



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

Confronto tra le soluzioni impiantistiche innovative per il
trattamento del percolato da discarica

Comparison between innovative solutions for the treatment of
landfill leachate

Relatore

Chiar.mo Prof. Marco Bergonzoni

Correlatore

Chiar.mo Prof. Andrea Segalini

Tesi di laurea di

Stefano Salati

Matr. 211161

Ai miei genitori, Fausta e Giorgio

A Giulia

Sommario

Sommario	3
Introduzione	5
1 - S.A.Ba.R. SpA	6
1.1 - La localizzazione	7
1.2 - L'impianto	7
1.3 - Caratteristiche della discarica per rifiuti non pericolosi	8
1.4 - Inquadramento normativo	9
1.5 - I rifiuti: la disciplina italiana e comunitaria	11
2 - Il percolato	15
2.1 - La decomposizione del rifiuto in discarica	15
2.2 - Produzione del percolato	18
2.2.1 - Bilancio idrologico	18
2.2.1.1 - Precipitazione	19
2.2.1.2 - Deflusso superficiale e infiltrazione	19
2.2.1.3 - Evapotraspirazione	22
2.2.1.4 - Umidità del suolo	23
2.2.2 - Calcolo del bilancio idrologico	25
2.3 - Caratterizzazione	29
2.3.1 - Qualità del percolato	29
2.4 - La raccolta del percolato	34
3 - Il trattamento del percolato	37
3.1 - Metodi depurativi classici	38
3.1.1 - Trattamento chimico - fisico	38
3.1.2 - Trattamento biologico	43
3.1.2.1 - Cinetica della nitrificazione e della denitrificazione	44
3.1.2.2 - Processo a fanghi attivi	48
3.1.2.3 - Trattamenti anaerobici	51
3.2 - Sequencing Batch Reactor	54
3.3 - Membrane Biological Reactor	57
3.4 - Articolazione della linea fanghi	59
3.5 - Alternative di smaltimento	60

4 - Analisi qualitativa del percolato: il caso S.A.Ba.R. SpA	61
4.1 - Monitoraggio del percolato	62
4.2 - Confronto tra nuovi e vecchi bacini	66
4.3 - Scelta delle linee di tendenza	70
4.4 - Risultati ottenuti	71
4.4.1 - pH	71
4.4.2 - B.O.D e C.O.D.	73
4.4.3 - NH ₄	75
4.4.4 - Fosforo	77
4.4.5 - Conducibilità elettrica a 18°	78
4.5 - Analisi visiva del percolato	80
5 - Confronto tra soluzioni impiantistiche innovative per il trattamento del percolato: il caso S.A.Ba.R. SpA	81
5.1 - Trattamento biologico con microbioflottazione	82
5.2 - Trattamento con ultrafiltrazione e osmosi inversa	86
5.3 - Trattamento con impianto di evaporazione sottovuoto e finissaggio delle condense attraverso un impianto SBR	90
6 - Conclusioni	94
Bibliografia	96
Appendice 1 - Dati tabellari	97
Appendice 2 - Grafici	146

Introduzione

La presente tesi ha come oggetto lo studio del percolato nei suoi molteplici aspetti e analizza in particolare il caso della discarica per rifiuti non pericolosi gestita da S.A.Ba.R. SpA.

Nella parte iniziale si è descritto l'impianto di smaltimento situato a Novellara, in provincia di Reggio Emilia, cui fa seguito una trattazione teorica sulla formazione, produzione e gestione del percolato di discarica.

Successivamente è stata prodotta un'analisi qualitativa sui dati storici del percolato presente presso la discarica S.A.Ba.R. SpA, prevedendo, attraverso le linee di tendenza, l'andamento qualitativo dei parametri più significativi e cercando di capire in che misura il percolato, perlomeno il più anziano, possa essere smaltito direttamente in fognatura.

Infine si sono poste a confronto diverse soluzioni progettuali per un impianto di depurazione del percolato di discarica, integrando la parte tecnica con un'analisi dei costi.

1 - S.A.Ba.R. SpA

La discarica intercomunale di Novellara si estende su di un'area di 500.000 mq all'interno di una zona riservata alla sola attività agricola e distante circa 4-5 km da aree urbanizzate e centri abitati.

Nata nel 1982 per volontà di otto comuni della Bassa Reggiana, ovvero Boretto, Brescello, Gualtieri, Guastalla, Luzzara, Novellara, Poviglio e Reggiolo, dà inizio all'attività di smaltimento rifiuti nel marzo 1983.

Fino al settembre 1994 la gestione dell'impianto è stata condotta dal Comune di Novellara, tuttavia in virtù della Legge 142/90, che diede ai Comuni la possibilità di costituire società, la gestione della discarica e della raccolta dei rifiuti nei diversi comuni viene affidata alla fine del 1994 a S.A.Ba.R. SpA (Servizi Ambientali Bassa Reggiana) quale società degli 8 Comuni.

La società è gestita da un Consiglio di Amministrazione composto da tre membri nominati dai Sindaci che restano in carica tre anni, mentre la gestione operativa è delegata al Direttore Generale Dott. Mirco Marastoni. Il controllo è affidato all'Assemblea dei Soci nella quale sono presenti i Sindaci degli otto Comuni.

Nel corso del 1995 sono stati organizzati e potenziati i servizi di raccolta differenziata (carta, vetro, potature, pile, etc.), nel corso del 1996 è stata attivata la raccolta differenziata della plastica e dal 1997 si sono realizzate le stazioni ecologiche di base su tutto il territorio intercomunale.

Nell'anno 2007 è stato introdotto il sistema di raccolta "Porta a Porta", un sistema di raccolta con contenitori di capacità variabile, secondo le esigenze, per la raccolta delle diverse tipologie di rifiuto: rifiuto secco, rifiuto organico, carta, imballaggi in cartone, imballaggi in plastica e imballaggi in vetro e lattine).

Questo sistema coinvolge un numero di utenze limitato ai 2 centri storici dei Comuni di Guastalla e Novellara.

Nel 2003 S.A.Ba.R. SpA ha iniziato l'iter di Certificazione Ambientale e di Registrazione al Regolamento Emas.

1.1 - La localizzazione

La discarica si trova nelle campagne della Pianura Padana, nel Comune di Novellara (località Casaletto), su un terreno estremamente argilloso, di difficile lavorabilità dal punto di vista agricolo e con destinazione d'uso a seminativo, con avvicendamento fra cereali e prati di erba medica.

Le zone limitrofe sono scarsamente abitate ed il Piano Paesistico non incide sull'area, peraltro non soggetta ad alcun vincolo idrogeologico, escludendo la fascia di rispetto ai corsi d'acqua (canale di scolo Cavo "Sissa" e collettore Acque Basse Reggiane).

L'impianto serve un bacino di utenza di 72.500 abitanti (dato aggiornato al 1/1/2011), denominato "Bassa Reggiana", e smaltisce rifiuti solidi urbani, rifiuti speciali di provenienza provinciale e rifiuti speciali non pericolosi provenienti dalle province limitrofe.

1.2 - L'impianto

L'impianto in questione vede lo svolgimento delle seguenti attività:

- smaltimento in discarica;
- ricondizionamento dei rifiuti destinati allo smaltimento in discarica, consistente nella triturazione effettuata direttamente sul fronte discarica, in prossimità del fronte di avanzamento dei rifiuti;
- deposito preliminare rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi;
- messa in riserva rifiuti recuperabili;
- trattamento di rifiuti destinati sia allo smaltimento che al recupero;
- recupero del biogas di discarica mediante motori endotermici per la produzione di energia elettrica (destinata all'autoconsumo e all'immissione nella rete elettrica nazionale);
- recupero calore in esubero dalla centrale di cogenerazione utilizzato per il riscaldamento delle serre (gestite dalla Cooperativa Sociale "Il Bettolino") e come teleriscaldamento per i fabbricati aziendali.

1.3 - Caratteristiche della discarica per rifiuti non pericolosi

Nel contesto delle tecnologie relative allo smaltimento dei rifiuti, la discarica controllata rappresenta una soluzione definitiva. Infatti, le metodiche di trattamento rifiuti quali incenerimento, compostaggio, riciclo parziale dei materiali da smaltire, pur essendo tecnologie all'avanguardia, non risolvono totalmente il problema rifiuti poiché rimangono quantitativi di materiale da smaltire.

Il d.lgs. n. 36 del gennaio 2003 che stabilisce i requisiti operativi e tecnici sia per i rifiuti che per le discariche e impone ai gestori precisi piani di sorveglianza e controllo, è entrato in vigore in tutte le sue parti il 1 luglio 2009. Tale decreto trova un riscontro tecnico operativo nel Piano di Monitoraggio presente all'interno dell'A.I.A. rilasciata a S.A.Ba.R. SpA con prot. n. 44588.09 del 24/06/2009 sia nelle procedure che negli orientamenti tesi a prevenire e ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente.

La tecnologia dell'interramento controllato con recupero di biogas risulta inoltre essere una soluzione idonea in funzione degli assetti geologico - stratigrafici e geomorfologici - idrogeologici che caratterizzano il sottosuolo del sito stesso, in rapporto sia alle condizioni infrastrutturali dell'intorno che del tessuto economico sociale del bacino d'utenza.

La metodica utilizzata da S.A.Ba.R. SpA consente un allontanamento rapido e programmato degli eluati dal bacino di scarico ed un loro stoccaggio temporaneo in vasche impermeabilizzate.

Al momento il percolato viene trasferito ad impianti di trattamento dei reflui liquidi, con la finalità di ottimizzare sia i processi di mineralizzazione con produzione di biogas, sia quelli che permettano la tutela degli acquiferi presenti nel sottosuolo.

1.4 - Inquadramento normativo

Il 18 febbraio 2008, è entrata in vigore la prima A.I.A. (Autorizzazione Integrata Ambientale), rilasciata dalla Provincia di Reggio Emilia con protocollo n. 78358/16687 del 30/10/07, la quale ha sostituito tutte le autorizzazioni precedenti ed ha inoltre autorizzato la costruzione e l'utilizzo degli ultimi 4 lotti, bacini 19 – 22, che completano l'area destinata allo stoccaggio dei rifiuti non pericolosi.

Successivamente, in data 22/12/2008, a seguito di domanda di modifica non sostanziale di A.I.A. presentata da S.A.Ba.R. SpA, la Provincia di Reggio Emilia ha emesso un nuovo provvedimento con protocollo n. 84426/16687 del 22/12/2008.

Tale modifica riguarda:

- l'attività di messa in riserva (R13) e l'utilizzazione del biogas per il recupero energetico (R1), con le relative prescrizioni sulle quantità autorizzate e sul funzionamento dei motori;
- l'iscrizione al Registro delle Imprese (con numero 138) che effettuano attività di recupero rifiuti attraverso l'iscrizione semplificata (ai sensi dell'art. 216 del d.lgs. 152/2006) e modifica che ricomprende anche l'attività R1, in base al protocollo n. 62561.08 dell'11/09/2008 della Provincia di Reggio Emilia;
- l'utilizzo della volumetria residua dei bacini 17-18 per lo smaltimento di rifiuti urbani e speciali, prevedendo la possibilità di recuperare la volumetria nei bacini 19÷22;
- l'utilizzo del "biostabilizzato", rifiuto speciale non pericoloso (CER 190503) per la copertura giornaliera dei rifiuti, ai sensi della Delibera della Giunta Regionale 1996/2006.

In data 24/06/2009, a seguito di domanda di modifica sostanziale presentata da S.A.Ba.R. SpA, la Provincia ha emesso la nuova autorizzazione A.I.A. con protocollo n. 44588.09 del 24/06/2009.

Le modifiche riguardano principalmente:

- la riclassificazione della discarica come "Discarica per rifiuti misti non pericolosi con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici, con recupero di biogas", ai sensi dell'art. 7 comma 1 lett. c) del DM 3 agosto 2005;
- la concessione della deroga del parametro DOC (Carbonio Organico Disciolto) relativa all'ammissione dei rifiuti in discarica, in considerazione delle caratteristiche dei rifiuti della valutazione del rischio e dell'idoneità del sito;
- la concessione della deroga al limite di concentrazione secca dei rifiuti costituiti da fanghi di depurazione delle acque reflue urbane CER 190805;

- i rifiuti urbani sottoposti al trattamento destinati esclusivamente allo smaltimento nella stessa discarica, mantengono lo stesso codice CER dei rifiuti all'ingresso all'impianto di trattamento e pertanto possono essere smaltiti senza caratterizzazione analitica;
- i rifiuti già trattati e i rifiuti non trattati ma riconducibili alle lettere a) e b) del comma 1, art. 7 del D.lgs. 36/03 possono essere ammessi direttamente in discarica nel rispetto delle procedure di caratterizzazione previste dal DM 3 agosto 2005 (caratterizzazione di base e analitica a carico del produttore, verifica di conformità e verifiche in loco a carico di S.A.Ba.R. Spa);
- i rifiuti non trattati e non riconducibili alle lettere a) e b) del comma 1, art. 7 del D.lgs. 36/03 devono essere sottoposti a trattamento (D14) e possono essere ammessi in discarica successivamente nel rispetto delle procedure di caratterizzazione di base, caratterizzazione analitica, verifica di conformità e verifiche in loco previste dal DM 3 agosto 2005.

Tale autorizzazione è entrata in vigore il 24/08/2009.

In data 19/10/2010 con prot. n. 57797/6/2009 e rettifica con prot. n. 59325/10 del 27/10/2010, a seguito di domanda di modifica non sostanziale presentata da S.A.Ba.R. SpA., la Provincia ha emesso un'integrazione all'autorizzazione A.I.A. con prot. n. 44588.09 del 24/06/2009. Tale modifica non sostanziale risulta parte integrante dell'A.I.A. vigente e le modifiche riguardano principalmente:

- modifica del piano di gestione post-operativa per la realizzazione di un impianto fotovoltaico da 996 KWp sulla copertura definitiva dei bacini di discarica 9-12;
- modifica del piano di ripristino ambientale della discarica, prevedendo per l'area dove non verrà posizionato l'impianto fotovoltaico il recupero vegetazionale così come previsto nel piano approvato;
- le acque superficiali dei bacini 13-16 dovranno essere gestite separatamente dalle altre acque provenienti dal cumulo di discarica e stoccate nella vasca acque reflue, in attesa di essere trasferite ad idonei impianti di trattamento;
- sostituzione di prescrizioni riguardanti le attività di R5 e R3 relativamente ai codici CER autorizzati.

In data 4/11/2011 con prot. n. 57371/21 – 2010, a seguito di domanda di modifica non sostanziale presentata da S.A.Ba.R. SpA, la provincia ha emesso un'integrazione all'autorizzazione A.I.A. con prot. n. 44588.09 del 24/06/2009. Tale modifica non sostanziale risulta parte integrante dell'A.I.A. vigente e le modifiche riguardano principalmente:

- modifica del piano di gestione post-operativa per la realizzazione di un impianto fotovoltaico da 997 KWp sulla copertura definitiva dei bacini di discarica 13-16;

- modifica del piano di ripristino ambientale della discarica, prevedendo per l'area dove non verrà posizionato l'impianto fotovoltaico, il recupero vegetazionale così come previsto nel piano approvato.

In data 2/12/2011 con prot. n. 62139/21 – 2010, a seguito di domanda di modifica non sostanziale presentata da S.A.Ba.R. SpA, la provincia ha emesso un'integrazione all'autorizzazione A.I.A. con prot. n. 44588.09 del 24/06/2009. Tale modifica non sostanziale risulta parte integrante dell'A.I.A. vigente e le modifiche riguardano principalmente:

- aumento dei quantitativi annui di rifiuti smaltiti per l'attività R3 da 4000 ton/anno a 6000 ton/anno.

1.5 - I rifiuti: la disciplina italiana e comunitaria

Il decreto legislativo n. 36 del 2003, decreto che recepisce la direttiva europea 99/31/CE e che introduce linee guida e criteri costruttivi e gestionali degli impianti di discarica, ha abrogato di fatto il d.p.r. 915/82.

Al suo interno, nell'allegato 1, riferendosi agli impianti di rifiuti non pericolosi, definisce i criteri progettuali di costruzione del bacino di discarica.

Della disciplina dei rifiuti e delle bonifiche si occupa invece la Quarta parte del Testo Unico Ambientale (decreto legislativo n. 152 del 2006) il quale con l'articolo 264 abroga il "Decreto Ronchi" (decreto legislativo n. 22 del 1997), autentica "legge-faro" del diritto ambientale in quanto introduceva per la prima volta nella normativa italiana il concetto di prevenzione e riduzione della produzione dei rifiuti.

I contenuti della parte quarta del testo unico ambientale riguardano perciò la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati anche in attuazione delle direttive comunitarie sui rifiuti non pericolosi, sui rifiuti pericolosi, sugli oli usati, sulle batterie usate, sui rifiuti di imballaggio, sui policlorobifenili, sulle discariche, sugli inceneritori, sui rifiuti elettrici ed elettronici, sui rifiuti portuali, sui veicoli fuori uso, sui rifiuti sanitari e sui rifiuti contenenti amianto.

Infine occorre citare il Decreto del Ministero dell'Ambiente del 27 settembre 2010 (definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel Decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio del 3 agosto 2005) e il D.M. 5 febbraio 1998 (individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi

degli articoli 31 e 33 del d.lgs. 5 febbraio 1997, n. 22) integrato e modificato dal D.M. 5 aprile 2006, n.186.

La prima norma comunitaria che fissò i principi cardine in tema di rifiuti fu la Direttiva 75/442/CEE del 1975, in assoluto una delle prime, organiche discipline normative ambientali emanate a livello comunitario.

Successivamente la predetta disciplina venne integrata dalla Direttiva 91/156/CEE del 1991, la quale non solo indica ancora fra le priorità la promozione del recupero dei rifiuti, la loro riutilizzazione come materia prima e l'uso dei materiali come fonte di energia, ma innova profondamente la precedente disciplina, sia configurando un regime giuridico semplificato per i rifiuti recuperabili rispetto a quelli destinati allo smaltimento, sia fissando ulteriori obiettivi, quali l'autosufficienza nello smaltimento ed il controllo continuo dei rifiuti dalla produzione fino allo smaltimento definitivo.

La più recente Direttiva 2008/98/CE del 2008 pone importanti obiettivi come la semplificazione dei rifiuti, introduzione di una effettiva "gerarchia" dei rifiuti, introduzione della responsabilità del "produttore del prodotto" e istituzione di un quadro normativo adeguato per lo sviluppo delle attività di recupero e riciclo.

PLANIMETRIA GENERALE

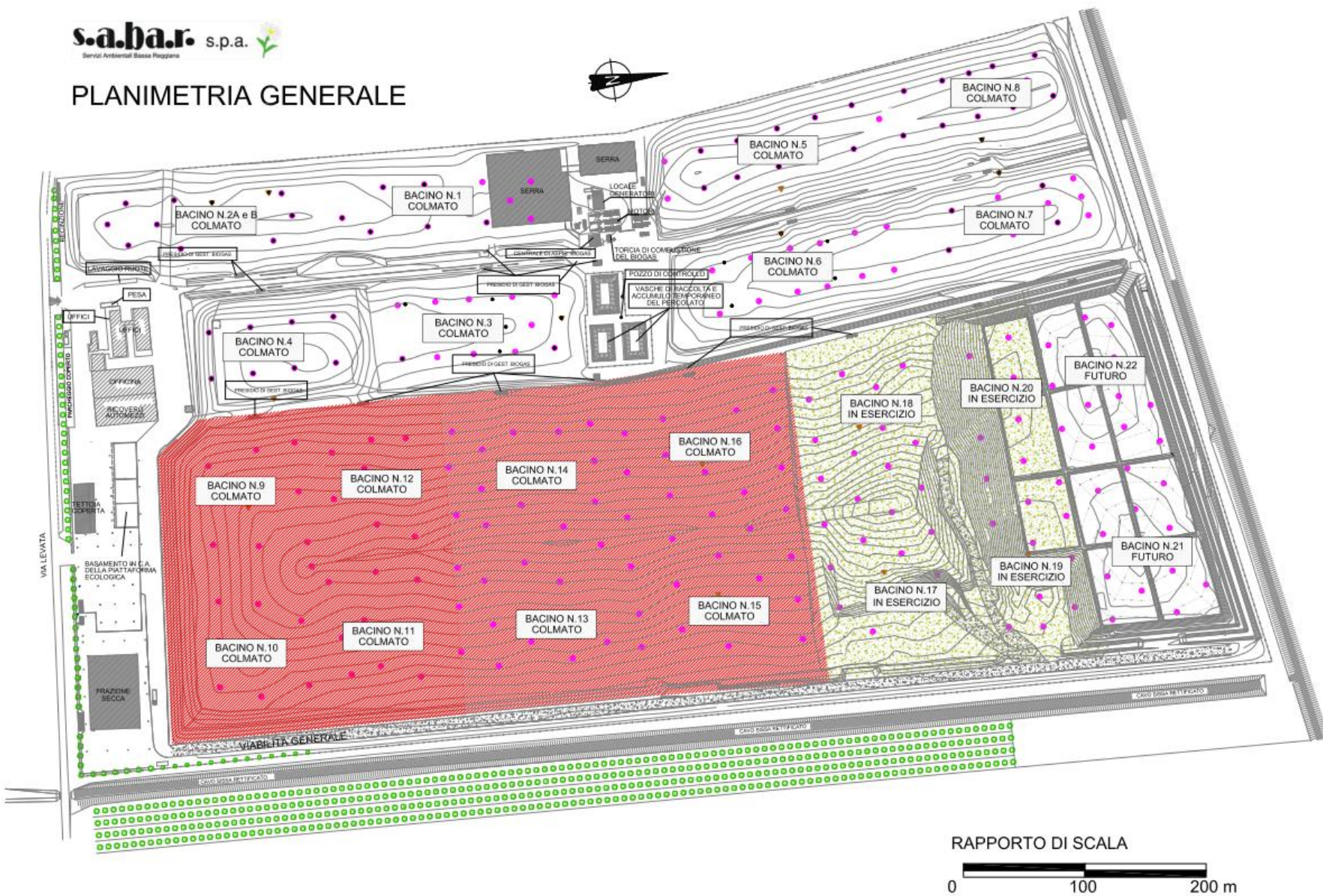


Fig. 1.1 - Planimetria generale dell'impianto aggiornata al 31/12/2011 (Fonte: S.A.Ba.R. Spa, Relazione annuale 2011)



Fig. 1.2 - Veduta aerea dell'impianto (Fonte: S.A.Ba.R. Spa, Relazione annuale 2011)

2 - Il percolato

La produzione di percolato dalle discariche di rifiuti urbani rappresenta un'importante problema di carattere ambientale.

Quantità e qualità del percolato dipendono da molti fattori; Leckie et al. (1979) ne elencano i più rilevanti: precipitazione annuale, deflusso superficiale, infiltrazione nel corpo della discarica, evapotraspirazione, temperatura, composizione e densità del rifiuto, contenuto iniziale di umidità del rifiuto e profondità della discarica.

La stabilizzazione del rifiuto solido smaltito in discarica e la qualità del percolato sono il risultato di processi fisici, chimici e biologici, a ciò si aggiungono variabili come i macronutrienti, micronutrienti e la presenza o assenza di elementi e composti tossici inibitori.

2.1 - La decomposizione del rifiuto in discarica

Il processo di decomposizione in discarica del rifiuto organico è stato discusso da numerosi ricercatori: Qasim (1965), Brunner and Keller (1972), Pfeffer (1992) dividono il processo primario di decomposizione in tre fasi.

Nella prima fase la decomposizione aerobica è predominante. Solitamente questa fase è molto breve a causa della limitata presenza dell'ossigeno in discarica e dall'elevata domanda biochimica di ossigeno del rifiuto. In questo primo periodo si sviluppa calore.

La seconda fase ha inizio con l'impoverimento di ossigeno dell'ambiente del rifiuto e la decomposizione avviene attraverso la presenza di batteri anaerobici, con elevata produzione di acidi grassi volatili come acido acetico e anidride carbonica che riducono il pH del percolato a valori intorno a 4-5. Questo ambiente acido aiuta a solubilizzare la sostanza inorganica.

La terza fase avviene sempre in condizioni di anaerobiosi ed è caratterizzata dall'accumulo di batteri metanigeni (Gaudy, 1988). Tali batteri sono strettamente anaerobici e richiedono un pH neutrale (da 6,6 a 7,4).

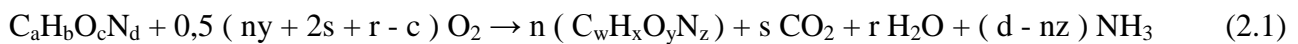
La produzione di acidi volatili rallenta e la materia organica viene convertita in metano e anidride carbonica.

Così la concentrazione di acidi volatili si riduce a bassi livelli e il gas prodotto è una miscela di metano e anidride carbonica. Il pH comincia a salire lentamente insieme alla produzione di metano.

Dopo un certo periodo, il tasso della decomposizione batterica decresce a causa di un esaurimento del substrato. Inoltre porzioni di discarica possono ristabilire condizioni aerobiche attraverso l'acqua ricca di ossigeno che continua periodicamente a percolare all'interno del bacino di discarica.

Tchobanoglous et al. (1993) e Peavy et al. (1985) hanno generalizzato le equazioni della decomposizione aerobica ed anaerobica della materia organica:

Fase aerobica:



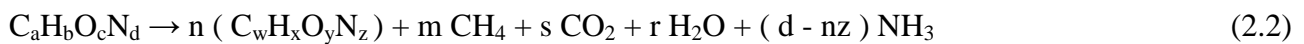
dove:

$C_aH_bO_cN_d$ e $C_wH_xO_yN_z$ rappresentano la materia organica prima e dopo la decomposizione,

$$r = 0,5 [b - nx - 3 (d - nz)]$$

$$s = a - nw$$

Fase anaerobica:



dove:

$C_aH_bO_cN_d$ e $C_wH_xO_yN_z$ rappresentano la materia organica prima e dopo la decomposizione,

$$r = c - ny - 2s$$

$$s = a - nw - m$$

La decomposizione del rifiuto può continuare per molti anni, perlomeno fino a che la materia organica rimane disponibile per l'attività dei batteri.

Il tasso di decomposizione dipende da molti fattori come il movimento dell'acqua all'interno del percolato, pH, temperatura, livello della compattazione, anni della discarica e composizione del rifiuto.

Di seguito vengono riportate le curve sviluppate da Stanforth et al. (1979) riguardo la decomposizione teorica del rifiuto in discarica.

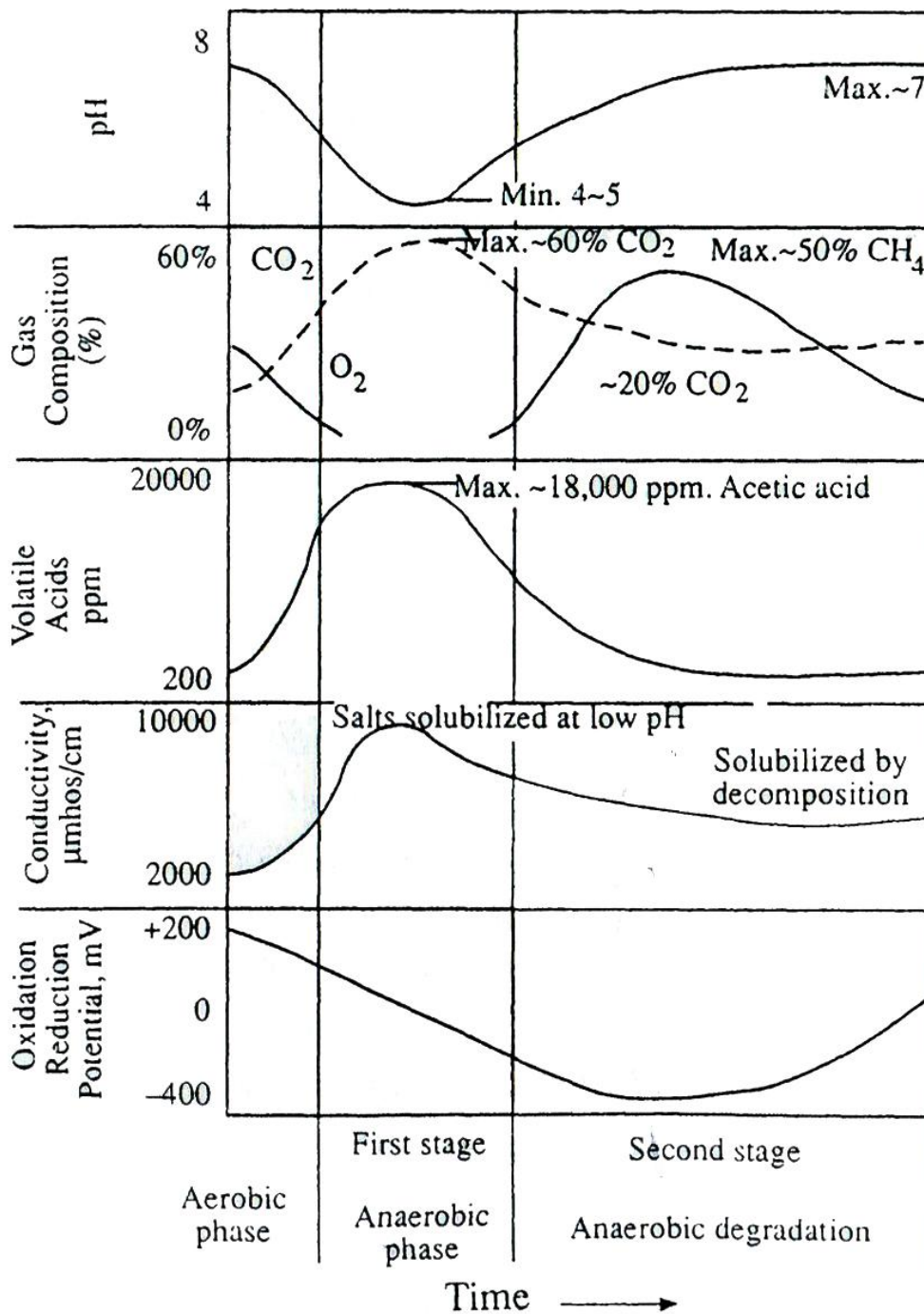


Fig. 2.1 - Curve teoriche in seguito alla decomposizione del rifiuto in discarica: pH, composizione del gas, acidi volatili, conducibilità, potenziale di riduzione (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

2.2 - Produzione del percolato

Le caratteristiche progettuali delle discariche e le loro modalità di gestione sono aspetti determinanti che incidono sulla quantità del percolato prodotto. Non risulta tuttavia semplice determinare quali siano i parametri effettivamente in grado di influenzare la qualità e la quantità del percolato e come esse pesino sul bilancio idrologico.

Quando l'acqua meteorologica si infiltra attraverso la copertura del bacino di discarica porta con se materiali sospesi e disciolti.

Generalmente più acqua si infiltra e più percolato viene prodotto, portando così ad un aumento dei costi di gestione e smaltimento del percolato stesso.

E' quindi importante stimare la quantità di percolato che verrà generato nel corso della vita di una discarica.

In linea teorica il percolato dovrebbe incominciare ad accumularsi sul fondo della discarica solo una volta che i rifiuti abbiano raggiunto la capacità di campo, siano cioè saturi d'acqua e abbiano raggiunto un grado di umidità tale per cui ogni ulteriore apporto idrico prosegue il suo moto, attraversandoli senza variazioni quantitative.

A causa dell'esistenza di cammini preferenziali e della disomogeneità dell'ammasso dei rifiuti, si possono generare situazioni locali di saturazione e conseguentemente una produzione di percolato nonostante non sia stata raggiunta la capacità di campo in tutto l'ammasso.

2.2.1 - Bilancio idrologico

La principale fonte di umidità all'interno di una discarica è rappresentata dalla precipitazione: una parte diventa deflusso superficiale, una parte torna in atmosfera attraverso l'evapotraspirazione, mentre la parte rimanente si infiltra nel bacino di discarica e questo accade quando l'umidità eccede la capacità di campo del terreno.

Di seguito vengono brevemente descritti i principali fattori che determinano la produzione del percolato (precipitazione, deflusso superficiale, evapotraspirazione, infiltrazione e umidità del suolo).

2.2.1.1 - Precipitazione

In meteorologia con il termine precipitazioni si intendono tutti i fenomeni di trasferimento di acqua allo stato liquido o solido dall'atmosfera al suolo ovvero pioggia, neve, grandine, rugiada, etc.

La precipitazione varia stagionalmente e geograficamente ed inoltre la somma delle precipitazioni varia considerevolmente da un luogo ad un altro poco distante.

Pertanto per stimare la quantità di percolato prodotto è fondamentale inserire la precipitazione media, con la massima precisione.

2.2.1.2 - Deflusso superficiale e infiltrazione

Col termine deflusso superficiale si intende l'acqua di precipitazione che scorre sulla superficie del terreno, infatti non tutto il volume affluito durante una precipitazione è in grado di infiltrarsi attraverso il pacchetto di copertura del bacino di scarica per raggiungere i rifiuti.

Un metodo proposto per il calcolo del deflusso è quello del Curve Number (SCS).

E' un metodo molto diffuso negli Stati Uniti, soprattutto grazie alla notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione.

Scritta l'equazione di continuità nella forma:

$$Q = P - S \quad (2.3)$$

dove Q [mm] è il volume defluito fino all'istante t ; P [mm] è il volume affluito fino al medesimo istante e S [mm] è il volume complessivamente perduto.

Il metodo ipotizza che sussista una relazione di proporzionalità del tipo:

$$\frac{S}{S'} = \frac{Q}{P} \quad (2.4)$$

dove S' [mm] è il volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione e gli altri simboli hanno il significato già esposto (si veda anche Fig. 2.2). Combinando le equazioni 2.3 e 2.4 si ottiene la relazione :

$$Q = \frac{P^2}{P + S'} \quad (2.5)$$

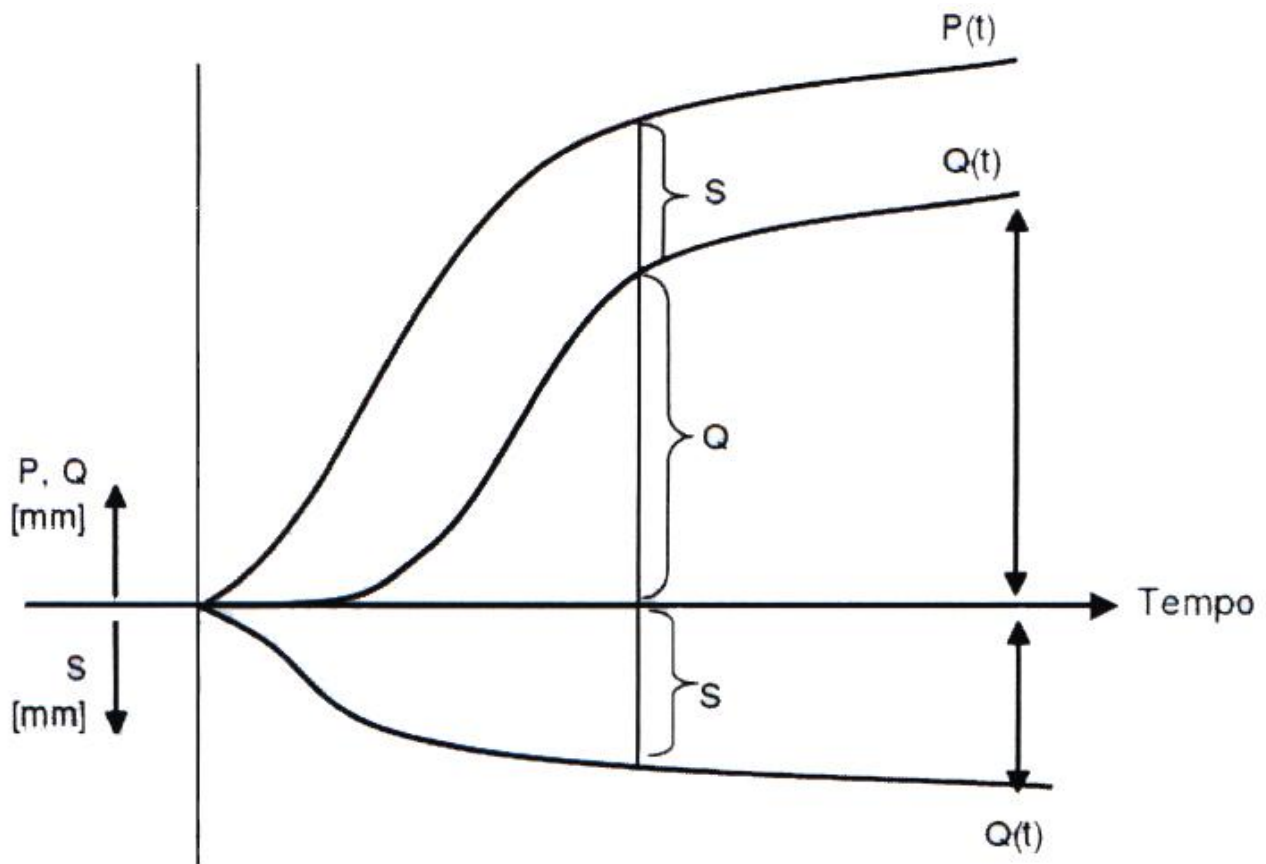


Fig. 2.2 - Curve di infiltrazione relative al metodo CN.

Per tener conto, pur in maniera sommaria, della parte di precipitazione che va ad invasarsi nelle depressioni superficiali o che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio, nell'equazione 2.5, al posto del volume P complessivamente affluito fino all'istante t , si introduce il termine $(P - I_a)$ con I_a [mm] Initial Abstraction (depurazione iniziale).

L'equazione 2.5 diventa infine:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{((P - I_a) + S')} \quad (2.6)$$

La determinazione di S' viene effettuata sulla base della seguente relazione:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.7)$$

che riconduce la sua determinazione a quella del cosiddetto indice CN (Curve Number), compreso tra 0 e 100, e diffusamente tabulato nella letteratura statunitense.

Il coefficiente CN dipende da:

- tipi di copertura del suolo (tabella 2.1)
- costituzione pedologica e litologica del substrato (gruppo e descrizione):

Gruppo A - Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Gruppo B - Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi, meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo, nel suo insieme, mantiene alte capacità di infiltrazione, anche a saturazione.

Gruppo C - Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti notevoli quantità di argille e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo, a saturazione, ha scarsa capacità di infiltrazione.

Gruppo D - Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tipo di copertura (uso del suolo)	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	81
Praterie				
Buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi e forestali				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
Buone condizioni con almeno il 75% con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84

Tabella 2.1 - Parametro CN in funzione dell'umidità del suolo.

Per quanto riguarda il valore del parametro I_a (Initial abstraction o depurazione iniziale) il Soil Conservation Service consiglia di assumere $I_a = 0.2 S'$, con il modello di depurazione che viene a dipendere dall'unico parametro S' (deducibile dal CN).

Nella tabella seguente vengono indicati inoltre alcuni coefficienti di deflusso per differenti superfici.

