
Osservando quindi i dati nella loro totalità, si nota come l'impianto abbia fornito complessivamente buone prestazioni depurative soprattutto nel caso dei Nitrati e del COD, con rese superiori al 60%.



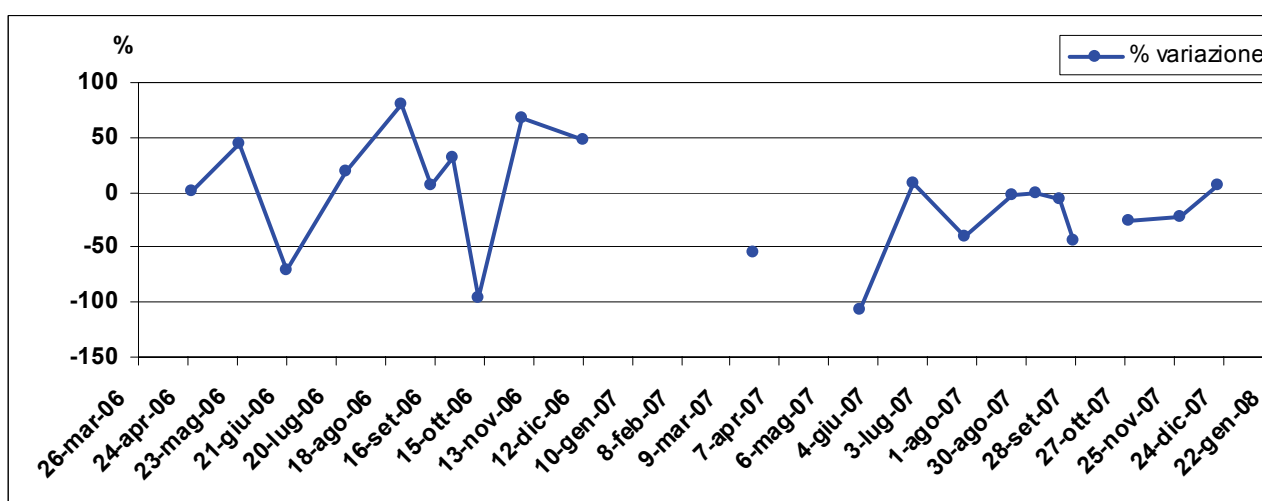
## 6.2. Impianto B – Cantina viticola, h-SSF

### 6.2.1. Rese depurative

#### 6.2.1.1. Conducibilità elettrica

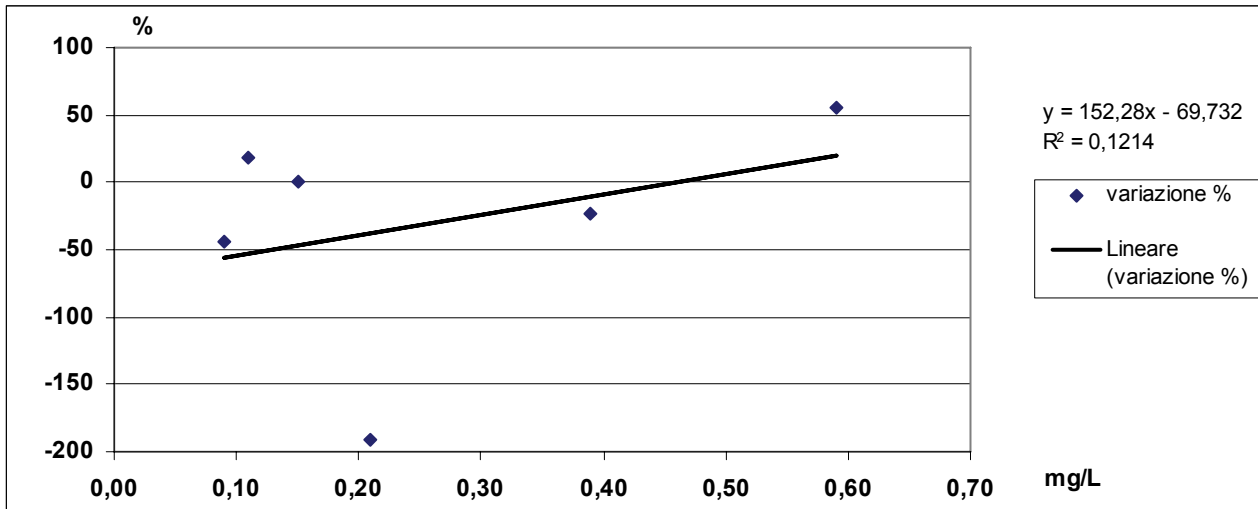


**Grafico 113** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata.

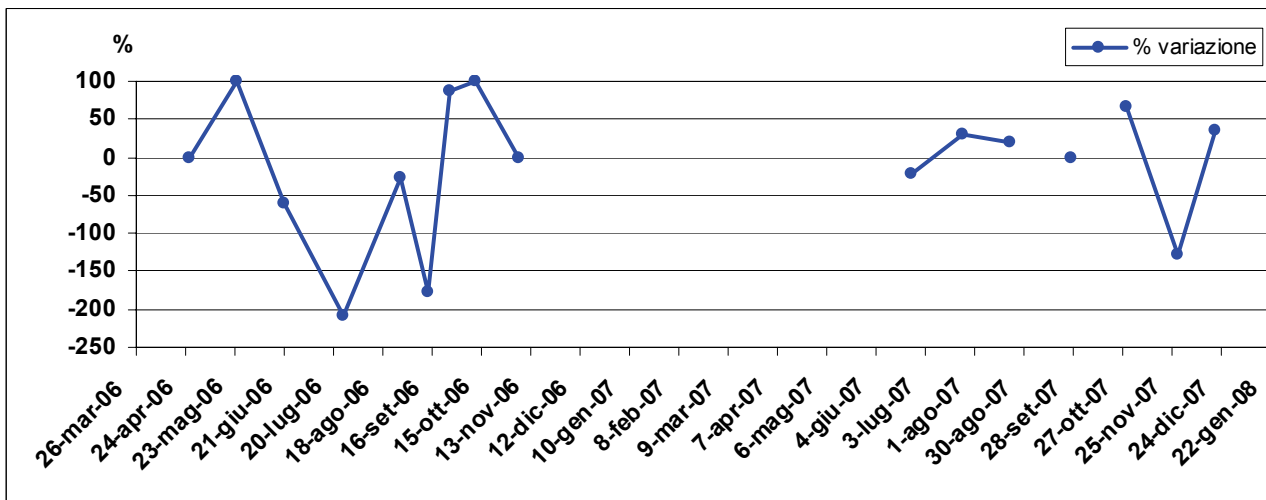


**Grafico 114** – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.2. Ossigeno disciolto

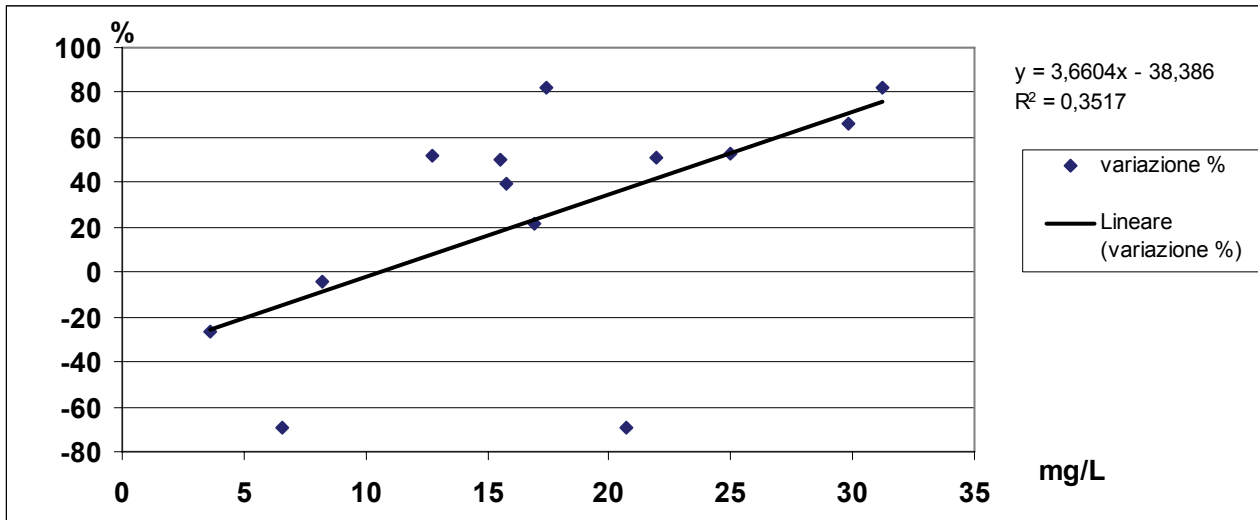


**Grafico 115** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata.

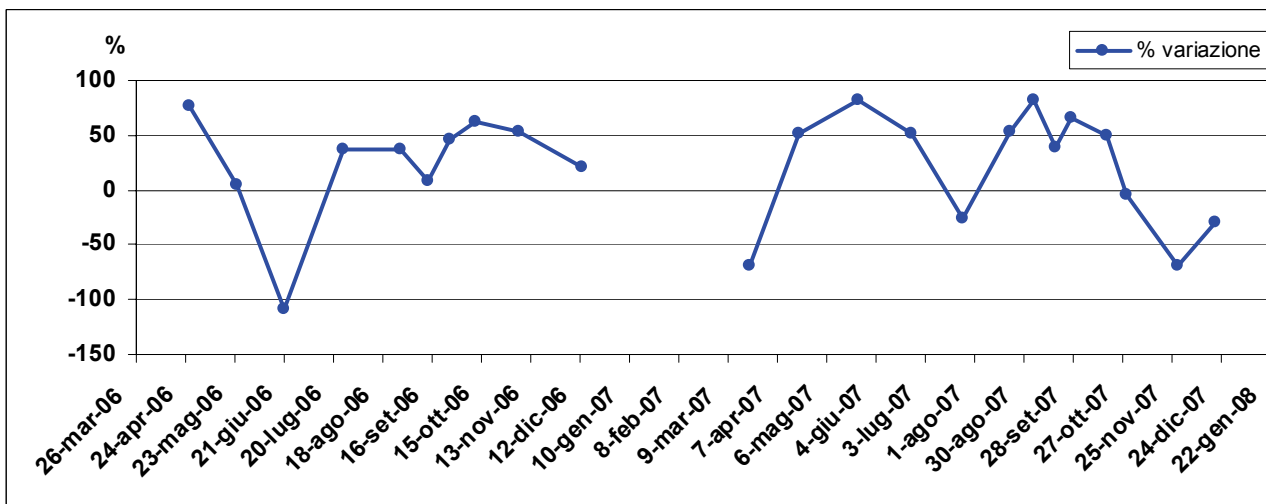


**Grafico 116** – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.3. Azoto totale

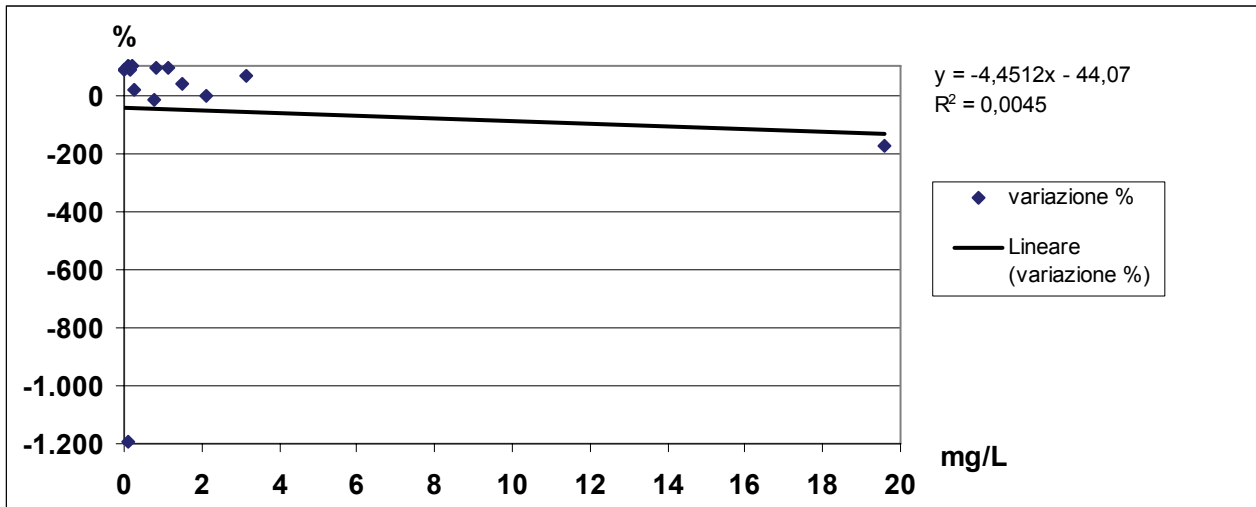


**Grafico 117** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata.

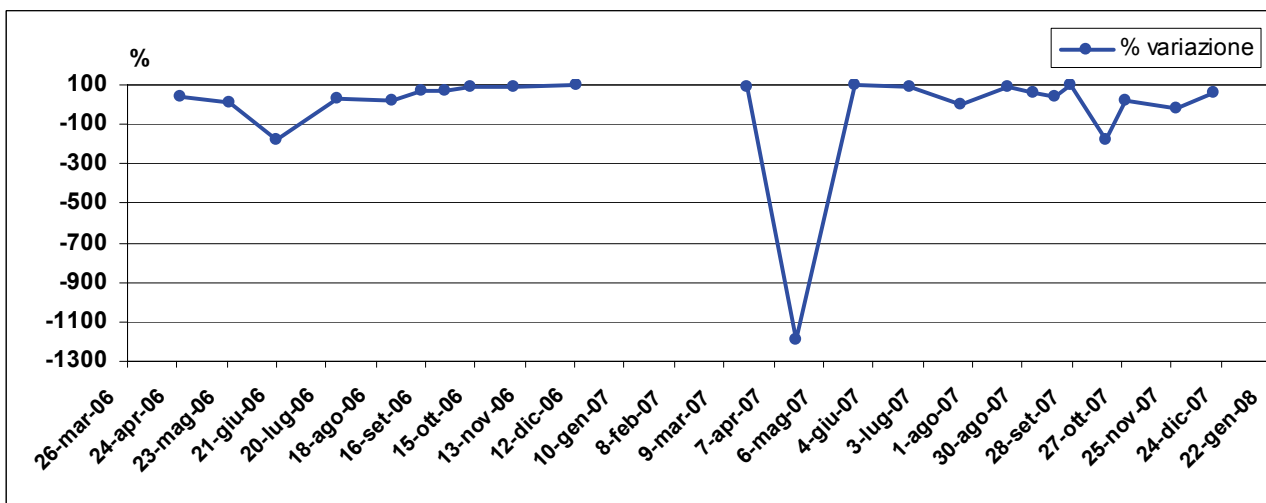


**Grafico 118** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.4. Azoto Nitrico (N\_NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

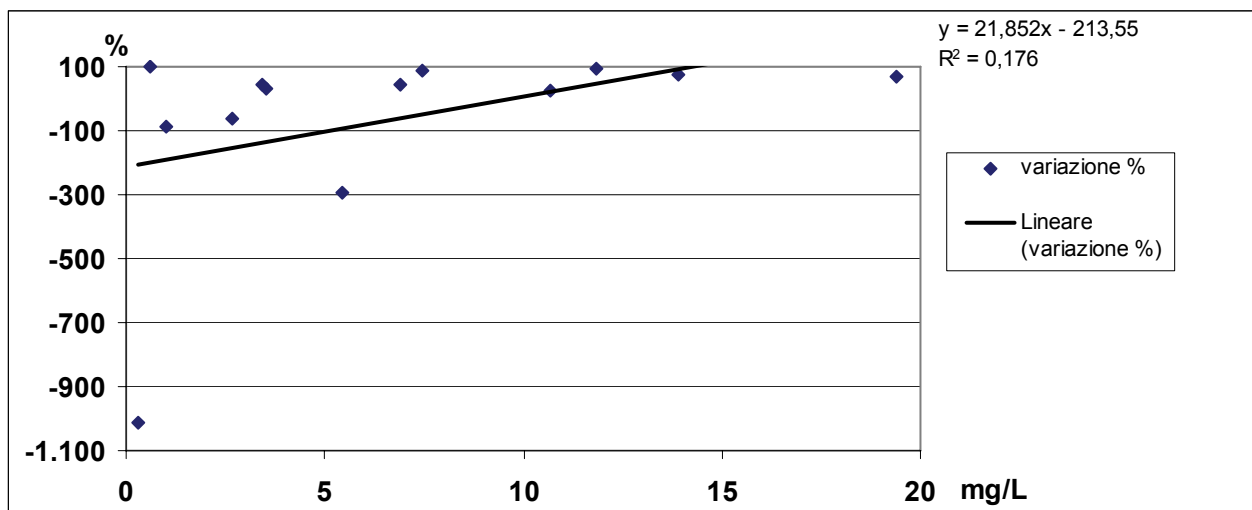


**Grafico 119** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata.

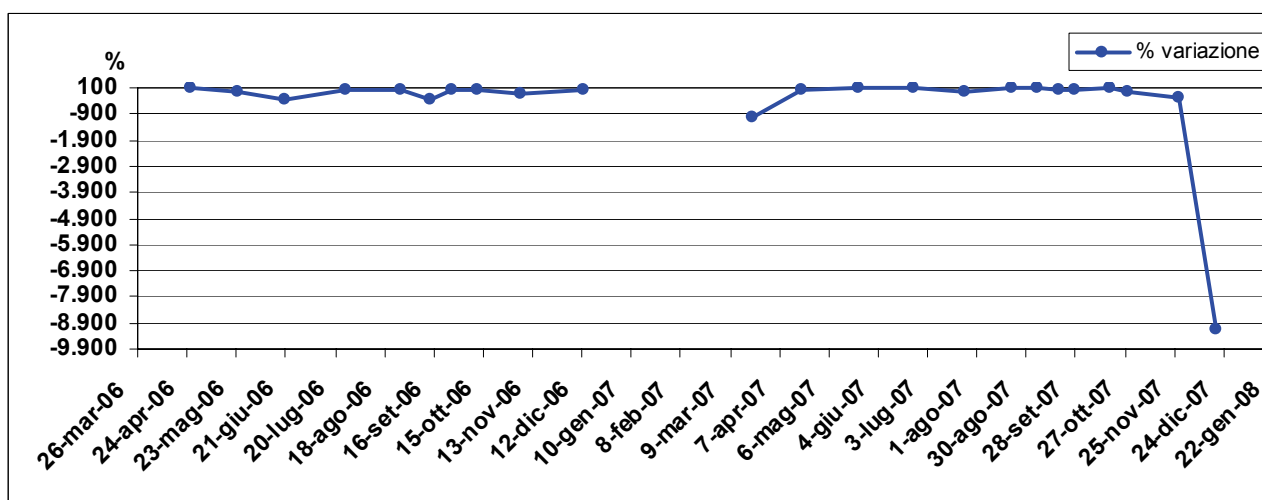


**Grafico 120** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.5. Azoto Ammoniacale (N\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

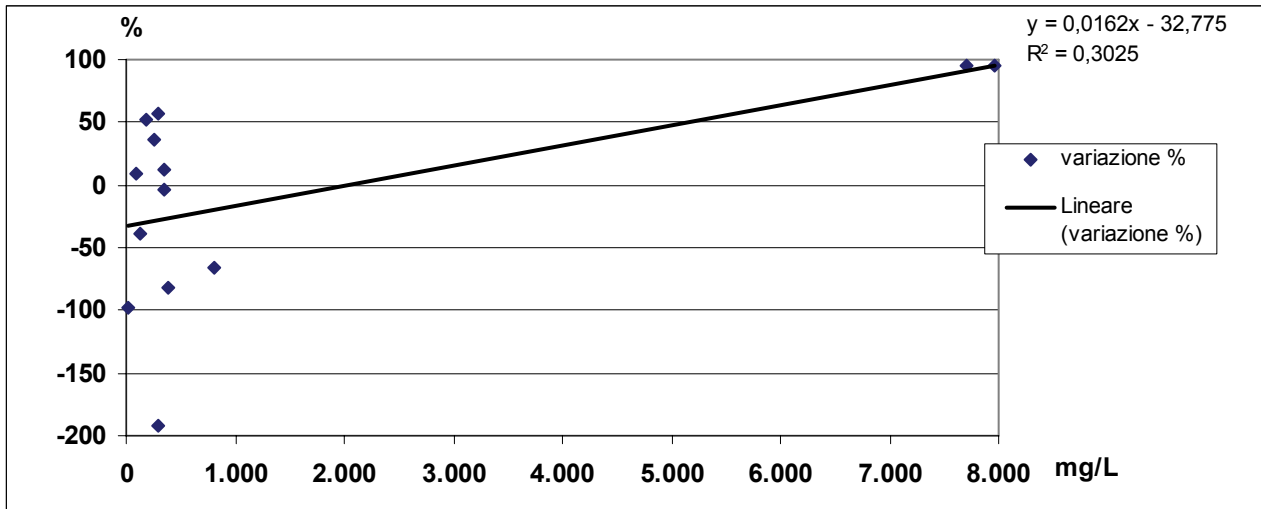


**Grafico 121** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.

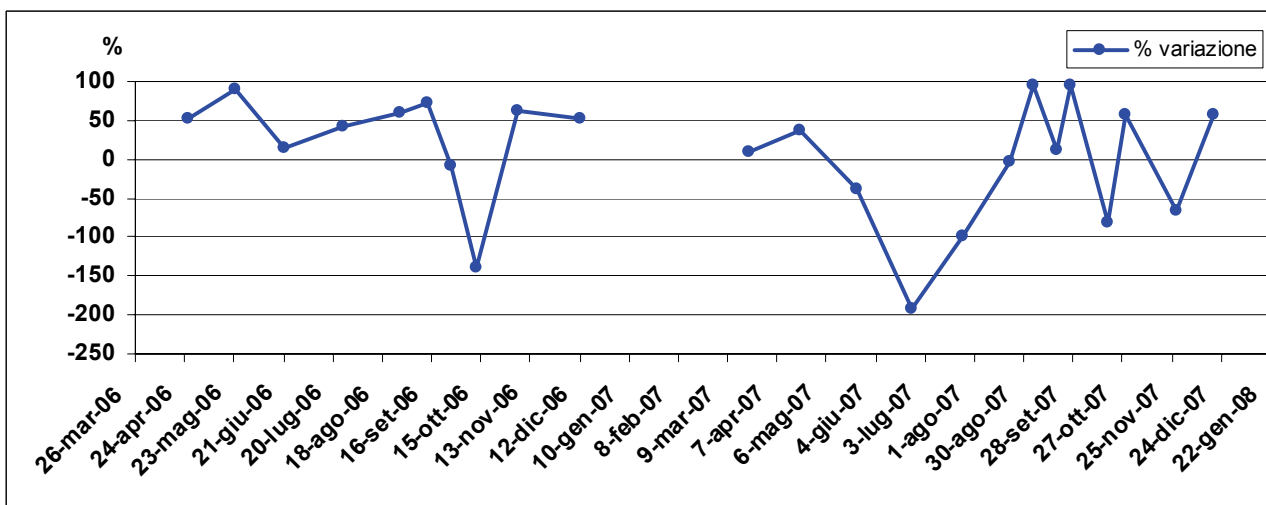


**Grafico 122** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.6. COD



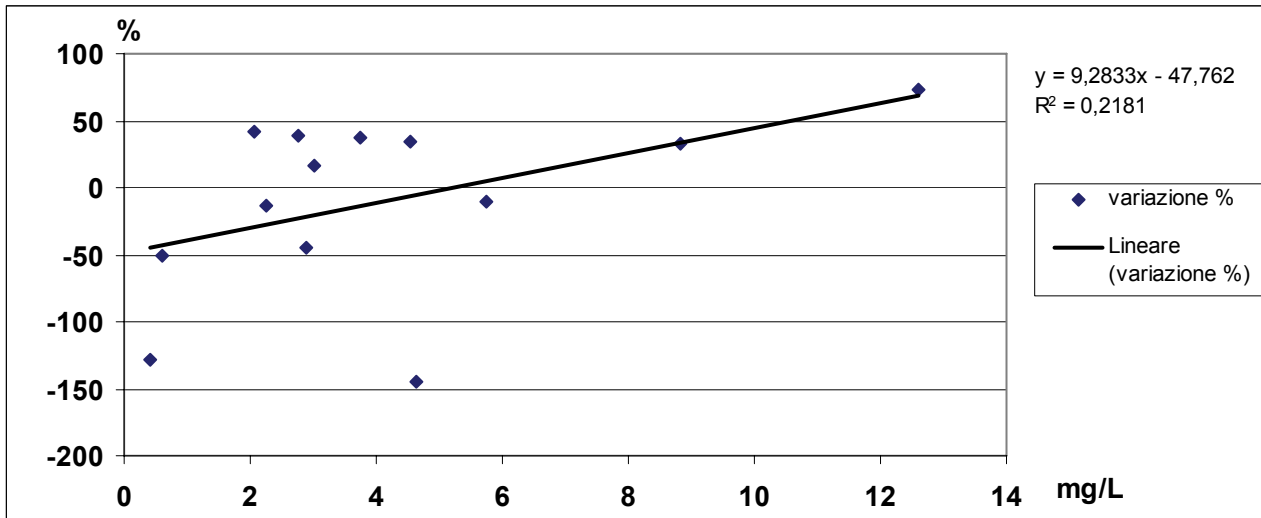
**Grafico 123** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.