Surface Type	Coefficient of Runoff
Bituminous Streets	0.70-0.95
Concrete Streets	0.80-0.95
Driveways, Walks	0.75-0.85
Roofs	0.75-0.95
Lawns; Sandy Soil	
Flat, 2%	0.05-0.10
Average, 2-7%	0.10-0.15
Steep, 7%	0.15-0.20
Lawns, Heavy Soil	
Flat, 2%	0.13-0.17
Average, 2-7%	0.18-0.22
Steep, 7%	0.25-0.35

Tab 2.2 - Valori tipici dei coefficienti di deflusso per differenti superfici (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

2.2.1.3 - Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione è la quantità d'acqua, riferita all'unità di tempo, che dal terreno passa nell'aria allo stato di vapore per effetto congiunto della traspirazione, attraverso le piante, e dell'evaporazione, direttamente dal terreno.

Nel caso della discarica, la quantità di umidità a disposizione dell'evapotraspirazione dipende dal tipo di terreno utilizzato per il pacchetto di copertura e dall'eventuale vegetazione presente, infatti non sono poche le discariche che attraverso un piano di recupero hanno messo a dimora sui bacini chiusi alberi e siepi.

Di seguito si propone il metodo Blaney-Criddle per la stima dell'evapotraspirazione, il quale per ottenere una sufficiente affidabilità deve essere applicato ad un periodo di almeno un mese.

La formula stima l'evapotraspirazione potenziale standard come media giornaliera del mese (o di un periodo di rilevamento più lungo):

$$ETP_S = a + b \cdot [p \cdot (0,46 \cdot t + 8,13)] \quad (2.8)$$

dove:

t è la temperatura media mensile ottenuta come media aritmetica delle medie giornaliere;

p è la percentuale media giornaliera delle ore di eliofania all'anno (valore ricavato da specifiche tabelle in funzione della latitudine)

a e **b** sono indici introdotti dalla FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura) rilevabili in tabelle specifiche; esse tengono conto dell'umidità relativa minima, della classe di soleggiamento e della classe di ventosità.

2.2.1.4 - Umidità del suolo

Il contenuto di umidità in un terreno cambia in continuazione, cresce a causa dell'infiltrazione e cala a causa dell'evapotraspirazione.

In un bilancio idrologico è importante tenere conto dei cambiamenti di umidità all'interno del terreno di copertura.

Definiamo:

Capacità Idrica Massima (CIM): il valore di umidità corrispondente alla completa saturazione del terreno.

Quando il terreno è alla capacità idrica massima la tensione matriciale è nulla e le piante assorbono l'acqua contenuta nei macropori, soggetta esclusivamente alla forza di gravità (fatta eccezione per le acque salmastre).

Capacità di Campo (CC): il contenuto d'acqua nel terreno, in termini di umidità percentuale, in condizioni ottimali per quanto riguarda il rapporto fra acqua e aria nel terreno: è il livello di umidità da cui inizia il progressivo prosciugamento per azione dell'evaporazione e dell'assorbimento

radicale ed inoltre è anche l'umidità massima che un terreno può trattenere resistendo alla forza gravitazionale.

L'acqua presente nel terreno alla capacità di campo è trattenuta nei micropori per capillarità oppure adsorbita sui colloidi, perciò è sottratta all'azione della forza di gravità ed è - almeno in parte - disponibile per le piante.

Coefficiente di avvizzimento (CA): quel valore di umidità in corrispondenza del quale le piante non riescono più a vincere la tensione. In queste condizioni, le piante muoiono per avvizzimento.

Il coefficiente di avvizzimento rappresenta il limite estremo compatibile con la vita delle piante agrarie. L'acqua contenuta in eccesso, rispetto a questo valore, è considerata disponibile; al di sotto del valore è invece presente acqua capillare non disponibile, che può essere sottratta al terreno solo per evaporazione spontanea o per essiccazione in stufa.

Le figure di seguito mostrano il contenuto di umidità in funzione del tempo di drenaggio del suolo e le capacità dei diversi terreni di trattenere l'acqua (in evidenza i limiti Capacità Idrica Massima, Capacità di Campo e Coefficiente di Avvizzimento).

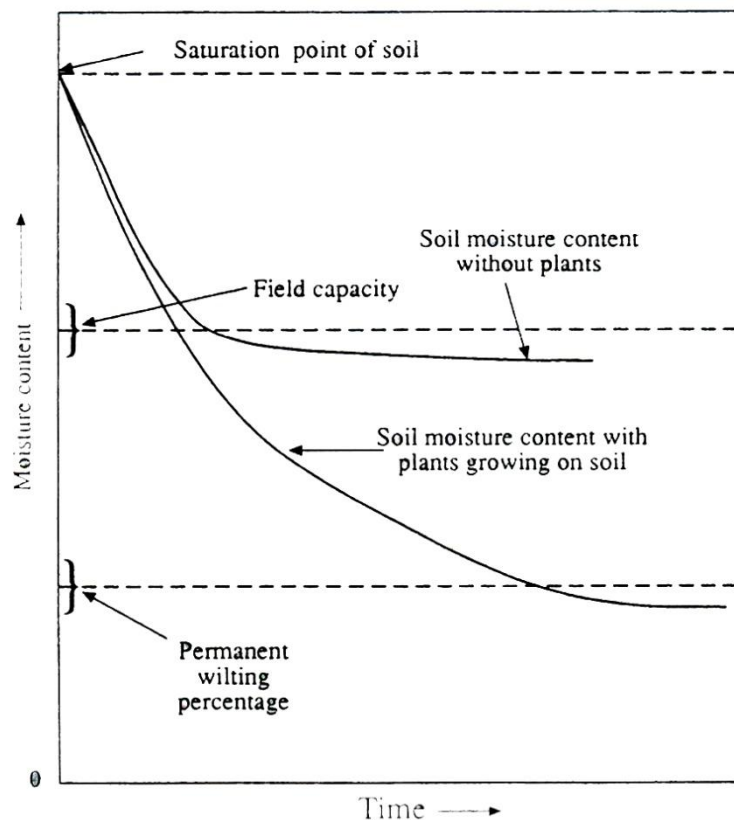


Fig. 2.3 - Contenuto di umidità in funzione del tempo di drenaggio del suolo (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

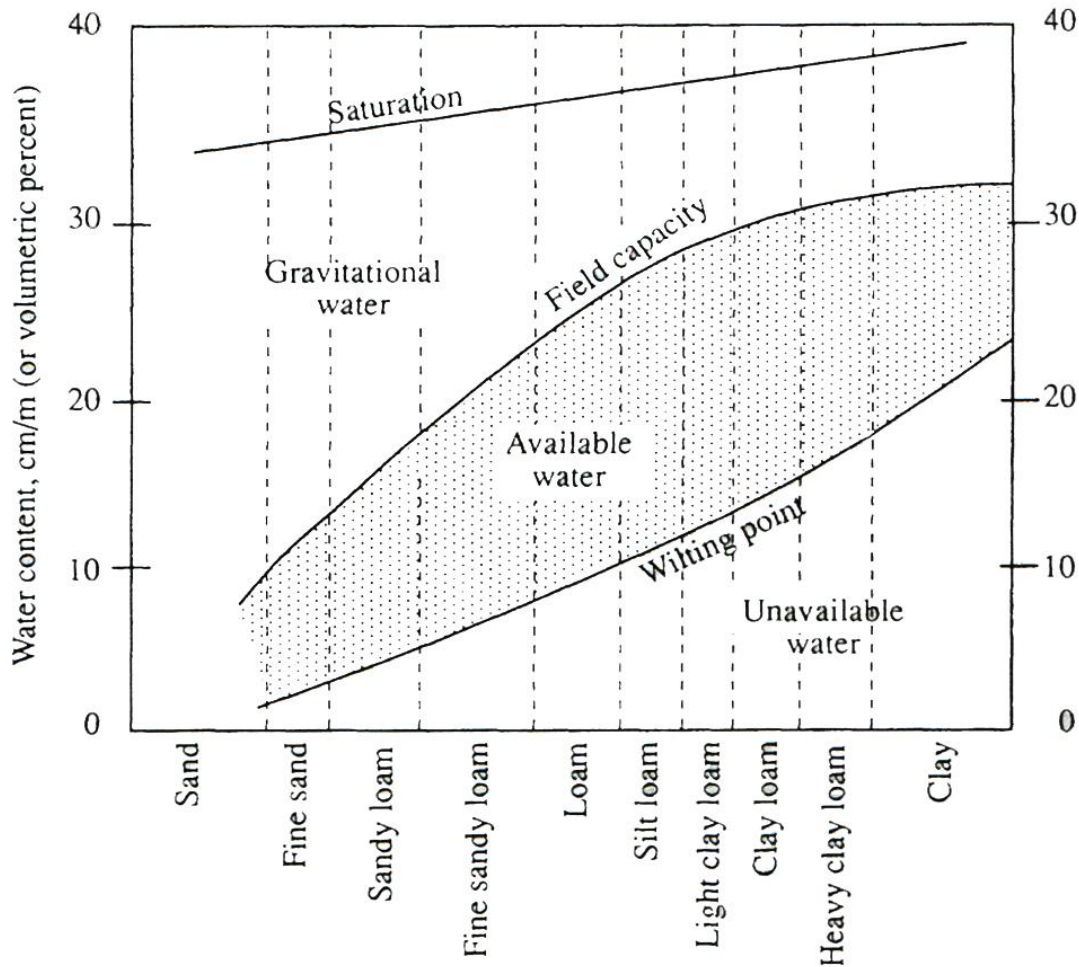


Fig. 2.4 - Capacità dei diversi terreni di trattenere l'acqua (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

2.2.2 - Calcolo del bilancio idrologico

La stima della produzione di percolato non è basata su precisi modelli matematici ma solitamente si riferisce a semplici espressioni empiriche di bilancio.

Un approccio di tipo deterministico, volto alla risoluzione dell'equazione del bilancio necessita l'esplicitazione analitica di ciascuno dei parametri che in essa compaiono.

I risultati si presentano molto buoni per quanto concerne la modellizzazione del fenomeno di percolazione durante la fase di post-chiusura, mentre durante il periodo di esercizio l'applicazione risulta molto difficoltosa per l'impossibilità di tenere conto di tutte le variabili che entrano in gioco, ed in particolare di quelle di carattere gestionale, prima fra tutte la modalità di coltivazione dei rifiuti.

Nella fase di post-chiusura, infatti, i parametri fisici e geometrici sono costanti e ben definiti venendo meno i limiti che ne pregiudicano la loro applicazione durante la fase di esercizio.

Si può pertanto scegliere di studiare in modo stocastico la produzione di percolato in discarica valutando ed assumendo come variabile casuale ciascuno dei fattori che influenzano e concorrono alla chiusura del bilancio idrologico.

Ci si può orientare verso lo studio della distribuzione di probabilità congiunta del sistema di variabili casuali scelto, ossia di sistema di variabili per le quali è possibile studiare univocamente una corrispondenza tra i valori di volta in volta osservati e per le quali si studiano le reciproche influenze in termini probabilistici.

Tra i metodi di analisi, vengono sempre più adottati i modelli numerici implementati al computer con appositi programmi, come il codice HELP[®] sviluppato dalla statunitense U.S. Environmental Protection Agency.

Applicando il metodo dell'equazione di bilancio, le condizioni sulla superficie della discarica devono essere note e ben definite: il tipo e lo spessore del pacchetto di copertura, la presenza o assenza di vegetazione, le caratteristiche topografiche del luogo e le condizioni della superficie che influenzano la formazione di percolato.

Nella figura successiva vengono indicate le principali componenti del bilancio idrologico in una discarica (Fenn et al, 1975).

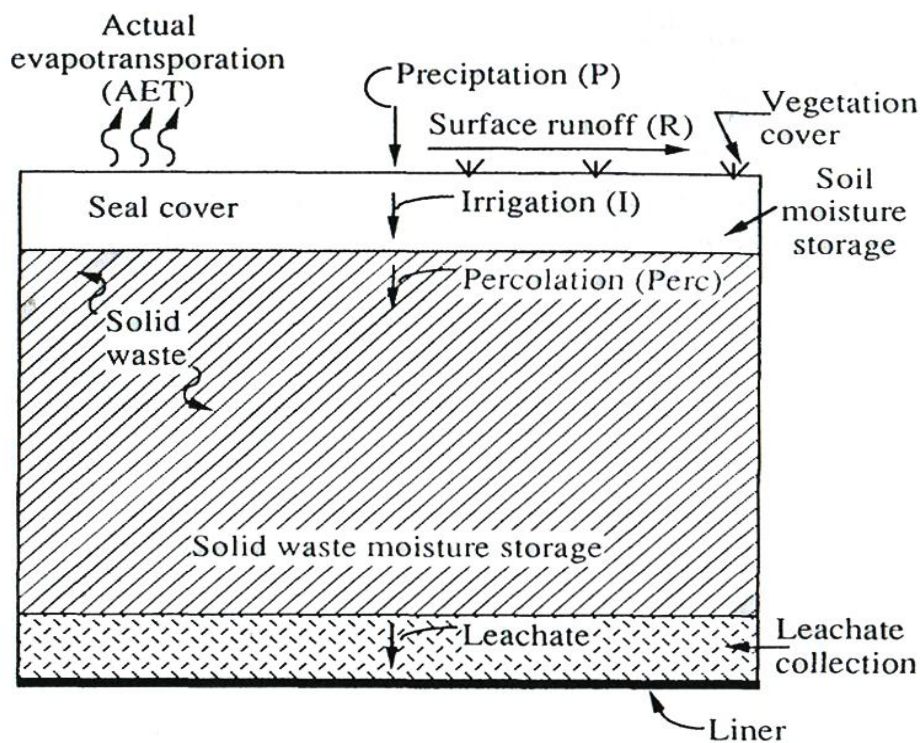


Fig. 2.5 - Componenti del bilancio idrologico (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

Il bilancio idrologico può essere espresso dalla seguente equazione, dimostrata da Fenn et al. (1975), Dass et al. (1977) e Lu et al. (1984).

$$(\text{PERC}) = P - (\text{R/O}) - (\text{AET}) - (\Delta\text{ST}) \quad (2.9)$$

$$I = P - (\text{R/O}) \quad (2.10)$$

$$(\text{APWL}) = \sum \text{NEG} (I - \text{PET}) \quad (2.11)$$

$$(\text{AET}) = (\text{PET}) + [(I - \text{PET}) - (\Delta\text{ST})] \quad (2.12)$$

Dove:

- **P** : precipitazione. Questo è il valore medio mensile calcolato sulla base di molti dati storici reperibili presso stazioni meteo ubicate nel territorio o attraverso agenzie statali.
- **PET**: evapotraspirazione potenziale. Discorso analogo alla precipitazione, questo è il valore medio mensile calcolato sulla base dei dati storici.
- **R/O** : deflusso superficiale. Questo è il valore medio mensile calcolato moltiplicando la precipitazione media mensile per il coefficiente di deflusso superficiale scelto in base al terreno di copertura della discarica e dalla presenza o meno di vegetazione.
Rappresenta la parte di precipitazione che scorre sulla superficie.
- **I** : infiltrazione . Rappresenta la parte di precipitazione che si infila nel pacchetto di copertura del bacino di discarica.
- **I - PET** : infiltrazione meno evapotraspirazione potenziale. Si utilizza per determinare i periodi dell'anno in cui l'umidità è in eccesso o è carente nel terreno. Un valore negativo indica che l'apporto di umidità dovuto all'infiltrazione è minore rispetto al potenziale idrico richiesto dalla vegetazione presente (zone secche). Un valore positivo indica un eccesso di umidità nel terreno con possibile saturazione e percolazione di acqua (zone umide).
- **APWL** : potenziale accumulo di acqua persa (somma mensile). Nelle zone umide, dove valori di (I - PET) sono tutti positivi, questo valore è pari a zero.

- **ST** : accumulo di umidità nel terreno. Questo fattore rappresenta l'umidità trattenuta nel terreno.
- ΔST : variazione di umidità mensile nel terreno.
- **AET** : evapotraspirazione effettiva. Rappresenta l'effettiva perdita mensile di umidità nel terreno.
- **PERC** : percolazione. Quando l'umidità presente nel terreno eccede la capacità di campo, ogni infiltrazione in eccesso percola attraverso la copertura del terreno per raggiungere il rifiuto. Elevati valori di percolazione si avranno quindi nei mesi in cui l'infiltrazione è maggiore dell'evapotraspirazione (valore di I-PET positivo).

Il metodo del bilanciamento idrologico è spesso utilizzato come strumento nella stima della quantità di percolato che una discarica è in grado di produrre nel corso della sua lunga vita.

Esso dipende fortemente dalle caratteristiche della zona studiata, in particolare precipitazioni mensili, evapotraspirazione, scorrimento superficiale e tipologia del pacchetto di copertura sono solo alcuni dati di input che richiedono la massima precisione possibile e per questo motivo, per affrontare uno studio del genere, è necessario possedere dati meteo storici.

Questo metodo applicato alla produzione di percolato ha evidenziato i seguenti aspetti:

- Il percolato si forma soprattutto in zone umide, mentre in zone secche si ha una produzione decisamente inferiore.
- La produzione di percolato non è il risultato di un'onda costante durante il corso dell'anno ma è estremamente variabile e segue l'andamento delle precipitazioni.
- Il percolato continua a formarsi per periodi temporali molto lunghi, in funzione anche dell'efficienza del pacchetto di copertura.

Esistono, inoltre, accortezze progettuali che possono andare ad influire sul bilancio idrologico.

Tra di esse si ricordano:

- Un appropriato ed efficiente pacchetto di copertura del bacino di discarica che preveda un sistema di drenaggio in grado di raccogliere le acque meteoriche che si infiltrerebbero nella massa dei rifiuti.
- La necessaria separazione delle acque bianche durante la coltivazione della discarica.
- La manutenzione delle piante e del manto erboso del terreno di copertura finale.
- Le modalità di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti.

- Il grado di compattazione del rifiuto.
- Il tempo di coltivazione e lo spessore dello strato di rifiuti depositati.

2.3 - Caratterizzazione

Lo scopo di questo capitolo è quello di studiare il percolato da un punto di vista qualitativo, perché se fare un discorso quantitativo che ci permetta di stimare la quantità di percolato prodotto negli anni, è possibile grazie all'ausilio di software sempre più precisi, non è altrettanto facile definire i componenti del percolato e il loro andamento nel tempo.

Il primo aspetto di cui è necessario tenere conto è che la qualità di un percolato dipende da moltissimi fattori, per questo motivo ogni discarica avrà un suo percolato differente da quelli di tutte le altre discariche.

Inoltre le sue caratteristiche possono variare notevolmente di anno in anno e di bacino in bacino all'interno dello stesso impianto.

I principali fattori che incidono sulla qualità di un percolato da discarica sono i seguenti:

profondità ed età della discarica (la materia organica subisce continuamente un processo di stabilizzazione che dura anni, si veda capitolo 2.1 della presente tesi), tipo di rifiuto smaltito, climatologia, progettazione del bacino e interazione di questo con l'ambiente che lo circonda.

Per una trattazione più completa si rimanda al capitolo 4 della presente tesi dove viene proposto uno studio qualitativo del percolato della discarica S.A.Ba.R. Spa situata a Novellara in provincia di Reggio Emilia.

2.3.1 - Qualità del percolato

Lu (1984) ha sviluppato una relazione tra l'età discarica e vari costituenti del percolato, raccogliendo analisi di laboratorio di percolati provenienti da discariche reali, riuscendo così a tracciare gli andamenti teorici dei principali componenti come B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand), C.O.D. (Chemical Oxygen Demand), T.O.C. (Total Organic Carbon), alcalinità totale, calcio, potassio, sodio, solfati, cloruri, ione ammonio e pH (Figure 2.6, 2.7 e 2.8).

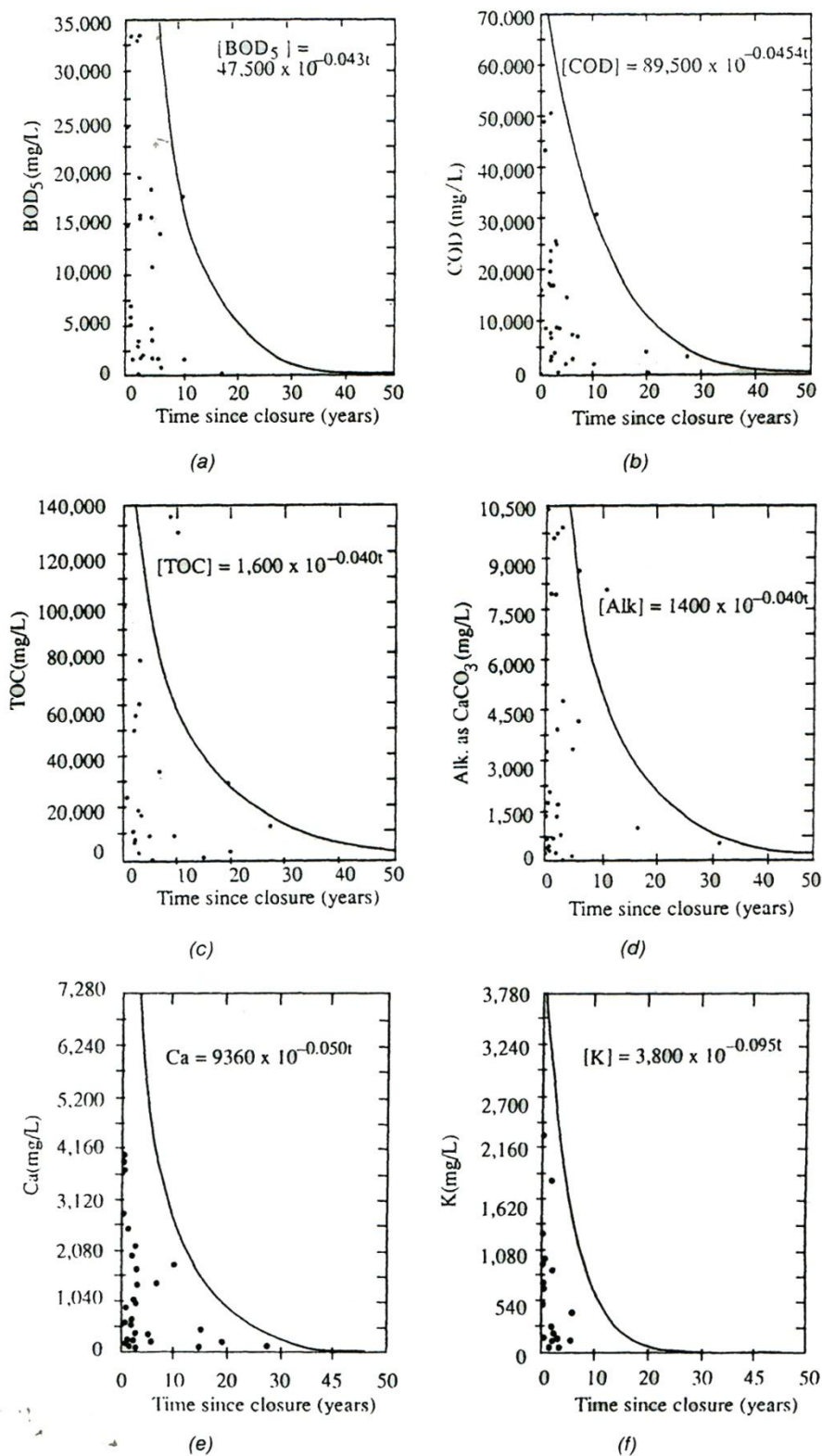


Fig. 2.6 - Andamento di B.O.D., C.O.D., T.O.C., alcalinit , calcio e potassio in relazione all'et  della discarica
(Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

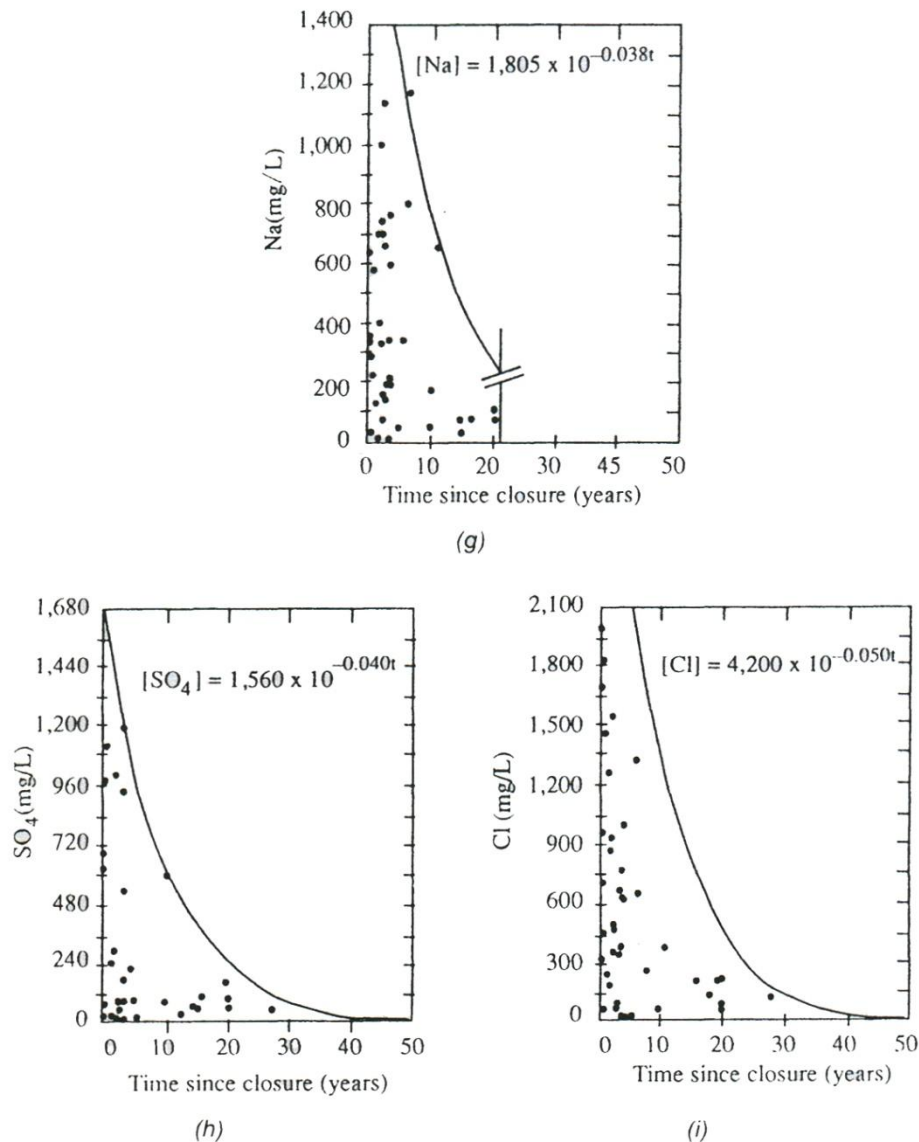


Fig. 2.7 - Andamento di sodio, solfati e cloruri in relazione all'età della discarica (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

La spiegazione degli ampi intervalli di variazione dei valori dei principali elementi del percolato è da ricercarsi non solo nelle tipologie di rifiuti depositati in discarica ma anche in altri fattori quali l'età, la tipologia della discarica e la climatologia.

Il valore del pH oscilla in genere in un intervallo a cavallo della neutralità: da valori minimi (pH = 5-6) corrispondenti al campo acido, a valori massimi in campo basico (pH = 8.9), a seconda dell'età della discarica.

Il carico organico, valutato sia come B.O.D. che come C.O.D., mostra una eccezionale variabilità. Si passa da valori inferiori ai 1000 mg/l a valori superiori a 50000 mg/l.

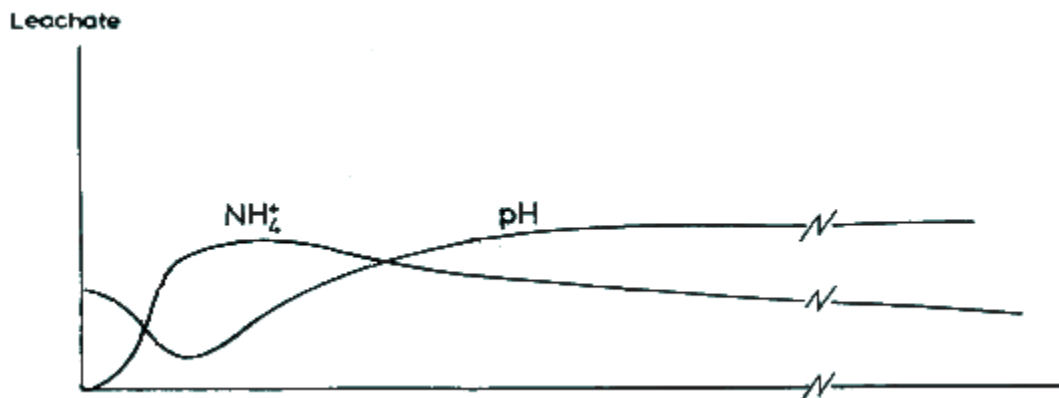


Fig. 2.8 - Andamento dello ione ammonio e del pH in relazione all'età della discarica (Fonte: Christensen e Kjeldsen, 1989).

Di notevole interesse risultano anche i rapporti C.O.D./T.O.C. e B.O.D./C.O.D., indici della qualità dei composti organici presenti e della biodegradabilità, i quali tendono a decrescere con l'età della discarica.

Anche l'ammoniaca e l'azoto presentano variabilità di valori. L'azoto ammoniacale, caratteristico dei percolati "vecchi", è l'inquinante verso il quale si concentrano i maggiori sforzi di depurazione. Sono presenti nel percolato dei metalli, alcuni in concentrazioni significative come il ferro il manganese e lo zinco ed altri in quantità ridotte come il cromo e il cadmio.

Fra le valutazioni che si effettuano sul percolato si va a misurare anche l'AOX (Adsorbale Organic Halogen). Tale parametro rappresenta la somma dei composti organici alogenati assorbiti, sostanze ritenute cancerogene.

I rifiuti solidi urbani sono un habitat naturale di numerosi microrganismi anche patogeni. Le famiglie dei microrganismi maggiormente presenti in discarica sono i batteri.

E' stata dimostrata l'esistenza di una correlazione tra la composizione batterica e l'età delle discariche ed è importante ricordare che la sopravvivenza dei batteri è inibita dalle alte temperature e dai bassi valori del pH.

La degradazione dei rifiuti organici alla quale si associa la produzione di biogas, viene operata da una flora batterica anaerobica che si sviluppa naturalmente entro l'ammasso di rifiuti, il cui contenuto di ossigeno è prossimo a zero.

E' implicito che nel breve periodo che segue la collocazione del rifiuto in discarica, la presenza di ossigeno intrappolato nel materiale, fa sì che la degradazione aerobica sia predominante su quella anaerobica.

I componenti dei rifiuti suscettibili della biodegradazione sono essenzialmente carboidrati, grassi e proteine, che subiscono le trasformazioni.

Le trasformazioni biochimiche portano alla produzione di acidi volatili in seguito convertiti a metano e anidride carbonica.

Dalla degradazione dei materiali proteici si ha anche la formazione di piccoli quantitativi di gas indesiderati quali NH_3 , H_2S ed altri che si accompagnano al biogas prodotto.

La trasformazione biochimica è in realtà scindibile in due fasi distinte operate da due diversi ceppi batterici (capitolo 2.1).

- trasformazione acida operata da batteri acido produttori capaci di trasformare i materiali biodegradabili in acidi volatili.
- trasformazione degli acidi volatili in metano ad opera dei batteri metanigeni. Si tratta di una trasformazione basica in grado di innalzare il pH debolmente alcalino (7,5-8,2).

Per quanto concerne il percolato, è ovvia la diretta conseguenza sulle caratteristiche qualitative.

Le variazioni più rilevanti sono le seguenti:

- il pH tende verso valori crescenti nel tempo, passando dal campo acido nel primo periodo della discarica (fase acida) al campo basico (fase metanigena);
- il contenuto di sostanza organica espresso in termini di B.O.D. e C.O.D., è elevatissimo inizialmente mentre diminuisce successivamente per effetto della degradazione biologica e del dilavamento dell'acqua di percolazione;
- il rapporto B.O.D./C.O.D., indice della sostanza organica biodegradabile sulla totale, diminuisce fortemente con l'età della discarica a causa della demolizione della sostanza organica biodegradabile;
- le concentrazioni di ione ammonio sono elevate a seguito dell'idrolisi e della fermentazione delle proteine della sostanza organica biodegradabile nella prima fase acetica, mentre dovrebbero teoricamente diminuire nel tempo per effetto della carenza di substrato, nella seconda fase (metanigena);
- il contenuto di metalli è molto elevato in discariche giovani, i cui bassi valori di pH favoriscono la solubilizzazione, mentre poi tende generalmente a diminuire con il tempo;
- i solfati in ambiente anaerobico vengono ridotti a solfuri e mostrano pertanto un andamento decrescente, i cloruri mostrano una diminuzione per effetto del contenuto dilavamento.

2.4 - Raccolta del percolato

La realizzazione di una discarica su un'area impermeabile comporta la necessità di drenare, raccogliere e smaltire il percolato che progressivamente si invasa nel punto più basso del settore di scarico.

Il sistema di raccolta del percolato deve essere particolarmente efficiente perché un ristagno sul fondo della discarica comporta (Qasim, 1994):

- una diminuzione della stabilità dell'ammasso dei rifiuti con la possibile formazione di superfici di scivolamento in grado di provocare smottamenti di frazioni anche considerevoli;
- un aumento del carico idrostatico di percolato sulla copertura di fondo con la formazione di un battente idrico che regola la potenziale fuoriuscita di liquame e la conseguente immissione nel sottosuolo;
- peggioramento delle caratteristiche qualitative del percolato che si carica maggiormente di sostanze inquinanti contenute nei rifiuti per effetto di un tempo di contatto più lungo.

Dall'analisi delle pendenze conferite alla zona di deposito e della prevista sequenza temporale delle fasi di riempimento, si giunge alla suddivisione in settori della discarica sulla quale impostare il sistema di drenaggio di fondo. Questo sistema prevede la presenza di condotte principali e secondarie che, seguendo le pendenze naturali o artificiali attribuite, convogliano per gravità tutto il percolato in uno o più punti di raccolta; se la situazione morfologica e le dimensioni della discarica lo permettono, è sempre meglio concentrare in un unico punto le acque di percolazione.

Il percolato viene sollevato dal fondo della discarica per mezzo di pompe in un pozzetto di raccolta situato all'esterno dell'area di deposito; una soluzione progettuale di questo tipo presenta i seguenti vantaggi (Qasim, 1994):

- un più efficiente e sicuro raccordo tra il manufatto ed il sistema di impermeabilizzazione;
- una maggiore stabilità del pozzo;
- calo degli assestamenti disomogenei della massa di rifiuti ed urti accidentali da parte dei mezzi operativi presenti nello scarico;
- l'attribuzione di un carattere permanente e definitivo del tracciato delle tubazioni di allontanamento dei diversi flussi idrici, che non viene in tal modo intralciato o compromesso dall'attività di deposito.

Il condotto principale di drenaggio, posato lungo l'asse di fondo della discarica, deve avere possibilmente una pendenza continua ed il suo tracciato non deve presentare gomiti o brusche curve.

Al fine di assicurare una velocità sufficiente di trasporto, è opportuno mantenere le pendenze su valori almeno intorno al 2% nel verso longitudinale della condotta principale ed almeno dell'1% nel senso trasversale delle condotte secondarie.

La rete di drenaggio di fondo deve essere progettata tenendo presente lo sviluppo finale del sistema di captazione del biogas, condotto necessariamente in parallelo col sistema di drenaggio del percolato; infatti un mezzo più permeabile all'acqua è anche più permeabile ai gas e pertanto nei punti in cui si concentrano i maggiori quantitativi di percolato si concentreranno anche i maggiori quantitativi di biogas.

Il sistema di drenaggio del percolato è costituito da una rete di tubazioni in polietilene ad alta densità (HDPE) micro fessurate, disposte lungo le linee di impluvio del fondo vasca per drenare il percolato e convogliarlo ai punti di prelievo, e da un tappeto di materiali inerti costituito da sabbia e ghiaia classificata, con la funzione di drenaggio verso le tubazioni fessurate e protezione dei teli sottostanti dai mezzi meccanici utilizzati per la stesura e la compattazione dei rifiuti.

Le pendenze degli strati drenanti e delle tubazioni devono essere verificate in relazione ai possibili assestamenti del terreno di fondazione e del sistema di impermeabilizzazione.

Per ciascuno dei settori idraulici in cui è suddivisa la vasca di stoccaggio, è previsto un punto di raccolta e sollevamento del percolato; i manufatti di prelievo sono costituiti da pozzi inclinati lungo la parete della vasca, formati da un tubo in HDPE debitamente ancorato. In ciascun pozzo viene calata un'elettropompa, o una pompa pneumatica, sommersa per il prelievo del percolato ed il relativo scarico in una tubazione in HDPE, convogliandolo direttamente alle vasche di stoccaggio provvisorio. Ciascuna delle pompe di sollevamento dovrà essere dimensionata per funzionare poche ore al giorno, anche in occasione di produzioni di percolato conseguente ad eventi meteorici critici.

Per lo stoccaggio provvisorio del percolato si deve prevedere l'installazione di serbatoi appositamente dimensionati all'interno di un bacino di contenimento, solitamente in cemento armato seminterrato.

Dal momento che il volume di percolato prodotto è proporzionale allo sviluppo dell'impianto, i serbatoi possono essere installati progressivamente con l'entrata in funzione dei vari settori idraulici. La posizione planimetrica ed altimetrica dei serbatoi di stoccaggio provvisorio deve essere scelta in modo tale da evitare il pompaggio nel collettore del percolato dal momento che questo giunge nei serbatoi per gravità.

Il fondo dell'invaso è sagomato in modo da convogliare le acque di lavaggio in un pozzetto di raccolta; le acque di lavaggio inquinate da perdite lungo il collettore o dai serbatoi vengono pompate dal pozzetto nei serbatoi, mentre le acque meteoriche vengono pompate nel sistema di drenaggio di tali acque.

Nel complesso, l'impianto deve essere gestito in modo da minimizzare la quantità di percolato presente nel bacino; tenendo conto che tutto il sistema deve essere dimensionato sull'evento meteorico critico, con tempo di ritorno decennale, in condizione di gestione ordinaria il battente idraulico di percolato dovrà essere minimo.

Infine, dal sistema di stoccaggio provvisorio il percolato viene inviato al trattamento di depurazione con impianto on-site o ad un impianto esterno con apposita cisterna.

3 - Il trattamento del percolato

Il percolato rappresenta uno dei liquami più difficili da depurare. La difficoltà non è solo dovuta all'entità del carico inquinante, ma anche al fatto che questo varia di scarica in scarica e soprattutto muta nel tempo.

Di conseguenza, nessun trattamento biologico o chimico convenzionale è in grado di raggiungere efficienti gradi di rimozione dell'inquinante.

La scelta e la progettazione di un impianto di trattamento del percolato non è quindi semplice.

I principali aspetti di cui tener conto in fase di progettazione sono in primo luogo le caratteristiche del percolato, le diverse possibilità di scarico delle acque depurate, le tecnologie disponibili sul mercato e i costi di costruzione e gestione dell'impianto.