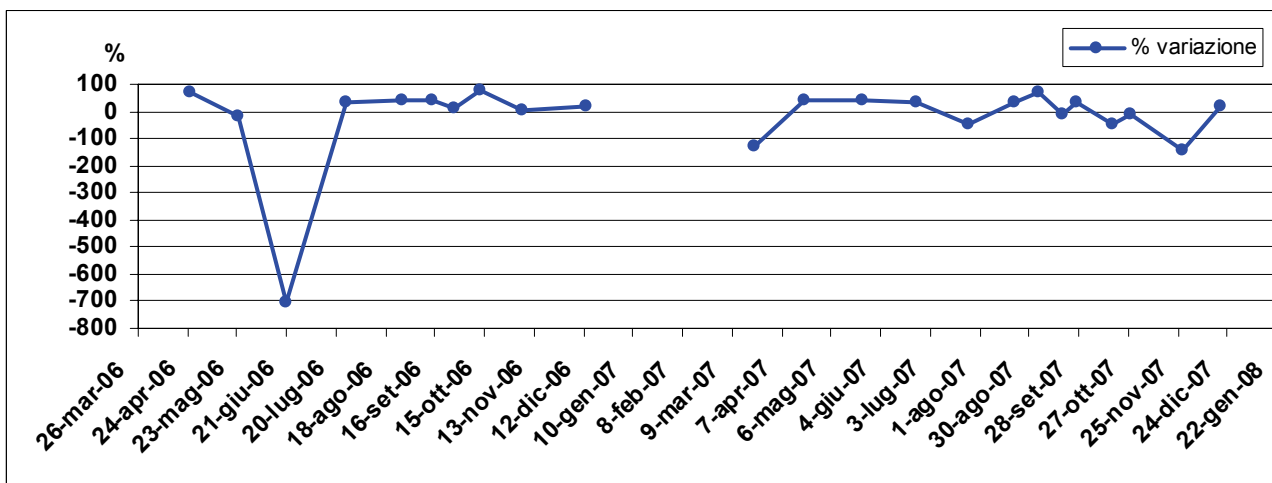
**Grafico 124** – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.



### 6.2.1.7. Fosforo totale

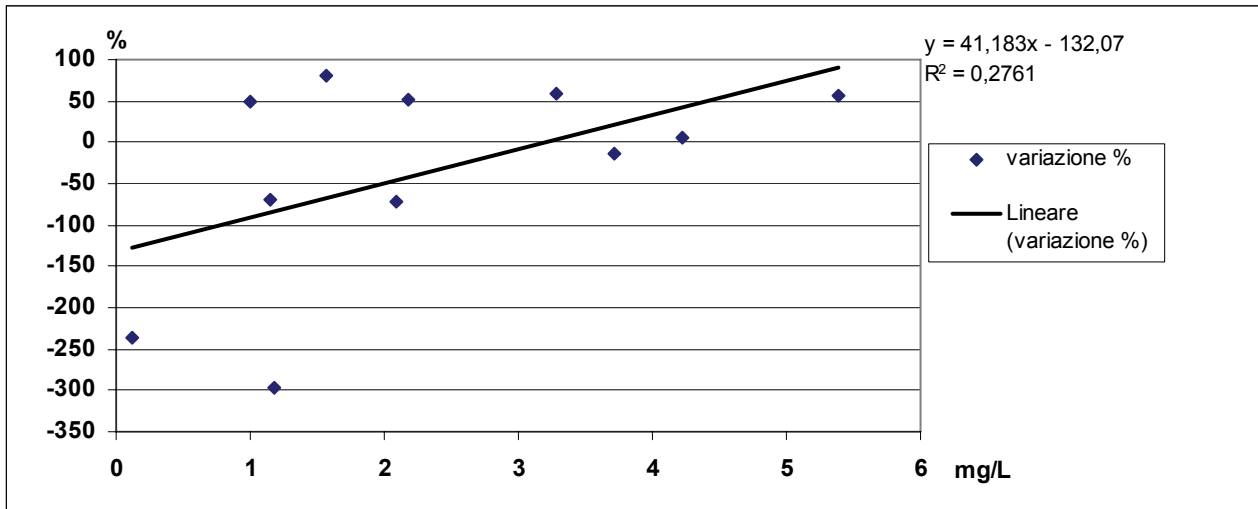


**Grafico 125** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.

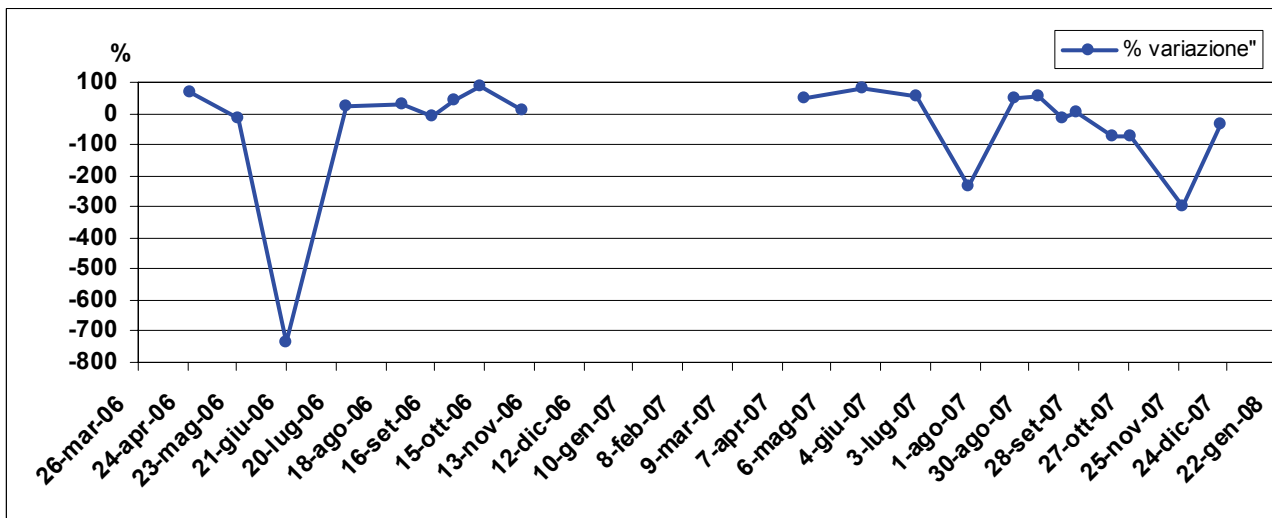


**Grafico 126** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.2.1.8. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 127** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.



**Grafico 128** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

	Spearman r	Signif. per P<0,05
O <sub>2</sub>	0,31	n.s.
E.C.	0,84	***
N tot	0,67	*
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,26	n.s.
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,45	n.s.
COD	0,32	n.s.
P tot	0,31	n.s.
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,44	n.s.

**Tabella 19** - Valori dell'indice di correlazione "r" per ranghi di Spearman e significatività statistica per P<0,05 tra i valori in entrata e le variazioni percentuali

	Variazione% IN/OUT 06	Variazione% IN/OUT 07
O <sub>2</sub>	-132	-14
E.C.	39	-4
N tot	18	43
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21	29
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3	44
COD	22	-4
P tot	35	15
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	48	6

**Tabella 18** – Confronto tra le percentuali di variazione calcolate sulle mediane dei valori in entrata ed uscita nel 2006 e nel 2007.

Nella prima tabella si nota come gli unici due casi in cui si sia riscontrata una correlazione statisticamente significativa tra i valori in ingresso e le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita siano stati l'Azoto totale e la Conducibilità elettrica.

In particolare questo ultimo parametro, osservando l'indice di correlazione r, ha registrato una correlazione molto significativa.

Negli altri casi, al variare delle concentrazioni in entrata, non sono corrisposti rilevanti aumenti o decrementi dell'efficienza depurativa.

La seconda tabella mostra le differenze delle rese depurative riscontrate nei due anni: nel caso dell'Ossigeno disciolto si denota un minor incremento di questo elemento nei reflui in uscita rispetto a quelli in entrata.

Questa situazione è probabilmente dovuta alla temperatura media estiva che nel 2007 è stata leggermente superiore a quella del 2006: come ha confermato l'enologo della cantina, tale circostanza ha portato ad una minore produzione di vino, che è risultato però più concentrato.

I reflui prodotti durante la vinificazione sono stati perciò più ricchi di macronutrienti, fatto questo che trova conferma nei marcati incrementi delle rese depurative registrati per gli altri parametri –ad eccezione che per Fosforo totale e solubile-.

La temperatura mediamente più alta potrebbe essere la spiegazione anche dei risultati ottenuti per la Conducibilità elettrica: se nel 2006 in uscita veniva rilevata mediamente inferiore del 39%

rispetto che in entrata, nel 2007, a causa della maggiore evapotraspirazione, era mediamente superiore del 4%.

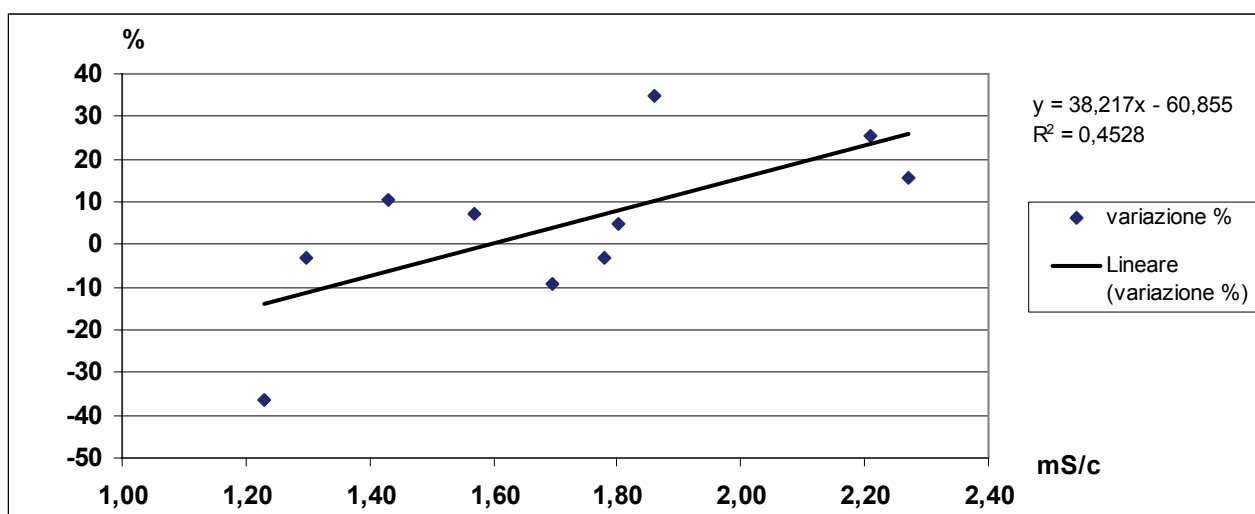
Una spiegazione a parte meritano i risultati ottenuti per il COD. Come già spiegato, i risultati delle analisi ottenute per questo impianto dipendevano molto dal giorno del campionamento dati i rapidi incrementi in termini di  $m^3$  e concentrazioni che caratterizzavano i flussi a seguito dei lavaggi delle attrezzature.

A tal riguardo, il leggero incremento della percentuale di COD riscontrata nelle acque a valle dell'impianto rispetto a quelle a monte è da addebitarsi alla casualità dei campionamenti, che in più occasioni sono stati effettuati mentre dal letto vegetato uscivano i reflui dei diversi lavaggi effettuati alcuni giorni prima.

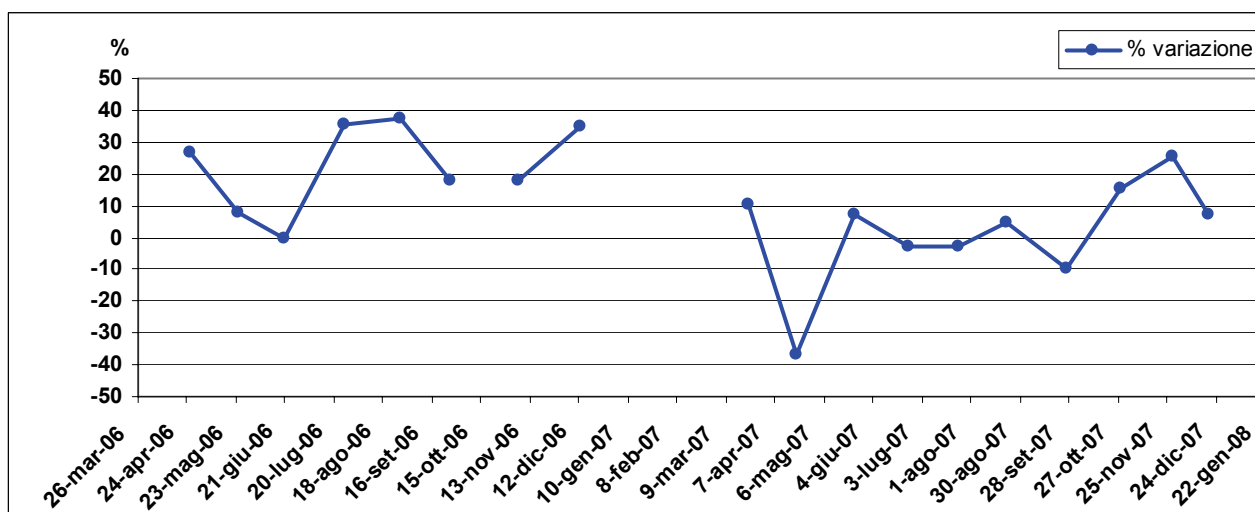
## 6.3. Impianto C – Abitazione, h-SSF

### 6.3.1. Rese depurative

#### 6.3.1.1. Conducibilità elettrica

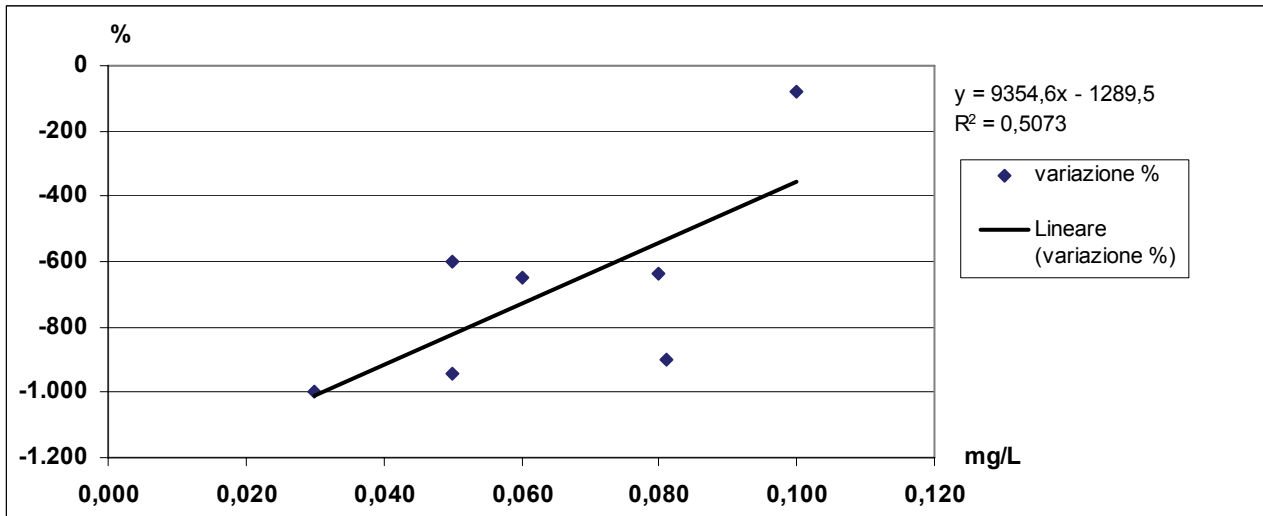


**Grafico 129** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata.

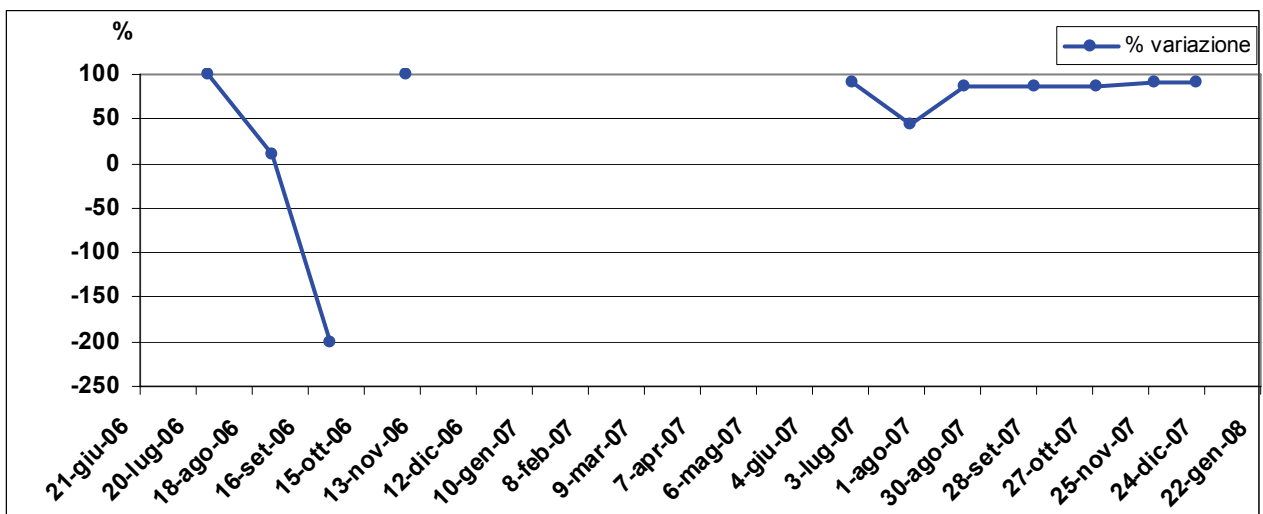


**Grafico 130** – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.2. Ossigeno disciolto

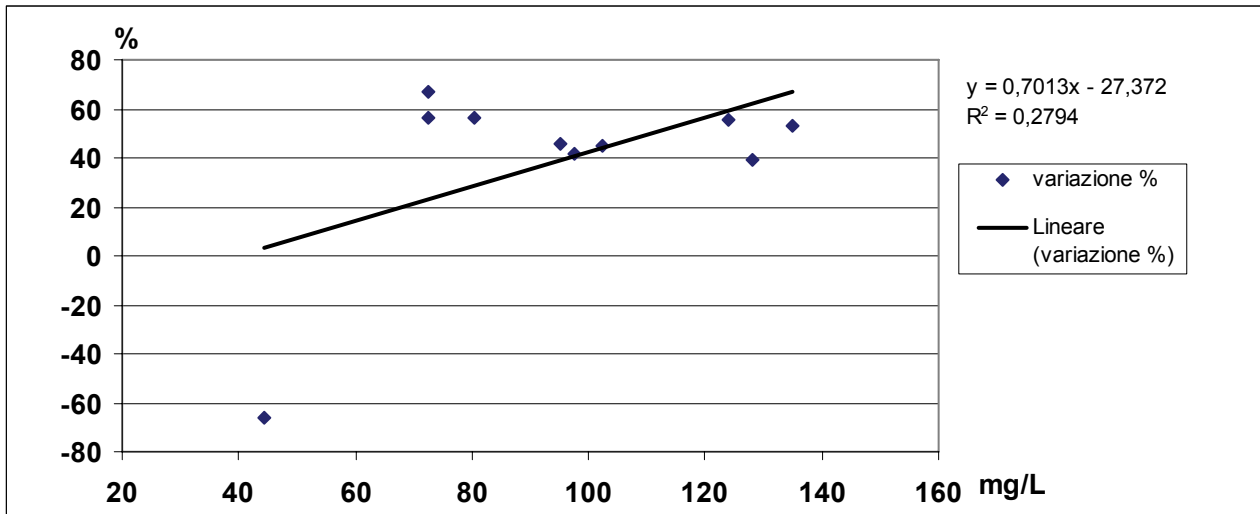


**Grafico 131** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata.

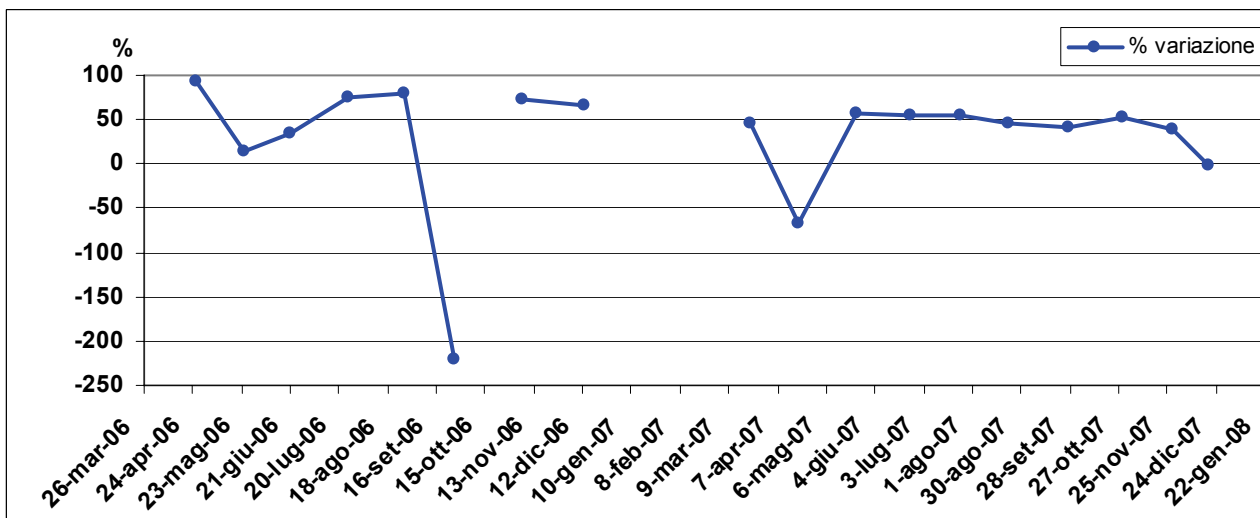


**Grafico 132** – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.3. Azoto totale

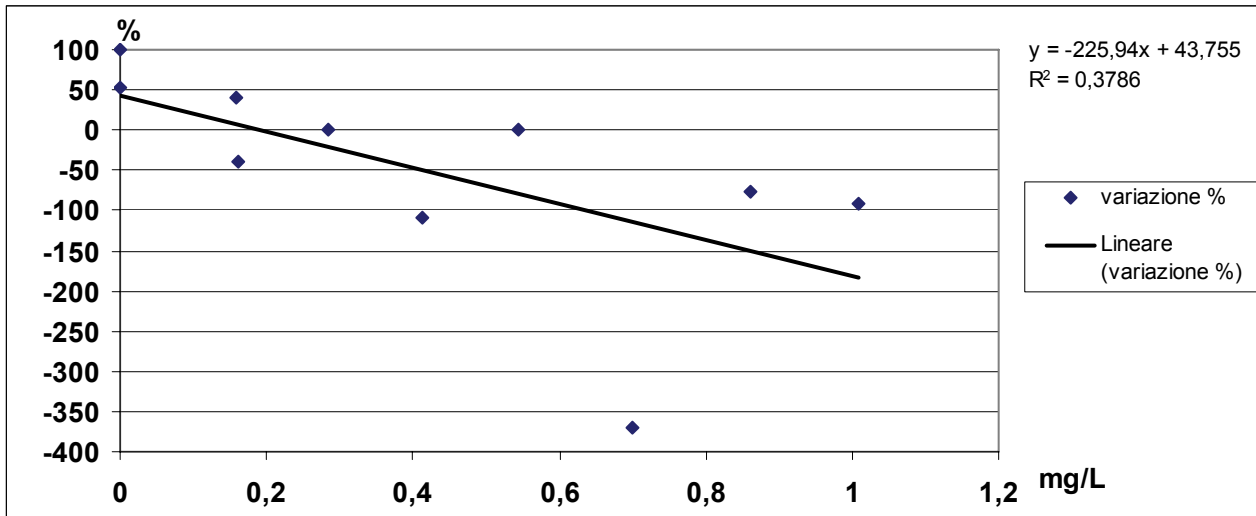


**Grafico 133** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata.

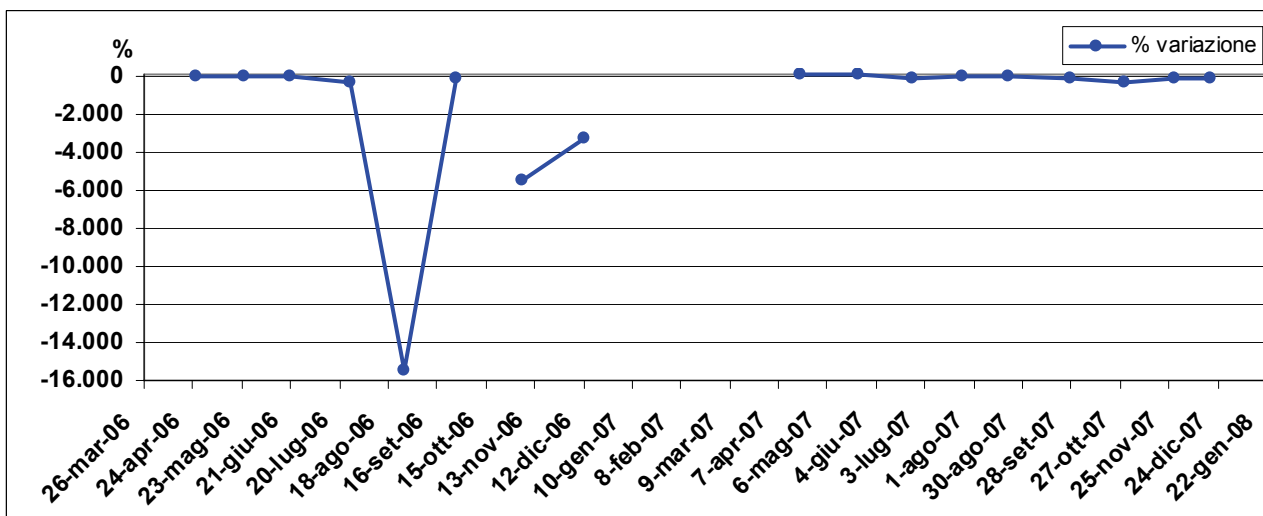


**Grafico 134** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.4. Azoto Nitrico (N\_NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



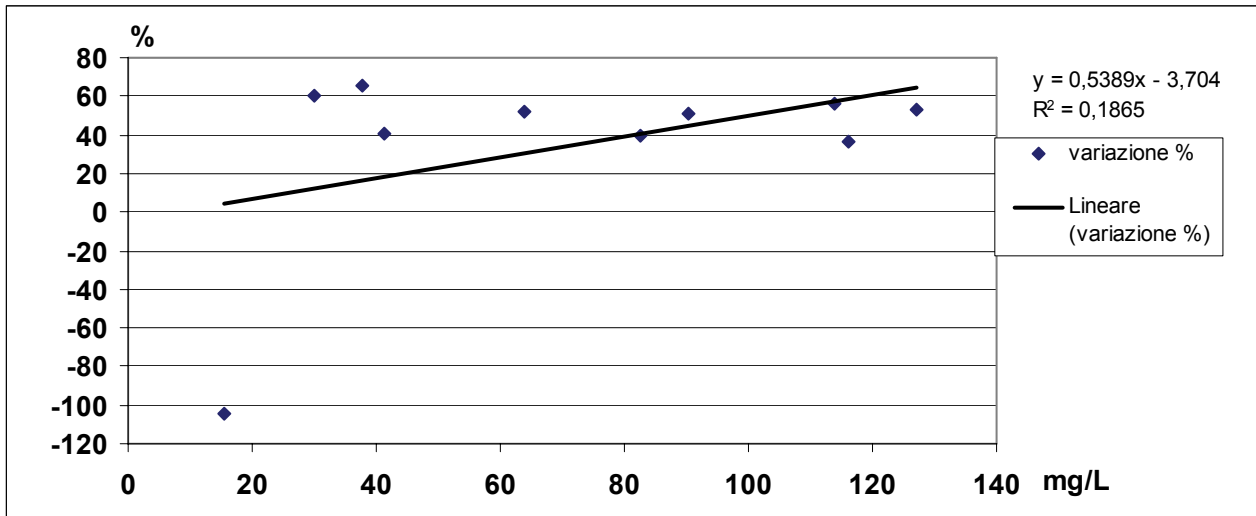
**Grafico 135** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata.



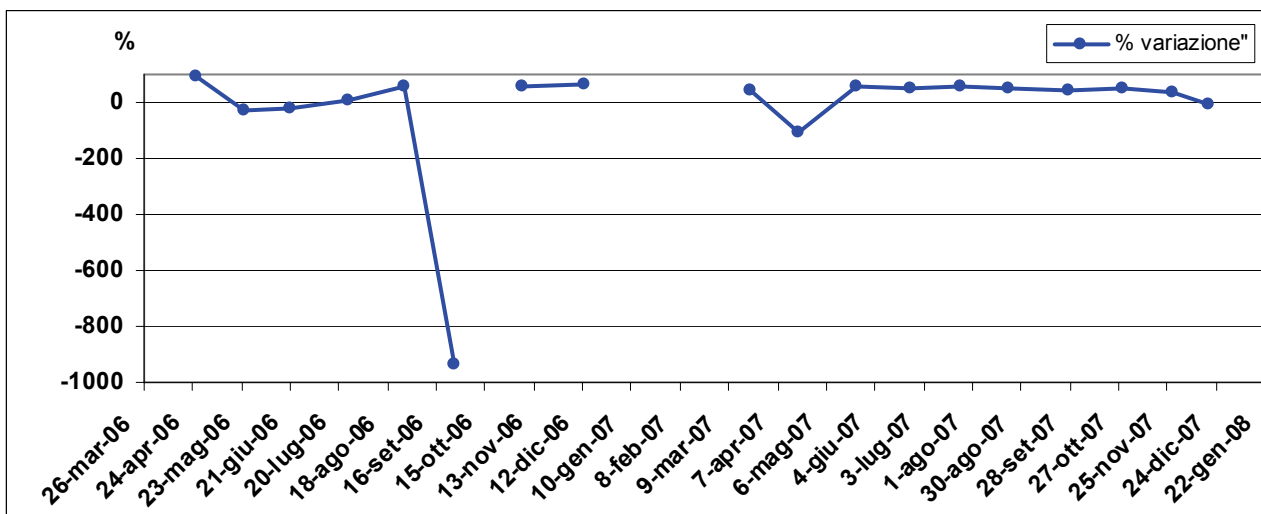
**Grafico 136** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.



### 6.3.1.5. Azoto Ammoniacale (N<sub>NH4</sub><sup>+</sup>)

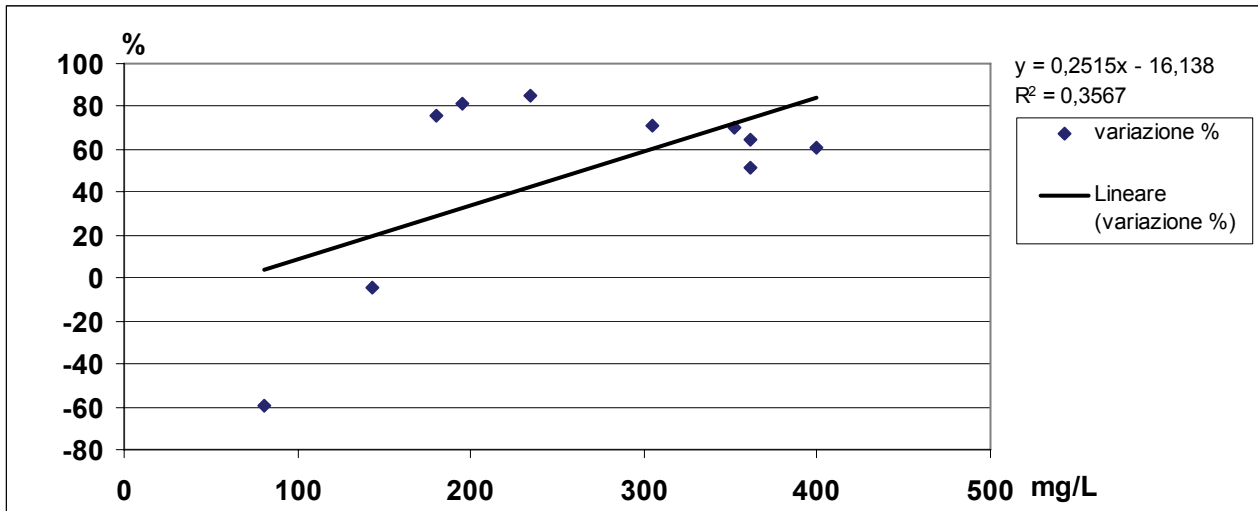


**Grafico 137** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.

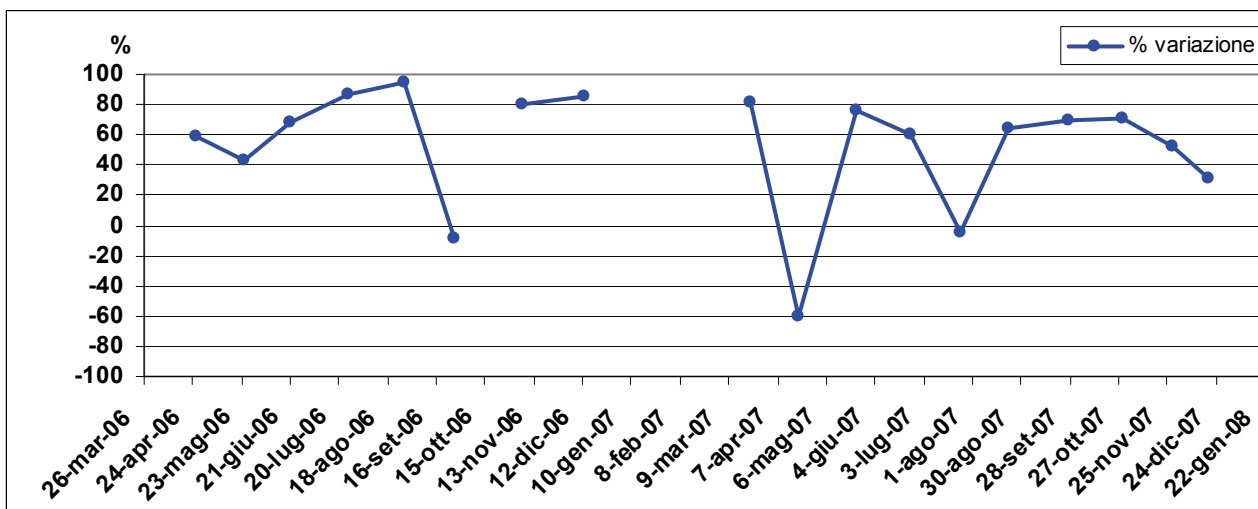


**Grafico 138** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.6. COD

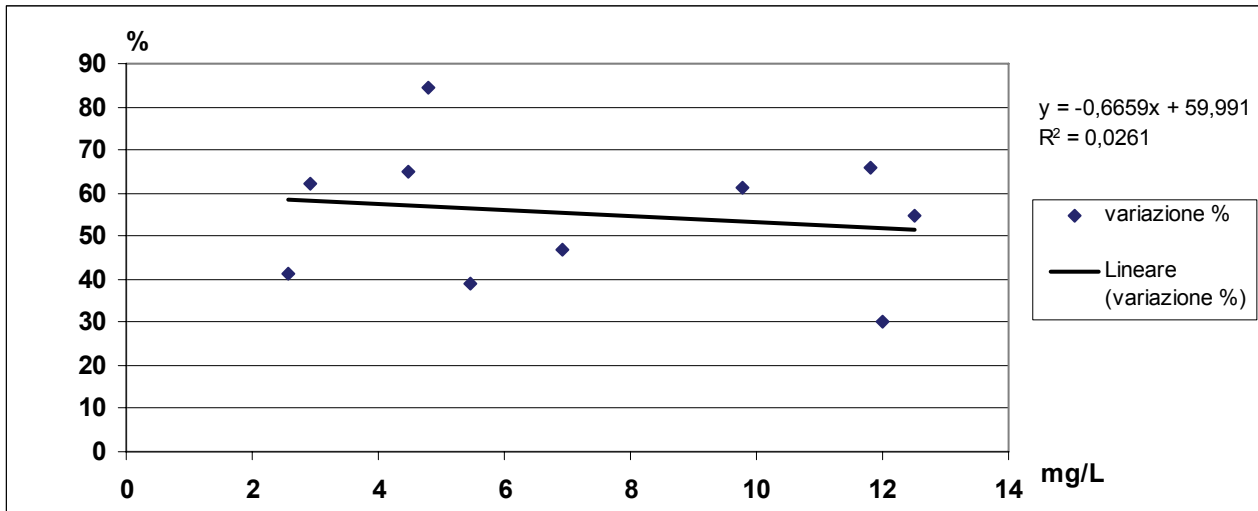


**Grafico 139** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.

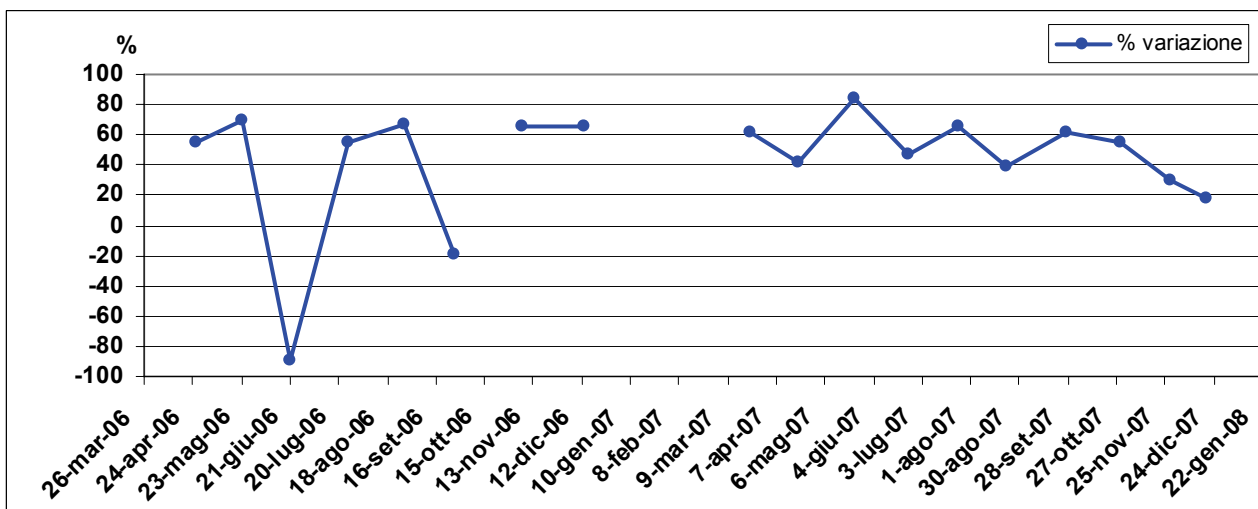


**Grafico 140** – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.7. Fosforo totale

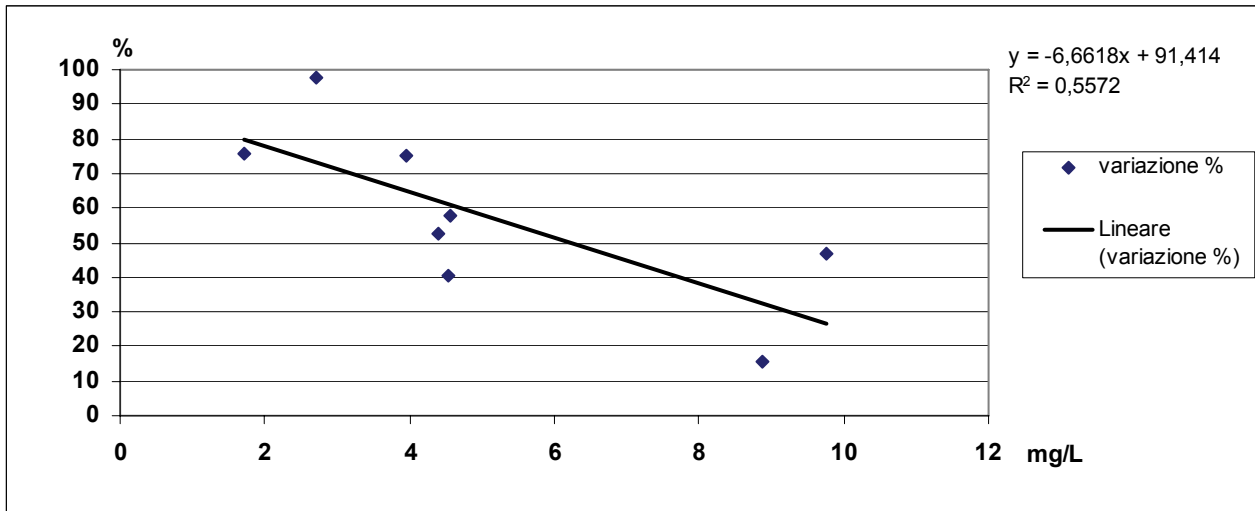


**Grafico 141** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.

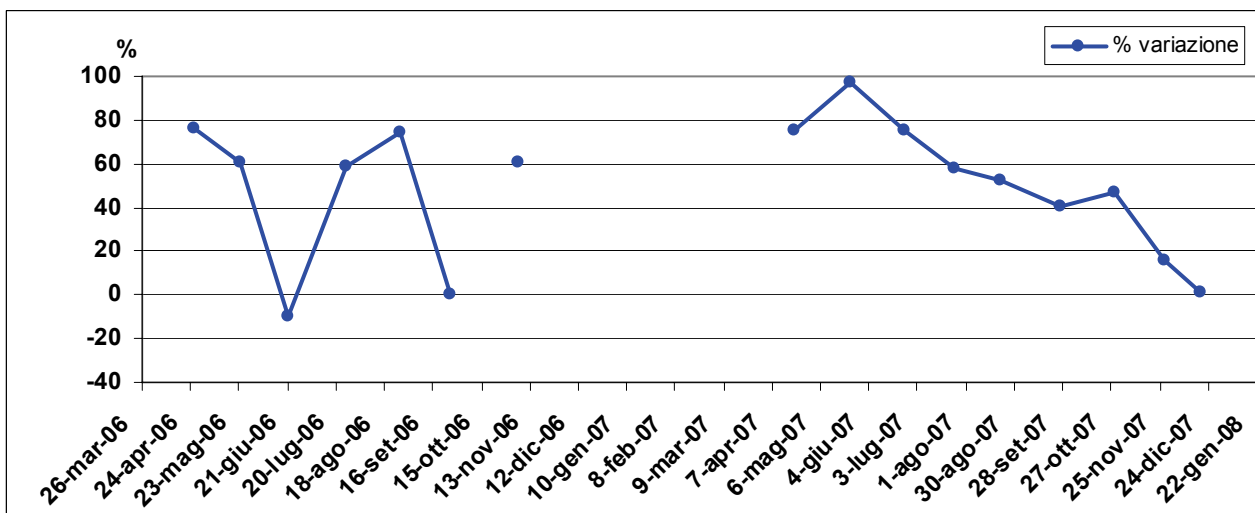


**Grafico 142** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.3.1.8. Fosforo solubile (P\_PO4<sup>3-</sup>)



**Grafico 143** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.



**Grafico 144** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

	Spearman r	Signif. per P<0,05
O <sub>2</sub>	0,62	n.s.
E.C.	0,72	*
N tot	-0,20	n.s.
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,17	n.s.
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,03	n.s.
COD	0,07	n.s.
P tot	-0,18	n.s.
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,81	n.s.

**Tabella 21** - Valori dell'indice di correlazione "r" per ranghi di Spearman e significatività statistica per P<0,05 tra i valori in entrata e le variazioni percentuali.

	Variazione% IN/OUT 06	Variazione% IN/OUT 07
O <sub>2</sub>	-1.450	-650
E.C.	15	4
N tot	69	42
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-140	10
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15	48
COD	80	57
P tot	56	44
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	63	55

**Tabella 20** - Confronto tra le percentuali di variazione calcolate sulle mediane dei valori in entrata ed uscita nel 2006 e nel 2007.

Nella prima tabella si evidenzia come l'unico caso in cui si sia riscontrata una correlazione statisticamente significativa tra i valori in ingresso e le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita sia stata la Conducibilità elettrica, con un valore dell'indice di correlazione r di 0,72.

In tutti gli altri casi al variare delle concentrazioni in entrata non sono corrisposti indicativi aumenti o decrementi dell'efficienza depurativa.

La seconda tabella mostra le differenze delle rese depurative riscontrate nei due anni: escludendo i casi relativi all'Azoto nitrico e all'Azoto ammoniacale, tutti i valori del 2006 sono tendenzialmente superiori a quelli del 2007.

A tal riguardo bisogna però sottolineare che questi dati sono riferiti ad un monitoraggio più corto ed il minor numero di dati può aver indotto una deriva statisticamente rilevante.

Confrontando lo stesso i dati del 2007 con quelli degli altri due impianti di trattamento di reflui domestici (impianti A e D) risultano comunque paragonabili e coerenti, soprattutto con l'impianto a flusso orizzontale A.



## 6.4. Impianto D – Abitazione, v-SSF

### 6.4.1. Rese depurative

#### 6.4.1.1. Conducibilità elettrica

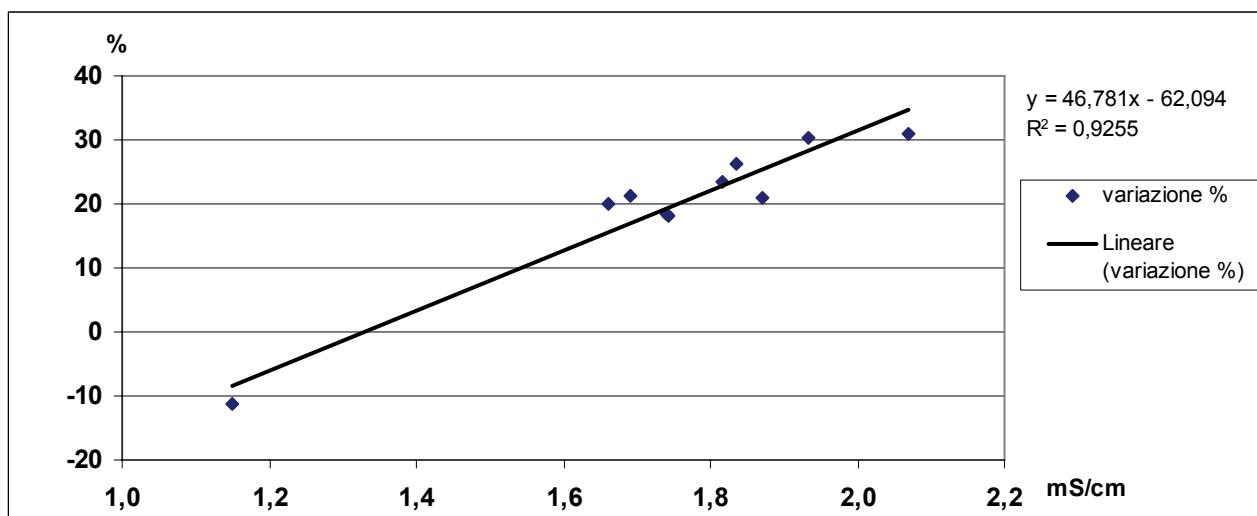


Grafico 145 – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata.