Una volta stabiliti gli obiettivi che si desiderano raggiungere, la scelta del processo da applicare al necessario rendimento di depurazione dipende dalle normative vigenti sugli scarichi.

Inoltre la maggior parte delle strutture dell'impianto devono essere progettate in modo da servire la scarica per l'intero arco della sua vita.

Di seguito si riassumono i principali fattori che determinano la scelta del tipo di trattamento:

1. Caratteristiche del percolato (concentrazioni di materiale organico ed inorganico);
2. Composizione del rifiuto;
3. Alternative allo scarico (acque superficiali, fognatura, fitodepurazione, etc.);
4. Fattori climatici e precipitazioni;
5. Grado del trattamento (permessi allo scarico);
6. Studi di fattibilità e dati storici disponibili;
7. Esigenze operative in fase di gestione;
8. Costi di costruzione e gestione.

Per la progettazione non si può prescindere dalla conoscenza dei seguenti parametri:

- carico idraulico: ovvero la quantità di percolato espressa in metri cubi al giorno. Va calcolato considerando l'andamento temporale della portata di scarico e gli eventi meteorologici particolarmente intensi, che si possono verificare in determinati periodi dell'anno;
- carico organico: è la quantità complessiva di sostanza organica da trattare espressa in termini di B.O.D. o C.O.D.;
- carico di nutrienti: quantità di azoto ridotto e fosforo presenti nel refluo da trattare;

- altri inquinanti presenti (ad esempio oli, metalli pesanti o detersivi);
- parametri che possono influenzare la forma degli inquinanti e il loro abbattimento (ad esempio pH, ossigeno disciolto, conducibilità e temperatura).

3.1 - Metodi depurativi classici

I metodi depurativi classici applicabili al trattamento del percolato sono di tipo biologico, fisico e chimico e di seguito verranno brevemente descritti, seguendo schemi tradizionali applicati alle acque reflue.

L'esperienza maturata negli anni da molti ricercatori suggerisce di combinare trattamenti fisici con trattamenti biologici e chimici.

3.1.1 - Trattamento chimico - fisico

I trattamenti di tipo chimico-fisico non costituiscono l'unità depurativa fondamentale di un refluo ma tuttavia, specie in un impianto di trattamento di percolato, le norme restrittive sugli scarichi rendono tali processi spesso indispensabili.

Infatti a prescindere dal trattamento biologico, il percolato contiene sostanze eliminabili solo attraverso trattamenti chimici - fisici, i cui principali verranno illustrati di seguito.

Chiariflocculazione

La chiariflocculazione consiste nella rimozione delle sostanze sospese sedimentabili e non sedimentabili.

In questo processo le particelle sospese presenti in soluzione si costituiscono in aggregati di peso e dimensione sufficiente affinché avvenga la loro precipitazione, con conseguente separazione dall'acqua reflua sotto forma di sedimenti.

Nella prima fase, le apparecchiature impiegate per la coagulazione compiono un'agitazione rapida ed energica affinché avvenga la dissoluzione e la dispersione del coagulante. I coagulanti sono elettroliti (in genere cationi di calcio, di ferro e di alluminio) i quali, dissociandosi nel refluo, reagiscono con la sua alcalinità formando idrossidi metallici che precipitano sotto forma di coaguli.

Successivamente è richiesta un'agitazione moderata e lenta, affinché le particelle colloidali destabilizzate formino fiocchi di dimensioni sufficienti a sedimentare; questa seconda fase è chiamata flocculazione.

Quest'operazione può avvenire in una vasca apposita, munita di agitatore, oppure all'interno delle successive unità di decantazione, utilizzando il ricircolo dei fanghi.

La chiariflocculazione con sali di calcio, ferro e alluminio non è in grado di ridurre il carico organico del percolato (in particolare quando quest'ultimo risulta elevato) ma può invece offrire buoni risultati sulla rimozione dei metalli e del colore.

Adsorbimento su carbone attivo

Questa tecnologia è particolarmente indicata per la riduzione del C.O.D. e degli alogeni. Il carbone attivo possiede al suo interno moltissimi pori e tasche in cui le sostanze gassose o disciolte presenti in una soluzione, formano legami fisici con la superficie del carbone aderendovi; questa proprietà è chiamata adsorbimento.

Le caratteristiche dei materiali adsorbenti sono l'elevata superficie specifica (800-1200 m²/g) e le piccole dimensioni del grano (pochi millimetri).

Il carbone, sia di origine vegetale che minerale, acquista queste proprietà attraverso un trattamento di attivazione termico con l'aggiunta di adatti reagenti, i quali tendono a farne aumentare la superficie specifica.

L'adsorbimento su carbone attivo può avvenire in letto filtrante fisso o in sospensione.

Nel primo caso si usa un carbone attivo granulare che può essere riattivato una volta esaurito. Per eliminare le sostanze che intasano il filtro si procede al contro-lavaggio, ma per la riattivazione del carbonio si deve procedere alla rigenerazione del materiale, che avviene per via chimica mediante opportuni solventi, o per via termica inviando il materiale in forni ad alta temperatura.

Se l'adsorbimento avviene in sospensione, durante la chiariflocculazione si introduce nel refluo un carbone attivo in polvere che agisce da coadiuvante di coagulazione e che viene successivamente raccolto insieme ai fanghi di supero.

Infine l'esperienza indica che, a causa della sua complessa natura, per avere un'alta rimozione delle sostanze indesiderate, è necessario un lungo tempo di contatto tra il percolato e il carbone attivo; ciò porta ad avere costi di impianto più elevati compensati però da minor quantità di carbone necessario.

Sedimentazione primaria

La sedimentazione primaria avviene in vasche nelle quali si attua la decantazione per la separazione delle sostanze organiche sedimentabili; il trattamento primario può talvolta svolgere anche funzioni di equalizzazione e omogeneizzazione.

In questa fase viene trattato un materiale di tipo granuloso e di conseguenza la particella sedimenta senza interferire con altre particelle e la velocità di sedimentazione del materiale obbedisce con discreta approssimazione alla legge di Stokes, la quale esprime la forza di attrito viscoso a cui è soggetta una sfera in moto rispetto ad un fluido.

Particolare attenzione è da prestare alla dimensione della vasca, che non deve essere né troppo corta, per non dar luogo ad un corto circuito tra l'entrata e l'uscita dei liquami (cioè evitare che parte dei liquami possa effettuare un percorso dentro la vasca diverso da quello previsto teoricamente, con riduzione del tempo effettivo di permanenza), né troppo larga per non favorire la formazione di spazi morti presso gli angoli (con innesco dei fenomeni putrefattivi).

Le vasche di sedimentazione sono solitamente poco profonde, comunque non meno di 1,80 m per evitare che il vento possa sollevare i fanghi già depositati.

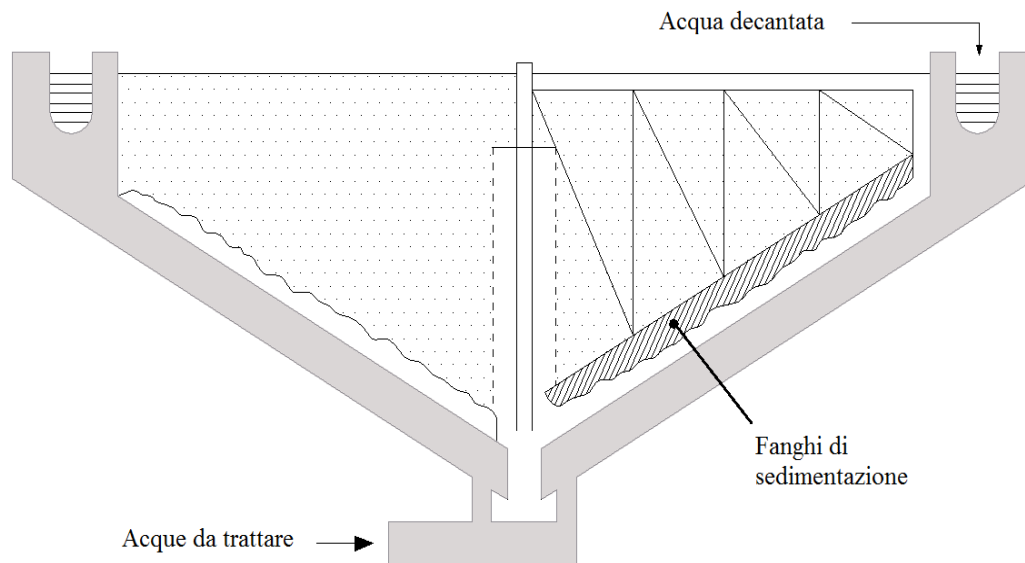


Fig. 3.1 - Schema classico di una vasca di sedimentazione circolare (Fonte: Wikipedia)

Nelle vasche circolari, il refluo entra al centro della vasca, e dopo aver superato un deflettore, l'effluente chiarificato esce superando uno stramazzo perimetrale, raccogliendosi in una canaletta.

Le vasche sono munite di dispositivi automatici per la raccolta e l'evacuazione dei fanghi.

Nelle vasche rettangolari questi dispositivi possono essere costituiti da un ponte mobile munito di lunghi bracci snodati ai quali sono fissati i raccoglitori.

Nel caso di vasche circolari il ponte ruota su un perno centrale e su una guida circolare periferica.

I raccoglitori assicurati al ponte spazzano il fondo e convogliano i fanghi verso il pozzetto centrale di raccolta dal quale vengono aspirati ed inviati ai digestori per il loro trattamento.

Dissabbiatura

La dissabbiatura viene prevista nel caso le acque reflue contengano materiali di diametro $d > 0,2$ mm presenti in sospensione (in genere tutti materiali pesanti ed abrasivi).

Questo trattamento è necessario per evitare inconvenienti quali abrasioni nelle apparecchiature meccaniche mobili (es. pompe), intasamenti di tubazioni e canali, accumuli nei digestori e nelle tramogge delle vasche di sedimentazione, limitando l'entità delle sostanze organiche che inevitabilmente decantano.

La dissabbiatura avviene in vasche in calcestruzzo armato dette dissabbiatori, le quali sfruttano la forza di gravità per eliminare tutte quelle particelle solide caratterizzate da un peso specifico maggiore di quello dell'acqua, facendo sì che i materiali sospesi si depositino sul fondo della vasca in tempi accettabili.

Poiché il materiale da separare è di tipo granuloso - cioè sedimenta senza interferire con le altre particelle e il moto del fluido è laminare - la velocità di sedimentazione delle particelle è regolata, in prima approssimazione, dalla legge di Stokes.

I dissabbiatori tradizionali sono quelli a canale dove il liquame defluisce con flusso orizzontale; importante è che vengano realizzati con unità in parallelo a funzionamento alternato in modo che il dissabbiamento non venga mai interrotto.

Sul fondo delle vasche è disposta una cunetta nella quale si accumulano i materiali sedimentati che vengono rimossi manualmente o attraverso macchine apposite, attraverso una semplice rimozione fisica o con getti di acqua che spingono i materiali in canali trasversali dai quali vengono poi convogliati in pozzetti di raccolta laterali.

Le vasche hanno generalmente pianta rettangolare con lunghezza da 15-20 volte la profondità della corrente e devono essere proporzionate in modo tale che al suo interno il flusso del fluido, per qualsiasi valore della portata, debba avere una velocità media compresa tra 20–30 cm/s, poiché per questi valori di velocità si è constatato che la quantità di materia organica e di materiali inerti che decanta risulta contenuta entro limiti accettabili.

Disoleazione

La disoleazione o sgrassatura viene introdotta nel ciclo depurativo, a valle delle griglie e dei dissabbiatori, quando oli e grassi siano presenti nei reflui in quantità tali da influenzare negativamente i trattamenti successivi.

In particolare, nei trattamenti biologici, le sostanze oleose tendono a rivestire, con un sottile velo, il materiale biologico, ponendo forti limiti all'ossidazione.

Questo trattamento si basa sul principio di risalita in superficie di grassi e oli, i quali hanno un peso specifico inferiore rispetto all'acqua.

Dal fondo delle vasche viene insufflata aria compressa, tramite diffusori porosi; l'aria insufflata forma un'emulsione con le sostanze grasse presenti nei liquami, favorendo il loro allontanamento in superficie.

I grassi emulsionati sospinti verso l'estremità della vasca, vengono eliminati manualmente o attraverso dispositivi meccanici e successivamente scaricati ad intervalli in appositi pozzetti di raccolta ed eventualmente recuperati al fine del loro riutilizzo.

Grigliatura

La grigliatura ha l'obiettivo di trattenere solidi grossolani non sedimentabili (stracci, plastica, ecc.) e solidi grossolani sedimentabili (ghiaia, ecc.)

La griglia viene sempre installata, con una pendenza 1:3, internamente al canale di arrivo all'impianto.

Tale canale in corrispondenza della griglia si allarga di una certa aliquota in modo che la velocità dell'acqua a valle, tenuto conto dell'ingombro delle sbarre e delle perdite di carico, si mantenga prossima a quella che si ha nel tratto a monte della griglia.

La velocità di attraversamento non deve essere né troppo bassa da favorire la sedimentazione a monte della stessa, ma nemmeno troppo elevata per non incrementare le perdite di carico; solitamente questa velocità è compresa tra 0,6 m/s e 0,9 m/s.

Trattamenti termici

Sono trattamenti basati su processi di evaporazione e distillazione e richiedono molta energia termica che può essere parzialmente soddisfatta dalla combustione del biogas prodotto in discarica.

Il principale vantaggio di tale processo consiste nella compattezza dell'impianto, che in un'unica fase ed indipendentemente dal percolato, permette di ottenere alti livelli di concentrazione.

Disinfezione

Attraverso la disinfezione si abbattano i batteri patogeni nell'effluente depurato.

La clorazione è il procedimento più utilizzato per la depurazione microbiologica delle acque; il cloro reagisce ossidando le sostanze organiche ed inorganiche, inattivando i microrganismi.

Esso può essere impiegato sotto forma di ipoclorito di sodio, biossido di cloro, cloro ammine, cloro liquido o gassoso (Cl_2)

In alternativa esiste l'ozonizzazione, tecnica di disinfezione delle acque che impiega ozono (O_3), un gas prodotto mediante scariche elettriche ad alto voltaggio in una apposita camera nella quale viene fatto passare un flusso d'aria o di ossigeno: l'energia fornita consente ad una parte delle molecole d'ossigeno di essere scisse in due molecole omologhe dette radicali che sono particolarmente elettronegative.

Ciascun radicale andrà ad unirsi ad una molecola di ossigeno per dare ozono, una molecola trivalente molto aggressiva e instabile che ha particolare efficacia nei confronti di batteri e virus.

Nel caso del percolato, l'ozonizzazione può essere efficace nella riduzione degli alogenati e della componente biorefrattaria del C.O.D.

3.1.2 - Trattamento biologico

I processi biologici costituiscono la base dei cicli di trattamento impiegati per la depurazione dei reflui caratterizzati da un inquinamento di prevalente natura biodegradabile ed è quasi sempre presente negli schemi di trattamento del percolato.

Definiamo il metabolismo come l'insieme delle reazioni biochimiche svolte per la produzione di energia e per la conversione delle sostanze presenti nei substrati esterni in materiale costitutivo delle nuove cellule.

Il metabolismo comprende pertanto il catabolismo (reazioni di degradazione dei substrati esterni in molecole più semplici, accompagnate dalla liberazione di energia) e l'anabolismo (sintesi del nuovo materiale cellulare).

Il costituente fondamentale del materiale cellulare è il carbonio. Gli organismi autotrofi utilizzano come fonte di carbonio composti inorganici (anidride carbonica), mentre gli organismi eterotrofi ricavano il carbonio da composti organici quali zuccheri, lipidi e proteine.

Questi processi sono regolati attraverso delle reazioni di ossido - riduzione, le quali comportano il trasferimento di elettroni da un donatore che si ossida ad un accettore (ossidante) che si riduce.

A seconda dell'accettore di elettroni, si distinguono tre tipi di metabolismo: aerobico, anossico e anaerobico.

Nelle reazioni biochimiche i microrganismi utilizzano di preferenza, o talvolta esclusivamente, un accettore di elettroni che ne condiziona il metabolismo.

Nel primo caso i microrganismi sono detti facoltativi, nel secondo caso obbligati.

La disponibilità di substrati e di accettori di elettroni condiziona la tipologia di microrganismi che possono svilupparsi ed essere attivi in un ambiente.

Sfruttandone il metabolismo cellulare è quindi possibile rimuovere inquinanti che vengono a costituire la sostanza da ossidare per ricavare energia e/o carbonio.

Nel metabolismo aerobico, l'accettore finale di elettroni è rappresentato dall'ossigeno molecolare che viene ridotto ad acqua e anidride carbonica; questa via metabolica è pertanto possibile solo in acque in cui sia presente ossigeno disciolto.

Nel metabolismo anossico, l'accettore finale di elettroni è rappresentato dai nitrati e dai nitriti che vengono ridotti ad azoto molecolare e acqua.

In assenza di ossigeno molecolare e di nitrati, i percorsi di ossidazione della sostanza organica sono marcatamente differenti da quelli del metabolismo aerobico o anossico: si ha un metabolismo anaerobico, in cui l'accettore finale di elettroni è prevalentemente costituito da una molecola organica. I principali prodotti finali del metabolismo anaerobico sono rappresentati da metano, anidride carbonica e acqua.

Di seguito si presentano i principali processi biologici in uso per la depurazione di reflui generici, applicabili anche per la maggior parte dei percolati di discarica.

La loro applicazione può prevedere l'uso di colture batteriche sospese, cioè disperse nel liquame da trattare e generalmente aggregate in forma di fiocchi sedimentabili, oppure di colture adese costituite da pellicole biologiche che si sviluppano su supporti a contatto con i reflui.

3.1.2.1 - Cinetica della nitrificazione e della denitrificazione

Per nitrificazione biologica si intende l'ossidazione dell'azoto ammoniacale (originariamente presente come tale o derivante da processi di ammonificazione dell'azoto organico) a nitriti e quindi a nitrati per azioni di popolazioni batteriche autotrofe che utilizzano per la sintesi carbonio inorganico (anidride carbonica) e che traggono l'energia dalle succitate reazioni di ossidazioni.

Si tratta di batteri aerobici obbligati, per i quali l'ossigeno libero funge da accettore di elettroni, appartenenti principalmente ai generi *Nitrosomonas*, per l'ossidazione dell'ammoniaca a nitriti, e *Nitrobacter* per la successiva ossidazione dei nitriti a nitrati.

I due stadi di ossidazione si svolgono in serie secondo le seguenti reazioni:





e complessivamente:

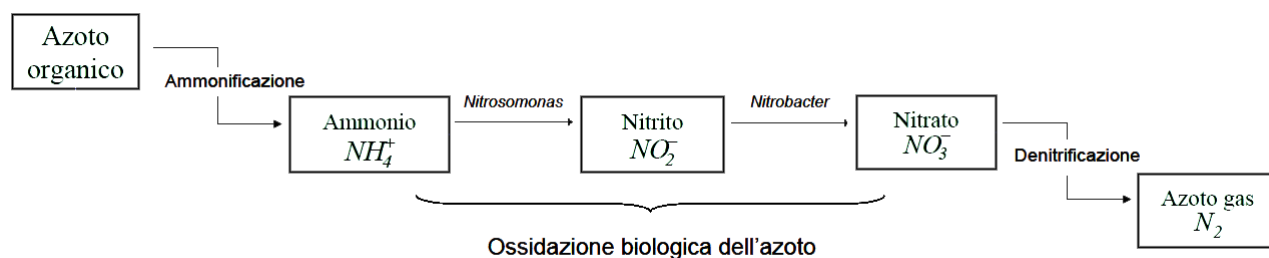


Fig. 3.2 - Ciclo dell'azoto in un impianto di trattamento delle acque reflue.

Il primo stadio si caratterizza per cinetiche più lente che risultano quindi limitanti per l'intero processo e che di norma non consentono l'accumulo di nitriti nel sistema.

Assunta una composizione cellulare dei batteri (indicante i rapporti in peso dei principali elementi costituenti la cellula) pari a $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ e tenuto conto dei rispettivi tassi di crescita cellulare, il processo di nitrificazione può essere globalmente rappresentato nei seguenti termini che esprimono i rapporti ponderali complessivi per le reazioni di ossidazione e di sintesi:



Se ne possono ricavare alcune osservazioni di rilievo per le loro conseguenze processuali:

- la sintesi di organismi nitrificanti è assai limitata in relazione ai quantitativi di ammoniaca ossidati. I rapporti stechiometrici indicano una produzione di solo 0,16 g di nuove cellule per ogni grammo di azoto ammoniacale ossidato;
- i consumi di ossigeno per la respirazione sono molto rilevanti;
- si ha una significativa richiesta di alcalinità; ne deriva una tendenza all'abbassamento del pH quando l'alcalinità iniziale delle acque non assicuri un sufficiente tamponamento.

I processi di denitrificazione di comune impiego si basano sull'attività respiratoria di popolazioni batteriche eterotrofe che utilizzano i nitrati e i nitriti come accettori di elettroni nell'ossidazione biologica dei composti organici biodegradabili, con conseguente formazione di N_2 .

Tra i numerosi generi di batteri che possono operare in tal modo i più diffusi sono gli *Pseudomonas*.

L'ossigeno libero, se disponibile, viene preferito come accettore di elettroni (metabolismo aerobico), risultando allora la reazione più favorevole in termini energetici, in sua assenza sono utilizzati nitriti e nitrati (metabolismo anossico).

La sostanziale similitudine tra i due processi, che portano gli stessi prodotti finali di reazione, spiega la facilità con cui tali popolazioni possono convertirsi da un percorso all'altro.

La biomassa eterotrofa presente nei normali impianti a fanghi attivi è per la maggior parte, in grado di seguire indifferentemente i due percorsi sopra descritti.

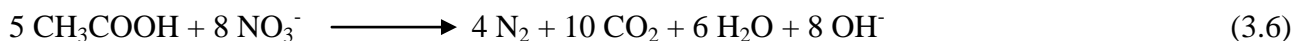
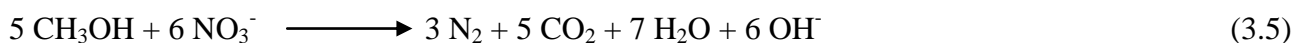
Per la denitrificazione, deve essere disponibile un substrato organico biodegradabile che fornisca il carbonio necessario alla sintesi e che funga da donatore di elettroni nei processi dissimilativi di respirazione.

Sono a riguardo possibili diverse alternative, con uso di:

- carbonio interno, intendendosi con ciò la sostanza organica biodegradabile presenti nei reflui addotti ai trattamenti biologici. Si tratta della soluzione più naturale che non richiede aggiunta di reagenti dall'esterno e che assicura una cinetica sufficientemente rapida.

Presenta anche il vantaggio di produrre la contestuale rimozione di una significativa parte dell'inquinamento organico, senza consumi aggiuntivi di ossigeno, oltre a quelli necessari alla nitrificazione.

- carbonio esterno, costituito da composti organici rapidamente biodegradabili (metanolo CH_3OH , acido acetico CH_3COOH , varie miscele idroalcoliche) cui è inevitabile ricorrere in caso di indisponibilità di carbonio interno, o perché non presenti all'origine nei reflui (situazione che può verificarsi per taluni scarichi industriali) o perché eliminato in precedente fase di trattamento. Le corrispondenti reazioni di riduzione, con uso di metanolo e rispettivamente di acido acetico, risultano:



- carbonio endogeno, costituito dalla componente organica biodegradabile risultante dai fenomeni di lisi delle cellule batteriche.

Nel caso del metanolo, il rapporto $\text{CH}_3\text{OH} / \text{NO}_3^- - \text{N}$ deve essere pari a 2,5. Vanno poi tenuti in conto i consumi aggiuntivi dovuti all'eventuale presenza di nitriti (di norma trascurabili) e di

ossigeno libero, quest'ultimo derivante dai consumi di sostanza organica che si determinano allora per attività aerobica nelle fasi iniziali del processo fino alla deossigenazione del refluo.

La velocità massima di denitrificazione varia in funzione del substrato organico utilizzato, aumentando con la sua biodegradabilità.

L'influenza della concentrazione della sostanza organica merita una più attenta valutazione.

Si è già evidenziato come la riduzione dei nitrati avvenga in rapporto all'ossidazione del substrato organico, con un conseguente collegamento tra la velocità di denitrificazione e la velocità di rimozione del B.O.D., quest'ultima sempre assunta come dipendente dalla concentrazione del B.O.D. stesso.

Una procedura di dimensionamento basata su tali presupposti comporta tuttavia notevoli complicazioni di calcolo dovendosi allora valutare la concentrazione di substrato organico nel reattore anossico, dipendente dalla rimozione che in esso si produce per attività eterotrofa denitrificante.

Peraltro, per substrati prontamente biodegradabili (come metanolo e acido acetico), le cinetiche di rimozione possono essere assunte di ordine zero.

Questo stesso comportamento si verifica per il substrato organico presente nei reflui, limitatamente tuttavia alla componente biodegradabile che viene quindi rimossa con velocità indipendente dalla sua concentrazione.

Di seguito si ammetterà che per i processi di denitrificazione la cinetica di rimozione del BOD possa essere assunta di ordine zero e che quindi la rimozione dei nitrati avvenga indipendentemente dalla concentrazione di substrato organico.

Si tratta di una approssimazione accettabile nelle due seguenti situazioni:

- che venga usato carbonio esterno prontamente biodegradabile, come di norma avviene nei processi di post-denitrificazione;
- che quando si usi carbonio interno (processo di pre - denitrificazione), la disponibilità di sostanza organica in rapporto all'azoto sia elevata ($B.O.D. / TKN \geq 4,5$), in modo da assicurare comunque una sufficiente presenza di carbonio prontamente biodegradabile, tenuto conto della sua abituale incidenza sul B.O.D. totale.

I valori del rapporto succitato possono diminuire nel caso di tempi di residenza idraulica in denitrificazioni elevate che, determinando la solubilizzazione per idrolisi di parte della componente organica sospesa, la rendono meglio disponibile al metabolismo batterico.

3.1.2.2 - Processo a fanghi attivi

La nitrificazione biologica è largamente applicata, sia come processo autonomo per ridurre la concentrazione di azoto ammoniacale allo scarico (con sua ossidazione ad azoto nitrico), sia come fase preliminare ad un processo di denitrificazione.

Il processo a fanghi attivi è un trattamento aerobico condotto mediante una più o meno prolungata aerazione dello scarico in contatto con una numerosa popolazione batterica preconstituita.

Tale popolazione, anziché rimanere dispersa nella massa liquida, tende a concentrarsi, formando degli agglomerati di natura fioccosa, della dimensione di qualche decimo di millimetro, detti appunto fanghi attivi, mantenuti in sospensione all'interno del reattore per effetto della turbolenza prodotta dai sistemi di aerazione necessari per assicurare l'aerobicità del sistema.

Molto diffuso è il metodo di aerazione meccanica per mezzo di turbine (preferibili quelle ad alto numero di giri), che ruotano orizzontalmente, immerse a 5-15 cm di profondità.

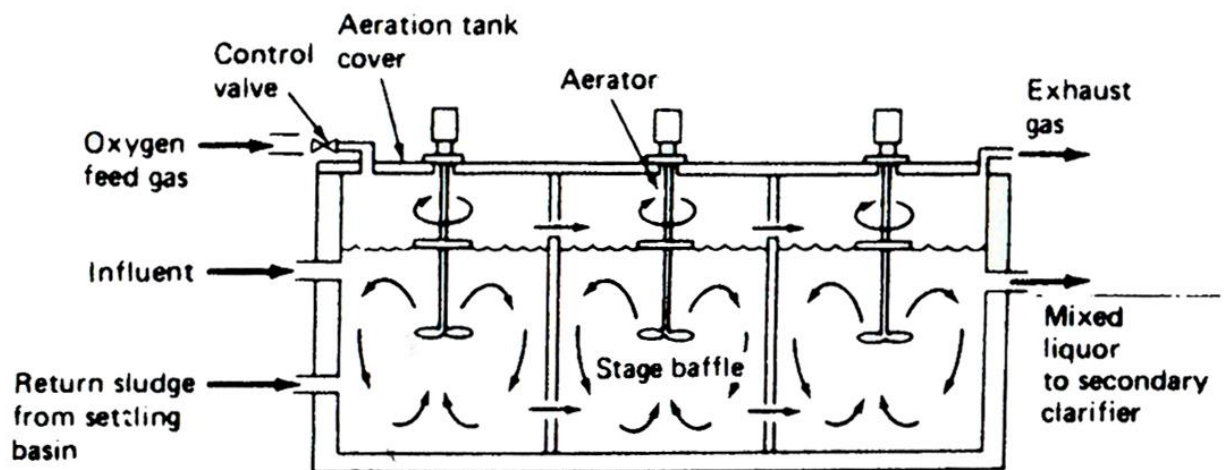


Fig. 3.3 - Aerazione meccanica in una vasca con più stadi (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

I fiocchi non sono esclusivamente formati da batteri ma contengono numerosi altri microrganismi; presentano inoltre un'importante componente di materiale organico inerte e di materiale inorganico, in conseguenza dei fenomeni di flocculazione e di conglobamento meccanico che si determinano nei confronti dei solidi dispersi nel mezzo liquido.

In condizione di quiete i fiocchi di fango possono essere separati per gravità e rimossi dal liquido in una successiva fase di sedimentazione.

Schematicamente, un impianto a fanghi attivi, nella sua configurazione tradizionale, è rappresentato in figura 3.4.

Esso consta di una vasca di aerazione ove, in ambiente aerobico, viene mantenuto il contatto tra la popolazione batterica preformata e lo scarico da trattare; tale sospensione, detta mixed liquor, in uscita dal reattore viene inviata alla sedimentazione ove i fiocchi di fango attivo sono separati dall'effluente che può essere quindi scaricato.

Si consideri ora solo la fase di avviamento: il substrato organico, costituito dal materiale inquinante contenuto nello scarico, non ha la possibilità di essere metabolizzato in misura considerevole, dato che la popolazione batterica è presente in concentrazione insufficiente per consentire un elevato rendimento di utilizzazione nel breve tempo in cui lo scarico permane nella vasca di aerazione; in uscita dal sedimentatore le caratteristiche dell'effluente non sono sensibilmente modificate rispetto a quelle del refluo in ingresso al sistema.

Nella tramoggia del sedimentatore si raccoglierà quindi una piccola quantità di fango, costituita dalle particelle flocculate su cui tenderanno a svilupparsi preferibilmente le colonie batteriche che trovano abbondante disponibilità del substrato nutrizio necessario al loro metabolismo.

Se il fango così raccolto, anziché essere eliminato, viene reintrodotta nel sistema a mezzo di un circuito di ricircolo, la concentrazione di batteri nella vasca di aerazione può essere fatta aumentare progressivamente.

In tutta la fase di avviamento la popolazione batterica continua quindi a crescere nel sistema e in particolare nell'aeratore, fino a raggiungere i valori voluti per il normale esercizio dell'impianto.

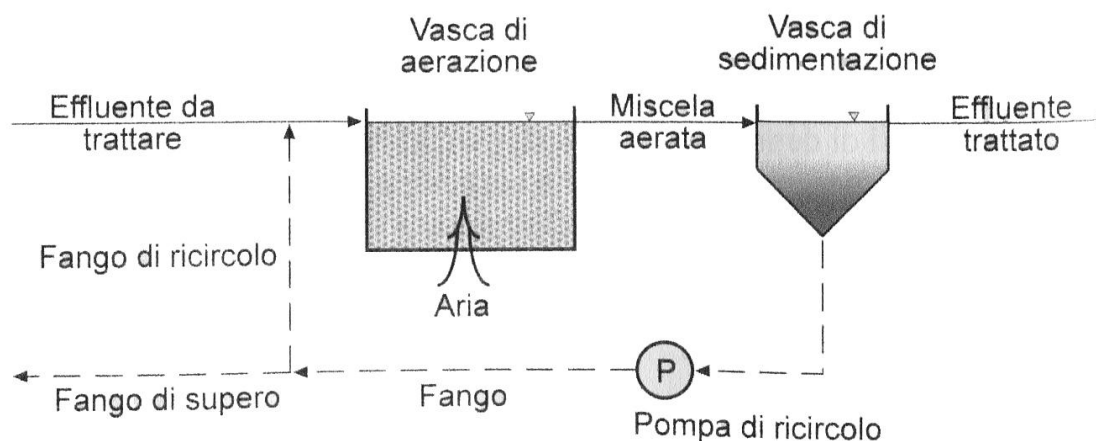


Fig. 3.4 - Rappresentazione schematica di un processo a fanghi attivi (Fonte: Bonomo, Trattamenti delle acque reflue).

A regime, le modalità di esercizio dell'impianto e in particolar modo il ricircolo del fango, andranno poi modificate.

Il dimensionamento del reattore biologico viene basato sui seguenti parametri:

- carico idraulico entrante;

- carico organico;
- efficienza del reattore biologico;
- caratteristiche di biodegradabilità del liquame;
- età del fango;
- caratteristiche del fango attivo.

Diventa importante nel processo di depurazione il concetto di carico del fango (CF), un parametro dimensionale che incorpora i concetti di biodegradabilità e efficienza di depurazione ed è definibile come la quantità di massa organica che si può introdurre giornalmente, riferita alla massa di fango attivo, senza peggiorare l'efficienza di depurazione. È possibile utilizzare grafici sperimentali che correlano il carico del fango con la capacità di depurazione.

Un altro parametro è l'età del fango, definito come il tempo medio di permanenza di una colonia batterica nel sistema. Esso si calcola come rapporto tra la biomassa complessivamente presente e quella allontanata nell'unità di tempo con il refluo in uscita.

Pur essendo una tecnica depurativa consolidata, non è raro che gli impianti a fanghi attivi abbiano un funzionamento non soddisfacente a causa di fenomeni provocati da un vero e proprio comportamento patologico dei fanghi.

Le alterazioni che possono manifestarsi nel carico del fango attivo implicano problemi di separazione tra fase liquida e solida.

Queste alterazioni sono:

- Crescita dispersa: i batteri non aderiscono più gli uni agli altri e la flocculazione è impedita;
- Bulking viscoso: i batteri producono elevate quantità di materiale extracellulare e danno origine a fiocchi di aspetto gelatinoso che trattengono notevoli quantità di acqua;
- Fiocchi "Pin Point": i fiocchi sono di dimensioni molto ridotte e producono un effluente morbido; i batteri filamentosi sono praticamente assenti;
- Rising: risalita e galleggiamento del fango dovuto alla denitrificazione che avviene nel fondo del sedimentatore secondario;
- Foaming: schiume biologiche che si formano sia sulla superficie del sedimentatore sia nei bacini di aerazione.

Oltre al processo a fanghi attivi, esistono altri trattamenti di tipo aerobico, come i filtri percolatori, i biodischi e le lagune aerate, non descritti nella presente tesi in quanto non utilizzati nel trattamento del percolato.

3.1.2.3 - Trattamenti anaerobici

La denitrificazione delle acque reflue è un processo di rimozione dei composti dell'azoto presenti in soluzione sotto forma di NO_3^- (e in parte di NO_2^-) ad opera di batteri eterotrofi facoltativi posti in condizioni di anossia (cioè in assenza di ossigeno disciolto).

La rimozione biologica dell'azoto deve basarsi su una prima fase autotrofa di nitrificazione, con formazione di nitrati e su una successiva fase eterotrofa di denitrificazione, con riduzione dei nitrati ad azoto molecolare. Peraltro, come già detto, la preliminare nitrificazione dello scarico comporta inevitabilmente la rimozione spinta della sostanza organica biodegradabile (carbonio interno) che può costituire invece la più ragionevole fonte di carbonio organico per le reazioni eterotrofe di denitrificazione.

La denitrificazione, sempre associata alla nitrificazione, consente di ottenere buone rese complessive di rimozione dei composti azotati: ricordiamo che l'azoto e il fosforo sono nutrienti che in quantità eccessive possono provocare carenze di ossigeno nei corpi idrici superficiali, portando al fenomeno chiamato eutrofizzazione.

Tenuto conto di tali aspetti, la denitrificazione può essere condotta secondo diversi schemi processuali che si differenziano soprattutto per la fonte di carbonio utilizzata e di conseguenza per la successione e la conformazione delle fasi biologiche.

Successivamente vengono brevemente descritte:

- la pre - denitrificazione, in cui i reattori di denitrificazione precedono idraulicamente quelli di nitrificazione;
- la post - denitrificazione, in cui la denitrificazione è condotta idraulicamente a valle della nitrificazione o comunque su reflui in cui l'azoto sia presente in forma ossidata.

Pre - denitrificazione

Questo processo utilizza il carbonio interno (o esterno se sono presenti eventuali integrazioni), facendo precedere i reattori di denitrificazione a quelli di nitrificazione.

In denitrificazione viene immesso il B.O.D. di nuova alimentazione con il refluo in arrivo, unitamente ai nitrati presenti in flussi di ricircolo prelevati a valle del successivo stadio di nitrificazione (Figura 3.5). Nella fase anossica si ha la riduzione dei nitrati, con consumo di una corrispondente frazione della sostanza organica biodegradabile; nella fase aerobica avviene l'ossidazione a nitrati ed è completata la rimozione del B.O.D.

La biomassa passa direttamente dall'una all'altra fase biologica e la sedimentazione avviene solo dopo la nitrificazione; vi viene inviata solamente la frazione di miscela aerata in uscita dalla fase

aerobica, corrispondente alla portata che deve essere scaricata e da cui va separata e recuperata la biomassa; il fango di ricircolo viene re-inviato alla denitrificazione.

Il processo si svolge utilizzando una biomassa mista di batteri eterotrofi e autotrofi che fluiscono in continuazione dalla denitrificazione, alla nitrificazione e alla sedimentazione per poi essere ripresi dal circuito di ricircolo.

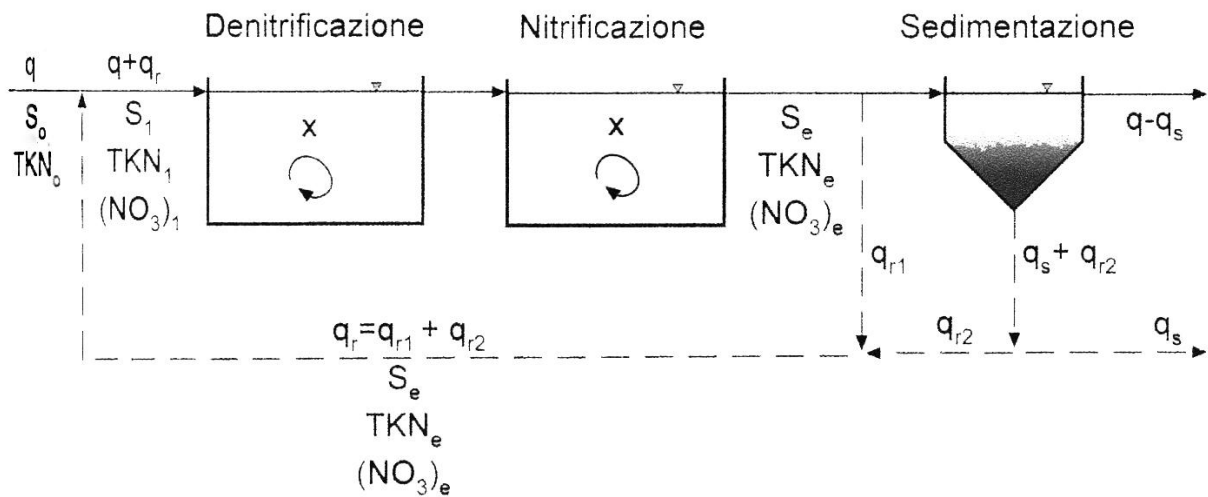


Fig. 3.5 - Schema di processo di pre - denitrificazione, in cui q = portata di alimentazione, q_{r1} = portata di ricircolo miscela areata, q_{r2} = portata di ricircolo fanghi, q_r = portata complessiva di ricircolo, q_s = portata fanghi di sovrappiombo (Fonte: Bonomo, Trattamenti delle acque reflue).