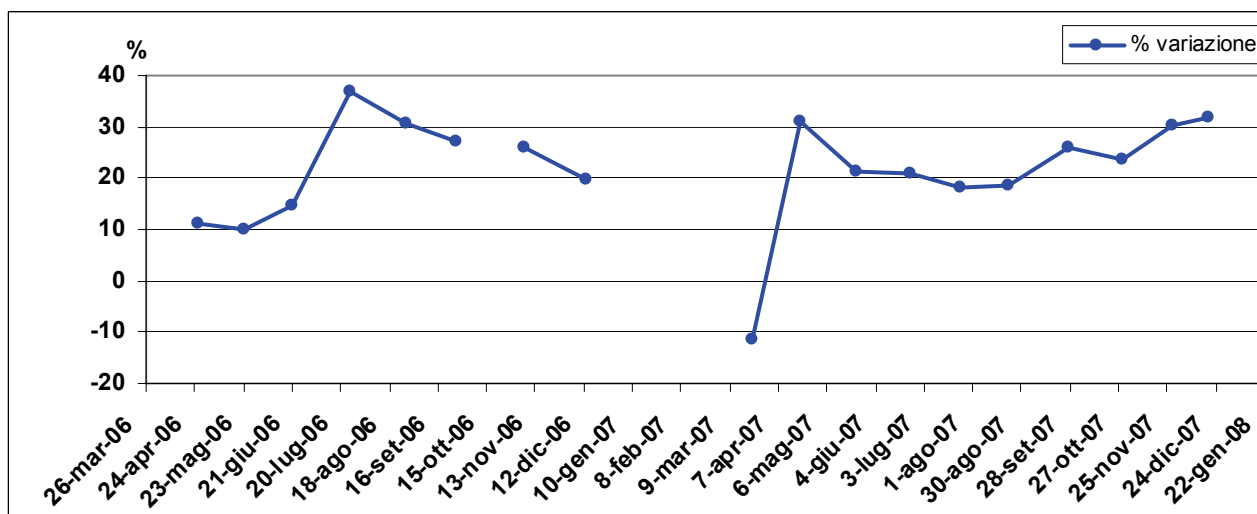
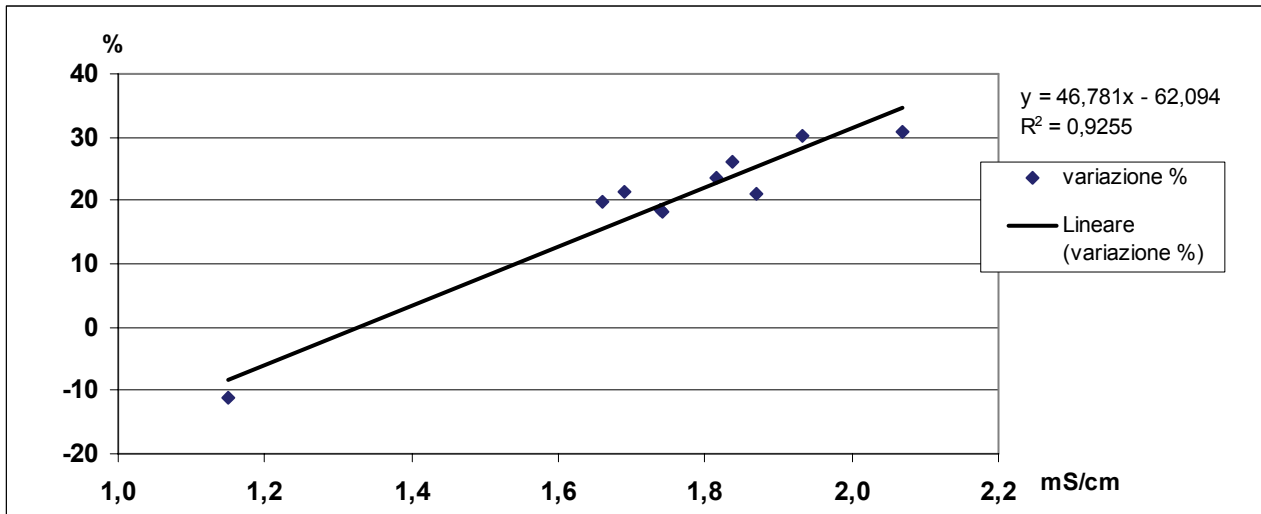
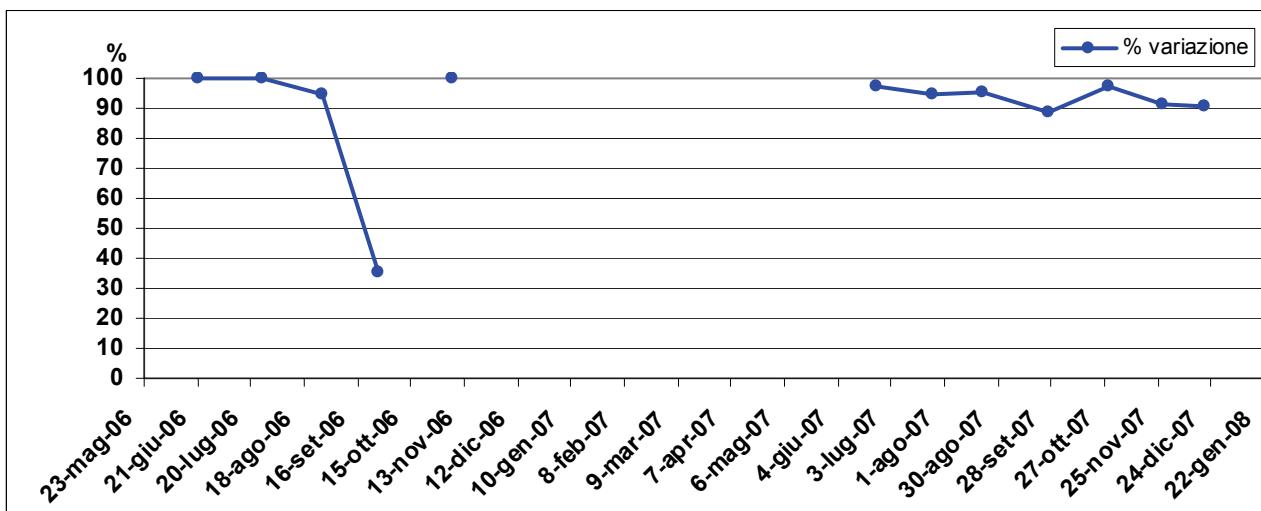


Grafico 146 – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.4.1.2. Ossigeno disciolto



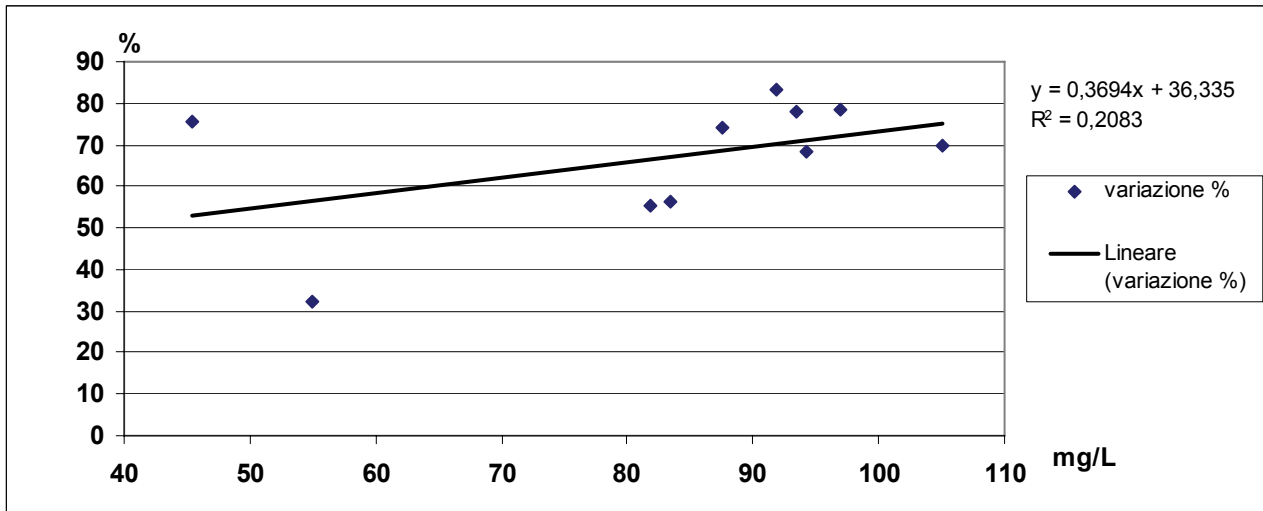
**Grafico 147** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata.



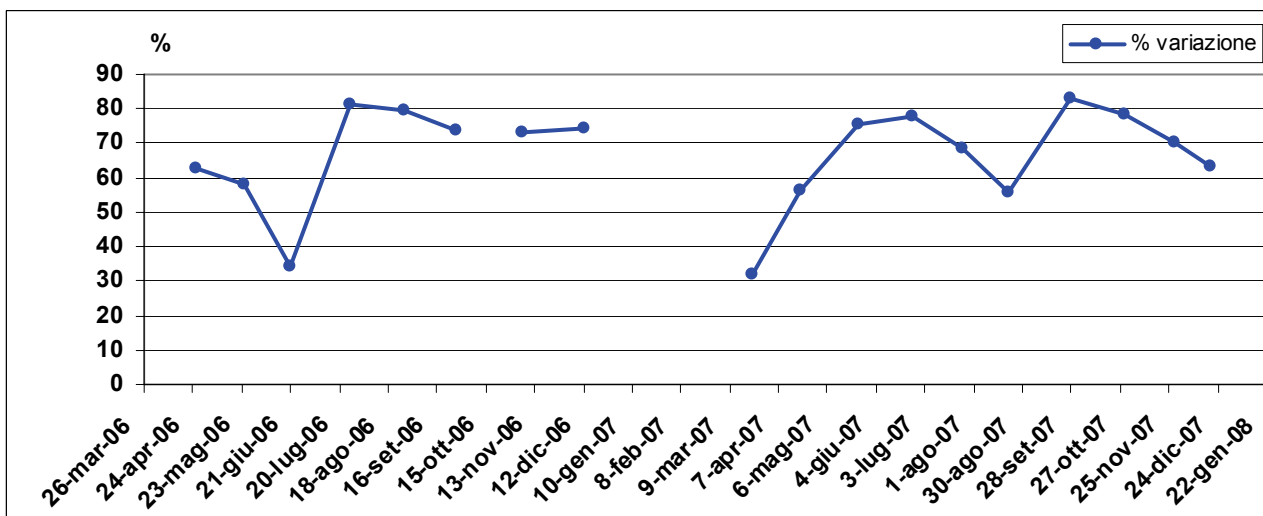
**Grafico 148** – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.



### 6.4.1.3. Azoto totale

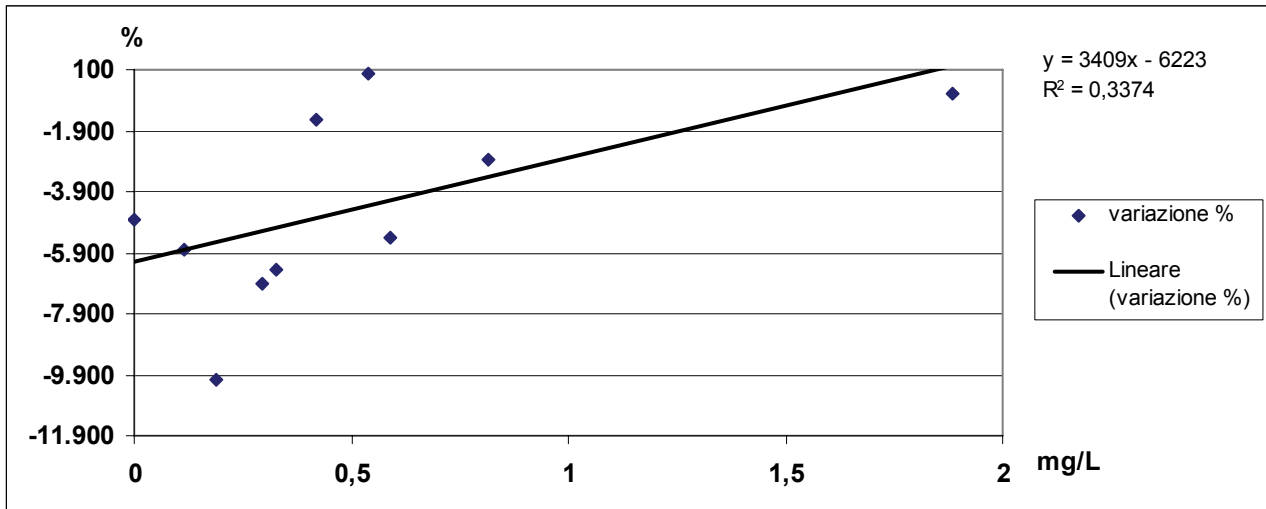


**Grafico 149** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata.

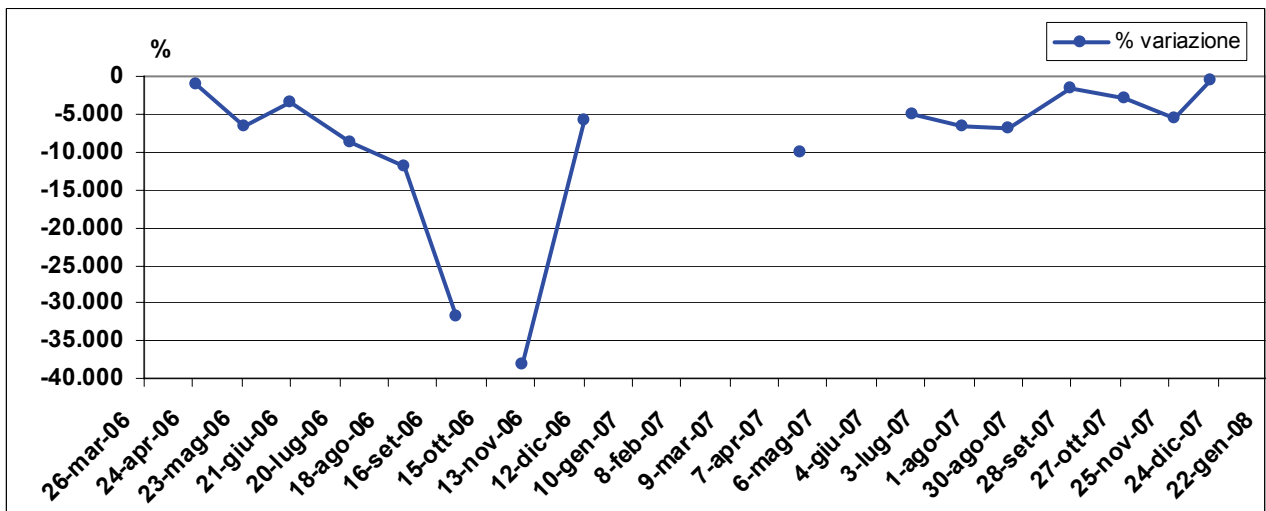


**Grafico 150** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

#### 6.4.1.4. Azoto Nitrico (N\_NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

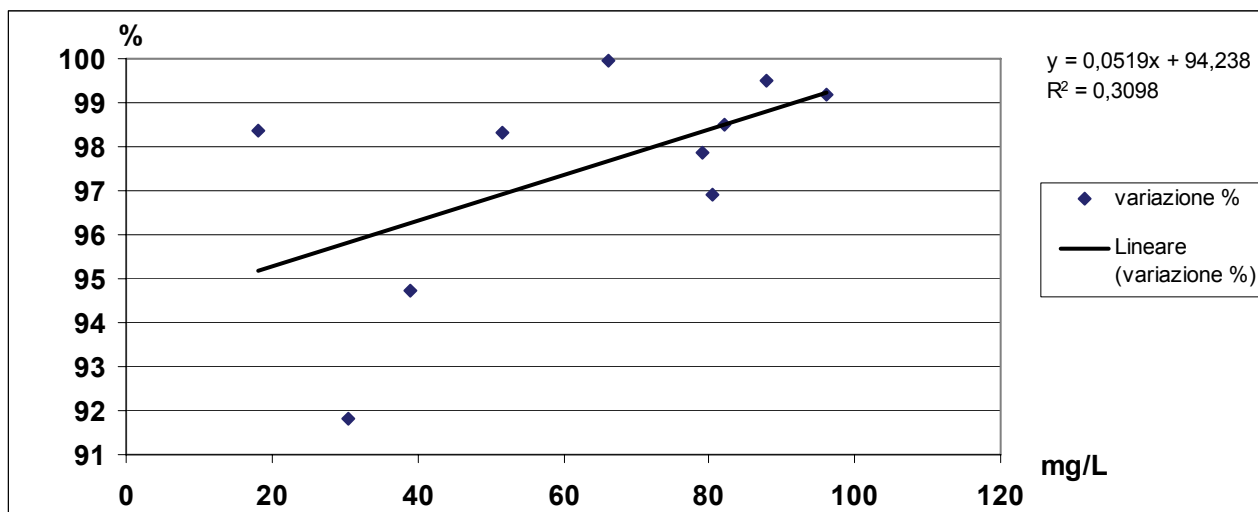


**Grafico 151** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata.

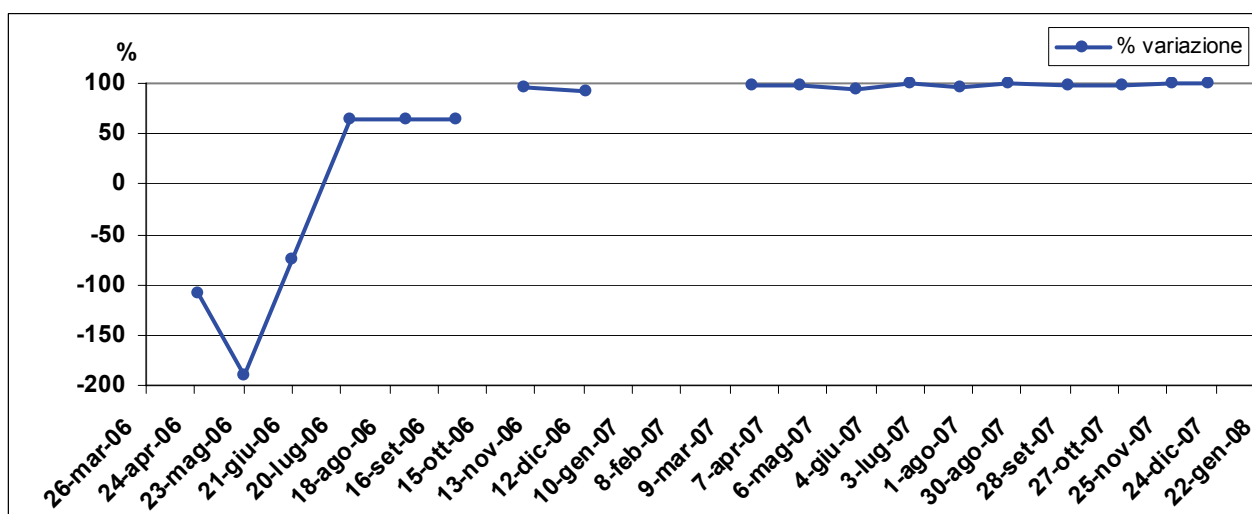


**Grafico 152** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.4.1.5. Azoto Ammoniacale (N\_NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