Post - denitrificazione

Si intende per post - denitrificazione un trattamento condotto su reflui in cui l'azoto sia già presente in forma nitrica. La sua applicazione riguarda le due seguenti possibilità:

- acque che all'origine presentino contaminazione da nitrati;
- reflui che all'origine presentino contaminazione da azoto organico e ammoniacale, con presenza di composti organici biodegradabili. In questo caso la denitrificazione presuppone l'ossidazione delle forme azotate e dei nitrati.

Nei processi combinati, una frazione della biomassa eterotrofa non partecipa al processo di denitrificazione in quanto strettamente aerobica; è necessaria quindi una fonte di carbonio esterna.

Sono in teoria utilizzabili tutti i composti organici rapidamente degradabili per via aerobica, in primo luogo metanolo e acido acetico, in ragione della larga disponibilità, del costo relativamente limitato e dell'ottima biodegradabilità.

Di seguito si riporta uno schema di un processo di post - denitrificazione (Figura 3.6): il reattore anossico è dotato di sistemi di agitazione meccanica per assicurare la necessaria miscelazione, in

assenza di dispositivi di areazione. Prima della sedimentazione è interposta una vasca di aerazione con la duplice funzione di:

- assicurare lo stripping dell'azoto gassoso prodotto dalla riduzione dei nitrati che altrimenti in parte aderirebbe ai fiocchi di biomassa ostacolando la decantazione;
- operare la degradazione aerobica del carbonio degradabile dosato sempre in eccesso rispetto al fabbisogno stechiometrico della denitrificazione.

La post - denitrificazione trova talvolta applicazione in una filiera di trattamento biologico più complessa, come stadio terminale di un processo comprendente la pre - denitrificazione, al fine di migliorare la qualità dello scarico in termine di nitrati.

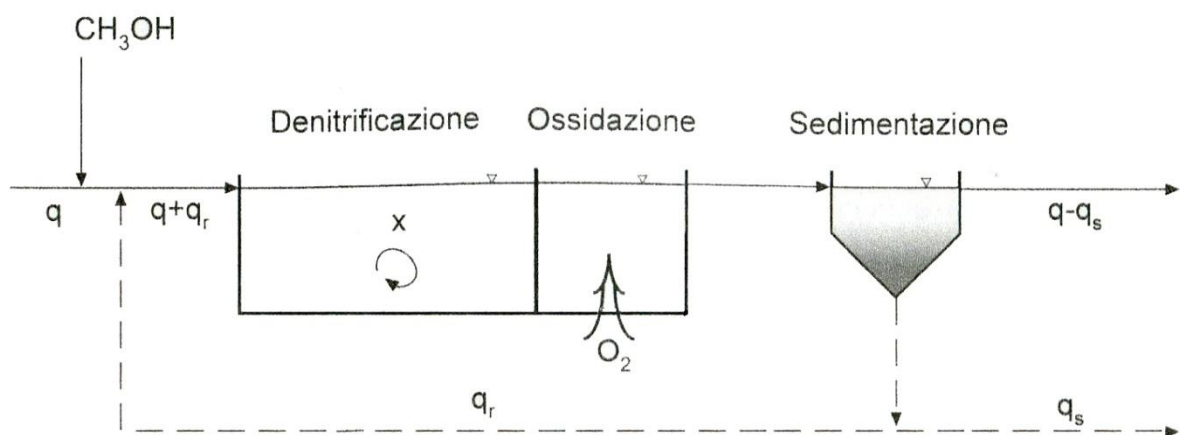


Fig. 3.6 - Schema di processo di post - denitrificazione con uso di carbonio esterno, completo di reattore aerobico finale (Fonte: Bonomo, Trattamenti delle acque reflue).

3.2 - Sequencing Batch Reactor

I sistemi SBR (Sequencing Batch Reactor) rientrano nei metodi di trattamento delle acque reflue di recente innovazione e sono sempre più diffusi nel mondo grazie alla loro efficienza e semplicità. Sono trattamenti biologici a flusso discontinuo, costituiti da un unico bacino in cui si sviluppano processi di ossidazione biologica e di sedimentazione in serie.

Tali processi vengono condotti in tempi diversi, variando ciclicamente le condizioni di funzionamento dell'impianto; di fatto il procedimento è simile a un processo a fanghi attivi, la sostanziale differenza sta nel fatto che in un impianto SBR, le diverse fasi del processo si susseguono in sequenza temporale piuttosto che spaziale.

In un impianto SBR si possono distinguere otto diverse fasi di processo (Fig. 3.5), che si svolgono in sequenza temporale:

1. riempimento statico;
2. riempimento miscelato;
3. riempimento aerato;
4. reazione miscelato;
5. reazione aerato;
6. sedimentazione;
7. scarico;
8. attesa.

Queste fasi e le relative durate, possono essere convenientemente modificate, a seconda delle particolari esigenze, proprio per la massima elasticità che caratterizza il sistema; inoltre la schematizzazione tra le diverse fasi non va interpretata in maniera rigida.

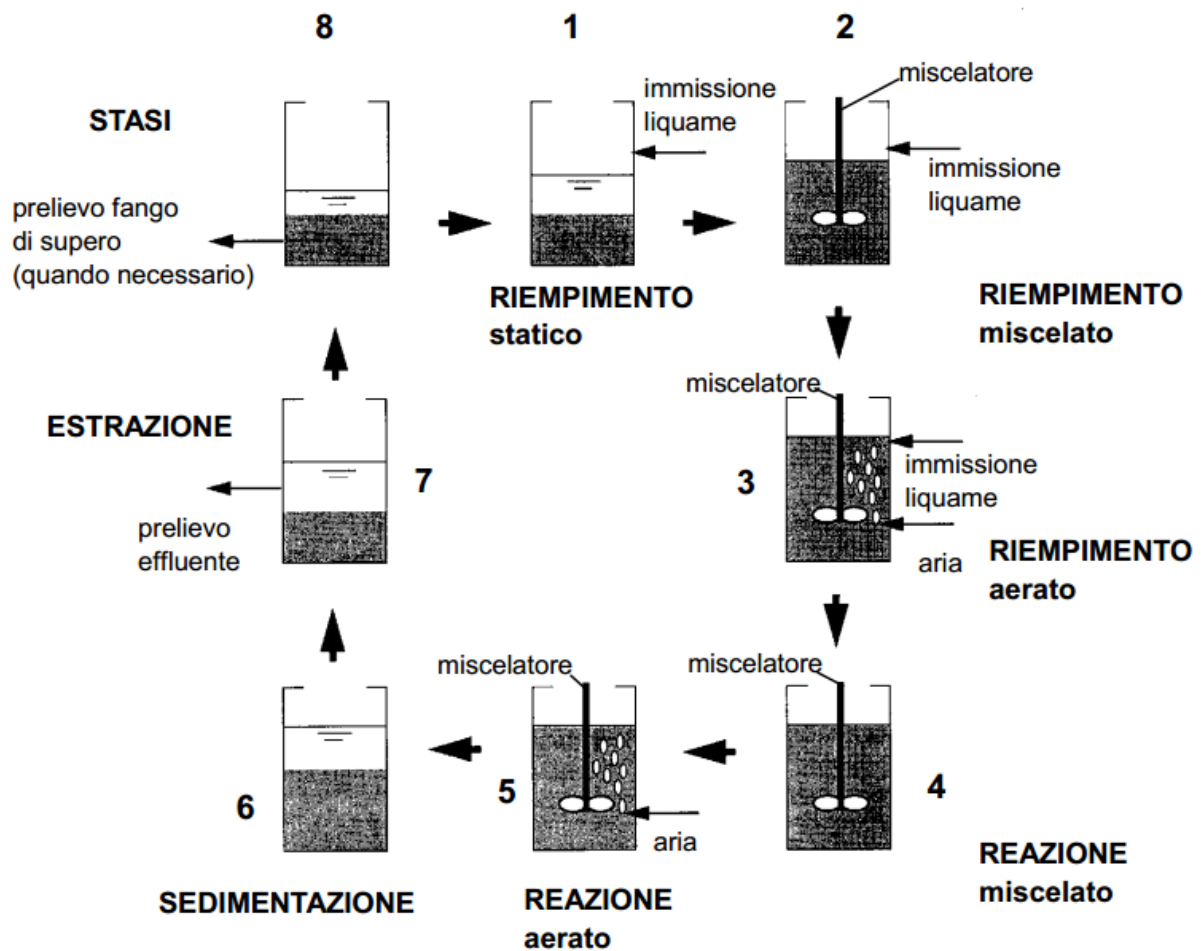


Fig.3.7 - Fasi di un processo SBR (Fonte: Plano, Descrizione del principio di funzionamento dei sistemi SBR).

Riempimento statico (fase 1): il liquame viene immesso gradualmente fino al raggiungimento di un'adeguata quota in vasca, evitando il miscelamento con il fango stazionario sul fondo.

Così facendo si provvede ad accumulare un'elevata quantità di substrato organico, prima che inizino le reazioni biologiche, che si attivano con la successiva fase di miscelazione; in questo modo, si dispone inizialmente di un elevato fattore di carico organico.

Questa modalità, inoltre, si rende generalmente opportuna se immediatamente di seguito è prevista una fase di denitrificazione (che si attiva nella fase di miscelazione senza aerazione, fase 2), che è favorita dall'immediata disponibilità di un'elevata quota di carbonio.

Riempimento miscelato (fase 2): la miscelazione è garantita da miscelatori dedicati presenti nel sistema.

Per effetto della miscelazione del liquame accumulato nella precedente fase, con i microrganismi presenti nella miscela acqua-fango, e del liquame che nel frattempo continua ad essere immesso, si attivano una serie di reazioni. L'ossigeno disciolto presente inizialmente nei liquami entranti, viene progressivamente ridotto dalla matrice carboniosa introdotta con il liquame, fino a essere totalmente

consumato. Una volta esaurito l'ossigeno disciolto, si innescano le reazioni anossiche descritte nel capitolo 3.1.2.4.

Prolungando questa fase, una volta esaurito anche l'ossigeno combinato presente nei nitrati, da condizioni anossiche si passa a condizioni anaerobiche e avviene l'innescò delle reazioni che stanno alla base della defosfatazione biologica.

L'andamento (qualitativo) del livello liquido e delle concentrazioni dei vari parametri in gioco in questa fase può essere seguito nello schema di figura 3.6.

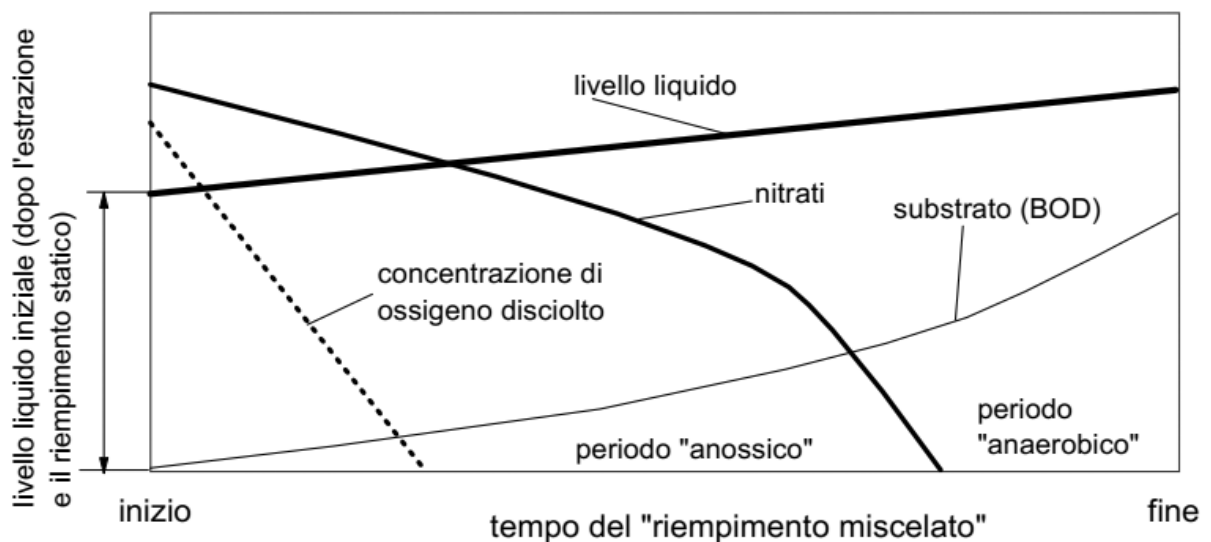


Fig. 3.8 - Andamento indicativo del livello del refluo, delle concentrazioni di ossigeno disciolto, nitrati e substrato nella fase di riempimento miscelato (Fonte: Plano, Descrizione del principio di funzionamento dei sistemi SBR).

Riempimento aerato (fase 3): nella stessa fase di immissione del liquame grezzo, è prevista l'attivazione del sistema di aerazione, che fornisce l'ossigeno occorrente per lo sviluppo delle reazioni biologiche aerobiche.

Reazione miscelata (fase 4): questa fase utilizza il carbonio residuo a valle della fase 3, il quale può risultare tuttavia presente in quantità limitate; questo può portare a dei rallentamenti delle reazioni e può essere quindi prevista un'ulteriore fase di riempimento, immettendo nuovo liquame grezzo.

Reazione aerata (fase 5): si completano le reazioni aerobiche di ossidazione del B.O.D. e di nitrificazione, già iniziate nella fase 3, spingendo la nitrificazione dei composti azotati ai valori richiesti.

Sedimentazione (fase 6): la sedimentazione, si veda capitolo 3.1.1, richiede tempi dell'ordine di 1 ora.

Estrazione (fase 7): il surnatante (frazione liquida superiore di due liquidi non miscibili) viene gradualmente raccolto, avendo cura di lasciarne un adeguato livello sopra il fango sedimentato sul fondo, in modo da mantenere uno strato d'acqua di protezione.

Stasi (fase 8): il sistema rimane stazionario, e in questa fase normalmente si provvede al prelievo e all'allontanamento del fango di supero.

Il tempo necessario per il completamento di tutte le fasi costituisce il tempo totale di processo e rappresenta il parametro fondamentale ai fini del dimensionamento degli SBR.

In sintesi, le principali caratteristiche dei reattori SBR si possono riassumere come di seguito:

- elevata resistenza ad improvvisi innalzamenti del carico organico;
- semplificazione dal punto di vista impiantistico, essendo riunite in un unico bacino tutte le diverse fasi che compongono un tradizionale impianto a fanghi attivi, compresa quella di sedimentazione;
- flessibilità del processo, grazie alla possibilità di modificare con facilità la durata delle diverse fasi e di ottenere una buona efficacia depurativa anche in condizioni non stazionarie.

3.3 - Membrane Biological Reactor

I bioreattori a membrana o MBR (dall'inglese Membrane Biological Reactor), rappresentano una tecnologia di depurazione differente, decisamente più avanzata, rispetto a quella tradizionale a fanghi attivati.

Il sistema MBR combina un tradizionale processo biologico a fanghi attivi con il processo di separazione a membrana (generalmente microfiltrazione o ultrafiltrazione).

I Bioreattori a membrana vengono suddivisi, in base al posizionamento della unità filtrante rispetto al comparto biologico, in schemi a membrane immerse e in schemi a membrane esterne.

Nel primo caso le membrane sono immerse all'interno della vasca di ossidazione a contatto diretto con il refluo. Attraverso una pompa, viene creata una lieve depressione all'interno del modulo filtrante che obbliga l'effluente trattato a passare attraverso le membrane, ottenendo così un'efficiente separazione dei solidi (trattenuti sulla superficie esterna delle membrane) dalle acque filtrate (permeato) senza dover procedere ad ulteriori trattamenti di sedimentazione.

Nel secondo caso, le membrane vengono posizionate esterne alla vasca di aerazione: l'effluente dalla vasca di ossidazione viene pompato nel modulo di filtrazione a membrana.

In ambedue gli schemi si ha un regime di filtrazione a flusso tangenziale; nel primo caso però il regime è ottenuto tramite l'insufflazione di bolle d'aria, nel secondo tramite il ricircolo alimentato con pompe.

Altra aria viene insufflata nella parte inferiore del modulo contenente le membrane, evitando così che il fango si depositi intasando in breve tempo le membrane.

Per garantire l'efficienza nel tempo delle membrane queste vengono sottoposte periodicamente a contro lavaggio per rimuovere il materiale eventualmente depositato sulla superficie delle membrane stesse.

La tecnologia MBR sostituisce sostanzialmente la sedimentazione secondaria in un impianto di depurazione tradizionale ed ottimizza il processo di depurazione biologico (Fig. 3.9).

I principali vantaggi sono:

- elevata efficienza nella rimozione di solidi sospesi (SS) e di carica batterica;
- rimozione del BOD prossima al 100%
- elevata nitrificazione
- riduzione dell'ingombro e dei costi di installazione;
- riduzione del 20-25% dei fanghi prodotti rispetto ai fanghi attivati convenzionali;
- rispetto dei limiti di concentrazione più severi previsti dalla normativa vigente;
- possibilità di riuso dell'acqua trattata.

I principali svantaggi sono:

- gli elevati costi delle membrane;
- i maggiori costi di manutenzione legati a frequenti lavaggi delle membrane.

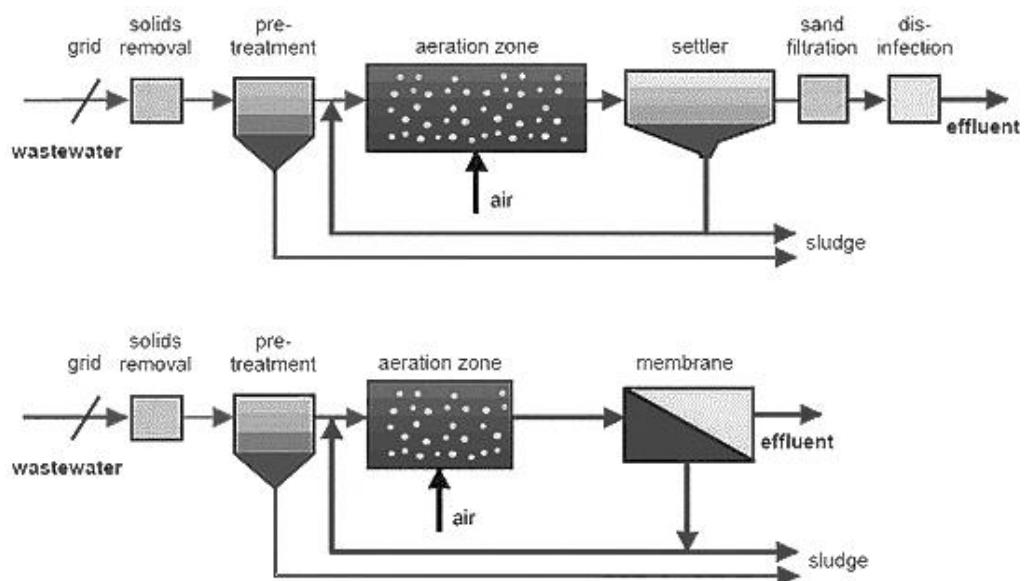


Fig. 3.9 - Schemi di un depuratore tradizionale e di un bioreattore a membrane esterne (Fonte: Wikipedia).

3.4 - Articolazione della linea fanghi

I fanghi prodotti nella depurazione hanno portate ridotte, indicativamente di due ordini di grandezza, rispetto a quelle del percolato in ingresso.

Essi si presentano come liquidi con tenori elevati di solidi in sospensione, spesso caratterizzati da elevata putrescibilità, connessa alla forte concentrazione di materiale biodegradabile. Il loro corretto smaltimento nell'ambiente naturale presuppone pertanto forme di stabilizzazione e di disidratazione secondo cicli articolati descritti brevemente di seguito.

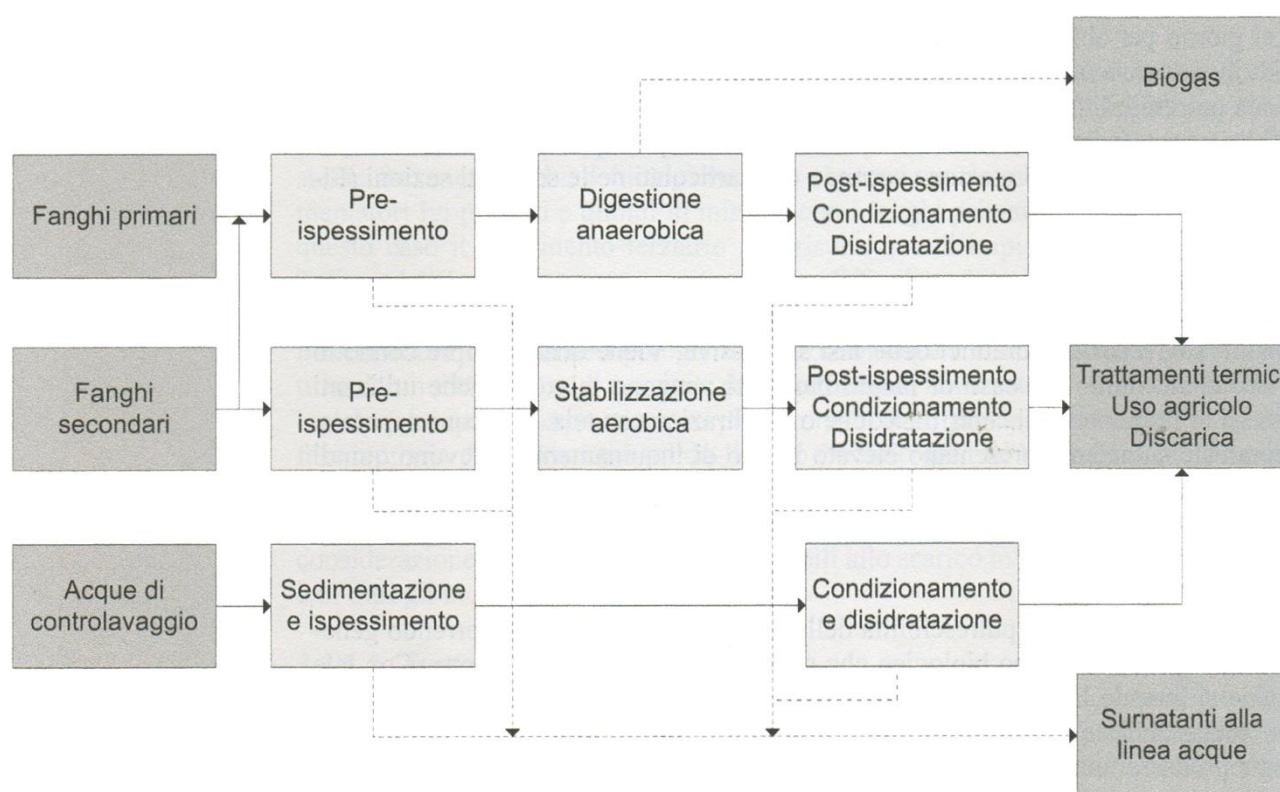


Fig. 3.10 - Ciclo di trattamento dei fanghi di depurazione in un impianto di medio - grandi dimensioni (Fonte: Bonomo, Trattamenti delle acque reflue).

Il pre-ispessimento ha lo scopo di aumentare attraverso i trattamenti fisici, la concentrazione di solidi, evitando inutili sovraccarichi idraulici nelle fasi successive.

I metodi più utilizzati sono la sedimentazione e la centrifugazione, quest'ultima in particolare sempre più diffusa. Le acque separate presentano un elevato livello di inquinamento e devono perciò essere re-inviata alla depurazione in testa alla linea acque.

Il fango deve poi essere stabilizzato, deve cioè subire il processo in cui il materiale organico putrescibile si tramuta in un prodotto stabile, le cui successive trasformazioni si svolgono molto lentamente, così da non produrre fenomeni putrefattivi. Questo risultato è raggiungibile sia per via aerobica che per via anaerobica. Quest'ultima produce come catabolita gassoso una miscela di gas con forte presenza di metano che offre interessanti prospettive di recupero energetico.

Il condizionamento serve a migliorare le caratteristiche di disidratabilità del fango, rendendolo più facilmente filtrabile e centrifugabile. Consiste principalmente in un processo di flocculazione, condotto con sali di ferro o di alluminio, il cui scopo è raccogliere la frazione sospesa finemente dispersa.

Infine il fango stabilizzato deve essere sottoposto a disidratazione, in modo tale da conferirgli caratteristiche di palabilità per poi poterlo conferire senza problemi in discarica.

3.5 - Alternative di smaltimento

Di seguito vengono descritte tutte alternative di smaltimento che non prevedono la costruzione di impianti specifici di trattamento di percolato.

La soluzione più comune è rappresentata dal cosmaltimento con le acque di rifiuto di origine urbana.

Gli impianti di depurazione progettati per il comune liquame da fogna, possono tuttavia non supportare il sovraccarico eccezionale di inquinanti dovuto ad una eccessiva presenza di percolato.

In particolare problemi possono sorgere a causa degli elevati carichi organici del percolato, in grado di mettere in crisi le unità biologiche presenti in un depuratore tradizionale.

Esistono inoltre problemi di corrosione dovuti all'aggressione del percolato e l'eccessiva presenza di metalli può causare inconvenienti come ostruzioni e cattiva sedimentabilità del fango.

La carenza di fosforo porta difficilmente in crisi il depuratore in quanto il fosforo del liquame di fognatura è sufficiente a soddisfare le esigenze metaboliche della flora batterica. Esiste invece il pericolo di shock batterico per effetto dell'immissione istantanea del quantitativo di percolato da miscelare.

Una pratica molto diffusa e che può rappresentare una buona ma parziale soluzione allo smaltimento del percolato è quella del suo ricircolo nel corpo della discarica.

Questo procedimento si basa sul fatto che l'aumento dell'umidità dei rifiuti conseguente al ricircolo, sia in grado di accelerare i processi biologici di degradazione in atto nei rifiuti.

La reintroduzione del percolato in discarica permette di aumentare il contenuto d'acqua del rifiuto fino ai livelli ottimali per la degradazione, ridistribuendo allo stesso tempo nutrienti, enzimi e batteri metanigeni, riattivando così i processi degradativi nel caso in cui questi si siano interrotti.

Con tale sistema è possibile dunque ottenere:

- un maggiore trasferimento di batteri e nutrienti attraverso i rifiuti portando ad un incremento dell'attività microbiologica e di produzione di biogas;
- una riduzione dei costi di smaltimento dovuta al minor volume di liquame da addurre al successivo sistema di trattamento finale;
- il raggiungimento più rapido della fase metanigena di degradazione dei rifiuti per effetto del conseguente incremento di umidità;
- una dinamica più rapida degli assestamenti che consente di raggiungere abbassamenti del colmo della discarica fino al 30% in tempi rapidi. Questo è decisamente importante se si vuole sfruttare al massimo la capienza del bacino di discarica;

Non tutti i ricercatori sono però ottimisti sugli effetti della pratica del ricircolo in quanto:

- esiste la concreta possibilità che si formino dei cammini preferenziali di ricircolo;
- il ricircolo deve essere effettuato esclusivamente durante la stagione secca e con temperature superiori a 0-5 °C poiché potrebbero presentarsi difficoltà di spargimento;
- è possibile che il percolato vada sempre più arricchendosi di sali e metalli pesanti;
- non è spesso possibile procedere al sistema di ricircolo più efficace, cioè quello a spruzzo, a causa delle conseguenze igieniche di tale iniziativa.

4 - Analisi qualitativa del percolato: il caso della discarica S.A.Ba.R. Spa

Le caratteristiche qualitative del percolato subiscono variazioni nel corso del tempo per effetto delle diverse reazioni chimiche che avvengono nel corpo della discarica (capitolo 2).

Purtroppo al momento non esistono software in grado di delineare l'andamento qualitativo di un percolato partendo da dati di input, ad esempio precipitazioni medie annue, spessore del pacchetto impermeabilizzante di copertura o tipologia di rifiuti smaltiti.

Per questo motivo al fine di definire l'andamento dei principali parametri (pH, Conducibilità elettrica specifica, B.O.D., C.O.D., ione ammonio e Fosforo) si sono raccolte le analisi storiche degli ultimi diciotto anni.

Attraverso linee di tendenza si è proceduto a interpolare tali analisi per valutare l'andamento dei suddetti parametri nei prossimi anni, nel tentativo di capire se in futuro ci possa essere la possibilità di gestire diversamente il percolato raccolto, ad esempio cercando di smaltirlo direttamente in fognatura, peraltro abbattendo notevolmente i costi di gestione post - mortem della discarica.

Questo studio ha riguardato solamente i bacini più anziani (bacini 1, 2a, 3, 4, 5, 6, 7, 8), in gestione post-mortem già da diversi anni, dei quali si possiedono molte analisi storiche in grado di validare il metodo utilizzato.

4.1 - Monitoraggio del percolato

Il controllo delle caratteristiche del percolato, attraverso l'analisi periodica e costante di parametri chimici di semplice determinazione, consente di verificare il corretto funzionamento della discarica.

Le indagini sulle caratteristiche dei percolati, pur avendo una forte valenza gestionale, forniscono l'indispensabile conoscenza del potenziale impatto esercitato dai percolati stessi sul sottosuolo e sulle acque sotterranee.

Occorre precisare che le interazioni percolato – suolo sono attenuate dalla continua rimozione del percolato con il conseguente allontanamento dai bacini di discarica di liquidi aventi caratteristiche chimiche sempre meno impattanti; questo permette inoltre di mantenere accettabili pressioni idrauliche sulle pareti e sul fondo degli invasi.

Nella tabella seguente vengono riportati i quantitativi annui di percolato prodotto nella discarica gestita da S.A.Ba.R. Spa:

Anno	Rifiuti non pericolosi smaltiti in discarica	Rifiuti non pericolosi smaltiti in discarica	Percolato prodotto
	Tot. parziale (t)	Tot. progressivo (t)	m ³
1983	20.715,000	20.715,000	
1984	31.051,100	51.766,100	
1985	39.146,826	90.912,926	
1986	32.121,086	123.034,012	
1987	51.920,285	174.954,297	
1988	81.070,643	256.024,94	
1989	52.569,253	308.594,193	3.370,00
1990	85.108,100	393.702,293	5.015,00
1991	67.785,240	461.487,533	5.710,00
1992	71.063,560	532.551,093	9.353,00
1993	62.645,560	595.196,653	8.057,00
1994	84.043,940	679.240,593	7.508,00
1995	76.569,660	755.810,253	6.972,00
1996	65.827,461	821.637,714	10.862,00
1997	63.843,680	885.481,394	9.509,00
1998	61.794,459	947.275,853	6.611,00
1999	67.083,919	1.014.359,772	8.622,00
2000	70.050,324	1.084.410,096	8.534,00
2001	89.860,342	1.174.270,438	11.221,00
2002	92.948,884	1.267.219,322	12.826,00
2003	138.367,068	1.405.586,390	15.228,00
2004	216.007,736	1.621.594,126	23.293,00
2005	203.118,100	1.824.712,226	19.303,90
2006	182.829,670	2.007.541,896	20.023,00
2007	159.719,632	2.167.261,528	17.950,84
2008	80.374,289	2.247.635,817	18.655,00
2009	85.976,242	2.333.612,059	25.751,00
2010	81.048,785	2.414.660,844	19.814,00
2011	62.402,200	2.477.063,044	16.976,91
TOT.	2.477.063,044		291.165,65

Tab.4.1 - Rifiuti non pericolosi smaltiti e produzione di percolato annuo (Fonte: Relazione annuale Sabar 2011).

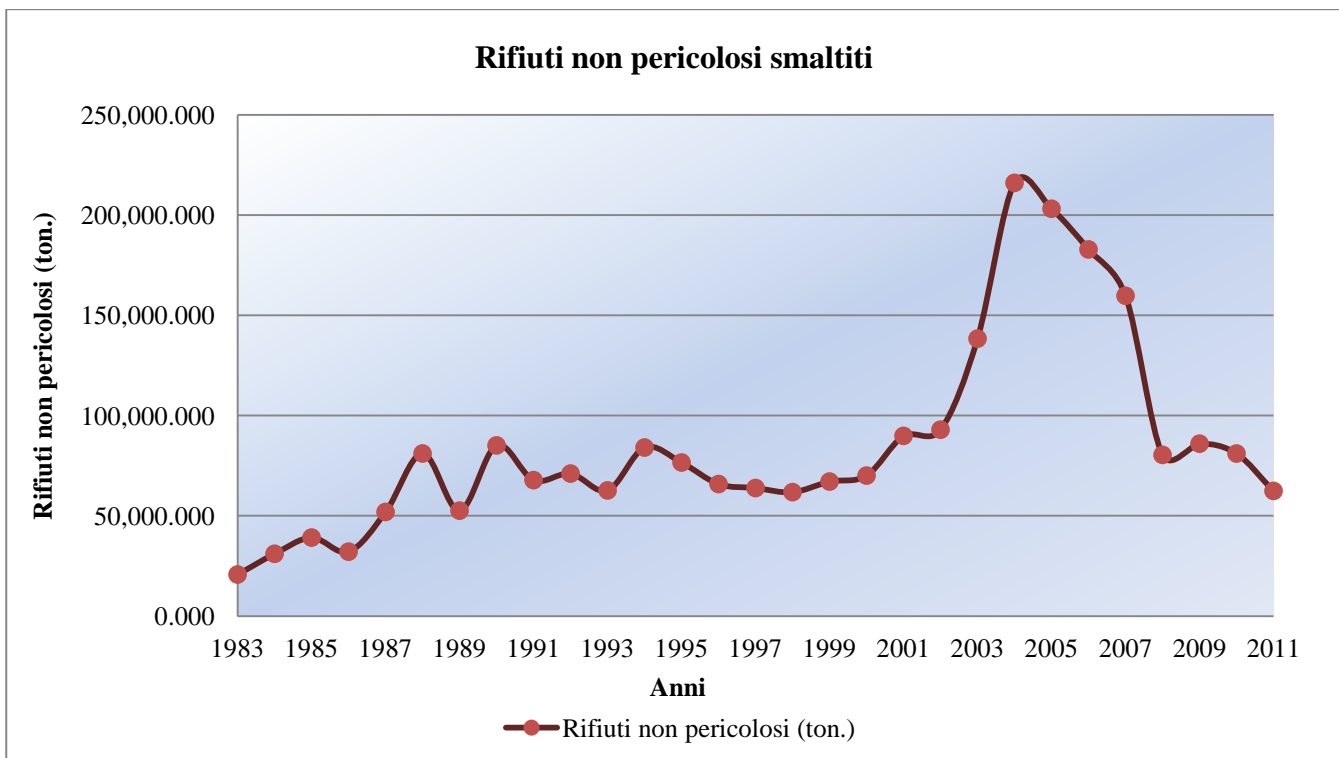


Fig. 4.1 - Rifiuti non pericolosi smaltiti presso la discarica S.A.Ba.R. Spa (Fonte: Relazione annuale Sabar 2011).

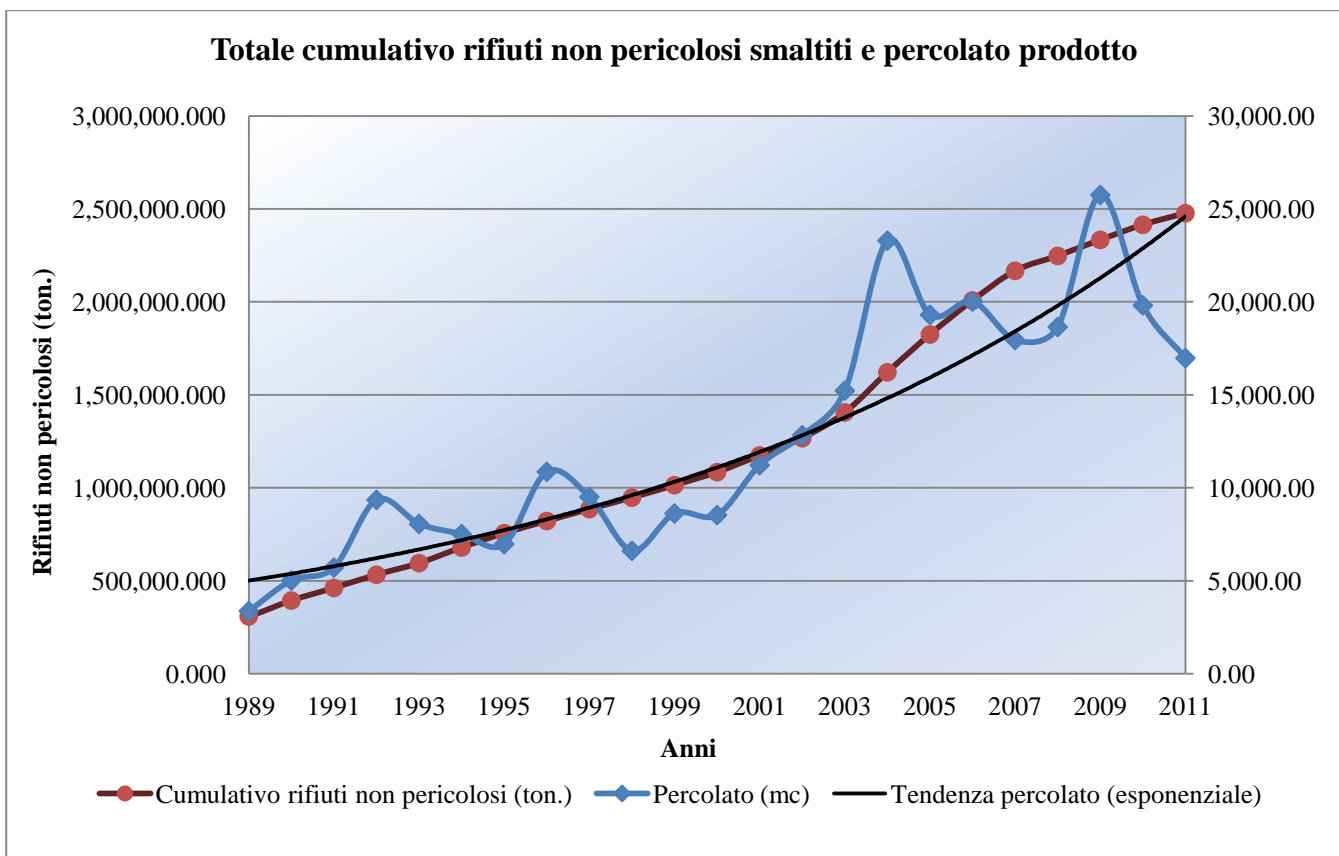


Fig. 4.2 - Totale cumulativo rifiuti non pericolosi smaltiti e percolato prodotto (Fonte: Relazione annuale Sabar 2011).

Bacino n.	Superficie (m ²)	Capacità (m ³)	Data inizio smaltimento	Data fine smaltimento	Tot. parziale r.s.u. (ton.)	Tot. generale r.s.u. (ton.)
1	15642.00	110,000	01/03/1983	21/07/1986		99,857.525
2 (bac.A)	9775.00	65,000	23/04/1987	18/04/1988	55,445.000	
2 (bac.B)	5755.00	45,000	22/07/1986	22/04/1987	38,433.200	
2 (A+B)	15530.00	110,000				93,878.200
3	16280.00	120,000	19/04/1988	07/02/1990		120,122.620
7	17017.00	120,000	08/02/1990	22/07/1991		118,196.180
6	16632.00	125,000	23/07/1991	08/06/1993		128,091.240
5	15486.00	125,000	09/06/1993	17/01/1995		121,493.113
8	16343.00	130,000	18/01/1995	21/10/1996		125,605.360
4	12348.00	82,000	22/10/1996	27/01/1998		81,087.002
9	14760.00	100,000	Dal 28/01/98	al 01/06/99	81,116.623	98,629.556
			Dal 17/07/01	al 27/09/01	17,512.933	
10	14245.00	100,000	Dal 02/06/99	al 15/10/00	97,458.417	103,474.027
			Dal 28/09/01	al 21/10/01	6,015.610	
11	12665.00	100,000	Dal 16/10/00	al 15/02/01	28,534.481	88,589.733
			Dal 22/10/01	al 31/12/01	15,513.095	
			Dal 01/01/02	al 27/03/02	29,823.377	
			Dal 11/10/02	al 31/12/02	14,718.780	
12	12665.00	100,000	Dal 16/02/01	al 30/06/01	36,536.059	88,194.766
			Dal 01/07/01	al 16/07/01	3,251.980	
			Dal 28/03/02	al 10/10/02	48,406.727	
13 - 14	40950.00	313,000	Dal 01/01/03	al 31/12/03	138,367.068	353,217.990
			Dal 01/01/04	al 16/10/04	167,203.712	
			Dal 04/04/05	al 24/06/05	47,647.210	
15 - 16	36224.00	345,000	Dal 18/10/04	al 31/12/04	48,804.024	344,972.354
			Dal 01/01/05	al 31/12/05	155,470.890	
			Dal 01/01/06	al 30/09/06	140,697.440	
17-18	35450.00	405,000	Dal 01/10/06	al 31/12/06	42,132.230	382,193.960
			Dal 01/01/07	al 31/12/07	159,719.632	
			Dal 01/01/08	al 31/12/08	80374.29	
			Dal 01/01/09	al 31/08/09	59669.26	
			Dal 01/10/09	al 16/11/09	9692.38	
			Dal 02/05/11	al 16/06/11	9085.48	
			Dal 13/07/11	al 31/12/11	21520.69	
19-20	25474.00	250,500	Dal 01/09/09	al 30/09/09	7,186.926	129,459.418
			Dal 17/11/09	al 31/12/09	9,427.677	
			Dal 01/01/10	al 31/12/10	81,048.785	
			Dal 01/01/11	al 30/04/11	27,617.349	
			Dal 17/06/11	al 12/07/11	4,178.681	
Tot.	333,241.00	2,745,500				2,477,063.044

Tab. 4.2 - Rifiuti solidi urbani smaltiti in ogni singolo bacino al 31/12/2011 (Fonte: Relazione annuale Sabar 2011).

4.2 - Confronto tra nuovi e vecchi bacini

La costruzione dei bacini 1, 2a, 3, 4, 5, 6, 7, 8 è antecedente l'uscita del decreto legislativo 36/2003, pertanto l'impermeabilizzazione al fondo e il pacchetto di copertura di questi bacini non rispettano i moderni requisiti tecnici e legislativi.

Il primo bacino venne realizzato nel 1982 (bacino n.1) e la realizzazione degli altri 8 proseguì fino al 1998.

Dal 1998 al 2003 vennero realizzati i bacini 9, 10, 11, 12 in modo analogo ai precedenti.

I bacini dal 13 al 22 sono stati realizzati con criteri costruttivi che rispettano il decreto legislativo numero 36 del 2003.

Attualmente sono in fase di coltivazione i bacini 19 e 20, mentre rimangono da colmare solo i bacini 21 e 22 (Fig. 1.1.).

Di seguito vengono riportate in figura le stratigrafie del fondo e del pacchetto di copertura dei moderni bacini e di quelli costruiti antecedentemente l'uscita del d.lgs. 36/2003.

E' evidente la maggiore impermeabilità dei moderni bacini rispetto ai vecchi, il cui fondo è costituito solo da argilla compattata e la copertura definitiva è realizzata unicamente con l'aggiunta di terreno argilloso.

PARTICOLARE DEL PACCHETTO DI COPERTURA SUPERFICIALE FINALE



Fig. 4.3 - Pacchetto di copertura dei bacini 1-8 (in cm),(Fonte: Elaborazione personale).

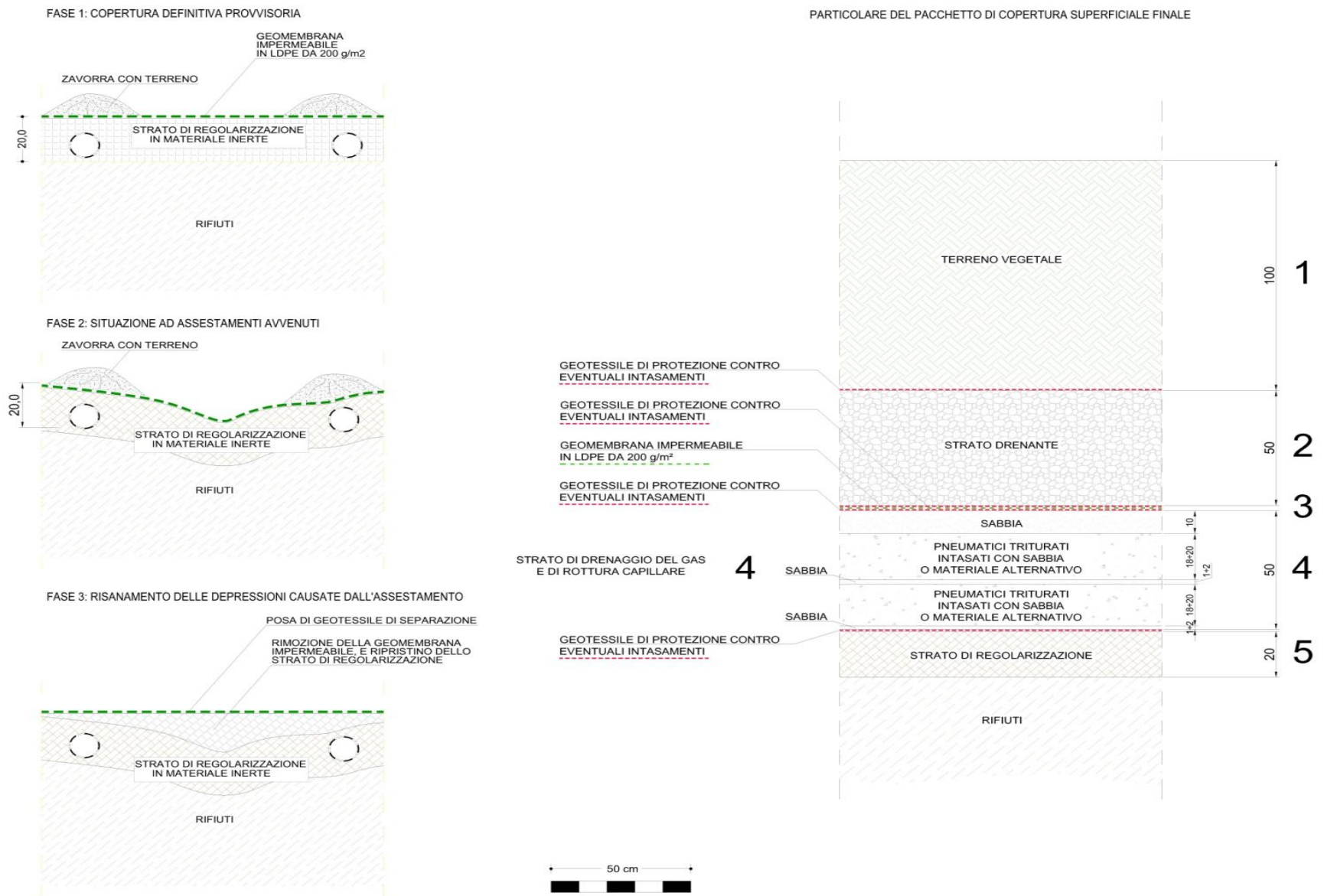


Fig. 4.4 - Pacchetto di copertura dei bacini 19-22 e fasi di assestamento dei rifiuti (in cm), (Fonte: Dichiarazione ambientale Sabar 2011).

PARTICOLARE DEL FONDO INVASO
DOPO IL CONFERIMENTO

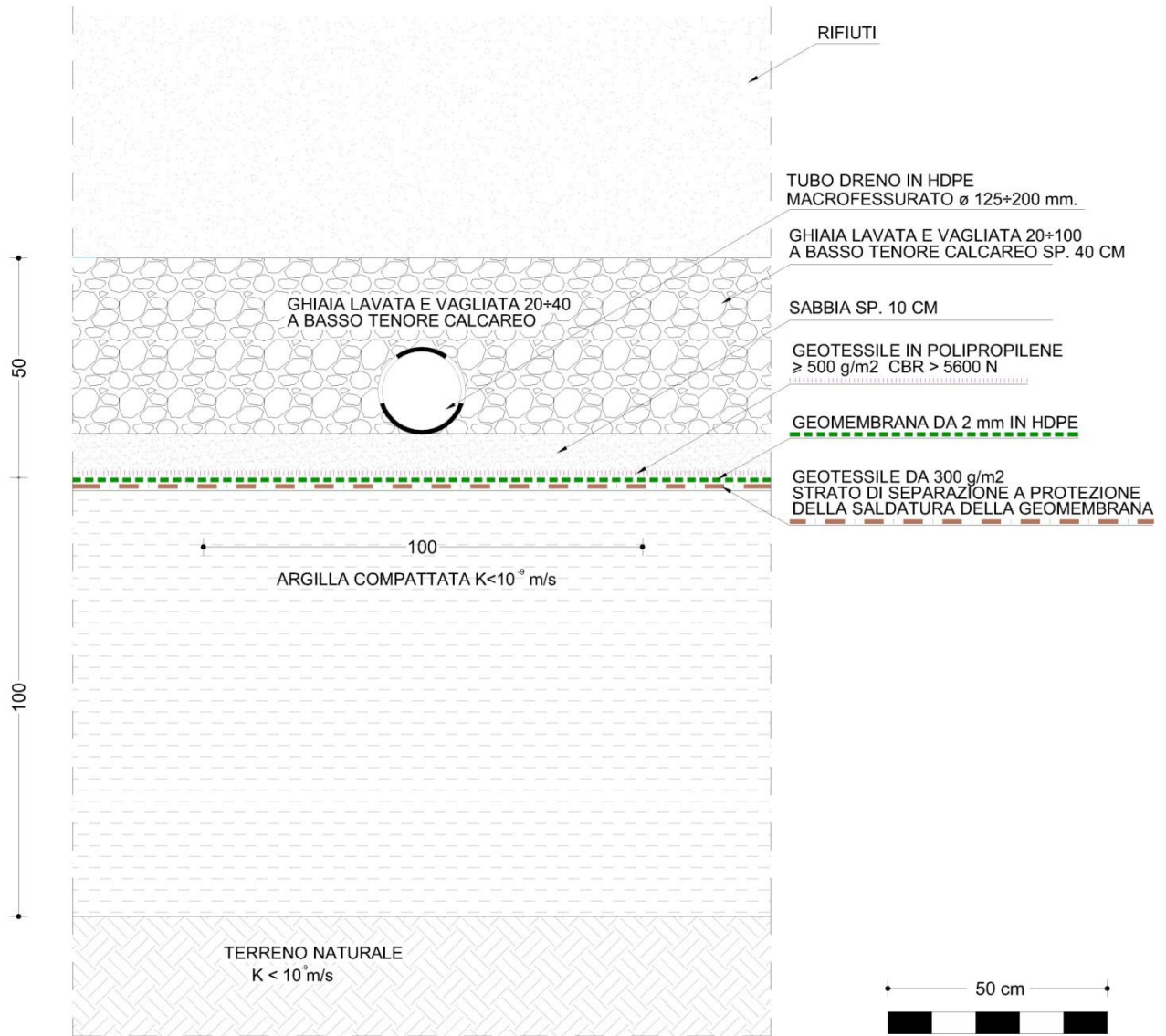


Fig. 4.5 - Fondo dei bacini 19-22 (in cm), (Fonte: Dichiarazione ambientale Sabar 2011)

4.3 - Scelta delle linee di tendenza

Le linee di tendenza sono rappresentazioni grafiche delle tendenze nelle serie di dati statistici e si utilizzano per lo studio dei problemi di previsione.

Il software Microsoft Office Excel[®], utilizzato in questa indagine, permette di adottare diverse linee di tendenza:

- **Lineare:** è una retta ottimale utilizzata se il tracciato risultante delle coordinate incluse è lineare. Questo tipo di linea indica generalmente che un elemento ha un andamento crescente o decrescente in modo costante.
- **Logaritmica:** è una curva ottimale particolarmente utile se il tasso di variazione dei dati aumenta o diminuisce rapidamente e poi si stabilizza.
- **Polinomiale:** è una curva che viene utilizzata con dati fluttuanti. È possibile determinare l'ordine del polinomio in base al numero di fluttuazioni contenuto nei dati o al numero di picchi massimi e minimi presente nella curva. Una linea di tendenza polinomiale di ordine 2 in genere presenta solo un picco, una di ordine 3 ne presenta uno o due, una di ordine 4 fino a un massimo di tre.
- **Potenza:** è una curva molto usata con le serie di dati che confrontano misurazioni che aumentano a una velocità specificata. Se i dati contengono valori nulli o negativi, non è possibile creare una linea di tendenza di potenza.
- **Esponenziale:** Una linea di tendenza esponenziale è una curva particolarmente appropriata per valori dei dati che aumentano o diminuiscono con tassi crescenti. Non è possibile creare una linea di tendenza esponenziale con dati che contengono valori negativi o zero.
- **Media Mobile:** appiana le fluttuazioni dei dati per mostrare un andamento o una tendenza in modo più chiaro.

Si è scelto di adottare la linea di tendenza esponenziale, calcolata attraverso la funzione “crescita”, in grado di meglio approssimare le serie di dati, anche in funzione del fatto che, come si evince dalla teoria, ci si aspetta un andamento esponenziale decrescente per i parametri in oggetto (eccetto per pH e conducibilità).

4.4 - Risultati ottenuti

La maggior parte dei risultati ottenuti mostrano un andamento dei parametri in linea con la letteratura studiata, nonostante sia evidente l'influenza della componente meteorica che penetrando in grandi quantità nei bacini, diluisce il percolato.

Si è scelto di fare una previsione fino all'anno 2044, cioè circa fino al cinquantesimo - sessantesimo anno di vita di questi bacini.

Tutti i dati tabellari e i grafici sono stati inseriti nell'appendice; di seguito si riportano solo alcuni grafici a titolo esemplificativo, comparati con gli andamenti riscontrabili in letteratura (Figure 2.6, 2.7 e 2.8, Capitolo 2).

I limiti normativi allo scarico in fognatura per i parametri studiati, al momento della stesura di questa tesi, sono elencati all'interno del d.lgs. 152/2006, parte terza, allegato V, tabella 3:

- **pH** : 5,5 - 9,5
- **BOD₅** : 250 mg/l
- **COD** : 500 mg/l
- **P** (fosforo totale) : 10 mg/l
- Azoto ammoniacale (come **NH₄**) : 30 mg/l
- **Conducibilità elettrica specifica** : nessun limite previsto dalla normativa.

4.4.1 - pH

Tra tutti i parametri studiati il pH è quello che ha portato a risultati meno soddisfacenti.

In letteratura, il pH dopo una breve fase iniziale a valori minimi corrispondenti al campo acido, si assesta su valori pari a 8 con valori massimi in campo basico pari a 8.9.

Nel caso in esame, solo in tre bacini (1, 2a e 7) il pH ha effettivamente un andamento crescente, infatti nei restanti bacini è in lieve calo.

Da notare che in entrambi gli andamenti la curva si discosta poco dal valore medio, che per tutti gli otto bacini si attesta tra un pH di 7.4 e un pH di 7.8.

Questo risultato era facilmente prevedibile poiché conseguenza dell'effetto del continuo percolamento all'interno dei bacini di discarica di grandi quantità di acqua meteorica e di irrigazione (ricordiamo che questi bacini sono ricoperti di vegetazione che necessita di manutenzione, specie nel periodo estivo).

Proprio a causa di questo fenomeno il percolato raccolto risulta diluito dall'acqua, con conseguente abbassamento del pH che tende ad assestarsi così su valori medi.

Di seguito si riporta l'andamento del pH del percolato in letteratura e nel caso studiato.

Occorre ricordare anche che in uno studio di questo tipo incide fortemente il tipo di rifiuto smaltito. I valori di pH attesi, per il 2044, rientrano nei limiti per lo scarico in fognatura, secondo l'attuale normativa, per tutti i bacini studiati. Infatti ci si aspettano valori di pH variabili da 7.4 a 7.9, rientranti perfettamente nei limiti allo scarico in fognatura imposti dal d.lgs. 152/2006.

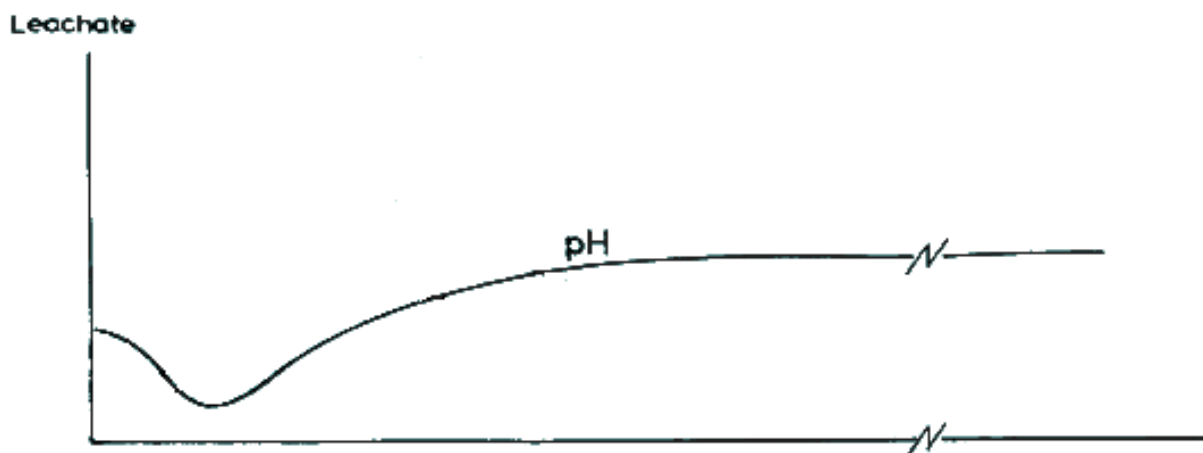


Fig. 4.6 - Andamento temporale del pH nel percolato (Fonte: Christensen e Kjeldsen, 1989).

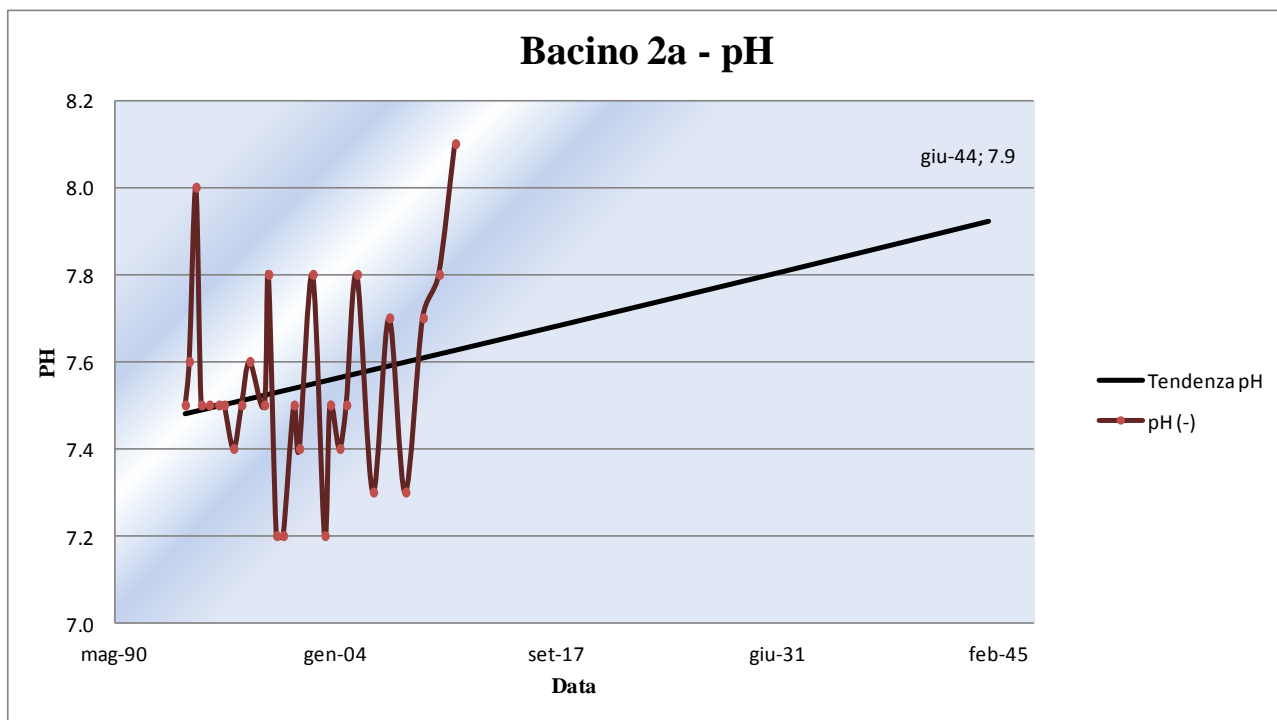


Fig. 4.7 - Andamento temporale del pH nel percolato Sabar, Bacino 2a.

4.4.2 - B.O.D. e C.O.D.

L'andamento del B.O.D. e del C.O.D. è in linea con quanto riportato in letteratura.

Infatti il contenuto di sostanza organica è molto elevato inizialmente, mentre diminuisce successivamente per effetto della degradazione biologica e del dilavamento dell'acqua di percolazione.

E' interessante notare come i valori di B.O.D. e C.O.D. non siano particolarmente elevati: si toccano punte massime di 5000 - 6000 mg/l in alcuni bacini, a fronte di valori cinque volte più elevati riscontrati in altre discariche (25000 - 30000 mg/l).

I valori di B.O.D. attesi per il 2044 rientrano nei limiti per lo scarico in fognatura, secondo l'attuale normativa, per tutti i bacini studiati, con valori che si attestano intorno a 5 - 10 mg/l.

Diverso il discorso per il C.O.D., le cui previsioni in alcuni bacini (ad esempio il 3) riportano valori pari a 1300 mg/l, decisamente alti rispetto al limite di 500 mg/l imposto dalla legge.

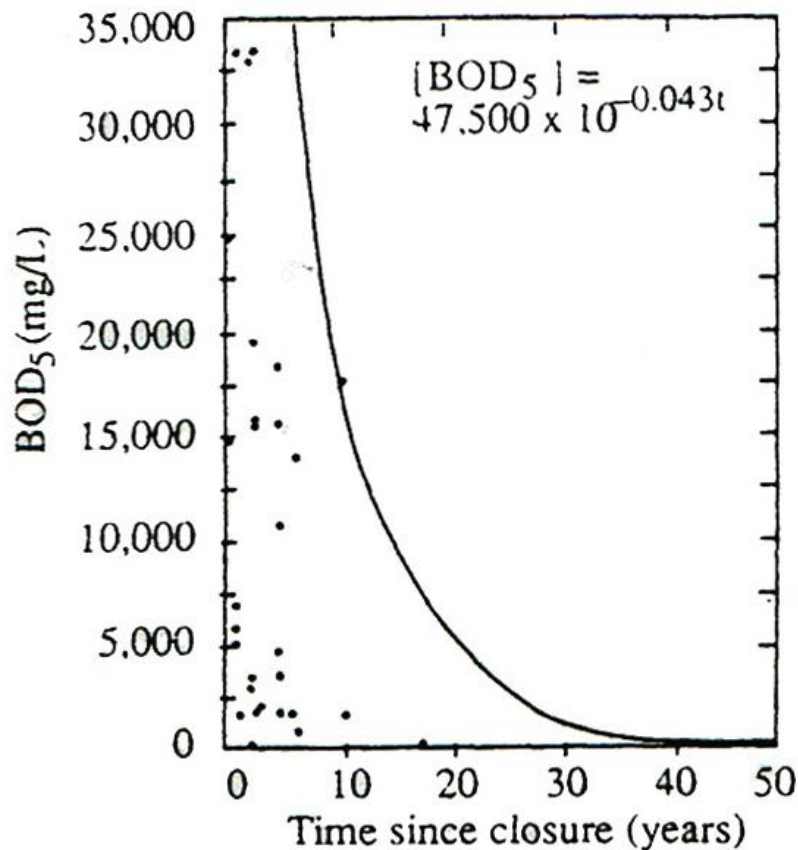


Fig. 4.7 - Andamento temporale del BOD nel percolato (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

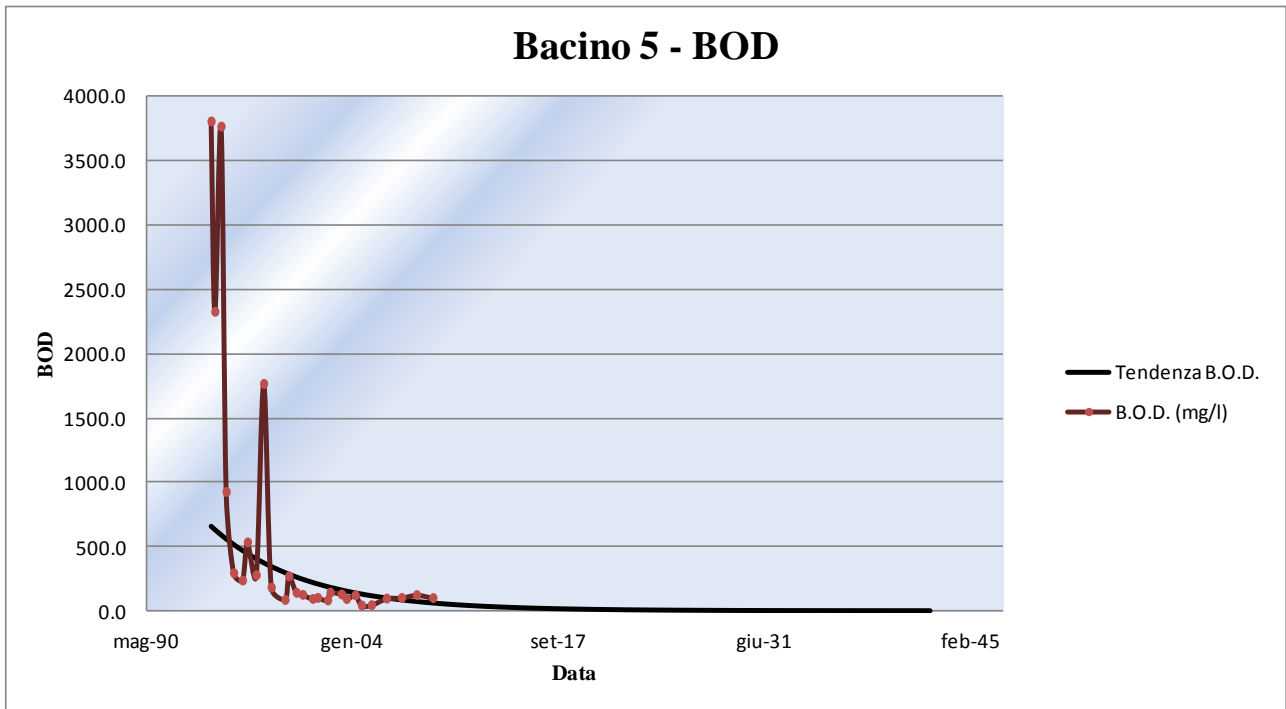


Fig. 4.8 - Andamento temporale del BOD nel percolato Sabar, Bacino 5.

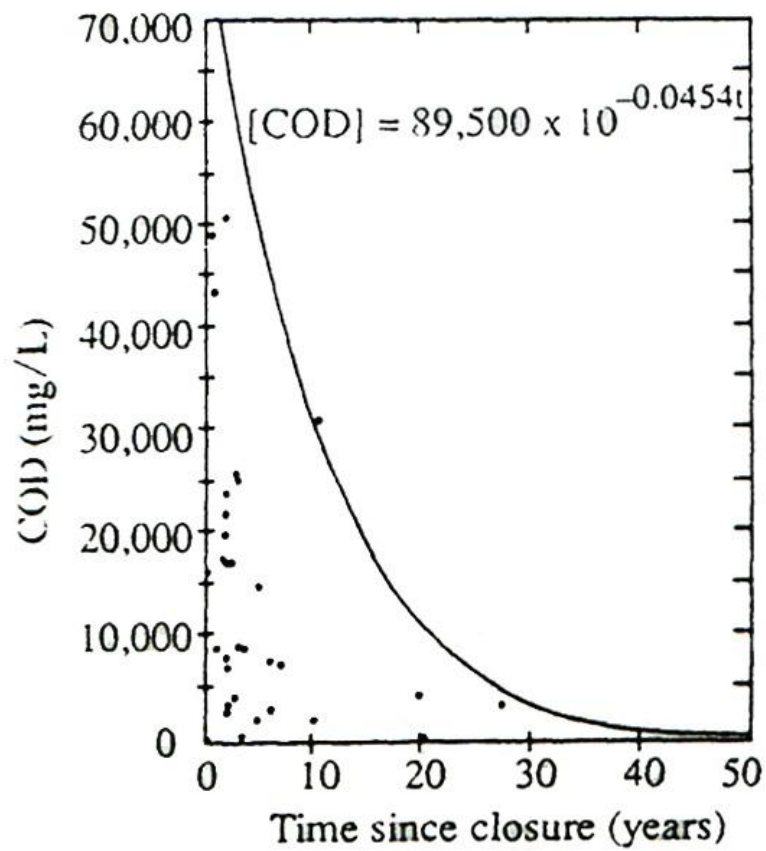


Fig. 4.9 - Andamento temporale del COD nel percolato (Fonte: Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

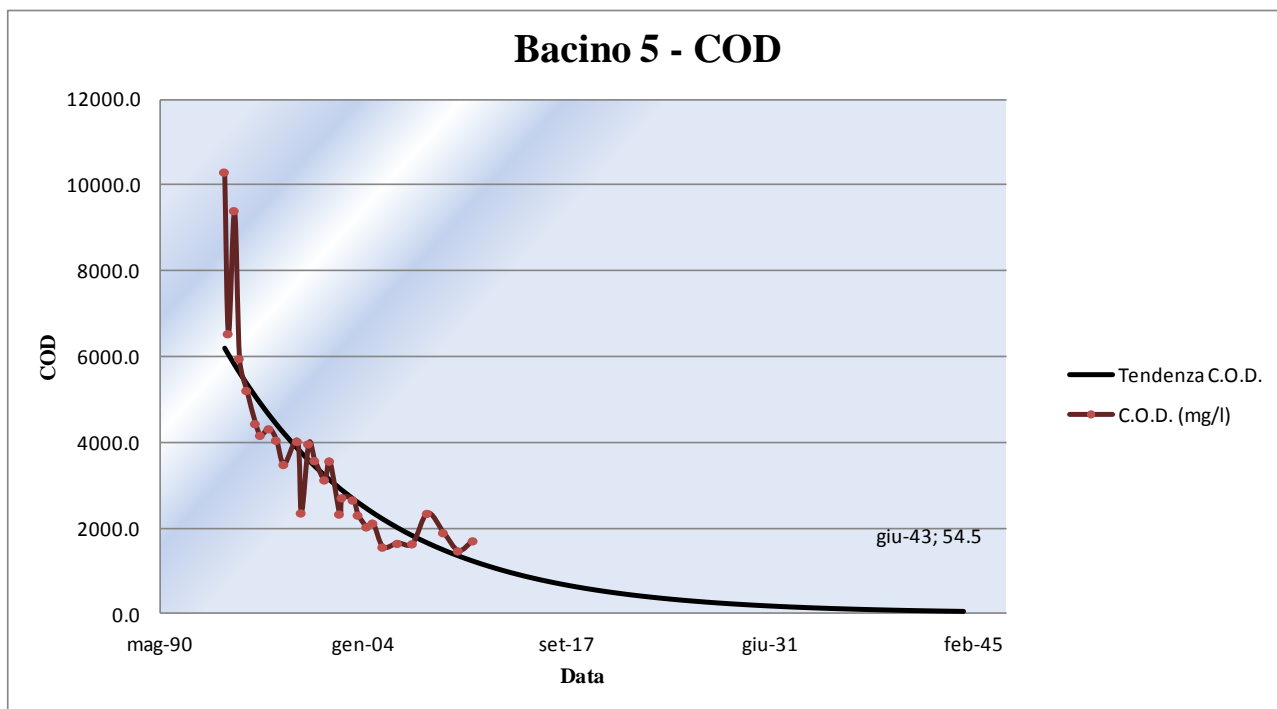


Fig. 4.10 - Andamento temporale del COD nel percolato Sabar, Bacino 5.

4.4.3 - NH₄

Anche per quanto riguarda lo ione ammonio i risultati ottenuti sono, con discreta approssimazione, in linea con la letteratura.

Questo parametro è vincolante per lo scarico diretto in fognatura.

Il limite allo scarico normato dal d.lgs. 152/2006 è di 30 mg/l, mentre le previsioni ottenute nei singoli bacini sono le seguenti:

- Bacino 1: 273 mg/l
- Bacino 2a: 1205 mg/l
- Bacino 3: 1463 mg/l
- Bacino 4: 149 mg/l
- Bacino 5: 906 mg/l
- Bacino 6: 396 mg/l
- Bacino 7: 810 mg/l
- Bacino 8: 583 mg/l

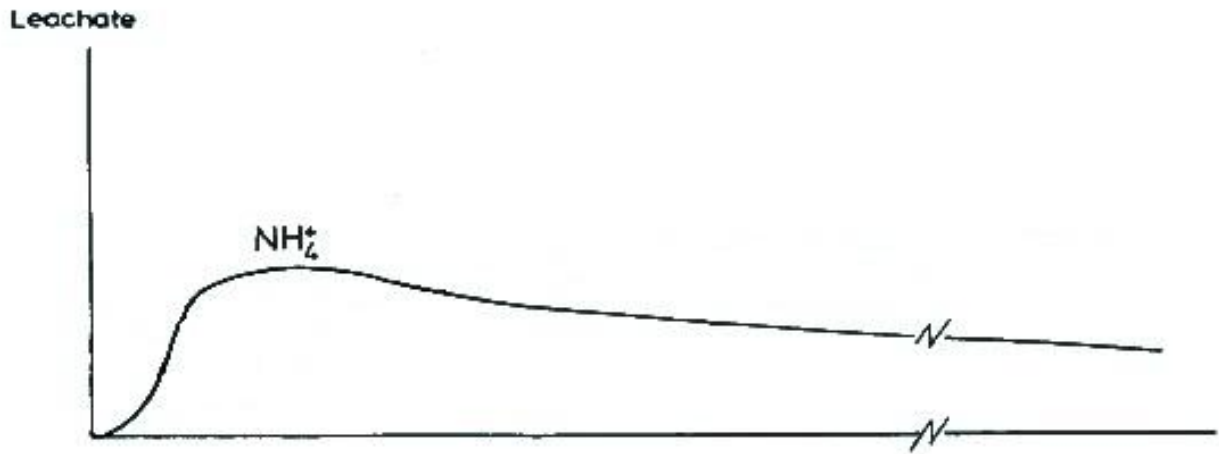


Fig. 4.11 - Andamento temporale dello ione ammonio nel percolato (Fonte: Christensen e Kjeldsen, 1989).

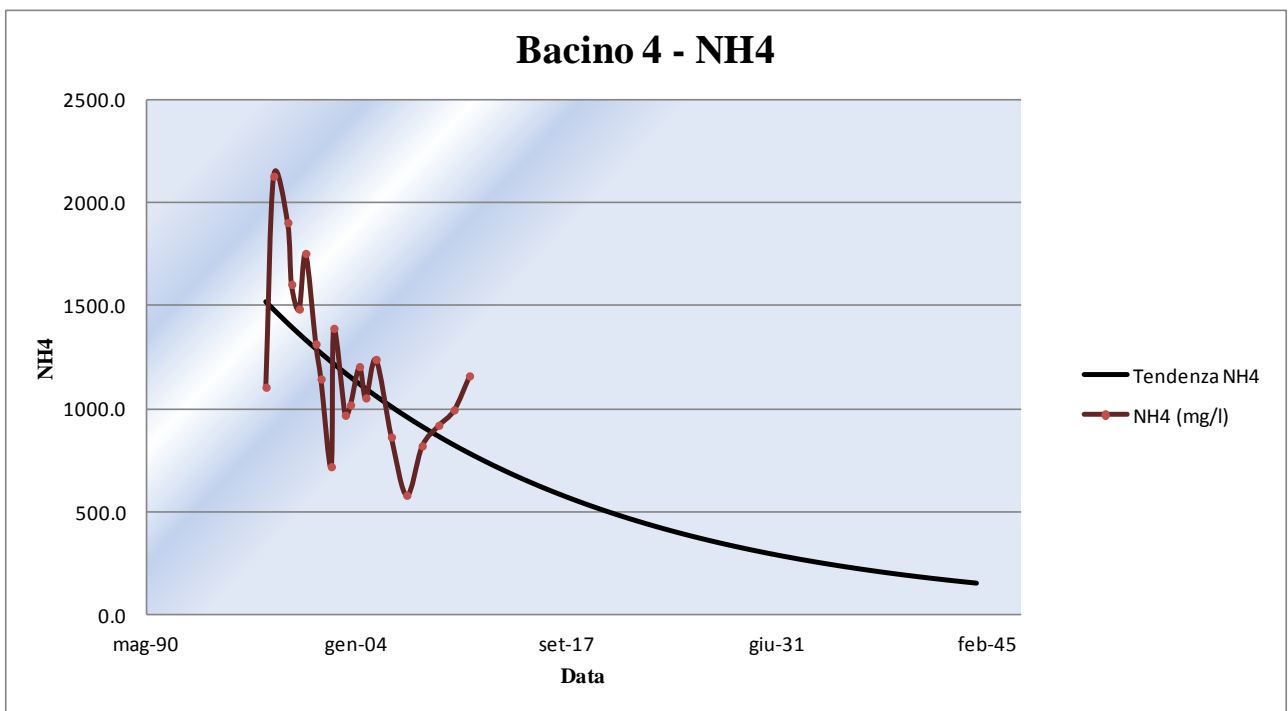


Fig. 4.12 - Andamento temporale dello ione ammonio nel percolato Sabar, Bacino 4.