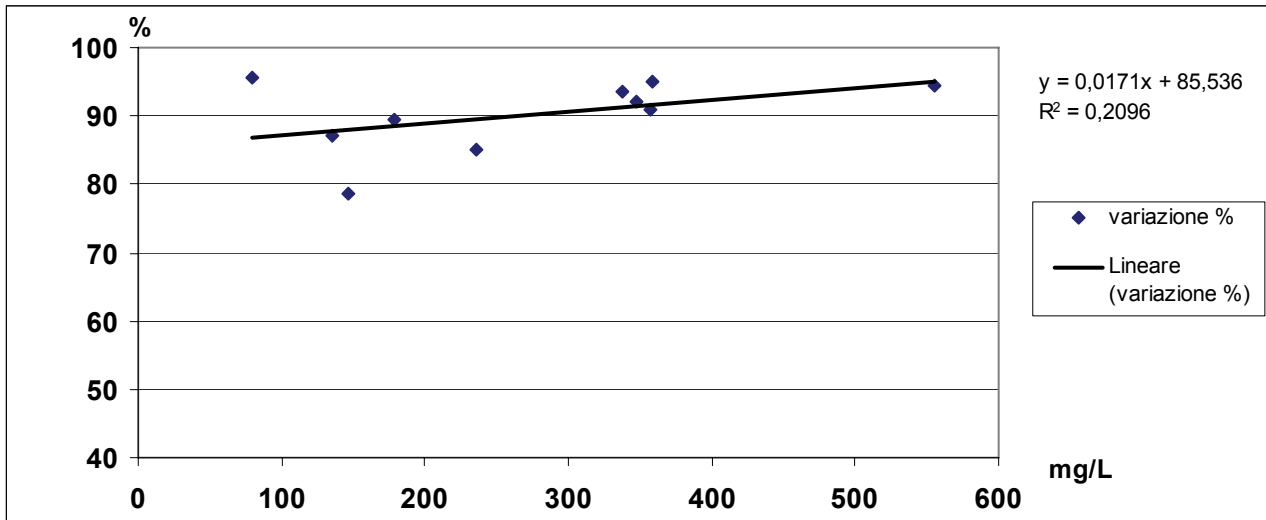


**Grafico 153** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.

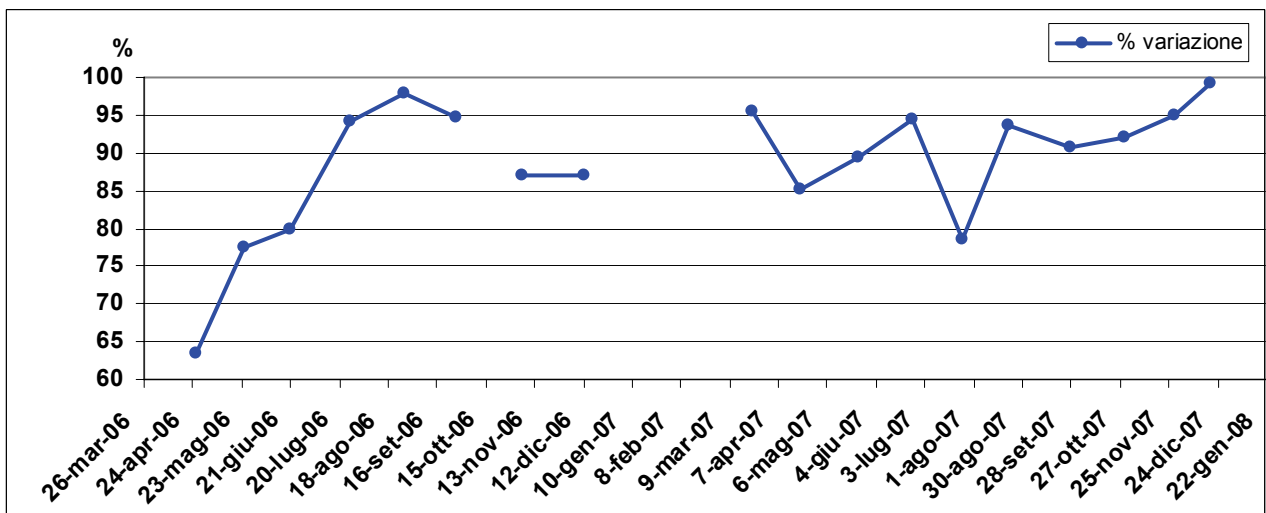


**Grafico 154** – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.4.1.6. COD

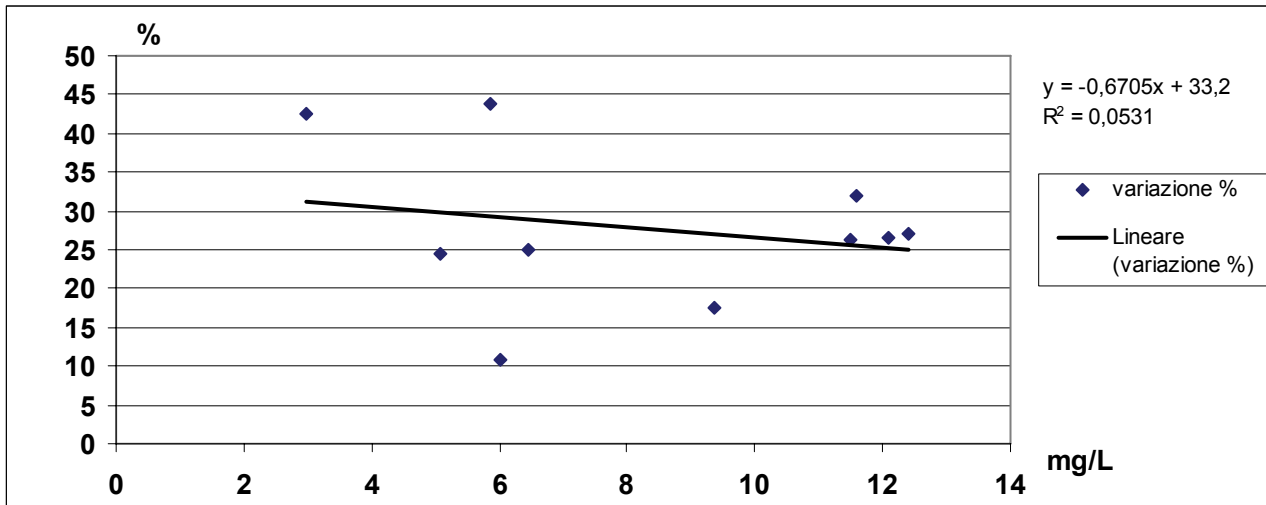


**Grafico 155** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.

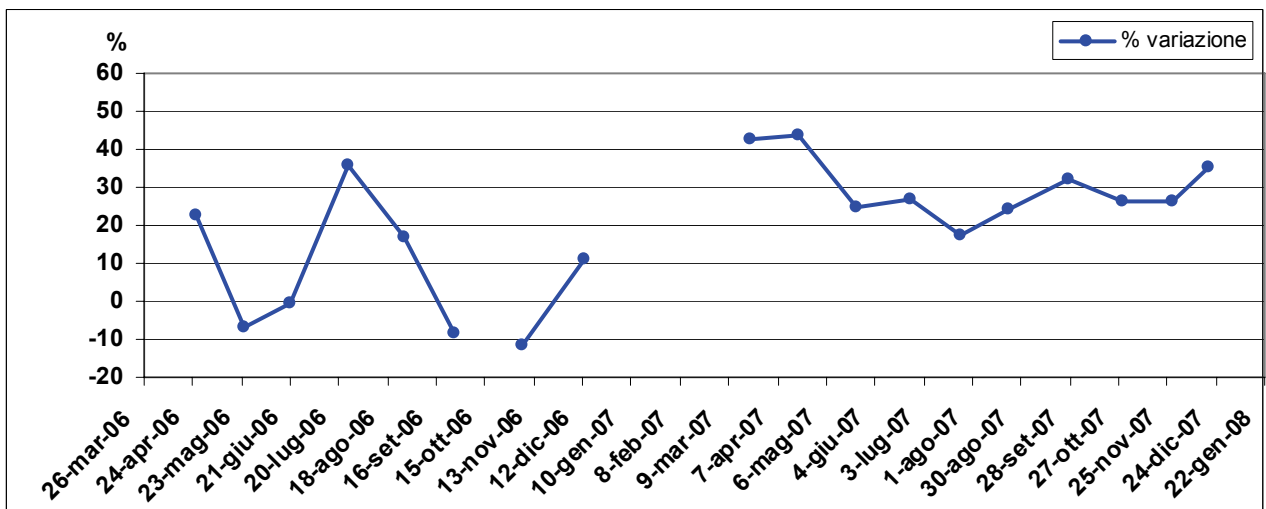


**Grafico 156** – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.4.1.7. Fosforo totale

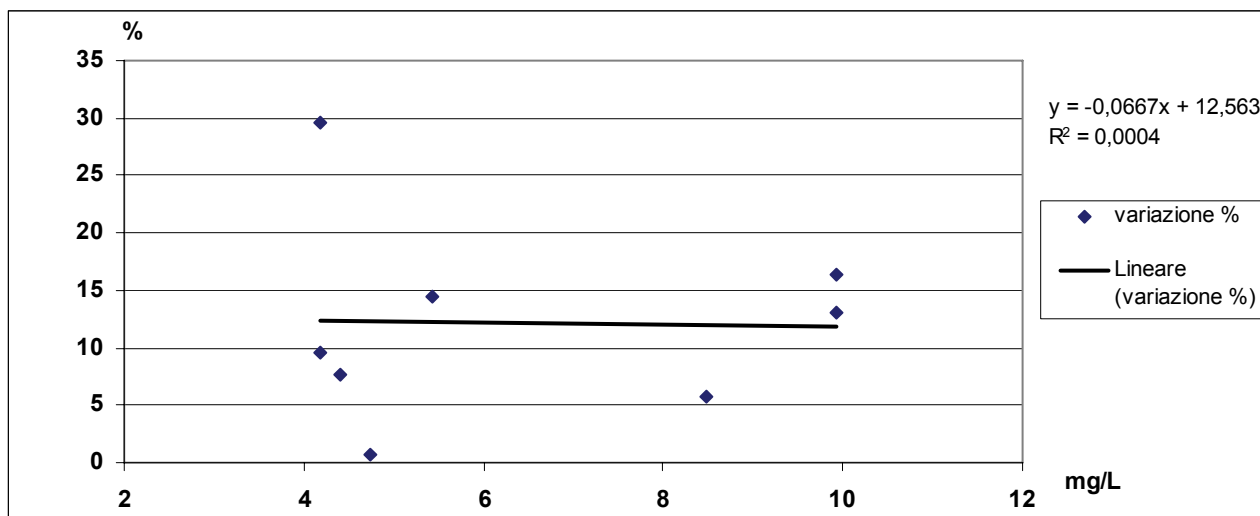


**Grafico 157** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.

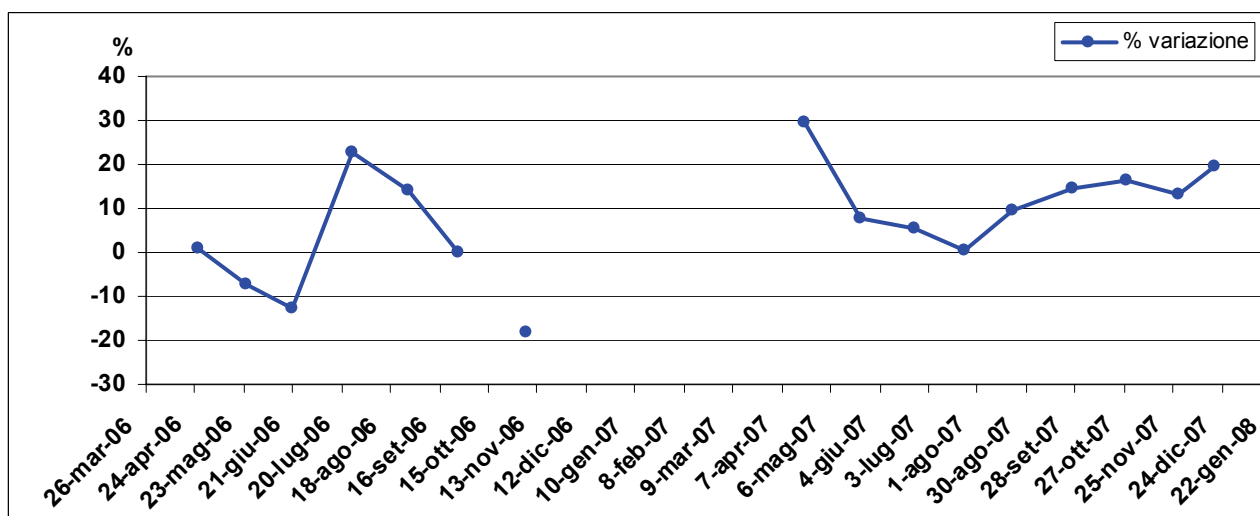


**Grafico 158** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

### 6.4.1.8. Fosforo solubile (P\_PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)



**Grafico 159** – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.



**Grafico 160** – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.

	Spearman r	Signif. per P<0,05
<b>O<sub>2</sub></b>	0,89	*
<b>E.C.</b>	0,79	*
<b>N tot</b>	0,41	n.s.
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,8	*
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,53	n.s.
<b>COD</b>	0,33	n.s.
<b>P tot</b>	0,02	n.s.
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0	n.s.

**Tabella 23** - Valori dell'indice di correlazione "r" per ranghi di Spearman e significatività statistica per P<0,05 tra i valori in entrata e le variazioni percentuali

	Variazione% IN/OUT 06	Variazione% IN/OUT 07
<b>O<sub>2</sub></b>	-36.900	-1.468
<b>E.C.</b>	26	23
<b>N tot</b>	76	71
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	-7.900	-4.393
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	61	99
<b>COD</b>	87	91
<b>P tot</b>	13	17
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	4	8

**Tabella 22** – Confronto tra le percentuali di variazione calcolate sulle mediane dei valori in entrata ed uscita nel 2006 e nel 2007.

Nella prima tabella si nota come si sia riscontrata una correlazione statisticamente indicativa tra i valori in ingresso e le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita solo nei casi relativi all'Ossigeno disciolto, alla Conducibilità elettrica e all'Azoto totale.

Negli altri casi, al variare delle concentrazioni in entrata, non sono corrisposti indicativi aumenti o decrementi dell'efficienza depurativa.

La seconda tabella mostra come le rese depurative ottenute nel 2007 siano state molto simili, ed in parte leggermente migliori, di quelle ottenute nell'anno precedente.

A tal riguardo, confrontando i due anni si può osservare come ad un calo dell'arricchimento del contenuto di Ossigeno avvenuto nel 2007 (-1468% anziché -36900), corrisponda anche un calo dell'aumento dei nitrati (-4393% contro -7900%).

Proseguendo il confronto tra i due anni, si constata come a fronte di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita leggermente inferiori dei parametri relativi alla Conducibilità elettrica e Azoto totale, nel 2007 si sono registrati aumenti delle rese depurative nei confronti dell'Azoto Ammoniacale, COD, P totale ed Ortofosfato.

In quest'ultimo caso il valore della variazione percentuale tra ingresso ed uscita è raddoppiato, passando dal 4% all'8%.

In conclusione si nota come questo impianto a flusso orizzontale, in confronto agli altri impianti di trattamento di reflui domestici, abbia presentato rese depurative marcatamente superiori in

entrambi gli anni di studio, presentando l'unica problematica del forte aumento di nitrati all'interno dei reflui in uscita.



## ***7. Conclusioni***

Come premesso, l'obiettivo di questo lavoro era proseguire la ricerca inerente alle prestazioni degli impianti di fitodepurazione secondo i diversi regimi idrici e delle tipologie di reflui immessi, al fine di fornire un contributo ad aumentare la definizione e la comprensione di questa tecnologia non ancora completamente standardizzata.

### **IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEI REFLUI DOMESTICI**

Alla luce dei risultati ottenuti le efficienze medie di rimozione indicano che gli impianti di trattamento di reflui domestici hanno dimostrato delle prestazioni di rilievo, paragonabili a quelle osservate in letteratura.

Più precisamente si è riscontrato che le concentrazioni Ossigeno nei reflui in uscita sono sempre state superiori a quelle in entrata con variazioni percentuali tra ingresso ed uscita mediamente comprese tra il 200% ed il 600% per i due impianti h-SSF e del 1400% per l'impianto v-SSF.

Nel caso della Conducibilità elettrica negli impianti A e C mediamente è stato riscontrato un aumento di tale parametro a valle dell'impianto rispetto alle rilevazioni a monte (rispettivamente 12% e 4%) a causa dell'evapotraspirazione del refluo durante la sua permanenza nel letto vegetato; tale situazione non è stata invece riscontrata nell'impianto a flusso sub-superficiale verticale, dove anzi si è avuto una variazione percentuale media tra ingresso ed uscita del 23%, probabilmente per via dell'esigua superficie e del ridotto tempo idraulico di residenza.

Anche le rese depurative legate all'abbattimento dell'Azoto totale hanno mostrato risultati apprezzabili, con percentuali attorno al 40-50% per gli impianti h-SSF e al 70% per il v-SSF; tali valori si sono riscontrati anche per l'abbattimento dell'Azoto ammoniacale, le cui rese, analizzando i contenuti di nitrati, sono da addebitarsi essenzialmente alla volatilizzazione e solo secondariamente al fenomeno della nitrificazione.

Questo processo è invece stato particolarmente accentuato nell'impianto a flusso verticale, dove l'elevata ossigenazione del refluo ha portato alla formazione di importanti concentrazioni di nitrati in uscita, tali da superare i limiti di legge previsti dal D. Lgs. 152/06 nel 20% dei casi.

Il COD è stato il parametro che mediamente stato abbattuto con maggiore efficienza in tutti i tre impianti: in linea con i valori riportati in letteratura (Vymazal, 2002), le rese sono state tra il 60% ed il 90%, e le acque reflue in uscita non hanno mai superato i limiti di scarico previsti, tranne che in due casi nell'impianto C.

Anche gli abbattimenti delle concentrazioni di Fosforo, sia totale che nella forma solubile, si sono dimostrati significativi – attorno al 50%, inferiori nel caso del v-SSF - e facendo rientrare i reflui in uscita entro i limiti di legge per 31 volte su 33 monitoraggi.

I tre impianti infine, avendo tutti sviluppato una vegetazione mediamente ben insediata e simile sotto il profilo dell'altezza e del numero di culmi per m<sup>2</sup>, non hanno presentato differenze depurative riconducibili tanto a questo fattore, mentre hanno mostrato notevoli differenze secondo il regime idrico.

L'impianto A –h-SSF- infine ha evidenziato carichi in entrata inferiori agli alti due trattanti reflui domestici (impianti C –h-SSF- e D –v-SSF-): la risposta della vegetazione è stata quindi caratterizzata da una la densità dei culmi molto maggiore ad inizio rispetto a fine impianto, mentre nell'impianto C la vegetazione posta nella zona di carico ha risentito di una certa sofferenza sviluppando un numero di culmi per m<sup>2</sup> inferiore alle zone di metà e fine vasca.

## **CANTINA VINICOLA**

Questo impianto ha evidenziato delle notevoli difficoltà nella depurazione dei reflui immessi; le acque trattate hanno più volte superato i limiti di legge relativi a tutti i parametri a causa delle insufficienti dimensioni del letto vegetato, dimensionato sui dati forniti dall'azienda e dimostratisi inferiori a quelli rilevati nel monitoraggio.

L'impianto nonostante questo è comunque riuscito a garantire buone prestazioni nella neutralizzazione del pH e nell'abbattimento di Azoto totale, Azoto ammoniacale, nitrati e Conducibilità elettrica, risultando invece insufficiente nell'abbattimento del COD e delle due forme di Fosforo analizzate.

Nel caso specifico del COD l'efficienza depurativa è stata inferiore a quella riportata in altre esperienze (Masi et al., 2002): tal aspetto sembrerebbe comunque riconducibile più all'immissione nelle tubature di grandi quantità di rifiuti solidi di lavorazione (residui di foglie, bucce degli acini, semi e raspi,) e alle limitazioni imposte dalla tipologia di campionamento piuttosto che all'elevato carico organico in entrata.

Confrontando comunque le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita relative all'Azoto totale con quelle rilevate nel caso del COD, si può notare come –a parte nel caso di maggio- si siano avute efficienze di rimozione maggiori in corrispondenza di alti carichi organici, ovvero nei mesi di agosto e settembre

Proprio a causa dell'entità del carico entrante è stata osservata una crescita ridotta da parte delle piante collocate nelle parti iniziale e centrale della vasca, aspetto questo comunque osservato anche in altre esperienze (Shepherd et al., 2001). L'installazione di un sistema per l'aerazione nel pozzetto di accumulo del refluo potrebbe aiutare a diminuire il carico organico entrante, ma rimarrebbe in

ogni caso il problema delle grandi quantità di solidi in entrata che alla fine ostruirebbero il sistema di dispersione.

Di fronte a questa serie di problematiche l'unica soluzione praticabile sembra essere la costruzione di un ulteriore impianto a valle di quello esistente per permettere un affinamento degli abbattimenti.

Concludendo, la fitodepurazione si è confermata una tecnologia di depurazione efficiente, economica e flessibile sotto i punti di vista climatico, del regime idrico, delle caratteristiche e delle quantità dei reflui immessi, dimostrando al contempo che le rese depurative sono strettamente legate al corretto funzionamento dei sistemi di pre-trattamento.



# *Bibliografia*

- Armstrong J., Armstrong W., Beckett P.M., Hadler J.E., Lythe S., Holt R., Sinclair A. (1996). *Pathways of aeration and the mechanisms and beneficial effects of humidity and Venturi-induced convections in Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. *Aquatic Botany*, vol. 54.
- Bigambo T, Mayo A.W. (2005). *Transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands II: effect of biofilm*. *Physics and Chemistry Of the Earth* n.30, pp. 668-772.
- Borin M. (2003). *Fitodepurazione: Soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*; Edagricole de Il Sole 24 ORE.
- Borin M., Marchetti C. (1997). *Sistemi di fitodepurazione delle acque basati sull'uso di vegetazione macrofita*. *ARS*, n. 56, pp. 7-12.
- Brix, H. (1990). *Gas exchange through the soil-atmosphere interface and through dead culms of Phragmites australis in a constructed wetland receiving domestic sewage*. *Water Res.*, pp. 259-266.
- Brix H. (1993) *Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes and treatment performance*. In: Moshiri, G.A. (ed), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers.
- Brix H. (1994). *Constructed wetlands for municipal wastewater treatment in Europe*. In: *Global Wetlands: Old World and New*. Mitsch W.J. (Ed.), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.435-442 e 325-333.
- Brix, H. (1997). *Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?* *Wat. Sci. Tech.*, 35, pp. 11-17.
- Brix H., Schierup H. (1990). *Soil oxygenation in constructed reed beds: the role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport*. In: P.F. Cooper and B.C. Findlater (eds.) *Proceedings*

of international conference on use of constructed wetlands in water pollution control. Oxford, UK:  
Pergamon Press

Cirelli G.L., Barbagallo S. (2002). *Future Prospectives of Wastewaters Reuse in Italy*. Proceedings of AEAS-EUREAU Seminar on “Water Reuse in European Union”, Madrid, 6-7 June 46-56.

Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. e Shutes, R.B.E. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK.

Conte G., Bresciani R., Pucci B., Martinuzzi N., (2003). *Applicazioni di sistemi a flusso sommerso orizzontale per il trattamento secondario dei reflui civili e agro-industriali in Italia*, Atti del Convegno “La fitodepurazione: applicazioni e prospettive”, ARPAT, Volterra (Pi), pp. 90-105.

Cristina S.C. Calheiros, Antonio O.S.S. Rangel, Paula M.L. Castro (2007). *Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater*. Water Research, vol. 41.

Deepak Pant, Alok Adholeya, (2007). *Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review*. Bioresource Technology, vol. 98.

Diederik P.L. Rousseaua, Peter A. Vanrolleghemb, Niels De Pauwa (2004). *Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review*. Water Research, vol. 38.

E.P.A (1993). *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: a technology assessment*. EPA7832\_R\_93\_001, Washington, USA

E.P.A. (2000). *Constructed Wetlands of Municipal Wastewaters*. U.S.E.P.A., Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio 45268,65/R-99/010.

E.P.A. (2001). *Constructed Wetlands of Municipal Wastewaters*, Cincinnati, Ohio.

Gersberg, R.M., Brenner R., Lyon S.R., Elkins, B.V. (1987). *Survival of bacteria and viruses in Municipal wastewater applied to artificial wetlands*. In: *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*, K.R. Reddy e W.H. Smith (ed.), Magnolia Publishing, Orlando, Florida, pp. 237-245.

- Ghetti P.F. (1993). *Manuale per la difesa dei fiumi*. Edizioni della Fondazione Agnelli, Torino, pp. 48-49.
- Hauck, R.D. (1984). *Atmospheric nitrogen chemistry, nitrification, denitrification, and the relationships*. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 1. Part C, *The Natural Environment and Biogeochemical Cycles*, O. Hutzinger (ed.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 105-127
- I.T.R.C. (2003). *Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetlands*. The Interstate Technology & Regulatory Council. Wetlands Team
- Jourjon F., Arcanger P. (1998). *Identifying Flows of Vineyards Effluents applied to Angjou Wie Celars*. Proc. 2nd Int. Spec. Conf. Winery wastewater, Bordeaux, France, 299.
- Kadlec R.H., Knight R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton; New York, Lewis Publishers
- Kowalik P., Obarska-Pempkowiak, H., (1998). Poland. In: Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R. (Eds), *Constructed Wetlands for Wastewater treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp. 217-225
- Loehr R.C., Ryding S.O. e W.C. Sonzogni (1989). *Estimating nutrient load to a waterbody*, In: S-O. Ryding and W. Rast (eds), *the Control of Eutrophication of lakes and Reservoirs*, pp. 115-146. Parthenon Publishing Group, Carnforth/UNESCO, Paris.
- Marchetti R. (1993) *Ecologia applicata*. Società Italiana di Ecologia, Città Studi, pp. 582-584
- Masi F. (2001). *Fitodepurazione: descrizione di impianti esistenti e risultati ottenuti*. In: *Atti del corso di formazione su Progettazione e gestione di sistemi di fitodepurazione e lagunaggio di acque reflue urbane per il riutilizzo agricolo*, CSEI Catania, Acireale (CT), 22-26 ottobre.
- Masi F. (2006). *Fitodepurazione delle acque, Vigne Vini*, pp 75-77 vol. 8.
- Masi f., Conte G., Martinuzzi G., Pucci B. (2002). *Winery High Organic Content Wastewaters Treated by Constructed Wetlands In Mediterranean Climate*, Acts from “8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control”, International Water Association, Arusha, Tanzania, pp.274-283.

- Masi F.,(2003). *Indagine preliminare sui rendimenti degli impianti italiani di fitodepurazione per fonti di inquinamento puntuale*, Atti del Convegno “La fitodepurazione: applicazioni e prospettive”, ARPAT, Volterra (Pi), pp. 90-105.
- Mazzoni M. (2005). *Linee guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili*. APAT; ARPAT
- Metcalf, Eddy, Inc.(1991). *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Nichols, D.S. (1983). *Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater*. J. Water pollut. Control fed. 55, pp. 495-505.
- Ottovà, V., Balcarová, J., Vymazal, J.,(1997). *Microbial characteristics of constructed wetlands*. Water Sciences Technology n.35, pp. 117-123.
- Puigagut J., Villaseñor J., Salas J.J., Bécares E., García J. (2007). *Subsurface –flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: a comparative study*. Ecological Engineering n.30, pp. 312-319.
- Reddy K.R. e DeBusk W.F. (1984). *Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water*. I. Water hyacinth, water lettuce and pennywort. Econ. Bot., n.38 pp. 229-239.
- Reddy, K.R. e Graetz, D.A. (1984). *Carbon and nitrogen dynamics in wetland soils*. In: *Ecology and Management of Wetlands*. Vol 1. Ecology of Wetlands, D.D. Hook et al. (eds.), Timber Press, Portland, Oregon, pp. 307-318.
- Reddy, K.R. e Debusk, W.F. (1987). *Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants*. Aquatic plants for water treatment and resource recovery, K.R. Reddy and W.H. Smith (eds.), Magnolia publishing, Orlando, Florida, pp. 337-357.
- Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W. (1988). *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw-Hill, New York.



- Reed S.C., Crites R.W., Middlebrooks E.J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. 2nd ed. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Richardson, C.J. (1999). *The role of wetlands in storage, release, and cycling of phosphorous on the landscape: a 25-year retrospective*. In: *phosphorous biogeochemistry in subtropical ecosystems*, K.R. Reddy, G.A. O'Connor e C.L. Schelske (eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 47-68.
- Rustige H. (2003). *Constructed wetlands in Germany: technologies and experience* Atti del Convegno "La fitodpurazione: applicazioni e prospettive", ARPAT, Volterra (Pi), pp. 192-199.
- Shepherd H.L., Grismer M.E., Techobanoglous G., (2001). *Treatment of high-strength winery wastewater using a subsurface-flow constructed wetland*. *Water environment research*, n. 73, pp 394-404.
- Steer D., Fraser L., Boddy J., Seibert B. (2002). *Efficiency of small constructed wetlands for subsurface treatment of single-family domestic effluent*. *Ecological Engineering* , n.18, pp.429-440.
- Thassitou P.K., Arvanitoyannis I.S. (2001). *Bioremediation: a novel approach to food waste management*. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 12.
- Terry, T.B. III (1993). *Constructed wetlands wastewater quality improvement at Lynvale Elementary School*. In: *Constructed wetlands for water quality improvement*, G.A. Moshiri (ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 35-58.
- Turon Planella C. (2006), *EDSS-maintenance prototype, An environmental decision support system to assess the definition of operation and maintenance protocols for horizontal subsurface constructed wetlands*; Universitat de Girona Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental.
- Urbanc-Bercic, O. Bulc T., Vrhovsek D. (1998) Slovenia. In: Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R. (Eds), *Constructed Wetlands for Wastewater treatment in Europe*. Bachuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp. 241-250

- Viaroli P., Borin M., Tocchetto D., Batoli M., Manfrè M. (A.A. 2006-2007), *Analisi dell'efficienza di rimozione di macroinquinanti nelle fasi di avvio di impianti di fitodepurazione al servizio di piccole utenze*; Università degli studi di Parma.
- Vismara R., Egaddi F., Garuti G., Peretti M., Pagliughi A. (2000). *Linee guida per il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti: gli esempi internazionali ed una proposta italiana*. *Ingegneria ambientale*, vol. 29,n. 3/4: pp 160-176.
- Vismara R. (2002). *Depurazione biologica*. Quarta ed. Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- Vymazal, J. (1995). *Algae and element cycling in wetlands*. Lewis publishers, Chelsea, Michigan
- Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., HaberlR.,(1998). *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Backhuys publ., Leiden.
- Vymazal, J. (1999). *Removal of phosphorous in constructed wetlands with horizontal subsurface flow in Czech Republic*. In: *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*, J. Vymazal (ed.), Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 73-83.
- Vymazal, J. (1999). *Nitrogen removal in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow – can we determine the key process?* In: *nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands*, J. Vymazal (ed), Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 1-17.
- Vymazal, J. (2001). *Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal*. In: *transformations of nutrients in natural and constructed wetlands*, J. Vymazal (ed), Backhuys publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 1-93.
- Vymazal, J. (2001). *The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience*. *Ecological Engineering* n.18, pp. 633-646.
- Vymazal, J. (2003). *Removal of enteric bacteria in constructed treatment wetlands with emergent macrophytes* . Geogr. Univ. Tartu.
- Watson, J.T., Reed, S.C., Kadlec, R.H., Knight, R.L. e Whitehouse, A.E. (1989). *Performance expectations and loading rates for constructed wetlands*. In: *constructed wetlands for wastewater treatment*, D.A. Hammer (ed.), Lewis publishers, Chelsea, Michigan, pp. 319-358.

## **Leggi**

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "*Norme in materia ambientale*" Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96

Delib. Giunta Reg. n° 1053 del 09/06/2003 *Direttiva concernente indirizzi per l'applicazione del D. Lgs 11 maggio 1999, n.152 come modificato dal D. Lgs 18 agosto 2000, n.258 recante disposizioni in materia di tutela delle acque dall'inquinamento.*

## **Risorse web**

[www.arpa.emr.it](http://www.arpa.emr.it)

[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it)

[www.ermesambiente.it](http://www.ermesambiente.it)

[www.iwaitalia.org](http://www.iwaitalia.org)

[www.europa.eu](http://www.europa.eu)

[www.fao.org](http://www.fao.org)

[www.parlamento.it](http://www.parlamento.it)

[www.regione.veneto.it](http://www.regione.veneto.it)



## *Allegati*



## **Allegato A**

### **Allegato 5 alla parte terza del D. Lgs. 152/06**





## ALLEGATO 5

### LIMITI DI EMISSIONE DEGLI SCARICHI IDRICI

#### 1. SCARICHI IN CORPI D'ACQUA SUPERFICIALI

##### 1.1 ACQUE REFLUE URBANE

Gli scarichi provenienti da impianti di trattamento delle acque reflue urbane devono conformarsi, secondo le cadenze temporali indicate, ai valori limiti definiti dalle Regioni in funzione degli obiettivi di qualità e, nelle more della suddetta disciplina, alle leggi regionali vigenti alla data di entrata in vigore del presente decreto.