4.4.4 - Fosforo

Per quanto riguarda il fosforo totale non si dispone in letteratura di previsioni e grafici esaustivi.

Chian e DeWalle, nel 1976, in uno studio analogo a quello affrontato in questo capitolo, ottennero valori previsionali del fosforo in un percolato di discarica per rifiuti urbani avente 16 anni, pari a 8 mg/l, valore leggermente più alto ma sostanzialmente in linea con quello riscontrato nel percolato S.A.Ba.R. (cfr. Qasim e Chiang, Sanitary Landfill Leachate).

Questo parametro non è vincolante per lo scarico in fognatura, in quanto le previsioni per ogni bacino nell'anno 2044 risultano inferiori al valore limite di 10 mg/l imposto dalla normativa.

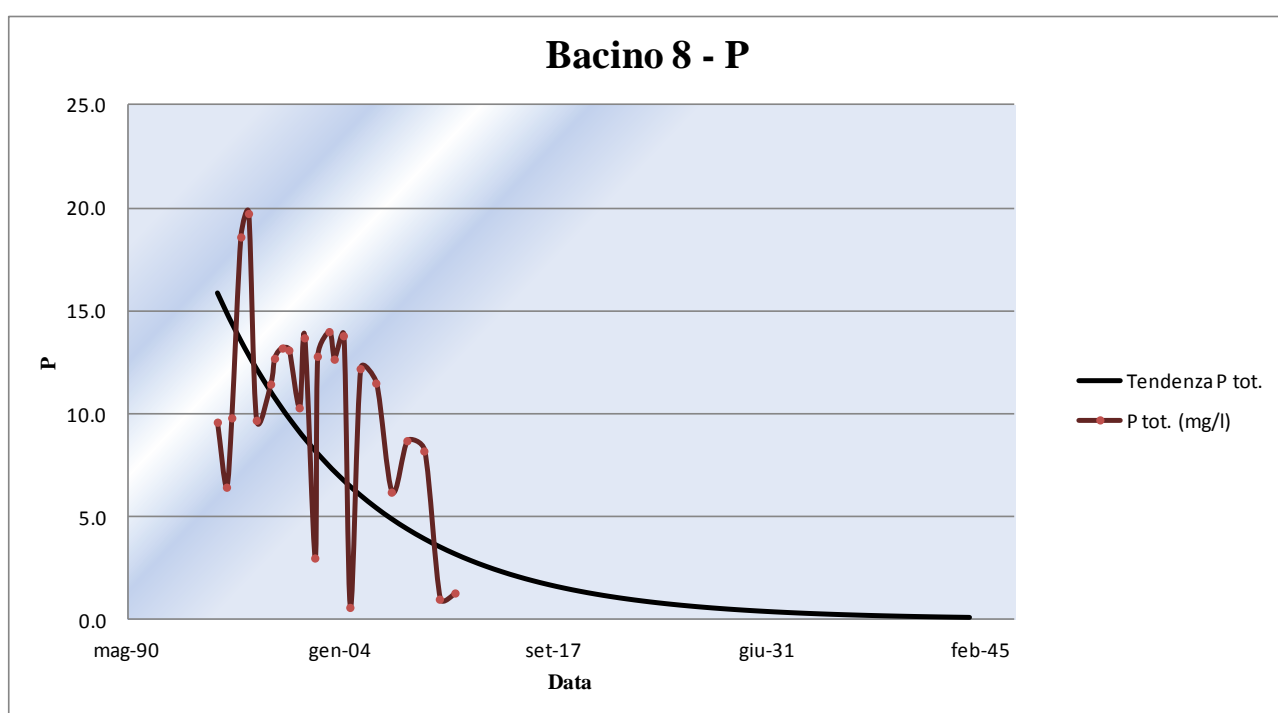


Fig. 4.13 - Andamento temporale del fosforo nel percolato Sabar, Bacino 8.

4.4.5 - Conducibilità elettrica a 18°

Per conducibilità elettrica specifica si intende l'inverso della resistenza elettrica specifica, cioè della resistenza offerta da un volume unitario di liquido al passaggio di corrente.

Poiché la corrente elettrica è trasportata nelle soluzioni dagli ioni, è evidente che la conducibilità è una misura della quantità di sostanze ionizzate presenti nella soluzione. In presenza di sostanze ionizzate o dissociate si verifica un aumento della conducibilità elettrica proporzionale alla loro concentrazione; i sali sono elettroliti forti e pertanto la conducibilità di un'acqua è tanto maggiore quanto maggiore è la sua salinità totale.

Nel caso studiato, in tutti i bacini (eccetto il numero 4), la conducibilità elettrica mostra una crescita nel tempo.

Alla luce di quanto sopra riportato esiste una spiegazione in parte plausibile per questo aumento di conducibilità, dovuto alla progressiva mineralizzazione del rifiuto e all'aumento di alcuni sali.

Tuttavia la complessità della biodegradazione del rifiuto nella discarica, a causa dei molteplici aspetti descritti nel capitolo 2, rende molto difficile fare previsioni attendibili su questo parametro, non vincolante allo scarico in fognatura poiché non rientrante del d.lgs. 152/2006, parte terza, allegato V, tabella 3, ma in grado di dare informazioni sull'evoluzione di sali, metalli e ioni nel percolato.

La sostanziale differenza tra le due curve riportate di seguito è dovuta al fatto che la crescita esponenziale adottata in questo studio per la conducibilità elettrica, non è in grado di prevedere la fase di stabilizzazione prevista dopo la fase di crescita della quantità degli ioni presenti in un percolato, come ad esempio lo ione idrogeno carbonato in fig. 4.14.

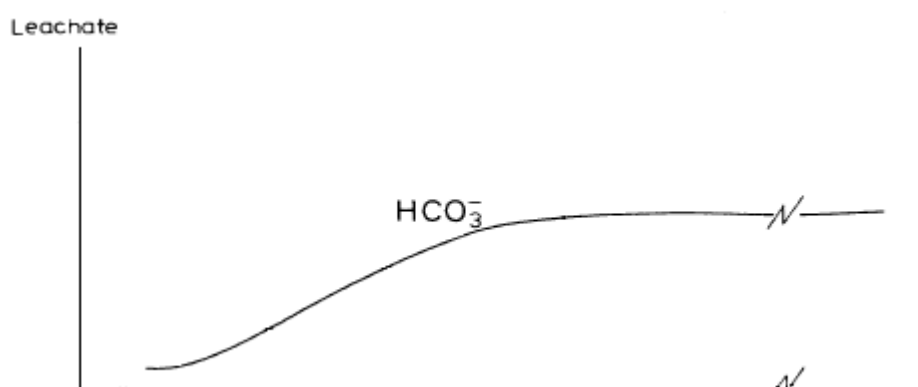


Fig. 4.14 - Andamento temporale dello ione idrogeno carbonato nel percolato (Fonte: Christensen e Kjeldsen, 1989).

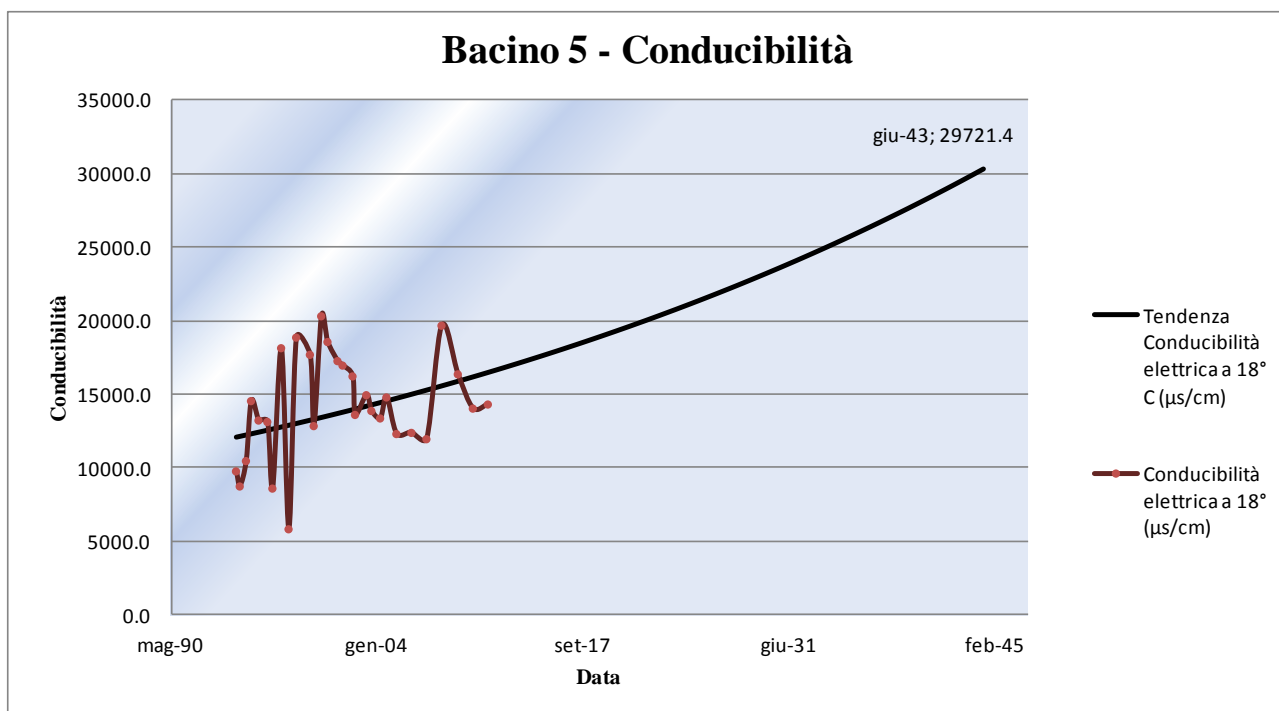


Fig. 4.15 - Andamento temporale della conducibilità elettrica nel percolato Sabar, Bacino 5.

4.5 - Analisi visiva del percolato

Ad ulteriore riprova del fenomeno della diluizione del percolato dei bacini 1, 2a, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 viene mostrata di seguito una foto scattata al momento del prelievo del percolato di ogni singolo bacino.

Il primo campione di sinistra è un percolato appartenente al bacino 14, di recente costruzione, in cui l'apporto di acqua dall'esterno è minimo grazie all'elevata impermeabilità dello strato di copertura. Si noti il colore scuro, quasi nero, del percolato in questione, ricco di inquinanti e sostanze organiche concentrate.

Da destra verso sinistra si possono osservare invece i percolati provenienti dai rimanenti bacini.

Il colore più chiaro di questi percolati è segno di una evidente diluizione dovuta all'infiltrazione delle acque meteoriche.

Anche la consistenza è estremamente variabile: i vecchi percolati sono acquosi rispetto ai recenti decisamente più densi.



Fig. 4.16 - Aspetto visivo del percolato di discarica per i differenti bacini.

In ordine da destra verso sinistra: bacino 1, 2a, 2b, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 14.

5 - Confronto tra soluzioni impiantistiche innovative per il trattamento del percolato: il caso S.A.Ba.R. Spa

Scopo di questo capitolo è quello di confrontare diversi impianti per il trattamento del percolato, studiati e progettati con lo scopo di depurare il percolato presente nella vasca centrale di stoccaggio all'interno dell'impianto gestito da Sabar Spa.

Tutti questi impianti sono basati su tecnologie innovative accoppiate a schemi classici per la depurazione delle acque reflue, come ad esempio il processo a fanghi attivi.

Come già anticipato nel capitolo 3, il percolato è un liquame molto difficile da trattare per le sue caratteristiche decisamente differenti rispetto ad un refluo classico come ad esempio, un liquame di fognatura.

Per ogni impianto studiato verrà redatta anche un'analisi dei costi, aspetto fondamentale di cui tener conto nella realizzazione di un'opera di questa portata.

In un primo momento per la stesura di questa analisi ci si è orientati verso un approccio di tipo teorico, approccio scartato a favore di uno più pratico in cui ci si è rapportati con diverse aziende italiane leader nel settore della depurazione.

Si è scelto di rientrare nei limiti allo scarico definiti dal d.lgs. 152/2006, parte terza, allegato V, tabella 3 - scarico in pubblica fognatura.

Di seguito vengono illustrati i tre impianti progettati.

5.1 - Trattamento biologico con microbioflottazione

In questo impianto è prevista una prima fase di trattamento in cui il percolato viene pompato dalle vasche di stoccaggio già presenti in Sabar, a una griglia in cui viene trattenuto il materiale grossolano.

Successivamente avviene una correzione del pH grazie all'aggiunta di acido cloridrico o acido solfidrico, con l'aggiunta di nutrienti (carbonio) in modo da favorire la formazione di un substrato organico e di una biomassa ottimali ai processi di riduzione del carico inquinante, avendo cura di bilanciare il rapporto C/N per ottenere una corretta denitrificazione.

Da qui la miscela viene scaricata alla vasca di pre - denitrificazione dotata di miscelatore e operante in condizioni anossiche.

Dalla vasca di pre - denitrificazione, il refluo viene scaricato per gravità alla vasca di ossidazione biologica in cui sono presenti solamente un miscelatore e un sistema innovativo di ossigenazione esterna. Una pompa centrifuga aspira il refluo dal fondo della vasca e lo distribuisce sotto pressione ai moduli di ossigenazione; qui il refluo si espande e si polverizza miscelandosi in regime turbolento con l'aria aspirata per effetto dell'espansione stessa. Di conseguenza l'ossigeno dell'aria, a contatto con il refluo in condizione di forte agitazione cinetica, si discioglie nel refluo stesso in modo più efficiente.

Inoltre un altro aspetto positivo da non sottovalutare è quello della semplicità di manutenzione, infatti con questo sistema non sono più necessarie manutenzioni ordinarie della vasca di trattamento biologico, con conseguente arresto dell'impianto e svuotamento delle vasche in grado di portare a tempi morti in alcuni casi molto lunghi.

La miscela areata viene successivamente pompata ad una vasca di filtrazione a membrana, la quale permette di separare dall'acqua trattata da inviare allo scarico, la biomassa e i fanghi filtrati.

Una parte di questi fanghi verrà poi ricircolato in testa all'impianto, mentre una parte verrà scaricato in un serbatoio di accumulo e smaltito successivamente in discarica.

Considerato i 18.000 m³ di percolato prodotti in un anno dalla discarica S.A.Ba.R. Spa e un funzionamento costante dell'impianto per 365 giorni all'anno, si ottengono circa 50 m³ da smaltire quotidianamente presso l'impianto.

Dall'analisi dei costi riportata di seguito è emerso un costo di smaltimento pari 7,75 euro circa per m³ di percolato smaltito, comprensivo di costi di gestione, ammortamento e manutenzione dell'impianto.

Il costo delle opere elettromeccaniche a cui vanno sommati i costi per la progettazione, del montaggio e dell'avviamento dell'impianto è stato stimato in circa 260.000 euro, a cui vanno aggiunti circa 200.000 euro di opere edili per la costruzione delle vasche e della platea.

L'ammortamento dei costi di progettazione, del montaggio e dell'avviamento ha una durata ventennale, l'ammortamento delle opere elettromeccaniche è invece decennale ed è previsto il loro totale ricambio al termine di tale periodo.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale delle opere edili è stato stimato come un 2% rispetto al costo totale delle opere edili.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale alle opere elettromeccaniche è stato stimato come un 10% rispetto al costo totale delle opere elettromeccaniche.

La distanza tra l'impianto e lo scarico in fognatura è di circa 2.500 metri e si è stimato un costo di 70 euro a metro lineare comprensivo di scavo, costo e posa della tubazione; l'ammortamento della fognatura è ventennale e lo smaltimento si aggira intorno a 0,4 euro per m³ (fonte: IREN Spa).

I costi di gestione sono di circa 3 euro per m³ di percolato trattato, comprensivi di ricambio delle membrane, correzione del pH, aggiunta di nutrienti (carbonio), costo della manodopera dell'operatore e costo dell'energia elettrica.

Costo opere elettromeccaniche: 260.000 €

Costo opere edili: 200.000 €

Costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo: 65.000 €

Costo totale impianto: 525.000 €

Costo totale fognatura: 175.000 €

Costi annuali:

Ammortamento dei costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo (20 anni): 3.250 €

Ammortamento delle opere edili (20 anni): 10.000 €

Ammortamento delle opere elettromeccaniche (10 anni): 26.000 €

Ammortamento della fognatura (20 anni): 8.750 €

Manutenzione ordinaria delle opere edili: 4.000 €

Manutenzione ordinaria delle opere elettromeccaniche: 26.000 €

Costo del conferimento in fognatura per 18.000 m³: 7200 €

Costo di gestione annuo: 54.000 €

Costo totale annuo dell'impianto: circa 136.000 €

Mancati interessi (2,5%): 3.400 €

Costo di smaltimento: **7,75** €/m³

Di seguito viene riportato uno schema dell'impianto.

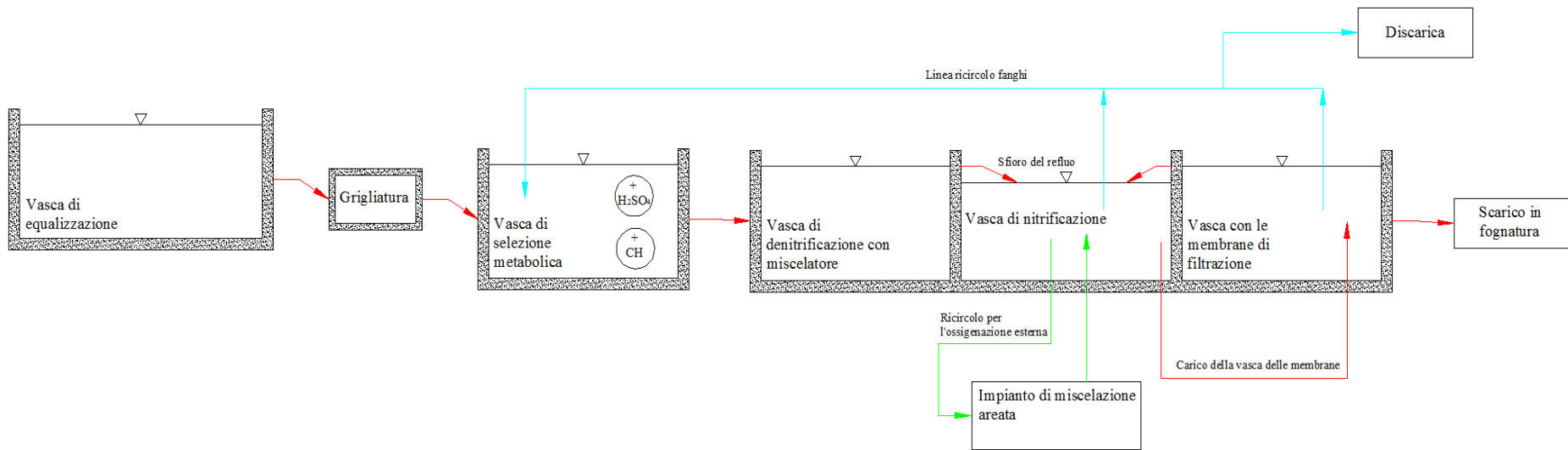


Fig. 5.1 - Schema dell'impianto di trattamento del percolato con cuore biologico e microbioflottazione

5.2 - Trattamento con ultrafiltrazione e osmosi inversa

In questo impianto è prevista una prima fase di trattamento in cui il percolato viene pompato dalle vasche di stoccaggio già presenti in S.A.Ba.R. Spa, a una griglia in cui viene trattenuto il materiale grossolano.

Da qui il refluo entra nella prima sezione, nel quale avviene il trattamento biologico in grado di eliminare una buona parte del carico inquinante; qui avviene l'ossidazione biologica del percolato (processo di nitrificazione) con una parziale ma importante rimozione dell'ammoniaca.

Anche in questo caso l'areazione del percolato avviene esternamente. In tal modo si riducono le spese di manutenzione e pulizia della vasca e si ottimizza con una maggior efficienza il trasferimento dell'ossigeno al refluo.

In questo serbatoio, che ha anche funzione di accumulo, verrà inserita una girante il cui scopo è quello di miscelare il refluo già presente con quello in arrivo dalla vasca di equalizzazione, mantenendo così un'ossigenazione uniforme nella vasca.

Associata a questa fase vi è una filtrazione a $0,01 \mu\text{m}$ in grado di separare il fango biologico per via fisica e chiarificare così l'affluente, eliminando il problema della formazione dei fiocchi colloidali e della loro sedimentabilità.

Le membrane ad ultrafiltrazione sono in grado di trattenere efficacemente tutte quelle macromolecole, come grassi, oli, sostanze colloidali le quali renderebbero difficile il funzionamento del successivo processo di osmosi inversa, operando al contempo una significativa riduzione del COD. I moduli di ultrafiltrazione sono posti esternamente alla vasca di ossidazione e sono alimentati da una pompa di ricircolo.

La seconda fase è costituita da un processo ad osmosi inversa a doppio stadio.

Il refluo chiarificato dal processo di ultrafiltrazione viene dapprima miscelato con acido cloridrico in una opportuna vasca per salificare l'ammoniaca residua.

In seguito passa al primo stadio di osmosi inversa in grado di operare ad una pressione di 20-40 bar su membrane a triplo strato polimeriche a spirale avvolta. Il concentrato in uscita da questo stadio viene ripreso dal secondo stadio ed ulteriormente concentrato ad una pressione di 70 bar. Eventualmente è possibile riprendere il permeato dal primo passaggio e mandarlo al secondo stadio per un ulteriore abbattimento degli inquinanti.



Fig. 5.2 - Membrane per osmosi inversa

L'osmosi inversa effettua una demineralizzazione spinta del refluo, eliminando di fatto gli inquinanti residui, metalli e altri sali disciolti.

Dall'analisi dei costi riportata di seguito è emerso un costo di smaltimento pari 10,75 euro circa per m³ di percolato smaltito, comprensivo di costi di gestione, ammortamento e manutenzione dell'impianto, considerando come nel caso precedente una portata di refluo in ingresso pari a 50 m³. Tutto il processo avviene all'interno di container che necessitano solamente di una platea di appoggio.

Il costo delle opere elettromeccaniche a cui vanno sommati i costi per la progettazione, del montaggio e dell'avviamento dell'impianto è stato stimato in circa 490.000 euro, a cui vanno aggiunti circa 40.000 euro di opere edili per la costruzione della platea e dei pozzi di raccolta di eventuali sversamenti di percolato.

L'ammortamento dei costi di progettazione, del montaggio e dell'avviamento ha una durata ventennale, l'ammortamento delle opere elettromeccaniche è invece decennale ed è previsto il loro totale ricambio al termine di tale periodo.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale delle opere edili è stato stimato come un 2% rispetto al costo totale delle opere edili.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale alle opere elettromeccaniche è stato stimato come un 10% rispetto al costo totale delle opere elettromeccaniche.

I costi di gestione sono di circa 5 euro per m³ di percolato trattato, comprensivi di ricambio delle membrane, correzione del pH, costo della manodopera dell'operatore e costo dell'energia elettrica.

Costo opere elettromeccaniche: 400.000 €

Costo opere edili: 40.000 €

Costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo: 90.000 €

Costo totale impianto: 530.000 €

Costo totale fognatura: 175.000 €

Costi annuali:

Ammortamento dei costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo (20 anni): 4.500 €

Ammortamento delle opere edili (20 anni): 2.000 €

Ammortamento delle opere elettromeccaniche (10 anni): 40.000 €

Ammortamento della fognatura (20 anni): 8.750 €

Manutenzione ordinaria delle opere edili: 800 €

Manutenzione ordinaria delle opere elettromeccaniche: 40.000 €

Costo del conferimento in fognatura per 18.000 m³: 7200 €

Costo di gestione annuo: 90.000 €

Costo totale annuo dell'impianto: circa 189.000 €

Mancati interessi (2,5%): 4700 €

Costo di smaltimento: **10,75 €/m³**

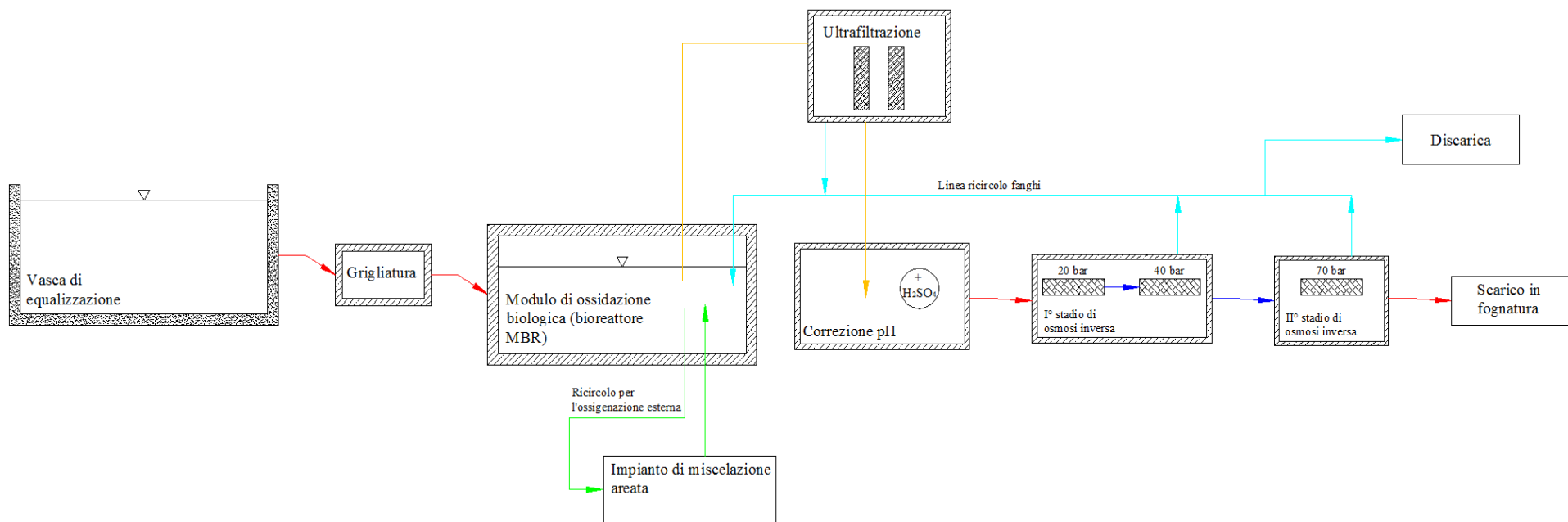


Fig. 5.3 - Schema dell'impianto di trattamento del percolato con bioreattore MBR e osmosi inversa a doppio stadio.

5.3 - Trattamento con impianto di evaporazione sotto vuoto e finissaggio delle condense attraverso un impianto SBR

Il percolato proveniente dalle vasche di stoccaggio viene inviato ad una vasca in acciaio al carbonio rivestita di materiale anticorrosivo e dotata di agitatori in cui, tramite una sonda di controllo del pH, avviene la salificazione dell'ammonio.

Successivamente il refluo entra nell'impianto di evaporazione, nel quale si realizzano due effetti contemporanei:

- evaporazione della fase acquosa successivamente recuperata attraverso la condensazione;
- concentrazione del residuo fino ad un valore ottimale prestabilito.

L'impianto è composto da un'unità evaporativa funzionante a circolazione forzata attraverso l'utilizzo di pompe, ed opera sottovuoto ad una pressione assoluta di circa 1 atmosfera.

La corrispondente temperatura di ebollizione del refluo è di circa 70°C.

Il refluo da trattare acquista calore nel suo passaggio all'interno del fascio tubiero, infatti il fluido riscaldante (acqua calda) circola nel mantello che contiene il fascio tubiero stesso.

Al momento dell'immissione nel separatore liquido-vapore avviene, a causa dell'improvvisa riduzione di pressione, l'evaporazione istantanea (espansione isoentalpica).

In sostanza il percolato subisce una evaporazione parziale grazie al calore ceduto dall'acqua calda prodotta dal recupero del calore dei motori di cogenerazione, già presenti in discarica e funzionanti a biogas.

In ogni caso viene prevista, di supporto, una centrale termica alimentata a metano e dimensionata per il totale fabbisogno termico dell'impianto.

Il vapore uscente viene condensato per contatto con il mantello in cui circola l'acqua di raffreddamento.

Raggiunta la concentrazione massima prestabilita, il concentrato residuo viene automaticamente estratto tramite pompa e inviato ad un serbatoio di raccolta per poi essere successivamente smaltito in discarica.

Le condense uscenti vengono raffreddate per mezzo di uno scambiatore di calore per poi essere inviate al trattamento biologico di finissaggio a fanghi attivi, in grado di garantire la rimozione finale degli inquinanti organici residui.

Il processo si avvale di un impianto SBR (capitolo 3.2) in cui avviene un trattamento di tipo aerobico a fanghi attivi ad aerazione prolungata, attraverso sequenze cicliche, realizzate in un'unica vasca.

Il ciclo di aerazione avviene per circa 18 ore al giorno e fornisce l'ossigeno richiesto dai microrganismi per l'ossidazione dell'azoto ammoniacale.

Nel secondo ciclo della durata di 4 ore avviene la sedimentazione; in questa fase il fango si deposita sul fondo della vasca e il liquido superficiale così chiarificato viene scaricato in fognatura, fino a che il livello della vasca SBR non scende ad un minimo prefissato in grado di consentire un nuovo ciclo di depurazione.

Infine è prevista una fase di filtrazione a doppio stadio, il primo realizzato in una colonna a sabbia, il secondo in colonna a carbone attivo.

Dall'analisi dei costi riportata di seguito è emerso un costo di smaltimento pari 14,90 euro circa per m³ di percolato smaltito, comprensivo di costi di gestione, ammortamento e manutenzione dell'impianto, considerando come nel caso precedente una portata di refluo in ingresso pari a 50 m³. L'impianto necessita di una platea di appoggio in cemento armato, di una vasca in muratura per il reattore SBR, di pozzi di raccolta del percolato eventualmente sversato e di un collegamento idraulico con scambiatore di calore dall'impianto di trattamento all'impianto di cogenerazione.

Il costo delle opere elettromeccaniche a cui vanno sommati i costi per la progettazione, del montaggio e dell'avviamento dell'impianto è stato stimato in circa 800.000 euro, a cui vanno aggiunti circa 100.000 euro di opere edili.

L'ammortamento dei costi di progettazione, del montaggio e dell'avviamento ha una durata ventennale, l'ammortamento delle opere elettromeccaniche è invece decennale ed è previsto il loro totale ricambio al termine di tale periodo.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale delle opere edili è stato stimato come un 2% rispetto al costo totale delle opere edili.

Il costo della manutenzione ordinaria annuale alle opere elettromeccaniche è stato stimato come un 10% rispetto al costo totale delle opere elettromeccaniche.

I costi di gestione sono di circa 5,5 euro per m³ di percolato trattato, comprensivi di correzione del pH, costo della manodopera dell'operatore, costo dell'energia elettrica e ricambi delle membrane di ultrafiltrazione.

Costo opere elettromeccaniche: 700.000 €

Costo opere edili: 100.000 €

Costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo: 100.000 €

Costo totale impianto: 900.000 €

Costo totale fognatura: 175.000 €

Costi annuali:

Ammortamento dei costi di progettazione, montaggio, avviamento e collaudo (20 anni): 5.000 €

Ammortamento delle opere edili (20 anni): 5.000 €

Ammortamento delle opere elettromeccaniche (10 anni): 70.000 €

Ammortamento della fognatura (20 anni): 8.750 €

Manutenzione ordinaria delle opere edili: 2000 €

Manutenzione ordinaria delle opere elettromeccaniche: 70.000 €

Costo del conferimento in fognatura per 18.000 m³: 7200 €

Costo di gestione annuo: 99.000 €

Costo totale annuo dell'impianto: circa 262.000 €

Mancati interessi (2,5%): 6500 €

Costo di smaltimento: **14,90 €/m³**

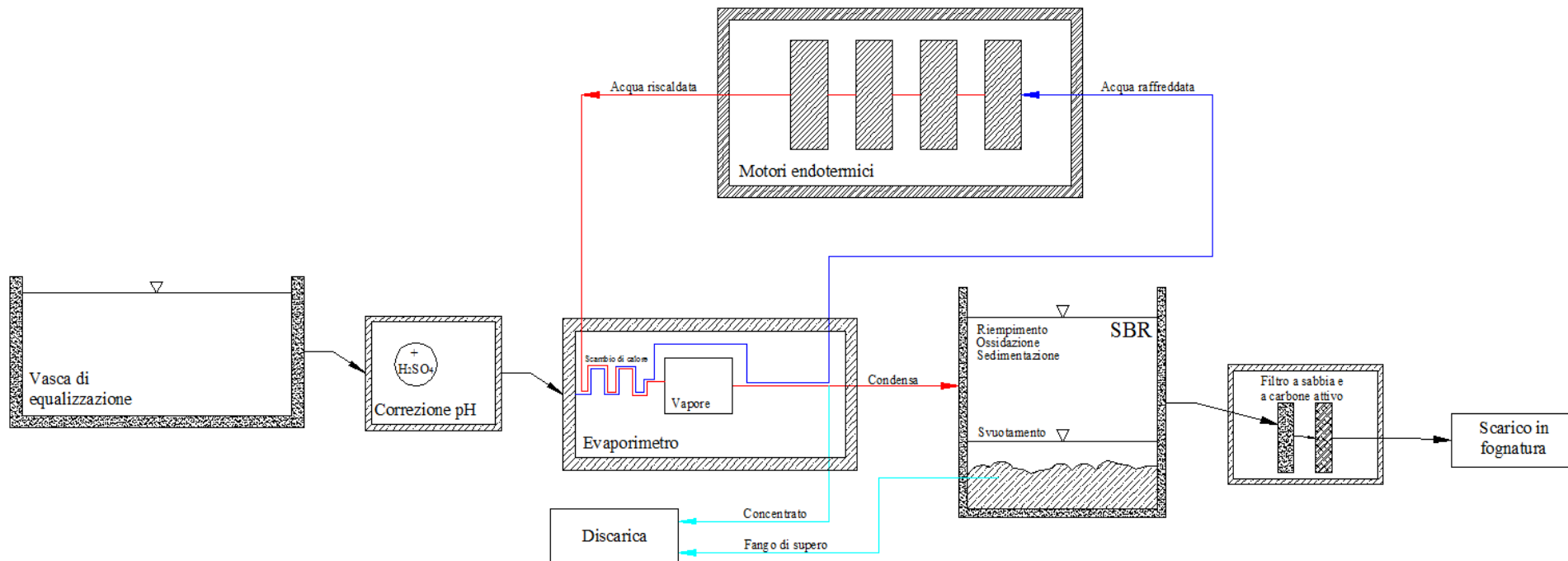


Fig. 5.4 - Schema dell'impianto di trattamento del percolato con evaporimetro e impianto SBR per il finissaggio delle condense.

6 - Conclusioni

Le ricerche condotte nella stesura di questa tesi hanno avuto come oggetto l'analisi del percolato di discarica e del suo smaltimento, analizzando in particolare il caso della discarica di Novellara gestita da S.A.Ba.R. Spa.

La prima parte di questa tesi, ad approccio teorico, ha riguardato l'evoluzione qualitativa del percolato lungo un determinato arco di tempo.

Le linee di tendenza utilizzate hanno rappresentato, con buona approssimazione, l'andamento qualitativo dei sei parametri analizzati del percolato proveniente dai bacini più vecchi.

I risultati ottenuti dall'analisi dei sei parametri sono stati rapportati coi dati teorici della trattazione letteraria sul percolato.

Dal confronto dei rispettivi dati sono emerse anomalie dovute ad un'importante diluizione del percolato causata da precipitazioni meteoriche che, infiltrandosi nel pacchetto di copertura del bacino, percolano nel rifiuto.

Lo studio ha inoltre dimostrato l'impossibilità di scaricare in futuro il percolato direttamente in fognatura in quanto il C.O.D. e soprattutto lo ione ammonio non rientrano nei limiti di scarico, fermo restando la validità dell'attuale normativa (d.lgs. 152/2006).

La seconda parte di questa tesi, ad approccio applicativo, ha posto a confronto diverse soluzioni progettuali per un impianto di depurazione del percolato di discarica, integrando la parte tecnica con un'analisi dei costi.

Sono stati progettati tre differenti impianti in grado di trattare il percolato raccolto quotidianamente presso l'impianto gestito da S.A.Ba.R. Spa.

Successivamente ci si è avvalso della consulenza di aziende italiane leader nel settore del trattamento delle acque reflue, in modo da ottenere una corretta analisi dei costi di impianto in linea con gli attuali costi di mercato.

Il primo, un classico impianto a fanghi attivi dotato di un dispositivo esterno per l'ossigenazione, è risultato essere il più economico, con un costo di smaltimento pari a circa 7,75 € a m³ di percolato trattato.

Il secondo, un impianto a membrane ad ultrafiltrazione e a osmosi inversa, è risultato essere il più economico in termini di spazio ma non altrettanto in termini di spesa, prevedendo un costo di smaltimento pari a circa 10,75 € a m³ di percolato trattato.

Il terzo impianto, ad evaporazione sotto vuoto e finissaggio delle condense in vasche SBR, è caratterizzato da un alto rendimento di depurazione ma ha presentato lo svantaggio di un elevato costo di smaltimento, pari a 14,90 € a m³ di percolato trattato.

In conclusione, con questa tesi si è dimostrata l'estrema variabilità del comportamento del percolato nonché la sua possibile trattabilità all'interno di un impianto dedicato nella discarica gestita da S.A.Ba.R. Spa.

Bibliografia

- Qasim, S.R., Chiang, W., "Sanitary Landfill Leachate", CRC PRESS, Boca Raton, 1994.
- Bonomo, L., "Trattamenti delle acque reflue", MCGRAW-HILL, Milano, 2007.
- Bianucci, G., Bianucci, E.R., "Il trattamento delle acque inquinate", HOEPLI, Milano, 1998.
- Maglia, S., "Diritto Ambientale", IPSOA, Milano, 2009.
- Maione, U., "Le piene fluviali", LA GOLIARDICA PAVESE, Milano, 1995.
- Cossu, R., Diaz, L.F., Stegmann, R., "Sardinia 2009 Symposium", CISA PUBLISHER, Padova, 2009.
- Cossu, R., He, P., L.F., Stegmann, R., Kjeldsen, P., Matsufuji, Y., Reinhart, D., "Sardinia 2011 Symposium", CISA PUBLISHER, Padova, 2011.
- Cossu, R., Raga, R., "Leachate generation, Collection and Treatment".
- Lombardi, L., Pecorini, I., "Il percolato da discarica".
- Plano, S., "Descrizione del principio di funzionamento dei sistemi SBR".
- Relazione annuale 2011 di S.A.Ba.R. Spa.
- Dichiarazione ambientale 2011 di S.A.Ba.R. Spa.

Siti internet

- http://it.wikipedia.org/wiki/Trattamento_delle_acque_reflue . Data visita: Maggio 2012.
- http://it.wikipedia.org/wiki/Processo_a_membrana#Applicazioni_della_tecnologia_MBR_al_trattamento_delle_acque_reflue . Data visita: Maggio 2012.
- <http://www.lenntech.com/products/membrane/osmonics/osmonics.htm?gclid=CIWyvOD4z7ACFUrP3wodsR4dMg>

Appendice 1 - Dati tabellari

Di seguito vengono riportati in tabelle i valori dei parametri studiati nella presente tesi, per i bacini più anziani della discarica gestita da S.A.Ba.R. Spa. Gli invasi più giovani (9 - 20), non sono stati presi in considerazione in quanto non si dispone, al momento della discussione di questa tesi, di un numero sufficiente di analisi in grado di validare il metodo adottato.

Per i bacini 1, 2a, 3, 5, 6, 7 le analisi a disposizione risalgono al mese di settembre dell'anno 1994.

Per il bacino 4 le analisi a disposizione risalgono al mese di marzo dell'anno 1998.

Per il bacino 8 le analisi a disposizione risalgono al mese di marzo dell'anno 1996.

I parametri presi in considerazione per ogni bacino sono (tra parentesi l'unità di misura):

- pH (-)
- B.O.D. (mg/l)
- C.O.D. (mg/l)
- NH₄ (mg/l)
- P (mg/l)
- Conducibilità elettrica a 18° (μs/cm)

Sono colorati di azzurro solo i mesi di cui si dispone di analisi di laboratorio sul percolato tal quale.

Alcuni dati non sono stati volutamente considerati in quanto ritenuti non attendibili.

A.1.1 - Bacino 1

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.5	7.4
dic-94	7.6	7.4
mag-95	7.7	7.4
set-95	7.7	7.4
mar-96	7.6	7.4
ott-96	7.2	7.4
feb-97	7.3	7.4
set-97	7.3	7.4
mar-98	7.3	7.4
set-98	7.4	7.4
ago-99	7.4	7.4
nov-99	7.6	7.4
mag-00	7.2	7.4
ott-00	7.3	7.4
giu-01	7.4	7.4
ott-01	7.4	7.4
ago-02	7.6	7.4
mag-03	7.3	7.4
set-03	7.4	7.4
apr-04	7.3	7.4
set-04	7.3	7.4
mag-05	7.4	7.4
mag-06	7.3	7.4
mag-07	7.6	7.4
mag-08	7.4	7.4
giu-09	7.5	7.4
giu-10	7.5	7.4
giu-11	7.7	7.4
giu-12		7.4
giu-13		7.4
giu-14		7.4
giu-15		7.4
giu-16		7.4
giu-17		7.4
giu-18		7.4

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	330.0	74.1
dic-94	113.0	73.7
mag-95	79.0	73.0
set-95	35.0	72.4
mar-96	117.0	71.6
ott-96	62.0	70.6
feb-97	224.0	70.0
set-97	31.0	69.1
mar-98	368.0	68.3
set-98	52.0	67.5
ago-99	26.0	66.1
nov-99	32.0	65.7
mag-00	48.0	64.9
ott-00	43.0	64.3
giu-01	26.0	63.3
ott-01	62.0	62.8
giu-02	113.0	61.9
ago-02	46.0	61.6
mag-03	62.0	60.6
set-03	42.0	60.1
apr-04	50.0	59.3
set-04	10.0	58.7
mag-05	44.0	57.8
mag-06	30.0	56.5
mag-07	84.0	55.2
mag-08	28.0	53.9
giu-09	115.0	52.6
giu-10	80.0	51.3
giu-11	280.0	50.2
giu-12		49.0
giu-13		47.9
giu-14		46.8
giu-15		45.7
giu-16		44.6
giu-17		43.6

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-19		7.4
giu-20		7.4
giu-21		7.4
giu-22		7.4
giu-23		7.4
giu-24		7.4
giu-25		7.4
giu-26		7.4
giu-27		7.4
giu-28		7.4
giu-29		7.4
giu-30		7.4
giu-31		7.4
giu-32		7.4
giu-33		7.4
giu-34		7.4
giu-35		7.4
giu-36		7.4
giu-37		7.4
giu-38		7.4
giu-39		7.4
giu-40		7.4
giu-41		7.4
giu-42		7.4
giu-43		7.4
giu-44		7.4

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		42.6
giu-19		41.6
giu-20		40.7
giu-21		39.7
giu-22		38.8
giu-23		37.9
giu-24		37.1
giu-25		36.2
giu-26		35.4
giu-27		34.6
giu-28		33.8
giu-29		33.0
giu-30		32.2
giu-31		31.5
giu-32		30.8
giu-33		30.0
giu-34		29.4
giu-35		28.7
giu-36		28.0
giu-37		27.4
giu-38		26.7
giu-39		26.1
giu-40		25.5
giu-41		24.9
giu-42		24.4
giu-43		23.8
giu-44		23.3

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	1600.0	1227.6
dic-94	1980.0	1216.2
mag-95	1120.0	1197.4
set-95	985.0	1182.3
mar-96	1175.0	1160.3
ott-96	923.0	1135.0
feb-97	880.0	1120.7
set-97	957.0	1096.5
mar-98	965.0	1076.2
set-98	941.0	1056.0
ago-99	970.0	1020.3
nov-99	900.0	1010.7
mag-00	1022.0	991.9
ott-00	754.0	976.4
giu-01	1220.0	952.2
ott-01	2110.0	940.3
giu-02	762.0	917.1
ago-02	1053.0	911.3
mag-03	1090.0	886.0
set-03	1000.0	874.9
apr-04	900.0	855.9
set-04	720.0	842.5
mag-05	680.0	821.8
mag-06	400.0	791.4
mag-07	618.0	762.2
mag-08	755.0	734.0
giu-09	895.0	704.6
giu-10	635.0	678.6
giu-11	900.0	653.6
giu-12		629.4
giu-13		606.1
giu-14		583.8
giu-15		562.2
giu-16		541.4
giu-17		521.4
giu-18		502.2
giu-19		483.6
giu-20		465.7
giu-21		448.5

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	1770.0	1281.2
dic-94	1600.0	1271.3
mag-95	1340.0	1255.1
set-95	1240.0	1242.0
mar-96	1390.0	1222.9
ott-96	1440.0	1200.9
feb-97	676.0	1188.4
set-97	564.0	1167.2
mar-98	1110.0	1149.4
set-98	956.0	1131.5
ago-99	1290.0	1099.9
nov-99	1300.0	1091.3
mag-00	1160.0	1074.5
ott-00	1030.0	1060.6
giu-01	1170.0	1039.0
ott-01	1580.0	1028.2
giu-02	534.0	1007.2
ago-02	1010.0	1002.0
mag-03	1224.0	979.0
set-03	1256.0	968.8
apr-04	1080.0	951.5
set-04	944.0	939.2
mag-05	1040.0	920.0
mag-06	632.0	891.9
mag-07	490.0	864.7
giu-09	907.0	810.5
giu-10	814.0	785.7
giu-11	1020.0	761.7
giu-12		738.4
giu-13		715.8
giu-14		693.9
giu-15		672.7
giu-16		652.1
giu-17		632.2
giu-18		612.9
giu-19		594.2
giu-20		576.0
giu-21		558.4
giu-22		541.3

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		432.0
giu-23		416.0
giu-24		400.6
giu-25		385.8
giu-26		371.6
giu-27		357.9
giu-28		344.6
giu-29		331.9
giu-30		319.7
giu-31		307.9
giu-32		296.5
giu-33		285.5
giu-34		275.0
giu-35		264.8
giu-36		255.0
giu-37		245.6
giu-38		236.5
giu-39		227.8
giu-40		219.4
giu-41		211.3
giu-42		203.5
giu-43		196.0
giu-44		188.7

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-23		524.8
giu-24		508.7
giu-25		493.1
giu-26		478.1
giu-27		463.5
giu-28		449.3
giu-29		435.6
giu-30		422.2
giu-31		409.3
giu-32		396.8
giu-33		384.7
giu-34		372.9
giu-35		361.5
giu-36		350.5
giu-37		339.8
giu-38		329.4
giu-39		319.3
giu-40		309.5
giu-41		300.1
giu-42		290.9
giu-43		282.0
giu-44		273.4

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	6.4	7.1
dic-94	4.4	7.0
mag-95	7.6	6.8
set-95	6.4	6.7
mar-96	10.1	6.5
ott-96	4.7	6.3
feb-97	6.7	6.2
set-97	7.1	6.0
mar-98	7.0	5.9
set-98	5.8	5.7
ago-99	5.5	5.5
nov-99	6.4	5.4
mag-00	6.4	5.2
ott-00	6.1	5.1
giu-01	6.8	5.0
ott-01	8.6	4.9
giu-02	1.5	4.7
ago-02	4.8	4.7
mag-03	7.2	4.5
set-03	5.7	4.4
apr-04	0.7	4.3
set-04	3.5	4.2
mag-05	5.7	4.0
mag-06	2.0	3.8
mag-07	8.1	3.6
mag-08	4.0	3.4
giu-09	4.2	3.3
giu-10	4.6	3.1
giu-11	1.8	2.9
giu-12		2.8
giu-13		2.6
giu-14		2.5
giu-15		2.4
giu-16		2.3
giu-17		2.1
giu-18		2.0
giu-19		1.9
giu-20		1.8
giu-21		1.7

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	11645.0	9122.1
dic-94	7872.0	9130.4
mag-95	9370.0	9144.2
set-95	9190.0	9155.4
mar-96	10020.0	9172.0
ott-96	8429.0	9191.6
feb-97	6160.0	9202.9
set-97	10770.0	9222.4
mar-98	4560.0	9239.1
set-98	10690.0	9256.1
ago-99	9840.0	9286.9
nov-99	11900.0	9295.5
mag-00	11400.0	9312.4
ott-00	9600.0	9326.6
giu-01	10460.0	9349.2
ott-01	13890.0	9360.6
giu-02	6801.0	9383.3
ago-02	9986.0	9389.0
mag-03	13390.0	9414.6
set-03	11300.0	9426.2
apr-04	10120.0	9446.3
set-04	10060.0	9460.7
mag-05	9260.0	9483.6
mag-06	3380.0	9518.1
mag-07	8688.0	9552.9
mag-08	12550.0	9587.8
giu-09	10270.0	9625.8
giu-10	9320.0	9660.9
giu-11	10630.0	9696.1
giu-12		9731.6
giu-13		9767.1
giu-14		9802.7
giu-15		9838.5
giu-16		9874.5
giu-17		9910.5
giu-18		9946.6
giu-19		9982.9
giu-20		10019.4
giu-21		10056.0

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		1.6
giu-23		1.6
giu-24		1.5
giu-25		1.4
giu-26		1.3
giu-27		1.3
giu-28		1.2
giu-29		1.1
giu-30		1.1
giu-31		1.0
giu-32		1.0
giu-33		0.9
giu-34		0.9
giu-35		0.8
giu-36		0.8
giu-37		0.7
giu-38		0.7
giu-39		0.7
giu-40		0.6
giu-41		0.6
giu-42		0.6
giu-43		0.5
giu-44		0.5

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		10092.7
giu-23		10129.5
giu-24		10166.5
giu-25		10203.6
giu-26		10240.9
giu-27		10278.2
giu-28		10315.8
giu-29		10353.4
giu-30		10391.2
giu-31		10429.1
giu-32		10467.3
giu-33		10505.4
giu-34		10543.8
giu-35		10582.2
giu-36		10620.9
giu-37		10659.7
giu-38		10698.6
giu-39		10737.6
giu-40		10776.9
giu-41		10816.2
giu-42		10855.6
giu-43		10895.2
giu-44		10935.1

A.1.2 - Bacino 2a

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.5	7.5
dic-94	7.6	7.5
mag-95	8.0	7.5
set-95	7.5	7.5
mar-96	7.5	7.5
ott-96	7.5	7.5
feb-97	7.5	7.5
set-97	7.4	7.5
mar-98	7.5	7.5
set-98	7.6	7.5
ago-99	7.5	7.5
nov-99	7.8	7.5
mag-00	7.2	7.5
ott-00	7.2	7.5
giu-01	7.5	7.5
ott-01	7.4	7.5
ago-02	7.8	7.6
mag-03	7.2	7.6
set-03	7.5	7.6
apr-04	7.4	7.6
set-04	7.5	7.6
mag-05	7.8	7.6
mag-06	7.3	7.6
mag-07	7.7	7.6
mag-08	7.3	7.6
giu-09	7.7	7.6
giu-10	7.8	7.6
giu-11	8.1	7.6
giu-12		7.6
giu-13		7.6
giu-14		7.7
giu-15		7.7
giu-16		7.7
giu-17		7.7
giu-18		7.7

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	344.0	131.8
dic-94	94.0	130.7
mag-95	190.0	129.0
set-95	360.0	127.6
mar-96	72.0	125.6
ott-96	95.0	123.2
feb-97	368.0	121.9
set-97	101.0	119.6
mar-98	640.0	117.7
set-98	112.0	115.8
ago-99	86.0	112.4
nov-99	77.0	111.5
mag-00	48.0	109.7
ott-00	18.0	108.2
giu-01	130.0	105.9
ott-01	42.0	104.8
giu-02	24.0	102.6
ago-02	124.0	102.0
mag-03	96.0	99.6
set-03	67.0	98.5
apr-04	128.0	96.6
set-04	78.0	95.3
mag-05	64.0	93.3
mag-06	120.0	90.4
mag-07	144.0	87.5
mag-08	37.0	84.7
giu-09	120.0	81.8
giu-10	155.0	79.2
giu-11	230.0	76.6
giu-12		74.2
giu-13		71.8
giu-14		69.5
giu-15		67.3
giu-16		65.2
giu-17		63.1

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-19		7.7
giu-20		7.7
giu-21		7.7
giu-22		7.7
giu-23		7.7
giu-24		7.7
giu-25		7.8
giu-26		7.8
giu-27		7.8
giu-28		7.8
giu-29		7.8
giu-30		7.8
giu-31		7.8
giu-32		7.8
giu-33		7.8
giu-34		7.8
giu-35		7.8
giu-36		7.8
giu-37		7.9
giu-38		7.9
giu-39		7.9
giu-40		7.9
giu-41		7.9
giu-42		7.9
giu-43		7.9
giu-44		7.9

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		61.1
giu-19		59.2
giu-20		57.3
giu-21		55.4
giu-22		53.7
giu-23		52.0
giu-24		50.3
giu-25		48.7
giu-26		47.2
giu-27		45.7
giu-28		44.2
giu-29		42.8
giu-30		41.4
giu-31		40.1
giu-32		38.8
giu-33		37.6
giu-34		36.4
giu-35		35.2
giu-36		34.1
giu-37		33.0
giu-38		32.0
giu-39		31.0
giu-40		30.0
giu-41		29.0
giu-42		28.1
giu-43		27.2
giu-44		26.3

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	1820.0	1727.8
dic-94	2215.0	1720.8
mag-95	2300.0	1709.3
set-95	1810.0	1700.0
mar-96	650.0	1686.3
ott-96	1770.0	1670.3
feb-97	1930.0	1661.2
set-97	1707.0	1645.6
mar-98	1899.0	1632.4
set-98	1860.0	1619.1
ago-99	1770.0	1595.2
nov-99	1940.0	1588.7
mag-00	1022.0	1575.9
ott-00	653.0	1565.2
giu-01	2440.0	1548.4
ott-01	1640.0	1540.0
giu-02	853.0	1523.5
ago-02	1842.0	1519.4
mag-03	1820.0	1501.0
set-03	1800.0	1492.9
apr-04	1417.0	1478.8
set-04	1552.0	1468.8
mag-05	1883.0	1453.0
mag-06	1760.0	1429.7
mag-07	1610.0	1406.6
mag-08	870.0	1383.9
giu-09	1505.0	1359.8
giu-10	1950.0	1337.9
giu-11	900.0	1316.4
giu-12		1295.1
giu-13		1274.3
giu-14		1253.8
giu-15		1233.6
giu-16		1213.7
giu-17		1194.1
giu-18		1174.9
giu-19		1156.0
giu-20		1137.3
giu-21		1119.0

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	1830.0	1497.4
dic-94	1580.0	1495.7
mag-95	2100.0	1493.0
set-95	1510.0	1490.8
mar-96	980.0	1487.6
ott-96	2150.0	1483.8
feb-97	1044.0	1481.6
set-97	817.0	1477.9
mar-98	750.0	1474.7
set-98	2030.0	1471.4
ago-99	2120.0	1465.6
nov-99	2400.0	1464.0
mag-00	1160.0	1460.8
ott-00	786.0	1458.1
giu-01	2630.0	1453.9
ott-01	1350.0	1451.8
giu-02	786.0	1447.5
ago-02	2340.0	1446.5
mag-03	1272.0	1441.8
set-03	1924.0	1439.7
apr-04	1715.0	1436.0
set-04	1182.0	1433.4
mag-05	2325.0	1429.2
mag-06	2212.0	1423.0
mag-07	1230.0	1416.8
mag-08	710.0	1410.6
giu-09	1355.0	1404.0
giu-10	2140.0	1397.9
giu-11	1020.0	1391.8
giu-12		1385.7
giu-13		1379.7
giu-14		1373.7
giu-15		1367.7
giu-16		1361.7
giu-17		1355.8
giu-18		1349.9
giu-19		1344.0
giu-20		1338.1
giu-21		1332.3

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		1101.0
giu-23		1083.3
giu-24		1065.8
giu-25		1048.6
giu-26		1031.8
giu-27		1015.2
giu-28		998.8
giu-29		982.7
giu-30		966.9
giu-31		951.3
giu-32		936.0
giu-33		920.9
giu-34		906.1
giu-35		891.5
giu-36		877.1
giu-37		863.0
giu-38		849.1
giu-39		835.4
giu-40		821.9
giu-41		808.7
giu-42		795.7
giu-43		782.9
giu-44		770.2

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-22		1326.5
giu-23		1320.7
giu-24		1315.0
giu-25		1309.2
giu-26		1303.5
giu-27		1297.9
giu-28		1292.2
giu-29		1286.6
giu-30		1281.0
giu-31		1275.4
giu-32		1269.8
giu-33		1264.3
giu-34		1258.8
giu-35		1253.3
giu-36		1247.8
giu-37		1242.4
giu-38		1237.0
giu-39		1231.6
giu-40		1226.2
giu-41		1220.9
giu-42		1215.6
giu-43		1210.3
giu-44		1205.0

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	6.4	7.2
dic-94	6.0	7.2
mag-95	5.3	7.1
set-95	5.9	7.0
mar-96	6.0	6.8
ott-96	7.2	6.7
feb-97	7.1	6.6
set-97	14.5	6.4
mar-98	6.7	6.3
set-98	6.2	6.2
ago-99	6.6	6.0
nov-99	6.9	5.9
mag-00	6.4	5.8
ott-00	3.4	5.7
giu-01	11.1	5.5
ott-01	3.8	5.5
giu-02	2.4	5.3
ago-02	8.3	5.3
mag-03	7.1	5.1
set-03	7.7	5.1
apr-04	0.8	5.0
set-04	5.5	4.9
mag-05	8.5	4.7
mag-06	6.2	4.6
mag-07	9.2	4.4
mag-08	3.5	4.2
giu-09	3.1	4.0
giu-10	6.6	3.9
giu-11	1.8	3.7
giu-12		3.6
giu-13		3.4
giu-14		3.3
giu-15		3.2
giu-16		3.1
giu-17		2.9
giu-18		2.8
giu-19		2.7
giu-20		2.6
giu-21		2.5

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	12200.0	8017.8
dic-94	8160.0	8134.4
mag-95	12070.0	8331.8
set-95	1080.0	8496.0
mar-96	8600.0	8745.1
ott-96	11270.0	9047.2
feb-97	7315.0	9225.6
set-97	15230.0	9541.3
mar-98	5400.0	9819.4
set-98	15000.0	10110.4
ago-99	14850.0	10660.9
nov-99	16240.0	10817.7
mag-00	11400.0	11134.8
ott-00	10210.0	11408.5
giu-01	18290.0	11857.2
ott-01	12350.0	12089.0
giu-02	10770.0	12564.4
ago-02	17856.0	12686.7
mag-03	13590.0	13248.5
set-03	15602.0	13509.7
apr-04	14260.0	13974.3
set-04	17080.0	14317.8
mag-05	17850.0	14878.5
mag-06	17660.0	15766.0
mag-07	15870.0	16706.4
mag-08	12650.0	17705.7
giu-09	14500.0	18854.3
giu-10	16650.0	19979.0
giu-11	19390.0	21170.7
giu-12		22437.0
giu-13		23775.3
giu-14		25193.5
giu-15		26696.2
giu-16		28293.1
giu-17		29980.7
giu-18		31769.0
giu-19		33663.9
giu-20		35677.6
giu-21		37805.7

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		2.4
giu-23		2.3
giu-24		2.2
giu-25		2.1
giu-26		2.1
giu-27		2.0
giu-28		1.9
giu-29		1.8
giu-30		1.8
giu-31		1.7
giu-32		1.6
giu-33		1.6
giu-34		1.5
giu-35		1.4
giu-36		1.4
giu-37		1.3
giu-38		1.3
giu-39		1.2
giu-40		1.2
giu-41		1.1
giu-42		1.1
giu-43		1.0
giu-44		1.0

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		40060.7
giu-23		42450.2
giu-24		44989.5
giu-25		47673.0
giu-26		50516.6
giu-27		53529.8
giu-28		56731.7
giu-29		60115.6
giu-30		63701.4
giu-31		67501.1
giu-32		71538.7
giu-33		75805.8
giu-34		80327.5
giu-35		85118.9
giu-36		90210.3
giu-37		95591.2
giu-38		101293.0
giu-39		107334.9
giu-40		113755.3
giu-41		120540.5
giu-42		127730.5
giu-43		135349.3
giu-44		143445.4

A.1.3 - Bacino 3

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.9	7.7
dic-94	7.8	7.7
set-95	7.8	7.7
mar-96	7.7	7.7
ott-96	7.5	7.7
feb-97	7.6	7.7
set-97	7.5	7.7
mar-98	7.5	7.7
set-98	7.6	7.7
ago-99	7.6	7.7
nov-99	7.8	7.7
mag-00	7.6	7.6
ott-00	7.5	7.6
giu-01	7.7	7.6
ott-01	7.5	7.6
giu-02	7.8	7.6
ago-02	7.8	7.6
mag-03	7.5	7.6
set-03	7.5	7.6
apr-04	7.4	7.6
set-04	7.7	7.6
mag-05	7.7	7.6
mag-06	7.5	7.6
mag-07	7.8	7.6
mag-08	7.6	7.6
giu-09	7.4	7.6
giu-10	7.6	7.6
giu-11	8.0	7.6
giu-12		7.6
giu-13		7.6
giu-14		7.6
giu-15		7.6
giu-16		7.6
giu-17		7.6
giu-18		7.6

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	1040.0	182.0
dic-94	154.0	180.7
mag-95	144.0	178.7
set-95	92.0	177.0
mar-96	120.0	174.6
ott-96	150.0	171.8
feb-97	200.0	170.2
set-97	157.0	167.5
mar-98	920.0	165.3
set-98	400.0	163.0
ago-99	80.0	158.9
nov-99	78.0	157.8
mag-00	128.0	155.7
ott-00	133.0	153.9
giu-01	76.0	151.1
ott-01	82.0	149.7
giu-02	106.0	147.0
ago-02	149.0	146.3
mag-03	136.0	143.3
set-03	134.0	142.0
apr-04	152.0	139.7
set-04	88.0	138.1
mag-05	60.0	135.6
mag-06	134.0	132.0
mag-07	160.0	128.4
mag-08	155.0	124.9
giu-09	220.0	121.2
giu-10	150.0	117.9
giu-11	175.0	114.7
giu-12		111.6
giu-13		108.6
giu-14		105.6
giu-15		102.7
giu-16		100.0
giu-17		97.2

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-19		7.6
giu-20		7.6
giu-21		7.6
giu-22		7.6
giu-23		7.6
giu-24		7.6
giu-25		7.6
giu-26		7.6
giu-27		7.6
giu-28		7.6
giu-29		7.6
giu-30		7.6
giu-31		7.6
giu-32		7.6
giu-33		7.6
giu-34		7.6
giu-35		7.6
giu-36		7.5
giu-37		7.5
giu-38		7.5
giu-39		7.5
giu-40		7.5
giu-41		7.5
giu-42		7.5
giu-43		7.5
giu-44		7.5

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		94.6
giu-19		92.0
giu-20		89.5
giu-21		87.1
giu-22		84.7
giu-23		82.4
giu-24		80.2
giu-25		78.0
giu-26		75.9
giu-27		73.8
giu-28		71.8
giu-29		69.9
giu-30		68.0
giu-31		66.1
giu-32		64.3
giu-33		62.6
giu-34		60.9
giu-35		59.2
giu-36		57.6
giu-37		56.0
giu-38		54.5
giu-39		53.0
giu-40		51.6
giu-41		50.2
giu-42		48.8
giu-43		47.5
giu-44		46.2

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	3790.0	3136.7
dic-94	4270.0	3123.6
mag-95	3640.0	3101.9
set-95	3340.0	3084.4
mar-96	3310.0	3058.6
ott-96	2938.0	3028.6
feb-97	2760.0	3011.5
set-97	2767.0	2982.2
mar-98	2686.0	2957.4
set-98	3018.0	2932.5
ago-99	2730.0	2887.7
nov-99	2690.0	2875.4
mag-00	2890.0	2851.4
ott-00	2460.0	2831.4
giu-01	2460.0	2799.9
ott-01	2990.0	2784.2
giu-02	2495.0	2753.2
ago-02	2225.0	2745.4
mag-03	2490.0	2711.1
set-03	2500.0	2695.8
apr-04	2551.0	2669.5
set-04	2144.0	2650.7
mag-05	2427.0	2621.3
mag-06	2160.0	2577.6
mag-07	2320.0	2534.6
mag-08	2668.0	2492.2
giu-09	3810.0	2447.1
giu-10	2585.0	2406.3
giu-11	2990.0	2366.2
giu-12		2326.6
giu-13		2287.8
giu-14		2249.6
giu-15		2212.1
giu-16		2175.1
giu-17		2138.8
giu-18		2103.1
giu-19		2068.0
giu-20		2033.5
giu-21		1999.5

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	2690.0	2005.1
dic-94	2020.0	2002.0
mag-95	2350.0	1996.7
set-95	2370.0	1992.5
mar-96	2360.0	1986.2
ott-96	2580.0	1978.9
feb-97	1170.0	1974.7
set-97	986.0	1967.4
mar-98	872.0	1961.3
set-98	2315.0	1955.0
ago-99	2260.0	1943.7
nov-99	2500.0	1940.6
mag-00	2100.0	1934.5
ott-00	2400.0	1929.4
giu-01	2270.0	1921.3
ott-01	2450.0	1917.3
giu-02	1444.0	1909.2
ago-02	2160.0	1907.2
mag-03	1666.0	1898.2
set-03	2040.0	1894.2
apr-04	2260.0	1887.2
set-04	1260.0	1882.2
mag-05	2340.0	1874.3
mag-06	2064.0	1862.5
mag-07	1080.0	1850.8
mag-08	1930.0	1839.1
giu-09	1860.0	1826.5
giu-10	2010.0	1815.0
giu-11	2075.0	1803.6
giu-12		1792.2
giu-13		1780.9
giu-14		1769.6
giu-15		1758.5
giu-16		1747.4
giu-17		1736.4
giu-18		1725.4
giu-19		1714.6
giu-20		1703.7
giu-21		1693.0

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		1966.2
giu-23		1933.4
giu-24		1901.1
giu-25		1869.3
giu-26		1838.2
giu-27		1807.5
giu-28		1777.3
giu-29		1747.6
giu-30		1718.5
giu-31		1689.8
giu-32		1661.5
giu-33		1633.8
giu-34		1606.6
giu-35		1579.8
giu-36		1553.4
giu-37		1527.4
giu-38		1502.0
giu-39		1476.9
giu-40		1452.2
giu-41		1428.0
giu-42		1404.2
giu-43		1380.7
giu-44		1357.6

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-22		1682.3
giu-23		1671.7
giu-24		1661.1
giu-25		1650.7
giu-26		1640.3
giu-27		1629.9
giu-28		1619.6
giu-29		1609.4
giu-30		1599.3
giu-31		1589.2
giu-32		1579.2
giu-33		1569.2
giu-34		1559.3
giu-35		1549.5
giu-36		1539.7
giu-37		1530.0
giu-38		1520.4
giu-39		1510.8
giu-40		1501.2
giu-41		1491.8
giu-42		1482.4
giu-43		1473.0
giu-44		1463.7

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	7.7	10.1
dic-94	5.7	10.0
mag-95	6.2	9.9
set-95	8.0	9.7
mar-96	13.3	9.6
ott-96	9.4	9.4
feb-97	10.3	9.2
set-97	11.1	9.0
mar-98	10.9	8.9
set-98	10.5	8.7
ago-99	10.1	8.4
nov-99	4.2	8.3
mag-00	10.4	8.2
ott-00	11.0	8.1
giu-01	7.9	7.9
ott-01	11.4	7.8
giu-02	5.3	7.6
ago-02	11.2	7.5
mag-03	10.4	7.3
set-03	10.5	7.2
apr-04	10.8	7.1
set-04	4.2	7.0
mag-05	8.2	6.8
mag-06	3.7	6.6
mag-07	9.7	6.3
mag-08	7.3	6.1
giu-09	4.6	5.9
giu-10	9.2	5.6
giu-11	1.8	5.4
giu-12		5.2
giu-13		5.0
giu-14		4.9
giu-15		4.7
giu-16		4.5
giu-17		4.4
giu-18		4.2
giu-19		4.0
giu-20		3.9
giu-21		3.8

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	16530.0	13105.5
dic-94	10464.0	13207.5
mag-95	13570.0	13378.6
set-95	13630.0	13519.6
mar-96	13590.0	13731.0
ott-96	13124.0	13983.7
feb-97	8010.0	14131.1
set-97	19530.0	14388.8
mar-98	5890.0	14612.5
set-98	18620.0	14843.5
ago-99	17600.0	15272.1
nov-99	17749.0	15392.4
mag-00	20950.0	15633.0
ott-00	19200.0	15838.2
giu-01	17100.0	16169.7
ott-01	19100.0	16338.7
giu-02	18620.0	16680.6
ago-02	18620.0	16767.6
mag-03	18424.0	17162.3
set-03	18032.0	17343.2
apr-04	18880.0	17661.0
set-04	18480.0	17892.8
mag-05	18910.0	18265.7
mag-06	17810.0	18842.9
mag-07	17100.0	19438.3
mag-08	25360.0	20054.3
giu-09	17290.0	20742.8
giu-10	18020.0	21398.2
giu-11	19190.0	22074.4
giu-12		22773.9
giu-13		23493.6
giu-14		24236.0
giu-15		25001.8
giu-16		25794.1
giu-17		26609.2
giu-18		27450.1
giu-19		28317.5
giu-20		29214.8
giu-21		30138.0

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		3.6
giu-23		3.5
giu-24		3.4
giu-25		3.2
giu-26		3.1
giu-27		3.0
giu-28		2.9
giu-29		2.8
giu-30		2.7
giu-31		2.6
giu-32		2.5
giu-33		2.4
giu-34		2.3
giu-35		2.2
giu-36		2.2
giu-37		2.1
giu-38		2.0
giu-39		1.9
giu-40		1.9
giu-41		1.8
giu-42		1.7
giu-43		1.7
giu-44		1.6

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		31090.4
giu-23		32072.8
giu-24		33089.2
giu-25		34134.8
giu-26		35213.4
giu-27		36326.2
giu-28		37477.3
giu-29		38661.6
giu-30		39883.3
giu-31		41143.6
giu-32		42447.4
giu-33		43788.7
giu-34		45172.5
giu-35		46599.9
giu-36		48076.6
giu-37		49595.8
giu-38		51163.0
giu-39		52779.8
giu-40		54452.3
giu-41		56173.0
giu-42		57948.1
giu-43		59779.2
giu-44		61673.5

A.1.4 - Bacino 4

Data	pH (-)	Tendenza pH
mar-98	7.7	7.7
set-98	7.6	7.7
ago-99	7.6	7.6
nov-99	8.1	7.6
mag-00	7.6	7.6
ott-00	7.4	7.6
giu-01	7.6	7.6
ott-01	7.9	7.6
giu-02	7.6	7.6
ago-02	7.6	7.6
mag-03	7.4	7.6
set-03	7.4	7.6
apr-04	7.3	7.6
set-04	7.5	7.6
mag-05	7.8	7.6
mag-06	8.2	7.6
mag-07	7.6	7.6
mag-08	7.5	7.6
giu-09	7.3	7.6
giu-10	7.6	7.6
giu-11	7.8	7.6
giu-12		7.6
giu-13		7.6
giu-14		7.6
giu-15		7.5
giu-16		7.5
giu-17		7.5
giu-18		7.5
giu-19		7.5
giu-20		7.5
giu-21		7.5
giu-22		7.5
giu-23		7.5
giu-24		7.5
giu-25		7.5

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-98	336.0	146.0
ago-99	125.0	132.6
nov-99	424.0	129.1
mag-00	144.0	122.5
ott-00	88.0	117.1
giu-01	80.0	109.2
ott-01	51.0	105.4
giu-02	56.0	98.2
ago-02	102.0	96.5
mag-03	58.0	89.2
set-03	57.0	86.0
apr-04	108.0	80.9
set-04	58.0	77.4
mag-05	68.0	72.1
mag-06	40.0	64.9
mag-07	82.0	58.4
mag-08	62.0	52.5
giu-09	36.0	46.8
giu-10	53.0	42.1
giu-11	70.0	37.9
giu-12		34.1
giu-13		30.7
giu-14		27.6
giu-15		24.8
giu-16		22.3
giu-17		20.1
giu-18		18.1
giu-19		16.2
giu-20		14.6
giu-21		13.1
giu-22		11.8
giu-23		10.6
giu-24		9.6
giu-25		8.6
giu-26		7.7

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-26		7.5
giu-27		7.5
giu-28		7.5
giu-29		7.5
giu-30		7.5
giu-31		7.4
giu-32		7.4
giu-33		7.4
giu-34		7.4
giu-35		7.4
giu-36		7.4
giu-37		7.4
giu-38		7.4
giu-39		7.4
giu-40		7.4
giu-41		7.4
giu-42		7.4
giu-43		7.4
giu-44		7.4

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-27		7.0
giu-28		6.3
giu-29		5.6
giu-30		5.1
giu-31		4.6
giu-32		4.1
giu-33		3.7
giu-34		3.3
giu-35		3.0
giu-36		2.7
giu-37		2.4
giu-38		2.2
giu-39		2.0
giu-40		1.8
giu-41		1.6
giu-42		1.4
giu-43		1.3
giu-44		1.2

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
mar-98	5798.0	3424.7
set-98	7450.0	3251.0
ago-99	3390.0	2957.8
nov-99	3210.0	2881.8
mag-00	2820.0	2737.1
ott-00	2080.0	2621.2
giu-01	1970.0	2447.0
ott-01	2010.0	2364.0
giu-02	1352.0	2206.9
ago-02	1698.0	2169.1
mag-03	1070.0	2007.9
set-03	1600.0	1939.2
apr-04	1790.0	1825.8
set-04	1488.0	1748.4
mag-05	1748.0	1632.7
mag-06	1070.0	1472.5
mag-07	1370.0	1328.0
mag-08	1593.0	1197.4
giu-09	935.0	1070.4
giu-10	1320.0	965.4
giu-11	1400.0	870.7
giu-12		785.0
giu-13		708.0
giu-14		638.5
giu-15		575.9
giu-16		519.2
giu-17		468.3
giu-18		422.3
giu-19		380.9
giu-20		343.4
giu-21		309.7
giu-22		279.3
giu-23		251.9
giu-24		227.1
giu-25		204.8
giu-26		184.7
giu-27		166.6
giu-28		150.2
giu-29		135.5

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
mar-98	1100.0	1521.0
set-98	2125.0	1483.0
ago-99	1900.0	1416.4
nov-99	1600.0	1398.6
mag-00	1480.0	1364.1
ott-00	1750.0	1335.7
giu-01	1310.0	1291.8
ott-01	1140.0	1270.3
giu-02	714.0	1228.6
ago-02	1386.0	1218.4
mag-03	964.0	1173.5
set-03	1014.0	1153.8
apr-04	1200.0	1120.5
set-04	1048.0	1097.2
mag-05	1235.0	1061.3
mag-06	858.0	1009.4
mag-07	575.0	960.0
mag-08	815.0	912.9
giu-09	915.0	864.5
giu-10	990.0	822.2
giu-11	1155.0	782.0
giu-12		743.6
giu-13		707.2
giu-14		672.6
giu-15		639.7
giu-16		608.3
giu-17		578.5
giu-18		550.2
giu-19		523.3
giu-20		497.6
giu-21		473.3
giu-22		450.1
giu-23		428.1
giu-24		407.1
giu-25		387.2
giu-26		368.2
giu-27		350.2
giu-28		333.0
giu-29		316.7

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-30		122.2
giu-31		110.2
giu-32		99.4
giu-33		89.6
giu-34		80.8
giu-35		72.9
giu-36		65.7
giu-37		59.3
giu-38		53.5
giu-39		48.2
giu-40		43.5
giu-41		39.2
giu-42		35.4
giu-43		31.9
giu-44		28.7

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-30		301.2
giu-31		286.5
giu-32		272.4
giu-33		259.1
giu-34		246.4
giu-35		234.4
giu-36		222.9
giu-37		212.0
giu-38		201.6
giu-39		191.7
giu-40		182.3
giu-41		173.4
giu-42		164.9
giu-43		156.8
giu-44		149.1

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
mar-98	15.9	10.0
set-98	6.2	9.6
ago-99	10.4	8.9
nov-99	8.0	8.8
mag-00	11.5	8.4
ott-00	10.8	8.2
giu-01	9.4	7.8
ott-01	7.0	7.6
giu-02	5.8	7.2
ago-02	9.0	7.1
mag-03	5.5	6.7
set-03	7.0	6.5
apr-04	1.9	6.2
set-04	4.6	6.0
mag-05	7.8	5.7
mag-06	3.0	5.3
mag-07	6.6	4.9
mag-08	4.9	4.6
giu-09	8.9	4.2
giu-10	5.3	3.9
giu-11	2.4	3.6
giu-12		3.3
giu-13		3.1
giu-14		2.9
giu-15		2.6
giu-16		2.5
giu-17		2.3
giu-18		2.1
giu-19		1.9
giu-20		1.8
giu-21		1.7
giu-22		1.5
giu-23		1.4
giu-24		1.3
giu-25		1.2
giu-26		1.1
giu-27		1.1
giu-28		1.0
giu-29		0.9