Gli scarichi provenienti da impianti di trattamento delle acque reflue urbane:

- se esistenti devono conformarsi secondo le cadenze temporali indicate al medesimo articolo alle norme di emissione riportate nella tabella 1,
- se nuovi devono essere conformi alle medesime disposizioni dalla loro entrata in esercizio.

Gli scarichi provenienti da impianti di trattamento delle acque reflue urbane devono essere conformi alle norme di emissione riportate nelle tabelle 1 e 2. Per i parametri azoto totale e fosforo totale le concentrazioni o le percentuali di riduzione del carico inquinante indicate devono essere raggiunti per uno od entrambi i parametri a seconda della situazione locale.

Devono inoltre essere rispettati nel caso di fognature che convogliano anche scarichi di acque reflue industriali i valori limite di tabella 3 ovvero quelli stabiliti dalle Regioni.

**Tabella 1. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane.**

Potenzialità impianto in A.E. (abitanti equivalenti)	2.000 - 10.000		>10.000	
Parametri (media giornaliera) (1)	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
BOD5 (senza nitrificazione) mg/L (2)	≤ 25	70-90 (5)	≤ 25	80
COD mg/L (3)	≤ 125	75	≤ 125	75
Solidi Sospesi mg/L (4)	≤ 35 (5)	90 (5)	≤ 35	90

- (1) Le analisi sugli scarichi provenienti da lagunaggio o fitodepurazione devono essere effettuati su campioni filtrati, la concentrazione di solidi sospesi non deve superare i 150 mg/L
- (2) La misurazione deve essere fatta su campione omogeneizzato non filtrato, non decantato. Si esegue la determinazione dell'ossigeno disciolto anteriormente e posteriormente ad un periodo di incubazione di 5 giorni a 20 °C ± 1 °C, in completa oscurità, con aggiunta di inibitori di nitrificazione.
- (3) La misurazione deve essere fatta su campione omogeneizzato non filtrato, non decantato con bicromato di potassio.

- (4) La misurazione deve essere fatta mediante filtrazione di un campione rappresentativo attraverso membrana filtrante con porosità di 0,45 µm ed essiccazione a 105 °C con conseguente calcolo del peso, oppure mediante centrifugazione per almeno 5 minuti (accelerazione media di 2800-3200 g), essiccazione a 105 °C e calcolo del peso.
- (5) la percentuale di riduzione del BOD5 non deve essere inferiore a 40. Per i solidi sospesi la concentrazione non deve superare i 70 mg/L e la percentuale di abbattimento non deve essere inferiore al 70%.

**Tabella 2. Limiti di emissione per gli impianti di acque reflue urbane recapitanti in aree sensibili.**

Parametri (media annua)	Potenzialità impianto in A.E.			
	10.000 - 100.000		> 100.000	
	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
Fosforo totale (P mg/L) (1)	≤ 2	80	≤ 1	80
Azoto totale (N mg/L) (2) (3)	≤ 15	70-80	≤ 10	70-80

- (1) Il metodo di riferimento per la misurazione è la spettrofotometria di assorbimento molecolare.
- (2) Per azoto totale si intende la somma dell'azoto Kieldahl (N. organico + NH<sub>3</sub>) + azoto nitrico + azoto nitroso. Il metodo di riferimento per la misurazione è la spettrofotometria di assorbimento molecolare.
- (3) In alternativa al riferimento alla concentrazione media annua, purché si ottenga un analogo livello di protezione ambientale, si può fare riferimento alla concentrazione media giornaliera che non può superare i 20 mg/L per ogni campione in cui la temperatura dell'effluente sia pari o superiore a 12 gradi centigradi. Il limite della concentrazione media giornaliera può essere applicato ad un tempo operativo limitato che tenga conto delle condizioni climatiche locali.

Il punto di prelievo per i controlli deve essere sempre il medesimo e deve essere posto immediatamente a monte del punto di immissione nel corpo recettore. Nel caso di controllo della percentuale di riduzione dell'inquinante, deve essere previsto un punto di prelievo anche all'entrata dell'impianto di trattamento. Di tali esigenze si dovrà tener conto anche nella progettazione e modifica degli impianti, in modo da agevolare l'esecuzione delle attività di controllo.

Per il controllo della conformità dei limiti indicati nelle tabelle 1 e 2 e di altri limiti definiti in sede locale vanno considerati i campioni medi ponderati nell'arco di 24 ore.

Per i parametri di tabella 1 il numero di campioni, ammessi su base annua, la cui media giornaliera può superare i limiti tabellari, è definito in rapporto al numero di misure come da schema seguente.

campioni prelevati durante l'anno	numero massimo consentito di campioni non conformi	campioni prelevati durante l'anno	numero massimo consentito di campioni non conformi
4 - 7	1	172-187	14
8 - 16	2	188 - 203	15
17 - 28	3	204 - 219	16
29 - 40	4	220 - 235	17
41 - 53	5	236 - 251	18
54 - 67	6	252 - 268	19
68 - 81	7	269 - 284	20
82 - 95	8	285 - 300	21
96 - 110	9	301 - 317	22
111 - 125	10	318 - 334	23
126 - 140	11	335 - 350	24
141 - 155	12	351 - 365	25
156 - 171	13		

In particolare si precisa che, per i parametri sotto indicati, i campioni che risultano non conformi, affinché lo scarico sia considerato in regola, non possono comunque superare le concentrazioni riportate in tabella 1 oltre la percentuale sotto indicata:

BOD5: 100%

COD: 100%

Solidi Sospesi 150%

Il numero minimo annuo di campioni per i parametri di cui alle tabelle 1 e 2 è fissato in base alla dimensione dell'impianto di trattamento e va effettuato dall'autorità competente ovvero dal gestore qualora garantisca un sistema di rilevamento e di trasmissione dati all'autorità di controllo, ritenuto idoneo da quest'ultimo, con prelievi ad intervalli regolari nel corso dell'anno, in base allo schema seguente.

potenzialità impianto	numero campioni
da 2000 a 9999 A.E.:	12 campioni il primo anno e 4 negli anni successivi, purché lo scarico sia conforme; se uno dei 4 campioni non è

	conforme, nell'anno successivo devono essere prelevati 12 campioni
da 10000 a 49999 A.E.:	12 campioni
oltre 50000 A.E.:	24 campioni

I gestori degli impianti devono inoltre assicurare un sufficiente numero di autocontrolli (almeno uguale a quello del precedente schema) sugli scarichi dell'impianto di trattamento e sulle acque in entrata.

L'autorità competente per il controllo deve altresì verificare, con la frequenza minima di seguito indicata, il rispetto dei limiti indicati nella tabella 3. I parametri di tabella 3 che devono essere controllati sono solo quelli che le attività presenti sul territorio possono scaricare in fognatura.

potenzialità impianto	numero controlli
da 2000 a 9999	1 volta l'anno
da 10000 a 49.999 A.E.	3 volte l'anno
oltre 49.999 A.E.	6 volte l'anno

Valori estremi per la qualità delle acque in questione non sono presi in considerazione se essi sono il risultato di situazioni eccezionali come quelle dovute a piogge abbondanti.

I risultati delle analisi di autocontrollo effettuate dai gestori degli impianti devono essere messi a disposizione degli enti preposti al controllo. I risultati dei controlli effettuati dall'autorità competente e di quelli effettuati a cura dei gestori devono essere archiviati su idoneo supporto informatico secondo le indicazioni riportate nell'apposito decreto attuativo.

Ove le caratteristiche dei rifiuti da smaltire lo richiedano per assicurare il rispetto, da parte dell'impianto di trattamento di acque reflue urbane, dei valori limite di emissione in relazione agli standard di qualità da conseguire o mantenere nei corpi recettori interessati dallo scarico dell'impianto, l'autorizzazione prevede:

- a) l'adozione di tecniche di pretrattamento idonee a garantire, all'ingresso dell'impianto di trattamento delle acque reflue, concentrazioni di inquinanti che non compromettono l'efficienza depurativa dell'impianto stesso;
- b) l'attuazione di un programma di caratterizzazione quali-quantitativa che, in relazione a quanto previsto alla precedente lettera a), consenta controlli sistematici in entrata e in uscita agli impianti di pretrattamento dei rifiuti liquidi e a quelli di depurazione delle acque reflue;
- c) l'adozione di sistemi di stoccaggio dei rifiuti liquidi da trattare tale da evitare la miscelazione con i reflui che hanno già subito il trattamento finale;
- d) standard gestionali adeguati del processo depurativo e specifici piani di controllo dell'efficienza depurativa;
- e) l'adozione di un sistema di autocontrolli basato, per quanto concerne la

frequenza e le modalità di campionamento, su criteri statistici o di tipo casuale, comunque tali da rappresentare l'andamento nel tempo della/e reale/i concentrazione/i della/e sostanza/e da misurare analiticamente e da verificare, con un coefficiente di confidenza di almeno il 90%, la conformità o meno dei livelli di emissione ai relativi limiti. I risultati degli autocontrolli sono tenuti a disposizione delle autorità competenti per i quattro anni successivi alla data di rilascio/rinnovo dell'autorizzazione;

- f) controlli dell'idoneità o meno all'utilizzo in agricoltura dei fanghi biologici prodotti dall'impianto di trattamento delle acque reflue in relazione a quanto disposto dal D.Lgs. 99/1992.

## 1.2 ACQUE REFLUE INDUSTRIALI.

### 1.2.1 Prescrizioni generali

Gli scarichi di acque reflue industriali in acque superficiali, devono essere conformi ai limiti di emissione indicati nella successiva tabella 3 o alle relative norme disposte dalle Regioni.

I valori limite di emissione che gli scarichi interessati non devono superare sono espressi, in linea di massima, in concentrazione.

Tuttavia, le regioni, nell'esercizio della loro autonomia, in attuazione dei piani di tutela delle acque, tenendo conto dei carichi massimi ammissibili, delle migliori tecniche disponibili, definiscono i valori-limite di emissione, diversi da quelli di cui alla tabella 3 sia in concentrazione massima ammissibile sia in quantità massima per unità di tempo.

In questo caso, i valori limite espressi in concentrazione devono essere coerenti, e comunque non possono essere superiori, con quelli in peso dell'elemento caratteristico dell'attività ed il relativo fabbisogno d'acqua, parametro quest'ultimo che varia in funzione dei singoli processi e stabilimenti.

Nel caso di attività ricadenti nell'allegato I del D.Lgs. 18 febbraio 2005 n. 59 (i valori limite di emissione possono essere definiti, in alternativa, per unità di prodotto in linea con quanto previsto con i BAT references comunitari e con le linee guida settoriali nazionali

Anche in questa ipotesi i valori limite espressi in quantità devono essere coerenti con quelli espressi in concentrazione, tenuto conto del fabbisogno d'acqua, parametro quest'ultimo che varia in funzione dei singoli processi e stabilimenti.

### 1.2.2 Determinazioni analitiche

Le determinazioni analitiche ai fini del controllo di conformità degli scarichi di acque reflue industriali sono di norma riferite ad un campione medio prelevato nell'arco di tre ore. L'autorità preposta al controllo può, con motivazione espressa nel verbale di campionamento, effettuare il campionamento su tempi diversi al fine di ottenere il campione più adatto a rappresentare lo scarico qualora lo

giustificano particolari esigenze quali quelle derivanti dalle prescrizioni contenute nell'autorizzazione dello scarico, dalle caratteristiche del ciclo tecnologico, dal tipo di scarico (in relazione alle caratteristiche di continuità dello stesso), il tipo di accertamento (accertamento di routine, accertamento di emergenza, ecc.).

#### 1.2.3 Specifiche prescrizioni per gli scarichi contenenti sostanze pericolose

1. tenendo conto del carico massimo ammissibile, ove definito, della persistenza, bioaccumulabilità e della pericolosità delle sostanze, nonché della possibilità di utilizzare le migliori tecniche disponibili, le Regioni stabiliscono opportuni limiti di emissione in massa nell'unità di tempo (kg/mese).
2. Per cicli produttivi specificati nella tabella 3/A devono essere rispettati i limiti di emissione in massa per unità di prodotto o di materia prima di cui alla stessa tabella. Per gli stessi cicli produttivi valgono altresì i limiti di concentrazione indicati nella tabella 3 allo scarico finale.
3. Tra i limiti di emissione in termini di massa per unità di prodotto, indicati nella tabella 3/A, e quelli stabiliti dalle Regioni in termini di massa nell'unità di tempo valgono quelli più cautelativi.
4. Ove il piano di tutela delle acque lo preveda per il raggiungimento degli standard di cui all'allegato 1 del presente decreto, l'autorità competente può individuare conseguenti prescrizioni adeguatamente motivate all'atto del rilascio e/o del rinnovo delle autorizzazioni agli scarichi che contengono le sostanze di cui all'allegato 5. Dette specifiche prescrizioni possono comportare:
  - a) l'adozione di misure tecniche, di progettazione, costruzione, esercizio o manutenzione dell'impianto in grado di assicurare il rispetto di valori limite di emissione più restrittivi di quelli fissati in tabella 3, fatto salvo il caso in cui sia accertato, attraverso campionamenti a monte ed a valle dell'area di impatto dello scarico, che la presenza nello scarico stesso di una o più sostanze non origina dal ciclo produttivo dell'insediamento ovvero è naturalmente presente nel corpo idrico. Il valore limite di emissione sarà fissato in rapporto con le priorità e le cadenze temporali degli interventi previsti nel piano di tutela delle acque approvato dalla regione e, in particolare, con quanto previsto nello stesso piano per assicurare la qualità delle acque a specifica destinazione funzionale;
  - b) l'adozione di un sistema di autocontrolli basato, per quanto concerne la frequenza e le modalità di campionamento, su criteri statistici o di tipo casuale, comunque tali da rappresentare l'andamento nel tempo della/e reale/i concentrazione/i della/e sostanza/e da misurare analiticamente e da verificare, con un coefficiente di confidenza di almeno il 90%, la conformità o

meno dei livelli di emissione ai relativi limiti. I risultati degli autocontrolli sono tenuti a disposizione delle autorità competenti per i quattro anni successivi alla data di rilascio/rinnovo dell'autorizzazione.

1. le acque di raffreddamento di impianti pre-esistenti possono essere convogliate verso il corpo idrico recettore tramite un unico scarico comune ad altre acque di scarico, a condizione sia posto in essere un sistema di sorveglianza dello scarico che consenta la sistematica rilevazione e verifica dei limiti a monte il punto di miscelazione.
2. I punti **4 e 5** non si applicano agli scarichi che provengono da attività commerciali caratterizzate da modesta significatività con riferimento ai quantitativi annui di acque reflue complessivamente scaricate e che recapitano in pubblica fognatura.

## 2 SCARICHI SUL SUOLO

Nei casi previsti dall'articolo 103 comma 1 punto c), gli scarichi sul suolo devono rispettare i limiti previsti nella tabella 4.

Il punto di prelievo per i controlli è immediatamente a monte del punto di scarico sul suolo. Per gli impianti di depurazione naturale (lagunaggio, fitodepurazione) il punto di scarico corrisponde è quello all'uscita dall'impianto.

Le determinazioni analitiche ai fini del controllo di conformità degli scarichi di acque reflue industriali sono di norma riferite ad un campione medio prelevato nell'arco di tre ore. L'autorità preposta al controllo può, con motivazione espressa nel verbale di campionamento, effettuare il campionamento su tempi diversi al fine di ottenere il campione più adatto a rappresentare lo scarico qualora lo giustifichino particolari esigenze quali quelle derivanti dalle prescrizioni contenute nell'autorizzazione dello scarico, dalle caratteristiche del ciclo tecnologico, dal tipo di scarico (in relazione alle caratteristiche di continuità dello stesso), il tipo di accertamento (accertamento di routine, accertamento di emergenza, ecc.).

Per gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane si fa riferimento a un campione medio ponderato nell'arco di 24 ore.

Le distanze dal più vicino corpo idrico superficiale oltre le quali è permesso lo scarico sul suolo sono rapportate al volume dello scarico stesso secondo il seguente schema:

- a) per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue urbane:
  - metri - per scarichi con portate giornaliere medie inferiori a 500 m<sup>3</sup>
  - 2.500 metri - per scarichi con portate giornaliere medie tra 501 e 5000 m<sup>3</sup>
  - 5.000 metri - per scarichi con portate giornaliere medie tra 5001 e 10.000 m<sup>3</sup>

b) per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue industriali.

- 1.000 metri - per scarichi con portate giornaliere medie inferiori a 100 m<sup>3</sup>
- 2.500 metri - per scarichi con portate giornaliere medie tra 101 e 500 m<sup>3</sup>
- 5.000 metri - per scarichi con portate giornaliere medie tra 501 e 2.000 m<sup>3</sup>

Gli scarichi aventi portata maggiore di quelle su indicate devono in ogni caso essere convogliati in corpo idrico superficiale, in fognatura o destinate al riutilizzo.

Per gli scarichi delle acque reflue urbane valgono gli stessi obblighi di controllo e di autocontrollo previsti per gli scarichi in acque superficiali.

L'autorità competente per il controllo deve verificare, con la frequenza minima di seguito indicata, il rispetto dei limiti indicati nella tabella 4. I parametri di tabella 4 da controllare sono solo quelli che le attività presenti sul territorio possono scaricare in fognatura.

volume scarico	numero controlli
sino a 2000 m <sup>3</sup> al giorno	4 volte l'anno
oltre a 2000 m <sup>3</sup> al giorno	8 volte l'anno

## 2.1 SOSTANZE PER CUI ESISTE IL DIVIETO DI SCARICO

Restano fermi i divieti di scarico sul suolo e nel sottosuolo delle seguenti sostanze:

- composti organo alogenati e sostanze che possono dare origine a tali composti nell'ambiente idrico
- composti organo fosforici
- composti organo stannici
- sostanze che hanno potere cancerogeno, mutageno e teratogeno in ambiente idrico o in concorso dello stesso
- mercurio e i suoi composti
- cadmio e i suoi composti
- oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti
- cianuri
- materie persistenti che possono galleggiare, restare in sospensione o andare a fondo e che possono disturbare ogni tipo di utilizzazione delle acque.

Tali sostanze, si intendono assenti quando sono in concentrazioni non superiori ai limiti di rilevabilità delle metodiche di rilevamento in essere all'entrata in vigore del presente decreto o dei successivi aggiornamenti.

Persiste inoltre il divieto di scarico diretto nelle acque sotterranee, in aggiunta alle sostanze su elencate, di:

1: zinco rame nichel cromo



piombo	selenio	arsenico	antimonio
molibdeno	titanio	stagno	bario
berillio	boro	uranio	vanadio
cobalto	tallio	tellurio	argento

- 2: Biocidi e loro derivati non compresi nell'elenco del paragrafo precedente
- 3: Sostanze che hanno un effetto nocivo sul sapore ovvero sull'odore dei prodotti consumati dall'uomo derivati dall'ambiente idrico, nonché i composti che possono dare origine a tali sostanze nelle acque
- 4: Composti organosilicati tossici o persistenti e che possono dare origine a tali composti nelle acque ad eccezione di quelli che sono biologicamente innocui o che si trasformano rapidamente nell'acqua in sostanze innocue
- 5: Composti inorganici del fosforo e fosforo elementare
- 6: Oli minerali non persistenti ed idrocarburi di origine petrolifera non persistenti
- 7: Fluoruri
- 8: Sostanze che influiscono sfavorevolmente sull'equilibrio dell'ossigeno, in particolare ammoniacca e nitriti.

Tali sostanze, si intendono assenti quando sono in concentrazioni non superiori ai limiti di rilevanza delle metodiche di rilevamento in essere all'entrata in vigore del presente decreto o dei successivi aggiornamenti.

### 3 INDICAZIONI GENERALI

I punti di scarico degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane devono essere scelti, per quanto possibile, in modo da ridurre al minimo gli effetti sulle acque recettrici.

Tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, con potenzialità superiore a 2.000 abitanti equivalenti, ad esclusione degli impianti di trattamento che applicano tecnologie depurative di tipo naturale quali la fitodepurazione e il lagunaggio, dovranno essere dotati di un trattamento di disinfezione da utilizzarsi in caso di eventuali emergenze relative a situazioni di rischio sanitario ovvero per garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientali o gli usi in atto del corpo idrico recettore.

In sede di approvazione del progetto dell'impianto di trattamento delle acque reflue urbane l'autorità competente dovrà verificare che l'impianto sia in grado di

garantire che la concentrazione media giornaliera dell'azoto ammoniacale (espresso come N), in uscita dall'impianto di trattamento non superi il 30% del valore della concentrazione dell'azoto totale (espresso come N) in uscita dall'impianto di trattamento. Tale prescrizione non vale per gli scarichi in mare.

In sede di autorizzazione allo scarico, l'autorità competente:

- a) fisserà il sistema di riferimento per il controllo degli scarichi di impianti di trattamento rispettivamente a: l'opzione riferita al rispetto della concentrazione o della percentuale di abbattimento il riferimento alla concentrazione media annua a alla concentrazione media giornaliera per il parametro "azoto totale " della tabella 2
- b) fisserà il limite opportuno relativo al parametro "Escherichia coli" espresso come UFC/100mL. Si consiglia un limite non superiore a 5000 UFC/100mL.

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 e organico
- c) minimizzare i costi gestionali.

Questa tipologia di trattamento può equivalere ad un trattamento primario o ad un trattamento secondario a seconda della soluzione tecnica adottata e dei risultati depurativi raggiunti.

Per tutti gli agglomerati con popolazione equivalente compresa tra 50 e 2000 a.e, si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione naturale quali il lagunaggio o la fitodepurazione, o tecnologie come i filtri percolatori o impianti ad ossidazione totale.

Peraltro tali trattamenti possono essere considerati adatti se opportunamente dimensionati, al fine del raggiungimento dei limiti della tabella 1, anche per tutti gli agglomerati 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 agglomerati di maggiori dimensioni con popolazione equivalente compresa tra i 2000 e i 25000 a.e, anche a soluzioni integrate con impianti a fanghi attivi o a biomassa adesa, a valle del trattamento, con funzione di affinamento.

#### 4 METODI DI CAMPIONAMENTO ED ANALISI

Fatto salvo quanto diversamente specificato nelle tabelle 1, 2, 3, 4 circa i metodi analitici di riferimento, rimangono valide le procedure di controllo, campionamento e misura definite dalle normative in essere prima dell'entrata in vigore del presente decreto. Le metodiche di campionamento ed analisi saranno aggiornate con apposito decreto ministeriale su proposta dell'APAT.

**Tabella 3. Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura.**

Numero parametro	PARAMETRI	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in rete fognaria (*)
1	pH		5,5-9,5	5,5-9,5
2	Temperatura	°C	(1)	(1)
3	colore		non percettibile con diluizione 1:20	non percettibile con diluizione 1:40
4	odore		non deve essere causa di molestie	non deve essere causa di molestie
5	materiali grossolani		assenti	assenti
6	Solidi speciali totali (2)	mg/L	≤ 80	≤ 200
7	BOD5 (come O2) (2)	mg/L	≤ 40	≤ 250
8	COD (come O2) (2)	mg/L	≤ 160	≤ 500
9	Alluminio	mg/L	≤ 1	≤ 2,0
10	Arsenico	mg/L	≤ 0,5	≤ 0,5
11	Bario	mg/L	≤ 20	-
12	Boro	mg/L	≤ 2	≤ 4
13	Cadmio	mg/L	≤ 0,02	≤ 0,02
14	Cromo totale	mg/L	≤ 2	≤ 4
15	Cromo VI	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,20
16	Ferro	mg/L	≤ 2	≤ 4
17	Manganese	mg/L	≤ 2	≤ 4
18	Mercurio	mg/L	≤ 0,005	≤ 0,005
19	Nichel	mg/L	≤ 2	≤ 4
20	Piombo	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,3
21	Rame	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,4
22	Selenio	mg/L	≤ 0,03	≤ 0,03
23	Stagno	mg/L	≤ 10	
24	Zinco	mg/L	≤ 0,5	≤ 1,0

25	Cianuri totali (come CN)	mg/L	≤ 0,5	≤ 1,0
26	Cloro attivo libero	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,3
27	Solfuri (come H <sub>2</sub> S)	mg/L	≤ 1	≤ 2
28	Solfiti (come SO <sub>3</sub> )	mg/L	≤ 1	≤ 2
29	Solfati (come SO <sub>4</sub> ) (3)	mg/L	≤ 1000	≤ 1000
30	Cloruri (3)	mg/L	≤ 1200	≤ 1200
31	Fluoruri	mg/L	≤ 6	≤ 12
32	Fosforo totale (come P) (2)	mg/L	≤ 10	≤ 10
33	Azoto ammoniacale (come NH <sub>4</sub> ) (2)	mg/L	≤ 15	≤ 30
34	Azoto nitroso (come N) (2)	mg/L	≤ 0,6	≤ 0,6
35	Azoto nitrico (come N) (2)	mg/L	≤ 20	≤ 30
36	Grassi e olii animali/vegetali	mg/L	≤ 20	≤ 40
37	Idrocarburi totali	mg/L	≤ 5	≤ 10
38	Fenoli	mg/L	≤ 0,5	≤ 1
39	Aldeidi	mg/L	≤ 1	≤ 2
40	Solventi organici aromatici	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,4
41	Solventi organici azotati (4)	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,2
42	Tensioattivi totali	mg/L	≤ 2	≤ 4

43	Pesticidi fosforati	mg/L	≤ 0,10	≤ 0,10
44	Pesticidi totali (esclusi i fosforati) (5)	mg/L	≤ 0,05	≤ 0,05
	tra cui:			
45	- aldrin	mg/L	≤ 0,01	≤ 0,01
46	- dieldrin	mg/L	≤ 0,01	≤ 0,01
47	- endrin	mg/L	≤ 0,002	≤ 0,002
48	- isodrin	mg/L	≤ 0,002	≤ 0,002
49	Solventi clorurati (5)	mg/L	≤ 1	≤ 2
50	Escherichia coli (4)	UFC/100mL	nota	
51	Saggio di tossicità acuta (5)		il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale	il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 80% del totale

(\*) I limiti per lo scarico in rete fognaria sono obbligatori in assenza di limiti stabiliti dall'autorità competente o in mancanza di un impianto finale di trattamento in grado di rispettare i limiti di emissione dello scarico finale. Limiti diversi devono essere resi conformi a quanto indicato alla nota 2 della tabella 5 relativa a sostanze pericolose.

(1) Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1 °C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35 °C, la condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale. Per il mare e per le zone di foce di corsi d'acqua non significativi, la temperatura dello scarico non deve superare i 35 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3 °C oltre i 1000 metri di distanza dal punto di immissione. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi.

- (2) Per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue urbane valgono i limiti indicati in tabella 1 e, per le zone sensibili anche quelli di tabella 2. Per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue industriali recapitanti in zone sensibili la concentrazione di fosforo totale e di azoto totale deve essere rispettivamente di 1 e 10 mg/L.
- (3) Tali limiti non valgono per lo scarico in mare, in tal senso le zone di foce sono equiparate alle acque marine costiere, purché almeno sulla metà di una qualsiasi sezione a valle dello scarico non vengono disturbate le naturali variazioni della concentrazione di solfati o di cloruri.
- (4) In sede di autorizzazione allo scarico dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5000 UFC/100 mL.
- (5) Il saggio di tossicità è obbligatorio. Oltre al saggio su *Daphnia magna*, possono essere eseguiti saggi di tossicità acuta su *Ceriodaphnia dubia*, *Selenastrum capricornutum*, batteri bioluminescenti o organismi quali *Artemia salina*, per scarichi di acqua salata o altri organismi tra quelli che saranno indicati ai sensi del punto 4 del presente allegato. In caso di esecuzione di più test di tossicità si consideri il risultato peggiore. Il risultato positivo della prova di tossicità non determina l'applicazione diretta delle sanzioni di cui al titolo V, determina altresì l'obbligo di approfondimento delle indagini analitiche, la ricerca delle cause di tossicità e la loro rimozione.

**Tabella 3/A. Limiti di emissione per unità di prodotto riferiti a specifici cicli produttivi (\*\*)**

Settore produttivo	Quantità scaricata per unità di prodotto (o capacità di produzione)	media mensile	media giornaliera (*)
<b>Cadmio</b>			
Estrazione dello zinco, raffinazione del piombo e dello zinco, industria dei metalli non ferrosi e del cadmio metallico			
Fabbricazione dei composti del cadmio	g/kg grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato	0,5	
Produzione di pigmenti	g/kg (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd	0,3	

	trattato)		
Fabbricazione di stabilizzanti	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	0,5	
Fabbricazione di batterie primarie e secondarie	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	1,5	
Galvanostegia	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	0,3	
Mercurio (settore dell'elettrolisi dei cloruri alcalini)			
Salamoia riciclata - da applicare all'Hg presente negli effluenti provenienti dall'unità di produzione del cloro	g Hg/t di capacità di produzione di cloro, installata	0,5	
Salamoia riciclata - da applicare al totale del Hg presente in tutte le acque di scarico contenenti Hg provenienti dall'area dello stabilimento industriale	g Hg /t di capacità di produzione di cloro, installata	1	
Salamoia a perdere - da applicare al totale del Hg presente in tutte le acque di scarico contenenti Hg provenienti dall'area dello stabilimento industriale.	g Hg /t di capacità di produzione di cloro, installata	5	
Mercurio (settori diversi da quello dell'elettrolisi dei cloruri alcalini)			
Aziende che impiegano catalizzatori all'Hg per la produzione di cloruro di vinile	g/t capacità di produzione di CVM	0,1	
Aziende che impiegano catalizzatori all'Hg per altre produzioni	g/kg mercurio trattato	5	
Fabbricazione dei catalizzatori contenenti Hg utilizzati per la produzione di CVM	g/kg al mese mercurio trattato	0,7	
Fabbricazione dei composti organici ed inorganici del mercurio	g/kg al mese mercurio trattato	0,05	
Fabbricazione di batterie	g/kg al mese mercurio	0,03	

primarie contenenti Hg	trattato		
Industrie dei metalli non ferrosi			
- Stabilimenti di ricupero del mercurio (1)			
- Estrazione e raffinazione di metalli non ferrosi (1)			
Stabilimenti di trattamento dei rifiuti tossici contenenti mercurio			
Esaclorocicloesano (HCH)			
Produzione HCH	g HCH/t HCH prodotto	2	
Estrazione lindano	g HCH/t HCH trattato	4	
Produzione ed estrazione lindano	g HCH/t HCH prodotto	5	
DDT			
Produzione DDT compresa la formulazione sul posto di DDT	g/t di sostanze prodotte, trattate o utilizzate - valore mensile	4	8
Pentaclorofenolo (PCP)			
Produzione del PCP Na idrolisi dell'esaclorobenzene	g/t di capacità di produzione o capacità di utilizzazione	25	50
Aldrin, dieldrin, endrin, isodrin			
Produzione e formulazione di: Aldrin e/o dieldrin e/o endrin e/o isodrin	g/t capacità di produzione o capacità di utilizzazione	3	15
Produzione e trattamento di HCB	g HCB/t di capacità di produzione di HCB	10	
Esaclorobenzene (HCB)			
Produzione di percloroetilene (PER) e di tetracloruro di carbonio (CCl <sub>4</sub> ) mediante perclorurazione	g HCB/t di capacità di produzione totale di PER + CCl <sub>4</sub>	1,5	
Produzione di tricloroetilene e/o percloroetilene con altri procedimenti (1)			
Esaclorobutadiene			
Produzione di percloroetilene (PER) e di tetracloruro di carbonio (CCl <sub>4</sub> ) mediante perclorurazione	g HCB/t di capacità di produzione totale di PER + CCl <sub>4</sub>	1,5	
Produzione di tricloroetilene e/o di percloroetilene			



mediante altri procedimenti (1)			
Cloroformio			
Produzione clorometani del metanolo o da combinazione di metanolo e metano	g CHCl <sub>3</sub> /t di capacità di produzione di clorometani	10	
Produzione clorometani mediante clorurazione del metano	g CHCl <sub>3</sub> /t di capacità di produzione di clorometani	7,5	
Tetracloruro di carbonio			
Produzione di tetracloruro di carbonio mediante perclorurazione - procedimento con lavaggio	g CCl <sub>4</sub> /t di capacità di produzione totale di CCl <sub>4</sub> e di percloroetilene	30	40
Produzione di tetracloruro di carbonio mediante perclorurazione - procedimento senza lavaggio	g CCl <sub>4</sub> /t di capacità di produzione totale di CCl <sub>4</sub> e di percloroetilene	2,5	5
Produzione di clorometani mediante clorurazione del metano (compresa la clorolisi sotto pressione a partire dal metanolo) (1)			
Produzione di clorofluorocarburi (1)			
1,2 dicloroetano (EDC)			
Unicamente produzione 1,2 dicloroetano	g/t	2,5	5
Produzione 1,2 dicloroetano e trasformazione e/o utilizzazione nello stesso stabilimento tranne che per l'utilizzazione nella produzione di scambiatori di calore	g/t	5	10
Utilizzazione di EDC per lo sgrassaggio dei metalli (in stabilimenti industriali diversi da quelli del punto precedente) (2)			
Trasformazione di 1,2 dicloroetano in sostanze diverse dal cloruro di vinile	g/t	2,5	5
Tricloroetilene			
Produzione di tricloroetilene (TRI) e di percloroetilene (PER) (2)	g/t	2,5	5

Utilizzazione TRI per lo sgrassaggio dei metalli (2)	g/t		
Triclorobenzene (TCB)			
Produzione di TCB per disidrociorazione e/o trasformazione di TCB	g/t	10	
Produzione e trasformazione di clorobenzeni mediante clorazione (2)	g/t	0,5	
Percloroetilene (PER)			
Produzione di tricloroetilene (TRI) e di percloroetilene (procedimenti TRI-PER)	g/t	2,5	5
Produzione di tetracloruro di carbonio e di percloroetilene (procedimenti TETRA-PER) (2)	g/t	2,5	20
Utilizzazione di PER per lo sgrassaggio metalli (2)			
Produzione di clorofluorocarbonio (1)			

### Note alla tabella 3/A

(\*) Qualora non diversamente indicato, i valori indicati sono riferiti a medie mensili. Ove non indicato esplicitamente si consideri come valore delle media giornaliera il doppio di quella mensile.

(\*\*) Per i cicli produttivi che hanno uno scarico della sostanza pericolosa in questione, minore al quantitativo annuo indicato nello schema seguente, le autorità competenti all'autorizzazione possono evitare il procedimento autorizzativo. In tal caso valgono solo i limiti di tabella 3.

Sostanza pericolosa	Quantità annua di sostanza inquinante scaricata considerata
Cadmio	10 Kg/anno di Cd (nel caso di stabilimenti di galvanostegia si applicano comunque i limiti di tabella 3/A, quando la capacità complessiva delle vasche di galvanostegia super a 1,5 m3
Mercurio (settore dell'elettrolisi dei cloruri alcalini)	E' sempre richiesto il rispetto della tabella 3/A.
Mercurio (settore diverse dell'elettrolisi dei cloruri alcalini)	7,5 Kg/anno di Hg
Esaclorocicloesano (HCH)	3 Kg/anno di HCH
DDT	1 Kg/anno di DDT

Pentaclorofenolo (PCP)	3 Kg/anno di PCP
Aldrin, dieldrin, endrin, isodrin	E' sempre richiesto il rispetto della tabella 3/A.
Esaclorobenzene (HCB)	1 Kg/anno di HCB
Esaclorobutadiene (HCBB)	1 Kg/anno di HCBB
Cloroformio	30 Kg/anno di CHCL3
Tetracloruro di carbonio (TETRA)	30 Kg/anno di TETRA
1,2 dicloroetano (EDC)	30 Kg/anno di EDC
Tricloroetilene (TRI)	30 Kg/anno di TRI
Triclorobenzene (TCB)	E' sempre richiesto il rispetto della tabella 3/A.
Percloroetilene (PER)	30 Kg/anno di PER

(1) Per questi cicli produttivi non vi sono limiti di massa per unità di prodotto, devono essere rispettati, solo i limiti di concentrazione indicati in tabella 3 in relazione alla singola sostanza o alla famiglia di sostanze di appartenenza.

(2) Per questi cicli produttivi non vengono indicati i limiti di massa per unità di prodotto, ma devono essere rispettati, oltre ai limiti di concentrazione indicati in tabella 3 per la famiglia di sostanze di appartenenza, i seguenti limiti di concentrazione:

	Media giorno mg/L	Media mese mg/L
1,2 dicloroetano (EDC) Utilizzazione di EDC per lo sgrassaggio dei metalli in stabilimenti industriali diversi da quelli che producono, trasformano e/o utilizzano EDC nello stesso stabilimento	0,2	0,1
Tricloroetilene (TRI) Produzione di tricloroetilene (TRI) e di percloroetilene (PER)	0,5	1
Utilizzazione TRI per lo sgrassaggio dei metalli	0,2	0,2
Triclorobenzene (TCB) Produzione e trasformazione di clorobenzeni mediante clorazione	0,1	0,05
Percloroetilene (PER) Produzione di tricloroetilene (TRI) e di percloroetilene (Procedimenti TRI-PER)	1	0,5
Utilizzazione di PER per lo sgrassaggio metalli	0,2	0,1

Per verificare che gli scarichi soddisfano i limiti indicati nella tabella 3/A deve essere prevista una procedura di controllo che prevede:

- il prelievo quotidiano di un campione rappresentativo degli scarichi effettuati nel giro di 24 ore e la misurazione della concentrazione della sostanza in esame;
- la misurazione del flusso totale degli scarichi nello stesso arco di tempo.

La quantità di sostanza scaricata nel corso di un mese si calcola sommando le quantità scaricate ogni giorno nel corso del mese. Tale quantità va divisa per la quantità totale di prodotto o di materia prima.

**Tabella 4. Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo**

		unità di misura	(il valore della concentrazione deve essere minore o uguale a quello indicato)
1	pH		6-8
2	SAR		10
3	Materiali grossolani	-	assenti
4	Solidi sospesi totali	mg/L	25
5	BOD5	mg O2/L	20
6	COD	mg O2/L	100
7	Azoto totale	mg N /L	15
8	Fosforo totale	mg P/L	2
9	Tensioattivi totali	mg/L	0,5
10	Alluminio	mg/L	1
11	Berillio	mg/L	0,1
12	Arsenico	mg/L	0,05
13	Bario	mg/L	10
14	Boro	mg/L	0,5
15	Cromo totale	mg/L	1
16	Ferro	mg/L	2
17	Manganese	mg/L	0,2
18	Nichel	mg/L	0,2
19	Piombo	mg/L	0,1
20	Rame	mg/L	0,1
21	Selenio	mg/L	0,002

2 2	Stagno	mg/L	3
2 3	Vanadio	mg/L	0,1
2 4	Zinco	mg/L	0,5
2 5	Solfuri	mg H <sub>2</sub> S/ L	0,5
2 6	Solfiti	mg SO <sub>3</sub> / L	0,5
2 7	Solfati	mgSO <sub>4</sub> / L	500
2 8	Cloro attivo	mg/L	0,2
2 9	Cloruri	mg Cl/L	200
3 0	Fluoruri	mg F/L	1
3 1	Fenoli totali	mg/L	0,1
3 2	Aldeidi totali	mg/L	0,5
3 3	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,01
3 4	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,01
3 5	Saggio di tossicità su Daphnia magna (vedi nota 8 di tabella 3)	LC50 24h	il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale
3 6	Escherichia coli (1)	UFC/ 100 mL	

(1) In sede di autorizzazione allo scarico dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5000 UFC/100 mL.

*Tabella 5. Sostanze per le quali non possono essere adottati limiti meno restrittivi di quelli indicati in tabella 3, per lo scarico in acque superficiali (1) e per lo scarico in rete fognaria (2), o in tabella 4 per lo scarico sul suolo*

1	Arsenico
2	Cadmio

3	Cromo totale
4	Cromo esavalente
5	Mercurio
6	Nichel
7	Piombo
8	Rame
9	Selenio
10	Zinco
11	Fenoli
12	Oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti
13	Solventi organici aromatici
14	Solventi organici azotati
15	Composti organici alogenati (compresi i pesticidi clorurati)
16	Pesticidi fosforiti
17	Composti organici dello stagno
18	Sostanze classificate contemporaneamente "cancerogene" (R45) e "pericolose per l'ambiente acquatico" (R50 e 51/53) ai sensi del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, e successive modifiche

- (1) Per quanto riguarda gli scarichi in corpo idrico superficiale, nel caso di insediamenti produttivi aventi scarichi con una portata complessiva media giornaliera inferiore a 50 m<sup>3</sup>, per i parametri della tabella 5, ad eccezione di quelli indicati sotto i numeri 2, 4, 5, 7, 15, 16, 17 e 18 le regioni e le province autonome nell'ambito dei piani di tutela, possono ammettere valori di concentrazione che superano di non oltre il 50% i valori indicati nella tabella 3, purché sia dimostrato che ciò non comporti un peggioramento della situazione ambientale e non pregiudica il raggiungimento gli obiettivi ambientali.
- (2) Per quanto riguarda gli scarichi in fognatura, purché sia garantito che lo scarico finale della fognatura rispetti i limiti di tabella 3, o quelli stabiliti dalle regioni, l'ente gestore può stabilire per i parametri della tabella 5, ad eccezione di quelli indicati sotto i numeri 2, 4, 5, 7, 14, 15, 16 e 17, limiti di accettabilità i cui valori di concentrazione superano quello indicato in tabella 3.

*Tabella 6 - Peso vivo medio corrispondente ad una produzione di 340 Kg di azoto per anno, al netto delle perdite di rimozione e stoccaggio, da considerare ai fini dell'assimilazione alle acque reflue domestiche (art. 101, co. 7, lett. b))*

<b>Categoria animale allevata</b>	<b><i>Peso vivo medio per anno</i></b> (t)
Scrofe con suinetti fino a 30 kg	<b>3,4</b>
Suini in accrescimento/ingrasso	<b>3,0</b>
Vacche da latte in produzione	2,5
Rimonta vacche da latte	2,8
Bovini all'ingrasso	4,0
Galline ovaiole	1,5
Polli da carne	1,4
Tacchini	2,0
Cunicoli	2,4
Ovicaprini	3,4
Equini	4,9





## **Allegato B**

### **Metodologie chimiche**

## Metodologie chimiche

I campioni di refluo sono stati conservati in bottiglie di PET stoccate in freezer a -20°C. Al momento dell'analisi, che avveniva nei giorni immediatamente successivi al prelievo, i reflui venivano scongelati e quindi omogeneizzati.

A tal fine da ciascuna bottiglia si prelevava un campione di 100 ml che andava poi versato all'interno di *baker* da 250 ml; in questo veniva infine inserita l'asta dell'omogenizzatore Turrax T25 che veniva azionato alla velocità di 13500 giri/min. per la durata di 6 min.

### Determinazione del C.O.D. - Richiesta Chimica di Ossigeno

Il metodo [Mecella G., 2001] consiste nella misurazione, riferita alla quantità di O<sub>2</sub>, di tutte le specie, organiche e inorganiche, in grado di subire una ossidazione ad opera di un ossidante energetico quale il bicromato di potassio in ambiente acido, alla temperatura di circa 145°C.

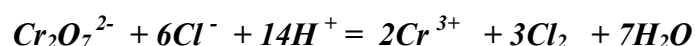
I Cloruri eventualmente contenuti nel campione d'acqua possono interferire nella determinazione se il loro contenuto supera indicativamente i 500 ppm.

### Reazioni

Le reazioni che si verificano in soluzione, durante le 2 ore di digestione a caldo, sono genericamente delle ossidazioni da parte dello ione bicromato in eccesso che si trasforma in ione cromo trivalente.

Al termine delle due ore l'eccesso di ione bicromato viene determinato spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 448 nm.

La probabile reazione di interferenza da parte dei cloruri è la seguente:



Come si può notare lo ione Cl<sup>-</sup> consuma parte del reattivo ossidante

## Reattivi

- Bicromato di potassio 0,25 N (per COD inferiori a 20 mg/L); 12,259 g di  $K_2Cr_2O_7$  seccato per 2 ore a 105 °C in acqua bidistillata e diluire a 1 litro. Il reagente impiegato è stato preparato e certificato dalla ditta Lange.
- Soluzione di acido solforico; 5,5 di  $Ag_2SO_4$  a 1000 g di acido solforico al 96%, e si mescola in recipiente chiuso mediante agitazione elettromagnetica. La dissoluzione è molto lenta (uno o due giorni). Il reagente impiegato è stato preparato e certificato dalla ditta Lange.
- Solfato di mercurio  $HgSO_4$  in polvere; è consigliabile essiccare il reattivo per 24 ore in stufa a 110 °C. Il reagente impiegato è stato preparato e certificato dalla ditta Lange.

## Principio

Le sostanze organiche vengono ossidate a caldo con  $K_2Cr_2O_7$ , in ambiente fortemente acido contenente  $Ag_2SO_4$  che ha la duplice funzione di catalizzare la reazione e fare precipitare lo ione  $Cl^-$  come  $AgCl$ . A questa soluzione viene aggiunto l'  $HgSO_4$  che ha la funzione di formare, in presenza di ioni  $Cl^-$  le specie  $HgCl_2$  o  $HgCl_4^{2-}$ . La reazione di ossidazione è protratta per due ore.

## Procedimento

Prelevati 2 ml di campione omogeneizzato, venivano riversati all'interno della cuvetta contenente una soluzione di  $K_2Cr_2O_7$  in ambiente acido.

Dopo aver fatto bollire la soluzione così preparata per 2 ore, la si lascia infine raffreddare fino a temperatura ambiente.

A questo punto si procede con la lettura allo spettrofotometro a 448 nm.

## Determinazione dell'Azoto totale

### Principio

Il metodo prevede che l'Azoto in associazione organica ed inorganica, venga ossidato in nitrato dissociandolo con una miscela di perossidasolfato, acido borico e idrossido di sodio.

Poiché per l'ossidazione di composti azotati è necessaria una miscela ossidante alcalina, mentre l'ossidazione dei composti del Fosforo deve essere condotta in ambiente acido, la miscela impiegata

nel metodo assicura condizioni ottimali di pH (9,7 all'inizio e 5-6 alla fine della reazione) per la trasformazione simultanea dei composti in questione.

Terminata l'ossidazione viene prelevata un'aliquota del campione ossidato e viene determinato il contenuto di Azoto nitrico con il metodo ISO 7890-1-2-1986/DIN 38405 D9-2 (metodo spettrofotometrico 4 nitro 2,6 dimetilfenolo).

### **Reattivi**

- Idrossido di sodio;
- Agente ossidante perossisolfato;
- Microcap contenti acido borico cristallino;
- Soluzione D LCK 138;

### **Procedimento**

Aggiungere, in rapida successione, all'interno di un protettone di reazione asciutto 0,5 ml di campione, 2,0 ml di idrato di sodio e una pastiglia di agente ossidante perossisolfato. Chiudere immediatamente e non miscelare.

Riscaldare subito a 100°C per 60 minuti e poi attendere che la soluzione ritorni ad una temperatura compresa tra i 20-18°C, quindi aggiungere 1 microcap contenti acido borico. Chiudere il protettone e mescolare finché il liofilizzato contenuto nel microcap si sia sciolto e miscelato completamente, senza lasciare striature.

Pipettare 0,5 ml di campione così ottenuto nella cuvetta-test ed aggiungervi 0,2 ml di soluzione D LCK 138; tappare immediatamente la cuvetta-test e mescolare fino a scioglimento completo.

Dopo aver lasciato trascorrere 15 minuti, pulire l'esterno della cuvetta e leggere allo spettrofotometro.

## **Determinazione dell'Azoto nitrico ( $\text{NO}_3^-$ )**

### **Principio**

I nitrati sono stati determinati dopo filtrazione con il metodo ISO 7890-1-2-1986/DIN 38405 D9-2 che prevede che gli ioni nitrato reagiscano in soluzione acido solforico-fosforico con 2,6-dimetilfenolo (metodo spettrofotometrico 4 nitro 2,6 dimetilfenolo).

## Reattivi

- acido solforico-fosforico;
- 2,6-dimetilfenolo;

## Procedimento

Pipettare 0,2 ml di campione all'interno di una cuvetta contenente una soluzione di acido solforico-fosforico ed aggiungervi 1 ml di soluzione contenente 2,6 - dimetilfenolo. Tappata la cuvetta si procede ad agitarla fino ad ottenere una miscelazione completa.

Si attendono quindi 15 minuti prima di procedere alla lettura spettrofotometrica a 448 nm.

## Determinazione dell'Azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ )

### Principio

L'ammoniaca per reazione con salicilato sodico e cloro forma un derivato dell'indofenolo, il quale, in ambiente nettamente alcalino ed in presenza di nitroprussiato sodico che agisce da catalizzatore, assume una colorazione verde-blu, misurabile spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 690 nm.

L'aumento delle concentrazioni dei reagenti può determinare la reazione di composti organici azotati labili ed una diminuzione dei tempi di reazione. La reazione che porta alla formazione dell'indofenolo è caratterizzata da un meccanismo complesso; probabilmente si forma una cloroimmide chinonica in uno step intermedio.

## Reattivi

- Acqua deionizzata ultrapura
- Soluzione di nitroprussiato di sodio e salicilato di sodio  
Sciogliere 0,5 g di pentacianonitrosilferrato (III) di sodio diidrate  $[\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  (nitroprussiato di sodio) e 42,5 g di sodio salicilato in 250 mL di acqua.  
La soluzione va conservata in bottiglia di vetro scuro ed è stabile per due settimane.
- Soluzione di dicloroisocianurato di sodio (5,8 g/L)  
Sciogliere 0,116 g di dicloroisocianurato di sodio in 20 mL di acqua. La soluzione va preparata di fresco al momento dell'analisi.

- Soluzione alcalina di citrato di sodio (200 g/L)  
Sciogliere in acqua 100 g di citrato trisodico diidrato ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e 10 g di idrossido di sodio (NaOH) e diluire a 500 mL con acqua. Conservare in bottiglia di plastica. La soluzione è stabile per sei mesi.
- Soluzione ossidante  
Mescolare 80 mL di soluzione alcalina di citrato di sodio e 20 mL di soluzione di dicloroisocianurato di sodio. La soluzione va preparata al momento dell'uso.
- Soluzione di idrossido di sodio 0,1 M  
Sciogliere in acqua 4 g di idrossido di sodio (NaOH) e diluire a 1 litro con acqua. Conservare in bottiglia di plastica.
- Soluzioni di riferimento di cloruro di ammonio
- Soluzione concentrata (1 mL=0,5 mg  $\text{NH}_4^+$ )  
Pesare, con l'approssimazione di 1 mg, 1,483 g di cloruro di ammonio anidro ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), essiccato per 2 ore a  $100^\circ\text{C}$ ; sciogliere in acqua e diluire a 1 litro con acqua in matraccio tarato.
- Soluzione diluita (1 mL=0,005 mg  $\text{NH}_4^+$ )  
Introdurre 10 mL della soluzione concentrata in un matraccio tarato da 1 litro e diluire a volume con acqua.

## Procedimento

In una beuta da 100 mL introdurre 50 mL di campione, oppure una aliquota minore, eventualmente neutralizzata con NaOH 0,1 M e diluita a 50 mL con acqua, e procedere come descritto per le soluzioni di taratura.

## Determinazione del Fosforo totale

Il metodo [Mecella G., 2001] si basa su una preliminare trasformazione di tutti i composti del Fosforo, organici ed inorganici, a ortofosfato, mediante mineralizzazione acida con persolfato di potassio. Gli ioni ortofosfato vengono quindi fatti reagire con il molibdato d'ammonio ed il potassio antimonil tartrato, in ambiente acido, allo stesso modo previsto per la determinazione del Fosforo solubile; successivamente viene misurata l'assorbanza alla lunghezza d'onda di 340 nm allo spettrofotometro.

## **Apparecchiature necessarie**

Beute Duran da 250 ml, con tappo a vite e guarnizione di politetrafluoroetilene (teflon).

Autoclave o stufa termostata

## **Reattivi**

Soluzione di NaOH 0,375 M: 15 gr di NaOH in 1000 ml di acqua distillata. La soluzione è stabile per 1 mese

Soluzione di persolfato di potassio: 25 grammi di persolfato di potassio ( $K_2S_2O_8$ ) + 15 grammi di acido borico ( $H_3BO_3$ ) cristallino; si porta a 500 ml con la soluzione di NaOH 0,375 M. La soluzione deve essere preparata prima di ogni analisi

Tutti gli altri reagenti sono gli stessi utilizzati per la determinazione colorimetrica dell'ortofosfato solubile, compreso il processo per la preparazione della curva di taratura.

Si sono omogeneizzati i campioni e se ne sono prelevati 50 ml; si sono aggiunti 50 ml della soluzione ossidante. Si è preparato il bianco introducendo solo 50 ml della soluzione ossidante e si sono trasferite le beute ben tappate in autoclave, lasciando procedere l'ossidazione a 120°C per 45 minuti.

Terminato il processo si sono aggiunti 50 ml di acqua distillata al bianco, si sono prelevati 50 ml da ogni bottiglia Duran e quindi sono stati aggiunti a ogni campione 2 ml di reagente misto + 2 ml di acido ascorbico, agitando adeguatamente. Dopo 10 minuti ed entro 15 dall'aggiunta dei reattivi è stata presa la misurazione allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 340 nm.

Per il calcolo del contenuto di Fosforo occorre moltiplicare per 2 la concentrazione in ppm ottenuta per ogni campione attraverso la retta di regressione individuata con la curva di taratura.

## Determinazione del Fosforo solubile

Il Fosforo, nelle acque naturali e di scarico, è presente quasi esclusivamente come fosfato, in particolare ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), fosfato condensato (piro-  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ , meta-  $\text{PO}_3^-$  - polifosfato) e fosfato legato a composti organici. Queste specie possono trovarsi in forma solubile ed in forma particellata.

Qualunque sia la specie in cui si viene a trovare, il Fosforo deve essere preliminarmente trasformato in ortofosfato per essere determinato.

Gli ioni ortofosfato reagiscono con il molibdato di ammonio ed il potassio antimonil tartrato, in ambiente acido, formando un eteropoliacido che viene ridotto con acido ascorbico a blu di molibdeno, intensamente colorato, la cui assorbanza viene misurata allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 340 nm .

Il metodo [Mecella G., 2001] è applicabile ad acque di scarico urbane ed industriali e ad acque naturali; il campione deve essere filtrato, possibilmente subito dopo il prelievo.

### Reattivi

- Soluzione di molibdato di ammonio; 19 g di eptamolibdato (VI) di esammonio tetraidrato  $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$  in 200 ml di acqua. La soluzione, mantenuta al buio, è stabile per molti mesi.
- Soluzione di acido solforico 4,5 M; Si versano 250 ml di  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrato in un matraccio tartrato da 1000 ml contenente circa 600 ml di acqua; si lascia raffreddare e quindi si porta a volume.
- Soluzione di acido ascorbico; 14 g di acido ascorbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) in 200 ml di acqua. La soluzione deve essere conservata in frigorifero quando non è utilizzata.
- Soluzione di potassio antimonil tartrato; 3,25 g di potassio antimonil tartrato emiidrato  $[\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]$  in 100 ml di acqua. La soluzione è stabile per molti mesi.
- Reagente misto; 45 ml della soluzione di molibdato di ammonio a 200 ml di acido solforico e 5 ml di potassio antimonil tartrato. Si agita dopo ogni aggiunta.



- Soluzione di Fosforo per la curva di taratura (1 ml = 0,001 mg di P) Prelevare 10 ml della soluzione madre di Fosforo e diluire a 1000 ml con acqua in matraccio tarato.

Si prelevano 50 ml di campione e si introducono in un matraccio tarato da 50 ml., 2 ml di reagente misto, quindi 2 ml di acido ascorbico, agitando adeguatamente.

Dopo 10 minuti ed entro 15 minuti dal dosaggio dall'aggiunta dei reattivi misurare l'assorbanza del campione alla lunghezza d'onda di 340 nm.

## **Apparecchiature**

Tutti i campioni preparati come sopra descritto sono stati letti allo Spettrofotometro Lange Hach Dr 2800.



# *Elenco Figure*

<b>Figura 1</b> - Eichhornia crassipes.....	14
<b>Figura 2</b> - Lemna minor.....	14
<b>Figura 3</b> - Rappresentazione di un sistema a macrofite galleggianti con Eichhornia crassipes (Brix, 1993).....	15
<b>Figura 4</b> - Elodea canadensis.....	15
<b>Figura 5</b> - Rappresentazione di un sistema a macrofite sommerse con Elodea canadensis (Brix, 1993).....	16
<b>Figura 6</b> -Aerenchima in Phragmites australis.....	16
<b>Figura 7</b> - Iris pseudacorus.....	17
<b>Figura 8</b> - Carex spp.....	17
<b>Figura 9</b> - Scirpus lacustris.....	17
<b>Figura 10</b> - Juncus spp.....	17
<b>Figura 11</b> - Phragmites australis.....	17
<b>Figura 12</b> - Thipha latifolia.....	17
<b>Figura 13</b> - Classificazione dei sistemi di fitodepurazione.....	19
<b>Figura 14</b> - Rappresentazione di un sistema a flusso superficiale (FWS) a macrofite radicate emergenti (Brix, 1993)..	20
<b>Figura 15</b> - Rappresentazione di un sistema a flusso sub-superficiale orizzontale (h-SSF) (Brix,1993).....	22
<b>Figura 16</b> - Rappresentazione di un sistema a flusso subsuperficiale verticale (v-SSF) (Brix, 1993).....	23
<b>Figura 17</b> - Rappresentazione del ciclo del'Azoto in una wetland (ANPA, 2002).....	28
<b>Figura 18</b> - Rappresentazione del ciclo del Fosforo in una wetland (ANPA, 2002).....	31
<b>Figura 19</b> - Distribuzione territoriale degli impianti di fitodepurazione in Italia (Masi 2002).....	45
<b>Figura 20</b> - Numero di impianti realizzati dal 1993 al 2002 (Masi , 2002).....	46
<b>Figura 21</b> - Distribuzione del numero di impianti per fasce di utenza (Masi, 2002).....	46
<b>Figura 22</b> - Diffusione delle diverse tipologie di sistemi di depurazione naturali in Italia (Masi, 2002).....	47
<b>Figura 23</b> - Localizzazione geografica dei comuni dei quattro impianti.....	51
<b>Figura 24</b> - Ricostruzione planimetrica del complesso servito dall'impianto A (particolare).....	53
<b>Figura 25</b> - Il filtro in Poliuretano montato all'interno di un pozzetto di ingresso e l'opera di filtrazione.....	54
<b>Figura 26</b> - Tubo drenante in PVC Ø 100 per la dispersione del refluo in entrata.....	55
<b>Figura 27</b> - Tubo drenante in PVC Ø 100 per la raccolta del refluo in uscita.....	55
<b>Figura 28</b> - Planimetria e sezione dell'impianto A.....	56
<b>Figura 29</b> - Veduta dell'ingresso dell'impianto A a Dicembre 2006 (in alto) e a Giugno 2007 (in basso).....	59
<b>Figura 30</b> - Veduta dell'uscita dell'impianto a Dicembre 2006 (a sinistra) e ad Agosto 2007 (a destra). Da notare il diradamento della vegetazione nella parte finale e lungo il lato ombreggiato dagli alberi.....	60
<b>Figura 31</b> - Ricostruzione planimetrica dell'azienda vitivinicola servita dall'impianto B (particolare).....	61
<b>Figura 32</b> - La griglia in acciaio inox a monte del pozzetto di ingresso e la relativa opera di filtrazione.....	62
<b>Figura 33</b> - Planimetria e sezione dell'impianto B.....	64
<b>Figura 34</b> - Veduta completa dell'impianto B come si presentava ad Agosto 2007. Da notare la vegetazione visibilmente più diradata e meno sviluppata nella prima parte dell'impianto (a sinistra nella foto) e la piantagione di noce americano retrostante.....	66
<b>Figura 35</b> - I residui di lavorazione fermati dalla griglia a monte dell'impianto (a sinistra) e il refluo nel pozzetto d'ingresso, prima del filtro in poliuretano (a destra).....	67
<b>Figura 36</b> - Ricostruzione planimetrica della proprietà servita dall'impianto C (particolare).....	69
<b>Figura 37</b> - Planimetria e sezione dell'impianto C.....	70
<b>Figura 38</b> - Veduta completa dell'impianto C come si presentava a Giugno 2007. Da notare la vegetazione visibilmente più diradata e meno sviluppata nella prima parte dell'impianto (a destra nella foto).....	72

<b>Figura 39</b> - Particolare della parte iniziale dell'impianto C come si presentava ad Agosto 2007. come si può notare in questa sezione del letto vegetato molte piante di <i>Phragmites australis</i> sono già entrate in quiescenza a causa dell'eccessivo stress.....	73
<b>Figura 40</b> - Ricostruzione planimetrica della proprietà servita dall'impianto D (particolare).....	75
<b>Figura 41</b> - Planimetria e sezione dell'impianto D .....	76
<b>Figura 42</b> - Veduta dell'ingresso dell'impianto D come si presentava a Giugno 2007. ....	78
<b>Figura 43</b> - Veduta dell'uscita dell'impianto D come si presentava a Giugno 2007. L'intero perimetro del letto vegetato è stato piantumato ad <i>Iris pseudoacorus</i> per aumentarne la gradevolezza estetica .....	79
<b>Figura 44</b> - Il refluo all'uscita dall'impianto .....	79
<b>Figura 45</b> - Rilevazione dei parametri del refluo in entrata (sinistra) ed in uscita (destra).....	81
<b>Figura 46</b> - Schema del posizionamento dei quadrati di saggio (in rosso) in un impianto h-SSF. ....	82
<b>Figura 47</b> - Schema del posizionamento del quadrato di saggio (in rosso) nell'impianto v-SSF. ....	83
<b>Figura 48</b> - Schema della distribuzione delle piante (rappresentati da cerchi rossi) di <i>Phragmites australis</i> -- nell'impianto B; in nero sono tratteggiate le zone a maggior densità.....	109

# *Elenco Grafici*

<b>Grafico 1</b> - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	87
<b>Grafico 2</b> - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	87
<b>Grafico 3</b> – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	89
<b>Grafico 4</b> – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	90
<b>Grafico 5</b> – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	91
<b>Grafico 6</b> - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	92
<b>Grafico 7</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	92
<b>Grafico 8</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	92
<b>Grafico 9</b> - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	94
<b>Grafico 10</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	94
<b>Grafico 11</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	94
<b>Grafico 12</b> – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde 20 mg/L, non visualizzata per migliorare la leggibilità del grafico, indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	96
<b>Grafico 13</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	96
<b>Grafico 14</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	96
<b>Grafico 15</b> – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	98
<b>Grafico 16</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	98
<b>Grafico 17</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	98
<b>Grafico 18</b> - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	100
<b>Grafico 19</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	100
<b>Grafico 20</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	100
<b>Grafico 21</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	102
<b>Grafico 22</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	102
<b>Grafico 23</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	102
<b>Grafico 24</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	104
<b>Grafico 25</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	104
<b>Grafico 26</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	104
<b>Grafico 27</b> - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	107
<b>Grafico 28</b> - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	107
<b>Grafico 29</b> – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto.....	110
<b>Grafico 30</b> – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5). ....	112

<b>Grafico 31</b> – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	113
<b>Grafico 32</b> - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	114
<b>Grafico 33</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	114
<b>Grafico 34</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	114
<b>Grafico 35</b> - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi recapitanti su suolo (D L 152/06, Tabella 4, Allegato 5). ....	116
<b>Grafico 36</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	116
<b>Grafico 37</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	116
<b>Grafico 38</b> – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	118
<b>Grafico 39</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	118
<b>Grafico 40</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	118
<b>Grafico 41</b> – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	120
<b>Grafico 42</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	120
<b>Grafico 43</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	120
<b>Grafico 44</b> - Valori della concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la scala in mg/L è logaritmica e la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5). ...	122
<b>Grafico 45</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	122
<b>Grafico 46</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	122
<b>Grafico 47</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi recapitanti su suolo (DL 152/06, Tabella 4, Allegato 5). ....	124
<b>Grafico 48</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	124
<b>Grafico 49</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	124
<b>Grafico 50</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	126
<b>Grafico 51</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	126
<b>Grafico 52</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	126
<b>Grafico 53</b> - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto. ....	131
<b>Grafico 54</b> - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto. ....	131
<b>Grafico 55</b> – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5). ....	133
<b>Grafico 56</b> – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5). ....	134
<b>Grafico 57</b> – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	135
<b>Grafico 58</b> - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	136
<b>Grafico 59</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	136
<b>Grafico 60</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	136
<b>Grafico 61</b> - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	138
<b>Grafico 62</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	138
<b>Grafico 63</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	138
<b>Grafico 64</b> – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde - 20 mg/L, non visualizzata per migliorare la leggibilità del grafico- indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5). ....	140
<b>Grafico 65</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	140
<b>Grafico 66</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	140

<b>Grafico 67</b> – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	142
<b>Grafico 68</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	142
<b>Grafico 69</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	142
<b>Grafico 70</b> - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	144
<b>Grafico 71</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	144
<b>Grafico 72</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	144
<b>Grafico 73</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	146
<b>Grafico 74</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	146
<b>Grafico 75</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	146
<b>Grafico 76</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. l'impianto.....	148
<b>Grafico 77</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	148
<b>Grafico 78</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	148
<b>Grafico 79</b> - Valori relativi all'altezza dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	151
<b>Grafico 80</b> - Valori relativi alla densità dei culmi registrati nelle zone di ingresso, metà e uscita dell'impianto.....	151
<b>Grafico 81</b> – Valori della temperatura registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	153
<b>Grafico 82</b> – Valori del pH registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto. Le linee verdi indicano i limiti di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	154
<b>Grafico 83</b> – Valori relativi alla concentrazione di Ossigeno disciolto registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	155
<b>Grafico 84</b> - Valori della Conducibilità elettrica registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	156
<b>Grafico 85</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	156
<b>Grafico 86</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	156
<b>Grafico 87</b> - Valori relativi alla concentrazione di Azoto totale registrati nelle acque in ingresso e uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	158
<b>Grafico 88</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	158
<b>Grafico 89</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	158
<b>Grafico 90</b> – Valori relativi alla concentrazione di Azoto nitrico registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	160
<b>Grafico 91</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	160
<b>Grafico 92</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	160
<b>Grafico 93</b> – Valori della concentrazione di Azoto ammoniacale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	162
<b>Grafico 94</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	162
<b>Grafico 95</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	162
<b>Grafico 96</b> - Valori relativi alla concentrazione di COD registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per gli scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	164
<b>Grafico 97</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	164
<b>Grafico 98</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	164
<b>Grafico 99</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo totale registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. La linea verde indica il limite di legge per scarichi in acque superficiali (DL 152/06, Tabella 3, Allegato 5).....	166
<b>Grafico 100</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	166
<b>Grafico 101</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	166

<b>Grafico 102</b> – Valori relativi alla concentrazione di Fosforo solubile registrati nelle acque in ingresso ed uscita dall'impianto; la linea tratteggiata indica le variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	168
<b>Grafico 103</b> - Distribuzione delle popolazioni di valori rilevati nei reflui in ingresso e uscita dall'impianto. ....	168
<b>Grafico 104</b> - Distribuzione della popolazione di variazioni percentuali tra ingresso ed uscita. ....	168
<b>Grafico 105</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata. ....	173
<b>Grafico 106</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata. ....	173
<b>Grafico 107</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata. ....	174
<b>Grafico 108</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata. ....	174
<b>Grafico 109</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata. ....	175
<b>Grafico 110</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata. ....	175
<b>Grafico 111</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata. ....	176
<b>Grafico 112</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata. ....	176
<b>Grafico 113</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata. ....	179
<b>Grafico 114</b> – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	179
<b>Grafico 115</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata. ....	180
<b>Grafico 116</b> – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	180
<b>Grafico 117</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata. ....	181
<b>Grafico 118</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	181
<b>Grafico 119</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata. ....	182
<b>Grafico 120</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	182
<b>Grafico 121</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata. ....	183
<b>Grafico 122</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	183
<b>Grafico 123</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata. ....	184
<b>Grafico 124</b> – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	184
<b>Grafico 125</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata. ....	185
<b>Grafico 126</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	185
<b>Grafico 127</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata. ....	186
<b>Grafico 128</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	186
<b>Grafico 129</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata. ....	189
<b>Grafico 130</b> – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	189
<b>Grafico 131</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata. ....	190
<b>Grafico 132</b> – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	190
<b>Grafico 133</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata. ....	191
<b>Grafico 134</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007. ....	191
<b>Grafico 135</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata. ....	192



<b>Grafico 136</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	192
<b>Grafico 137</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.....	193
<b>Grafico 138</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	193
<b>Grafico 139</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.....	194
<b>Grafico 140</b> – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	194
<b>Grafico 141</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.....	195
<b>Grafico 142</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	195
<b>Grafico 143</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.....	196
<b>Grafico 144</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	196
<b>Grafico 145</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei reflui in entrata.....	199
<b>Grafico 146</b> – Variazioni percentuali dei valori di conducibilità elettrica tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	199
<b>Grafico 147</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Ossigeno disciolto rilevate nei reflui in entrata.....	200
<b>Grafico 148</b> – Variazioni percentuali dei valori di Ossigeno disciolto tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	200
<b>Grafico 149</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto totale rilevate nei reflui in entrata.....	201
<b>Grafico 150</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	201
<b>Grafico 151</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto nitrico rilevate nei reflui in entrata.....	202
<b>Grafico 152</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto nitrico tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	202
<b>Grafico 153</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Azoto ammoniacale rilevate nei reflui in entrata.....	203
<b>Grafico 154</b> – Variazioni percentuali dei valori di Azoto ammoniacale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	203
<b>Grafico 155</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di COD rilevate nei reflui in entrata.....	204
<b>Grafico 156</b> – Variazioni percentuali dei valori di COD tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	204
<b>Grafico 157</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo totale rilevate nei reflui in entrata.....	205
<b>Grafico 158</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo totale tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	205
<b>Grafico 159</b> – Valori delle variazioni percentuali tra ingresso ed uscita in funzione delle concentrazioni di Fosforo solubile rilevate nei reflui in entrata.....	206
<b>Grafico 160</b> – Variazioni percentuali dei valori di Fosforo solubile tra ingresso ed uscita negli anni 2006 e 2007.....	206



# *Elenco Tabelle*

<b>Tabella 1</b> - Sommario dei principali ruoli delle macrofite nelle wetland costruite (Brix, 1997) .....	26
<b>Tabella 2</b> – Valori medi dei reflui in ingresso ed uscita e relative efficienze di abbattimento dei sistemi di fitodepurazione a flusso sub-superficiale orizzontale. La colonna di dati N presenta il numero di campioni studiati per il dato parametro. (Dati da Australia, Austria, Brasile, Canada, Repubblica Ceca, Danimarca, Germania, India, Messico; Nuova Zelanda, Regno Unito, Slovenia, Svezia e USA). (J. Vymazal / Ecological Engineering, 2005) .....	36
<b>Tabella 3</b> – Entità del ruolo svolto da un sistema di pre-trattamento correttamente progettato. Le efficienze di abbattimento sono calcolate sul confronto dei valori prima dei pre-trattamenti e all’uscita del letto vegetato (Vymazal, Rep. Ceca, 2003-2004). .....	37
<b>Tabella 4</b> - Valori medi in entrata per alcuni parametri caratteristici delle acque di aziende vinicole (mg/l) .....	38
<b>Tabella 5</b> – Valori medi in entrata, uscita ed efficienze di abbattimento per alcuni parametri rilevati in una cantina vinicola in Toscana (Masi et al., 2002).....	39
<b>Tabella 6</b> - Valori dei parametri riportati da Reed Crites & Middlebrooks .....	42
<b>Tabella 7</b> - Tabella riassuntiva dati impianto.....	58
<b>Tabella 8</b> - Tabella riassuntiva dati impianto.....	65
<b>Tabella 9</b> - Tabella riassuntiva dati impianto.....	72
<b>Tabella 10</b> - Tabella riassuntiva dati impianto.....	78
<b>Tabella 11</b> - Giornate di campionamento.....	80
<b>Tabella 12</b> – Tabella riassuntiva dei parametri dell’impianto A.....	105
<b>Tabella 13</b> – Tabella riassuntiva dei parametri dell’impianto B.....	127
<b>Tabella 14</b> – Tabella riassuntiva dei parametri dell’impianto C.....	149
<b>Tabella 15</b> – Tabella riassuntiva dei parametri dell’impianto D.....	169



# *Ringraziamenti*

Al **prof. Maurizio Borin**, per aver saputo trasmettermi la soddisfazione della ricerca;

a **Davide**, per avermi insegnato quanto sia importante saper affiancare un corretto dimensionamento idrico con la buona tavola;

a **Gianluca**, per la preparazione e per aver saputo creare un clima così allegro tra le fredde mura dei laboratori;

a **Matteo**, per i Box and Wiskers, Spearman e i combattimenti sulle scale;

ai **Fitoamici** di Bosconero, perché degli ingegneri così non si trovano mica tutti i giorni!

ai **Fitoamici** della Francia, per la sincera amicizia che è nata;

ai **dottorandi/borsisti Irene, Manuele, Gianfranco, Chiara, Luger**, per avermi accolto nella loro invidiatissima casta;

al **papà**, per tutto quello che mi ha insegnato;

alla **mamma**, per tutto quello che mi ha dato;

a **Jonny**, per tutte le litigate, le sgridate, le risate e soprattutto le avventure passate insieme;

ad **Alice**, per tutti questi anni felici;

ai **nonni**, per tutto il tempo e il bene che mi hanno donato;

ad **Alessandretta**, per questi anni fatti di momenti forsennati, tragedie cosmiche, grandi traguardi, ma soprattutto, di grande amicizia;

a **Fred**, per essere un tipo che non metterà mai di sorprendermi;

a **Scorrina**, perché è una persona solare;

a **Vanvara**, l'austera dottoressa dal grande cuore;

ai compagni di corso, in particolare:

**Drugo**, un amico sincero, che, nonostante la sua aria da dotto intellettuale, mi ha sempre fatto trovare il lato divertente delle cose;

**Berta**, un tipo dalla faccia sveglia senza il quale questi anni sarebbero stati una calma pazzesca;

**Paolo, Niccolò, LaUrina** per questi grandi anni;

agli Amici tutti

*Un grazie di cuore*