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
mar-98	6210.0	13383.4
set-98	19600.0	13283.9
ago-99	16120.0	13105.0
nov-99	12554.0	13056.2
mag-00	16400.0	12960.1
ott-00	16600.0	12879.9
giu-01	12920.0	12753.5
ott-01	12130.0	12690.5
giu-02	11564.0	12566.0
ago-02	14290.0	12534.9
mag-03	9957.0	12396.8
set-03	12455.0	12335.1
apr-04	12180.0	12228.9
set-04	12760.0	12153.2
mag-05	12650.0	12034.4
mag-06	9760.0	11857.5
mag-07	10600.0	11683.1
mag-08	13515.0	11510.9
giu-09	10650.0	11327.4
giu-10	10220.0	11160.8
giu-11	12180.0	10996.7
giu-12		10834.6
giu-13		10675.3
giu-14		10518.3
giu-15		10363.7
giu-16		10210.9
giu-17		10060.7
giu-18		9912.8
giu-19		9767.1
giu-20		9623.1
giu-21		9481.6
giu-22		9342.2
giu-23		9204.8
giu-24		9069.1
giu-25		8935.7
giu-26		8804.3
giu-27		8674.9
giu-28		8547.0
giu-29		8421.3

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-30		0.8
giu-31		0.8
giu-32		0.7
giu-33		0.7
giu-34		0.6
giu-35		0.6
giu-36		0.5
giu-37		0.5
giu-38		0.5
giu-39		0.4
giu-40		0.4
giu-41		0.4
giu-42		0.3
giu-43		0.3
giu-44		0.3

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-30		8297.5
giu-31		8175.5
giu-32		8055.0
giu-33		7936.5
giu-34		7819.8
giu-35		7704.9
giu-36		7591.3
giu-37		7479.6
giu-38		7369.7
giu-39		7261.3
giu-40		7154.3
giu-41		7049.1
giu-42		6945.4
giu-43		6843.3
giu-44		6742.4

A.1.5 - Bacino 5

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.6	7.8
dic-94	7.8	7.8
mag-95	8.0	7.8
set-95	8.3	7.8
mar-96	8.1	7.8
ott-96	7.7	7.8
feb-97	7.7	7.8
set-97	7.5	7.8
mar-98	7.8	7.8
set-98	7.8	7.8
ago-99	7.8	7.7
nov-99	7.8	7.7
mag-00	7.7	7.7
ott-00	7.7	7.7
giu-01	7.6	7.7
ott-01	7.6	7.7
giu-02	7.8	7.7
ago-02	7.6	7.7
mag-03	8.0	7.7
set-03	7.6	7.7
apr-04	7.3	7.7
set-04	7.5	7.7
mag-05	7.7	7.7
mag-06	7.5	7.7
mag-07	7.7	7.7
mag-08	7.5	7.6
giu-09	7.4	7.6
giu-10	7.8	7.6
giu-11	8.2	7.6
giu-12		7.6
giu-13		7.6
giu-14		7.6
giu-15		7.6
giu-16		7.6
giu-17		7.5

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	3800	662.7
dic-94	2320	636.4
mag-95	3760	595.1
set-95	920	563.5
mar-96	288	519.7
ott-96	231	472.6
feb-97	528	447.5
set-97	272	407.2
mar-98	1760	375.8
set-98	176	346.3
ago-99	80	298.5
nov-99	264	286.6
mag-00	136	264.3
ott-00	120	247.0
giu-01	88	221.7
ott-01	96	210.0
giu-02	76	188.5
ago-02	137	183.5
mag-03	123	162.5
set-03	87	153.9
apr-04	116	140.0
set-04	37	130.8
mag-05	40	117.4
mag-06	91	99.9
mag-07	96	84.9
mag-08	118	72.2
giu-09	95	60.5
giu-10	750	51.5
giu-11	90	43.8
giu-12		37.2
giu-13		31.6
giu-14		26.9
giu-15		22.9
giu-16		19.4
giu-17		16.5

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-18		7.5
giu-19		7.5
giu-20		7.5
giu-21		7.5
giu-22		7.5
giu-23		7.5
giu-24		7.5
giu-25		7.4
giu-26		7.4
giu-27		7.4
giu-28		7.4
giu-29		7.4
giu-30		7.4
giu-31		7.4
giu-32		7.4
giu-33		7.4
giu-34		7.3
giu-35		7.3
giu-36		7.3
giu-37		7.3
giu-38		7.3
giu-39		7.3
giu-40		7.3
giu-41		7.3
giu-42		7.3
giu-43		7.3
giu-44		7.2

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		14.1
giu-19		12.0
giu-20		10.2
giu-21		8.6
giu-22		7.3
giu-23		6.2
giu-24		5.3
giu-25		4.5
giu-26		3.8
giu-27		3.3
giu-28		2.8
giu-29		2.4
giu-30		2.0
giu-31		1.7
giu-32		1.4
giu-33		1.2
giu-34		1.0
giu-35		0.9
giu-36		0.8
giu-37		0.6
giu-38		0.5
giu-39		0.5
giu-40		0.4
giu-41		0.3
giu-42		0.3
giu-43		0.2
giu-44		0.2

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	10300.0	6178.6
dic-94	6530.0	6031.0
mag-95	9400.0	5793.9
set-95	5950.0	5607.6
mar-96	5206.0	5342.9
ott-96	4433.0	5047.7
feb-97	4160.0	4885.4
set-97	4313.0	4617.8
mar-98	4046.0	4401.1
set-98	3480.0	4191.1
ago-99	4020.0	3835.2
nov-99	2350.0	3742.6
mag-00	3960.0	3566.0
ott-00	3570.0	3424.0
giu-01	3120.0	3209.9
ott-01	3560.0	3107.5
giu-02	2324.0	2913.3
ago-02	2703.0	2866.4
mag-03	2650.0	2665.9
set-03	2300.0	2580.2
apr-04	2024.0	2438.3
set-04	2112.0	2341.1
mag-05	1553.0	2195.4
mag-06	1640.0	1992.5
mag-07	1630.0	1808.4
mag-08	2340.0	1640.8
giu-09	1890.0	1477.0
giu-10	1465.0	1340.5
giu-11	1700.0	1216.6
giu-12		1103.9
giu-13		1001.9
giu-14		909.3
giu-15		825.2
giu-16		748.8
giu-17		679.6
giu-18		616.8
giu-19		559.8
giu-20		507.9
giu-21		461.0

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	1150.0	1733.1
dic-94	1190.0	1727.5
mag-95	1440.0	1718.2
set-95	2010.0	1710.7
mar-96	2230.0	1699.6
ott-96	2600.0	1686.7
feb-97	1160.0	1679.3
set-97	868.0	1666.7
mar-98	1030.0	1655.9
set-98	2460.0	1645.1
ago-99	2420.0	1625.6
nov-99	1900.0	1620.3
mag-00	2300.0	1609.8
ott-00	2600.0	1601.0
giu-01	2240.0	1587.2
ott-01	1990.0	1580.3
giu-02	1358.0	1566.6
ago-02	2121.0	1563.2
mag-03	1666.0	1548.1
set-03	1572.0	1541.3
apr-04	1535.0	1529.6
set-04	1156.0	1521.3
mag-05	1375.0	1508.2
mag-06	1380.0	1488.7
mag-07	945.0	1469.4
mag-08	1265.0	1450.3
giu-09	1315.0	1430.0
giu-10	1310.0	1411.5
giu-11	1595.0	1393.2
giu-12		1375.1
giu-13		1357.3
giu-14		1339.7
giu-15		1322.4
giu-16		1305.2
giu-17		1288.3
giu-18		1271.7
giu-19		1255.2
giu-20		1238.9
giu-21		1222.9

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		418.4
giu-23		379.7
giu-24		344.5
giu-25		312.7
giu-26		283.8
giu-27		257.6
giu-28		233.7
giu-29		212.1
giu-30		192.5
giu-31		174.7
giu-32		158.5
giu-33		143.9
giu-34		130.6
giu-35		118.5
giu-36		107.5
giu-37		97.6
giu-38		88.6
giu-39		80.4
giu-40		72.9
giu-41		66.2
giu-42		60.1
giu-43		54.5
giu-44		49.5

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-22		1207.0
giu-23		1191.4
giu-24		1175.9
giu-25		1160.7
giu-26		1145.7
giu-27		1130.9
giu-28		1116.2
giu-29		1101.7
giu-30		1087.5
giu-31		1073.4
giu-32		1059.5
giu-33		1045.8
giu-34		1032.2
giu-35		1018.9
giu-36		1005.6
giu-37		992.6
giu-38		979.8
giu-39		967.1
giu-40		954.5
giu-41		942.2
giu-42		930.0
giu-43		917.9
giu-44		906.0

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	20.0	20.4
dic-94	4.4	19.9
mag-95	9.8	19.1
set-95	9.1	18.5
mar-96	20.8	17.5
ott-96	16.0	16.5
feb-97	17.3	16.0
set-97	22.7	15.1
mar-98	15.9	14.3
set-98	15.2	13.6
ago-99	14.7	12.4
nov-99	10.6	12.1
mag-00	15.6	11.5
ott-00	14.9	11.0
giu-01	15.8	10.3
ott-01	12.8	10.0
giu-02	11.8	9.3
ago-02	14.6	9.2
mag-03	13.5	8.5
set-03	11.1	8.2
apr-04	9.7	7.8
set-04	8.6	7.4
mag-05	9.5	7.0
mag-06	8.9	6.3
mag-07	10.6	5.7
mag-08	8.5	5.1
giu-09	7.0	4.6
giu-10	1.0	4.2
giu-11	0.6	3.8
giu-12		3.4
giu-13		3.1
giu-14		2.8
giu-15		2.5
giu-16		2.3
giu-17		2.1
giu-18		1.9
giu-19		1.7
giu-20		1.5
giu-21		1.4

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	9800.0	12126.3
dic-94	8774.0	12182.0
mag-95	10500.0	12274.9
set-95	14580.0	12351.2
mar-96	13260.0	12464.9
ott-96	13160.0	12599.9
feb-97	8630.0	12678.2
set-97	18180.0	12814.3
mar-98	5863.0	12931.6
set-98	18900.0	13051.9
ago-99	17730.0	13273.3
nov-99	12879.0	13334.9
mag-00	20350.0	13457.7
ott-00	18600.0	13561.8
giu-01	17300.0	13728.7
ott-01	17000.0	13813.3
giu-02	16260.0	13983.3
ago-02	13640.0	14026.4
mag-03	14984.0	14220.5
set-03	13906.0	14308.8
apr-04	13400.0	14463.1
set-04	14830.0	14575.0
mag-05	12340.0	14753.6
mag-06	12420.0	15027.3
mag-07	11990.0	15306.0
mag-08	19710.0	15590.7
giu-09	16400.0	15904.7
giu-10	14070.0	16199.7
giu-11	14350.0	16500.1
giu-12		16807.0
giu-13		17118.8
giu-14		17436.3
giu-15		17759.7
giu-16		18090.0
giu-17		18425.5
giu-18		18767.3
giu-19		19115.4
giu-20		19470.9
giu-21		19832.1

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		1.2
giu-23		1.1
giu-24		1.0
giu-25		0.9
giu-26		0.8
giu-27		0.7
giu-28		0.7
giu-29		0.6
giu-30		0.6
giu-31		0.5
giu-32		0.5
giu-33		0.4
giu-34		0.4
giu-35		0.3
giu-36		0.3
giu-37		0.3
giu-38		0.2
giu-39		0.2
giu-40		0.2
giu-41		0.2
giu-42		0.2
giu-43		0.1
giu-44		0.1

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		20199.9
giu-23		20574.6
giu-24		20957.2
giu-25		21345.9
giu-26		21741.9
giu-27		22145.1
giu-28		22557.0
giu-29		22975.4
giu-30		23401.5
giu-31		23835.6
giu-32		24278.9
giu-33		24729.2
giu-34		25187.9
giu-35		25655.1
giu-36		26132.2
giu-37		26616.9
giu-38		27110.6
giu-39		27613.5
giu-40		28127.1
giu-41		28648.8
giu-42		29180.1
giu-43		29721.4
giu-44		30274.1

A.1.6 - Bacino 6

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.8	7.8
dic-94	8.1	7.8
mag-95	7.9	7.8
mar-96	8.2	7.7
ott-96	7.7	7.7
feb-97	7.8	7.7
set-97	7.5	7.7
mar-98	7.6	7.7
set-98	7.8	7.7
ago-99	7.7	7.7
nov-99	8.0	7.7
mag-00	7.4	7.7
ott-00	7.5	7.7
giu-01	7.5	7.7
ott-01	7.5	7.7
giu-02	7.5	7.7
ago-02	7.6	7.7
mag-03	7.4	7.7
set-03	7.6	7.7
apr-04	7.3	7.7
set-04	7.4	7.6
mag-05	8.1	7.6
mag-06	7.6	7.6
mag-07	7.7	7.6
mag-08	7.5	7.6
giu-09	7.5	7.6
giu-10	7.8	7.6
giu-11	8.1	7.6
giu-12		7.6
giu-13		7.6
giu-14		7.5
giu-15		7.5
giu-16		7.5
giu-17		7.5
giu-18		7.5

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	1440	245.0
dic-94	460	239.1
mag-95	3640	229.8
set-95	88	222.4
mar-96	150	212.0
ott-96	146	200.4
feb-97	176	194.0
set-97	112	183.4
mar-98	960	174.8
set-98	80	166.5
ago-99	75	152.5
nov-99	37	148.8
mag-00	75	141.8
ott-00	74	136.2
giu-01	88	127.8
ott-01	43	123.7
giu-02	37	116.0
ago-02	90	114.2
mag-03	130	106.2
set-03	130	102.8
apr-04	144	97.2
set-04	39	93.4
mag-05	40	87.6
mag-06	55	79.5
mag-07	94	72.2
mag-08	88	65.6
giu-09	76	59.1
giu-10	850	53.6
giu-11	40	48.7
giu-12		44.2
giu-13		40.1
giu-14		36.5
giu-15		33.1
giu-16		30.1
giu-17		27.3

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-19		7.5
giu-20		7.5
giu-21		7.5
giu-22		7.5
giu-23		7.4
giu-24		7.4
giu-25		7.4
giu-26		7.4
giu-27		7.4
giu-28		7.4
giu-29		7.4
giu-30		7.4
giu-31		7.4
giu-32		7.4
giu-33		7.3
giu-34		7.3
giu-35		7.3
giu-36		7.3
giu-37		7.3
giu-38		7.3
giu-39		7.3
giu-40		7.3
giu-41		7.3
giu-42		7.2
giu-43		7.2
giu-44		7.2

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		24.8
giu-19		22.5
giu-20		20.4
giu-21		18.6
giu-22		16.9
giu-23		15.3
giu-24		13.9
giu-25		12.6
giu-26		11.5
giu-27		10.4
giu-28		9.4
giu-29		8.6
giu-30		7.8
giu-31		7.1
giu-32		6.4
giu-33		5.8
giu-34		5.3
giu-35		4.8
giu-36		4.4
giu-37		4.0
giu-38		3.6
giu-39		3.3
giu-40		3.0
giu-41		2.7
giu-42		2.4
giu-43		2.2
giu-44		2.0

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	5060.0	3315.4
dic-94	4315.0	3256.0
mag-95	9100.0	3159.9
set-95	3320.0	3083.6
mar-96	2745.0	2974.2
ott-96	2997.0	2850.5
feb-97	2780.0	2781.7
set-97	2812.0	2667.1
mar-98	2444.0	2572.9
set-98	1150.0	2480.6
ago-99	1960.0	2321.5
nov-99	1450.0	2279.5
mag-00	1820.0	2198.6
ott-00	1210.0	2132.8
giu-01	2440.0	2032.3
ott-01	860.0	1983.7
giu-02	1448.0	1890.3
ago-02	1507.0	1867.5
mag-03	2230.0	1769.0
set-03	1900.0	1726.3
apr-04	1903.0	1654.8
set-04	1568.0	1605.3
mag-05	1806.0	1530.0
mag-06	1110.0	1423.1
mag-07	1520.0	1323.6
mag-08	1865.0	1230.8
giu-09	1605.0	1137.8
giu-10	1805.0	1058.2
giu-11	715.0	984.3
giu-12		915.3
giu-13		851.3
giu-14		791.8
giu-15		736.4
giu-16		684.8
giu-17		637.0
giu-18		592.4
giu-19		551.0
giu-20		512.4
giu-21		476.6

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	2350.0	1488.3
dic-94	1760.0	1478.5
mag-95	1530.0	1462.3
set-95	1510.0	1449.3
mar-96	1600.0	1430.2
ott-96	1920.0	1408.1
feb-97	900.0	1395.5
set-97	824.0	1374.1
mar-98	732.0	1356.1
set-98	1535.0	1338.1
ago-99	1540.0	1305.9
nov-99	1250.0	1297.2
mag-00	1120.0	1280.1
ott-00	1200.0	1266.0
giu-01	1520.0	1243.7
ott-01	1470.0	1232.7
giu-02	756.0	1211.1
ago-02	1302.0	1205.8
mag-03	1516.0	1182.0
set-03	1460.0	1171.5
apr-04	1545.0	1153.5
set-04	1074.0	1140.7
mag-05	1135.0	1120.7
mag-06	935.0	1091.4
mag-07	505.0	1062.7
mag-08	1000.0	1034.8
giu-09	1115.0	1005.4
giu-10	1200.0	979.0
giu-11	1260.0	953.3
giu-12		928.2
giu-13		903.9
giu-14		880.2
giu-15		857.1
giu-16		834.6
giu-17		812.7
giu-18		791.4
giu-19		770.6
giu-20		750.3
giu-21		730.7

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		443.3
giu-23		412.3
giu-24		383.4
giu-25		356.6
giu-26		331.7
giu-27		308.5
giu-28		286.9
giu-29		266.8
giu-30		248.2
giu-31		230.8
giu-32		214.6
giu-33		199.6
giu-34		185.7
giu-35		172.7
giu-36		160.6
giu-37		149.4
giu-38		138.9
giu-39		129.2
giu-40		120.2
giu-41		111.8
giu-42		103.9
giu-43		96.7
giu-44		89.9

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-22		711.5
giu-23		692.8
giu-24		674.6
giu-25		656.9
giu-26		639.7
giu-27		622.9
giu-28		606.5
giu-29		590.6
giu-30		575.1
giu-31		560.0
giu-32		545.3
giu-33		531.0
giu-34		517.1
giu-35		503.5
giu-36		490.3
giu-37		477.4
giu-38		464.9
giu-39		452.7
giu-40		440.8
giu-41		429.2
giu-42		418.0
giu-43		407.0
giu-44		396.3

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	8.7	9.6
dic-94	8.2	9.5
mag-95	8.2	9.3
set-95	6.7	9.2
mar-96	10.0	9.0
ott-96	10.1	8.8
feb-97	10.6	8.6
set-97	13.0	8.4
mar-98	9.9	8.2
set-98	4.9	8.1
ago-99	5.9	7.8
nov-99	3.9	7.7
mag-00	7.4	7.5
ott-00	6.5	7.4
giu-01	12.4	7.2
ott-01	7.4	7.1
giu-02	5.7	6.9
ago-02	7.7	6.8
mag-03	10.6	6.6
set-03	8.5	6.5
apr-04	9.7	6.3
set-04	4.8	6.2
mag-05	6.6	6.0
mag-06	5.3	5.8
mag-07	7.8	5.5
mag-08	7.0	5.3
giu-09	5.7	5.1
giu-10	5.1	4.8
giu-11	1.7	4.6
giu-12		4.4
giu-13		4.3
giu-14		4.1
giu-15		3.9
giu-16		3.7
giu-17		3.6
giu-18		3.4
giu-19		3.3
giu-20		3.1
giu-21		3.0

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	15230.0	11049.6
dic-94	9291.0	11083.5
mag-95	10800.0	11139.8
set-95	12200.0	11186.0
mar-96	10860.0	11254.6
ott-96	11766.0	11335.8
feb-97	7500.0	11382.8
set-97	16600.0	11464.2
mar-98	5398.0	11534.1
set-98	13590.0	11605.7
ago-99	11180.0	11736.7
nov-99	10540.0	11773.0
mag-00	13270.0	11845.2
ott-00	12020.0	11906.3
giu-01	14570.0	12003.9
ott-01	13810.0	12053.2
giu-02	10940.0	12152.1
ago-02	13570.0	12177.0
mag-03	15297.0	12289.2
set-03	14229.0	12340.1
apr-04	13950.0	12428.8
set-04	12650.0	12492.8
mag-05	11650.0	12594.8
mag-06	10050.0	12750.3
mag-07	12500.0	12907.6
mag-08	16630.0	13067.4
giu-09	14600.0	13242.4
giu-10	12490.0	13405.9
giu-11	10470.0	13571.3
giu-12		13739.3
giu-13		13908.8
giu-14		14080.5
giu-15		14254.2
giu-16		14430.6
giu-17		14608.7
giu-18		14789.0
giu-19		14971.6
giu-20		15156.8
giu-21		15343.9

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		2.9
giu-23		2.8
giu-24		2.6
giu-25		2.5
giu-26		2.4
giu-27		2.3
giu-28		2.2
giu-29		2.1
giu-30		2.0
giu-31		2.0
giu-32		1.9
giu-33		1.8
giu-34		1.7
giu-35		1.6
giu-36		1.6
giu-37		1.5
giu-38		1.4
giu-39		1.4
giu-40		1.3
giu-41		1.3
giu-42		1.2
giu-43		1.2
giu-44		1.1

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		15533.3
giu-23		15725.0
giu-24		15919.6
giu-25		16116.0
giu-26		16314.9
giu-27		16516.3
giu-28		16720.7
giu-29		16927.0
giu-30		17135.9
giu-31		17347.4
giu-32		17562.1
giu-33		17778.8
giu-34		17998.2
giu-35		18220.4
giu-36		18445.8
giu-37		18673.5
giu-38		18904.0
giu-39		19137.3
giu-40		19374.1
giu-41		19613.2
giu-42		19855.2
giu-43		20100.3
giu-44		20349.0

A.1.7 - Bacino 7

Data	pH (-)	Tendenza pH
set-94	7.7	7.8
dic-94	7.8	7.8
mag-95	7.4	7.8
set-95	8.0	7.8
mar-96	7.8	7.8
ott-96	7.9	7.8
feb-97	7.9	7.8
set-97	7.9	7.8
mar-98	8.1	7.8
set-98	7.8	7.8
ago-99	7.7	7.8
nov-99	8.3	7.8
mag-00	7.8	7.8
ott-00	7.6	7.8
giu-01	7.6	7.8
ott-01	7.5	7.8
giu-02	7.6	7.8
ago-02	7.7	7.8
mag-03	7.6	7.8
set-03	7.5	7.8
apr-04	7.3	7.8
set-04	7.7	7.8
mag-05	8.2	7.8
mag-06	7.4	7.8
mag-07	7.7	7.8
mag-08	7.6	7.8
giu-09	7.9	7.8
giu-10	7.9	7.8
giu-11	8.3	7.8
giu-12		7.8
giu-13		7.8
giu-14		7.8
giu-15		7.8
giu-16		7.8
giu-17		7.8

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
set-94	940	261.2
dic-94	340	255.2
mag-95	3580	245.4
set-95	340	237.7
mar-96	144	226.8
ott-96	170	214.6
feb-97	192	207.9
set-97	147	196.9
mar-98	600	187.9
set-98	53	179.2
ago-99	96	164.4
nov-99	34	160.5
mag-00	93	153.1
ott-00	91	147.2
giu-01	102	138.3
ott-01	126	134.0
giu-02	38	125.8
ago-02	110	123.9
mag-03	118	115.4
set-03	72	111.8
apr-04	108	105.8
set-04	48	101.7
mag-05	48	95.6
mag-06	98	87.0
mag-07	56	79.2
mag-08	115	72.0
giu-09	86	65.0
giu-10	600	59.2
giu-11	70	53.9
giu-12		49.0
giu-13		44.6
giu-14		40.6
giu-15		36.9
giu-16		33.6
giu-17		30.6

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-18		7.8
giu-19		7.8
giu-20		7.8
giu-21		7.8
giu-22		7.8
giu-23		7.8
giu-24		7.8
giu-25		7.8
giu-26		7.8
giu-27		7.8
giu-28		7.8
giu-29		7.8
giu-30		7.8
giu-31		7.8
giu-32		7.8
giu-33		7.8
giu-34		7.8
giu-35		7.8
giu-36		7.8
giu-37		7.8
giu-38		7.8
giu-39		7.8
giu-40		7.8
giu-41		7.8
giu-42		7.8
giu-43		7.8
giu-44		7.8

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-18		27.8
giu-19		25.3
giu-20		23.0
giu-21		21.0
giu-22		19.1
giu-23		17.4
giu-24		15.8
giu-25		14.4
giu-26		13.1
giu-27		11.9
giu-28		10.8
giu-29		9.9
giu-30		9.0
giu-31		8.2
giu-32		7.4
giu-33		6.8
giu-34		6.2
giu-35		5.6
giu-36		5.1
giu-37		4.6
giu-38		4.2
giu-39		3.8
giu-40		3.5
giu-41		3.2
giu-42		2.9
giu-43		2.6
giu-44		2.4

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
set-94	4440.0	2756.3
dic-94	4270.0	2725.0
mag-95	6060.0	2673.8
set-95	2930.0	2632.8
mar-96	2300.0	2573.3
ott-96	2180.0	2505.0
feb-97	2090.0	2466.6
set-97	1020.0	2401.8
mar-98	1805.0	2347.8
set-98	1890.0	2294.1
ago-99	2240.0	2199.8
nov-99	1610.0	2174.6
mag-00	2310.0	2125.4
ott-00	2010.0	2084.9
giu-01	2200.0	2022.2
ott-01	1090.0	1991.5
giu-02	1714.0	1931.6
ago-02	1962.0	1916.9
mag-03	2040.0	1852.2
set-03	2400.0	1823.8
apr-04	2105.0	1775.7
set-04	1520.0	1741.9
mag-05	1553.0	1689.7
mag-06	1210.0	1614.0
mag-07	1150.0	1541.6
mag-08	2465.0	1472.3
giu-09	1850.0	1400.9
giu-10	1365.0	1338.1
giu-11	1525.0	1278.1
giu-12		1220.7
giu-13		1166.0
giu-14		1113.7
giu-15		1063.8
giu-16		1016.0
giu-17		970.4
giu-18		926.9
giu-19		885.4
giu-20		845.6
giu-21		807.7

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
set-94	1950.0	1278.7
dic-94	1550.0	1275.8
mag-95	440.0	1271.0
set-95	1450.0	1267.0
mar-96	1480.0	1261.3
ott-96	1620.0	1254.5
feb-97	764.0	1250.6
set-97	1425.0	1244.0
mar-98	812.0	1238.3
set-98	1590.0	1232.6
ago-99	1310.0	1222.3
nov-99	1300.0	1219.5
mag-00	1240.0	1213.9
ott-00	1450.0	1209.3
giu-01	1510.0	1201.9
ott-01	1380.0	1198.2
giu-02	852.0	1190.9
ago-02	1358.0	1189.1
mag-03	1164.0	1181.0
set-03	1416.0	1177.3
apr-04	1450.0	1171.1
set-04	1044.0	1166.6
mag-05	865.0	1159.5
mag-06	1774.0	1148.9
mag-07	545.0	1138.4
mag-08	1455.0	1128.0
giu-09	1250.0	1116.8
giu-10	1055.0	1106.6
giu-11	1010.0	1096.5
giu-12		1086.5
giu-13		1076.6
giu-14		1066.8
giu-15		1057.0
giu-16		1047.3
giu-17		1037.8
giu-18		1028.3
giu-19		1018.9
giu-20		1009.6
giu-21		1000.4

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-22		771.5
giu-23		736.9
giu-24		703.8
giu-25		672.3
giu-26		642.1
giu-27		613.3
giu-28		585.8
giu-29		559.5
giu-30		534.4
giu-31		510.5
giu-32		487.6
giu-33		465.7
giu-34		444.8
giu-35		424.9
giu-36		405.8
giu-37		387.6
giu-38		370.2
giu-39		353.6
giu-40		337.7
giu-41		322.6
giu-42		308.1
giu-43		294.3
giu-44		281.1

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-22		991.2
giu-23		982.2
giu-24		973.2
giu-25		964.3
giu-26		955.5
giu-27		946.8
giu-28		938.1
giu-29		929.6
giu-30		921.1
giu-31		912.7
giu-32		904.3
giu-33		896.1
giu-34		887.9
giu-35		879.8
giu-36		871.7
giu-37		863.8
giu-38		855.9
giu-39		848.1
giu-40		840.3
giu-41		832.6
giu-42		825.0
giu-43		817.5
giu-44		810.0

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
set-94	8.1	5.2
dic-94	1.0	5.2
mag-95	3.0	5.2
set-95	6.6	5.2
mar-96	7.3	5.3
ott-96	6.1	5.3
feb-97	7.0	5.3
set-97	3.0	5.4
mar-98	6.1	5.4
set-98	7.9	5.4
ago-99	6.8	5.5
nov-99	1.9	5.5
mag-00	8.0	5.6
ott-00	8.3	5.6
giu-01	9.0	5.6
ott-01	7.7	5.7
giu-02	6.0	5.7
ago-02	8.0	5.7
mag-03	7.9	5.8
set-03	9.5	5.8
apr-04	18.5	5.8
set-04	3.3	5.9
mag-05	3.3	5.9
mag-06	4.0	6.0
mag-07	5.5	6.1
mag-08	8.6	6.1
giu-09	6.9	6.2
giu-10	6.6	6.3
giu-11	2.4	6.4
giu-12		6.5
giu-13		6.6
giu-14		6.6
giu-15		6.7
giu-16		6.8
giu-17		6.9
giu-18		7.0
giu-19		7.1
giu-20		7.2
giu-21		7.2

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
set-94	13490.0	10050.0
dic-94	9542.0	10112.2
mag-95	6500.0	10216.3
set-95	11490.0	10302.0
mar-96	10490.0	10430.0
ott-96	9894.0	10582.5
feb-97	5780.0	10671.2
set-97	18565.0	10825.8
mar-98	5302.0	10959.6
set-98	13460.0	11097.2
ago-99	12510.0	11351.6
nov-99	10707.0	11422.7
mag-00	15460.0	11564.6
ott-00	13950.0	11685.3
giu-01	14400.0	11879.5
ott-01	13860.0	11978.3
giu-02	13220.0	12177.4
ago-02	14580.0	12227.9
mag-03	12906.0	12456.5
set-03	13876.0	12560.9
apr-04	13700.0	12743.8
set-04	12420.0	12876.7
mag-05	10980.0	13089.9
mag-06	11420.0	13418.1
mag-07	10500.0	13754.6
mag-08	22260.0	14100.4
giu-09	17490.0	14484.4
giu-10	11600.0	14847.6
giu-11	11460.0	15219.9
giu-12		15602.6
giu-13		15993.8
giu-14		16394.9
giu-15		16806.0
giu-16		17228.5
giu-17		17660.5
giu-18		18103.3
giu-19		18557.3
giu-20		19023.9
giu-21		19500.9

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-22		7.3
giu-23		7.4
giu-24		7.5
giu-25		7.6
giu-26		7.7
giu-27		7.8
giu-28		7.9
giu-29		8.0
giu-30		8.1
giu-31		8.2
giu-32		8.3
giu-33		8.4
giu-34		8.5
giu-35		8.6
giu-36		8.7
giu-37		8.8
giu-38		9.0
giu-39		9.1
giu-40		9.2
giu-41		9.3
giu-42		9.4
giu-43		9.5
giu-44		9.7

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-22		19989.9
giu-23		20491.1
giu-24		21006.3
giu-25		21533.0
giu-26		22073.0
giu-27		22626.4
giu-28		23195.3
giu-29		23776.9
giu-30		24373.1
giu-31		24984.3
giu-32		25612.5
giu-33		26254.7
giu-34		26913.0
giu-35		27587.8
giu-36		28281.5
giu-37		28990.6
giu-38		29717.6
giu-39		30462.7
giu-40		31228.7
giu-41		32011.7
giu-42		32814.4
giu-43		33637.2
giu-44		34482.9

A.1.8 - Bacino 8

Data	pH (-)	Tendenza pH
mar-96	8.0	7.8
feb-97	7.8	7.8
set-97	7.6	7.8
mar-98	7.8	7.8
set-98	7.8	7.8
ago-99	7.9	7.8
nov-99	7.9	7.8
mag-00	7.8	7.8
ott-00	7.8	7.8
giu-01	8.0	7.8
ott-01	7.7	7.8
ago-02	8.1	7.8
mag-03	7.6	7.8
set-03	7.7	7.8
apr-04	7.4	7.8
set-04	7.5	7.8
mag-05	7.8	7.7
mag-06	7.6	7.7
mag-07	8.3	7.7
mag-08	7.6	7.7
giu-09	7.3	7.7
giu-10	7.7	7.7
giu-11	8.0	7.7
giu-12		7.7
giu-13		7.7
giu-14		7.7
giu-15		7.7
giu-16		7.6
giu-17		7.6
giu-18		7.6
giu-19		7.6
giu-20		7.6
giu-21		7.6
giu-22		7.6
giu-23		7.6

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
mar-96	224.0	289.2
ott-96	272.0	276.4
feb-97	1024.0	269.4
set-97	1040.0	257.6
mar-98	2160.0	248.0
set-98	320.0	238.6
ago-99	122.0	222.4
nov-99	78.0	218.1
mag-00	102.0	209.9
ott-00	126.0	203.3
giu-01	80.0	193.1
ott-01	112.0	188.2
giu-02	106.0	178.9
ago-02	123.0	176.6
mag-03	106.0	166.7
set-03	107.0	162.5
apr-04	152.0	155.3
set-04	50.0	150.4
mag-05	106.0	142.9
mag-06	110.0	132.4
mag-07	48.0	122.6
mag-08	1100.0	113.5
giu-09	90.0	104.4
giu-10	480.0	96.7
giu-11	80.0	89.6
giu-12		82.9
giu-13		76.8
giu-14		71.1
giu-15		65.9
giu-16		61.0
giu-17		56.5
giu-18		52.3
giu-19		48.4
giu-20		44.8
giu-21		41.5

Data	pH (-)	Tendenza pH
giu-24		7.6
giu-25		7.6
giu-26		7.5
giu-27		7.5
giu-28		7.5
giu-29		7.5
giu-30		7.5
giu-31		7.5
giu-32		7.5
giu-33		7.5
giu-34		7.5
giu-35		7.5
giu-36		7.5
giu-37		7.4
giu-38		7.4
giu-39		7.4
giu-40		7.4
giu-41		7.4
giu-42		7.4
giu-43		7.4
giu-44		7.4

Data	B.O.D. (mg/l)	Tendenza B.O.D.
giu-22		38.5
giu-23		35.6
giu-24		33.0
giu-25		30.5
giu-26		28.3
giu-27		26.2
giu-28		24.2
giu-29		22.5
giu-30		20.8
giu-31		19.3
giu-32		17.8
giu-33		16.5
giu-34		15.3
giu-35		14.2
giu-36		13.1
giu-37		12.1
giu-38		11.2
giu-39		10.4
giu-40		9.6
giu-41		8.9
giu-42		8.3
giu-43		7.7
giu-44		7.1

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
mar-96	3570.0	4615.3
ott-96	3535.0	4343.3
feb-97	5610.0	4194.2
set-97	5817.0	3949.3
mar-98	4747.0	3751.5
set-98	6200.0	3560.5
ago-99	3530.0	3238.4
nov-99	3100.0	3155.0
mag-00	3020.0	2996.1
ott-00	3120.0	2868.7
giu-01	2270.0	2677.5
ott-01	2360.0	2586.4
giu-02	2248.0	2414.0
ago-02	2392.0	2372.5
mag-03	2930.0	2195.6
set-03	3300.0	2120.3
apr-04	3482.0	1995.8
set-04	224.0	1911.0
mag-05	2350.0	1784.1
mag-06	200.0	1608.5
mag-07	1100.0	1450.2
mag-08	2600.0	1307.1
giu-09	2115.0	1168.1
giu-10	1075.0	1053.1
giu-11	2100.0	949.5
giu-12		855.8
giu-13		771.5
giu-14		695.6
giu-15		627.1
giu-16		565.2
giu-17		509.6
giu-18		459.4
giu-19		414.2
giu-20		373.3
giu-21		336.6
giu-22		303.5
giu-23		273.6
giu-24		246.6
giu-25		222.3

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
mar-96	1090.0	1762.3
ott-96	1390.0	1738.8
feb-97	1200.0	1725.4
set-97	1160.0	1702.6
mar-98	1430.0	1683.4
set-98	2645.0	1664.0
ago-99	2370.0	1629.5
nov-99	2500.0	1620.2
mag-00	1800.0	1601.8
ott-00	2250.0	1586.5
giu-01	1500.0	1562.5
ott-01	2210.0	1550.6
giu-02	1104.0	1527.1
ago-02	2080.0	1521.3
mag-03	1568.0	1495.4
set-03	2000.0	1483.9
apr-04	2050.0	1464.2
set-04	768.0	1450.3
mag-05	1625.0	1428.4
mag-06	1690.0	1396.1
mag-07	785.0	1364.5
mag-08	1355.0	1333.5
giu-09	1325.0	1300.8
giu-10	855.0	1271.3
giu-11	1405.0	1242.5
giu-12		1214.3
giu-13		1186.8
giu-14		1160.0
giu-15		1133.7
giu-16		1108.0
giu-17		1082.9
giu-18		1058.4
giu-19		1034.4
giu-20		1010.9
giu-21		988.1
giu-22		965.7
giu-23		943.8
giu-24		922.4
giu-25		901.5

Data	C.O.D. (mg/l)	Tendenza C.O.D.
giu-26		200.4
giu-27		180.7
giu-28		162.9
giu-29		146.8
giu-30		132.4
giu-31		119.4
giu-32		107.6
giu-33		97.0
giu-34		87.4
giu-35		78.8
giu-36		71.1
giu-37		64.1
giu-38		57.8
giu-39		52.1
giu-40		46.9
giu-41		42.3
giu-42		38.1
giu-43		34.4
giu-44		31.0

Data	NH4 (mg/l)	Tendenza NH4
giu-26		881.1
giu-27		861.2
giu-28		841.6
giu-29		822.6
giu-30		803.9
giu-31		785.7
giu-32		767.9
giu-33		750.5
giu-34		733.5
giu-35		716.9
giu-36		700.7
giu-37		684.8
giu-38		669.3
giu-39		654.1
giu-40		639.3
giu-41		624.8
giu-42		610.7
giu-43		596.9
giu-44		583.3

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
mar-96	9.6	15.9
ott-96	6.4	14.9
feb-97	9.8	14.4
set-97	18.6	13.6
mar-98	19.7	12.9
set-98	9.7	12.2
ago-99	11.5	11.1
nov-99	12.7	10.8
mag-00	13.2	10.2
ott-00	13.1	9.8
giu-01	10.3	9.1
ott-01	13.7	8.8
giu-02	3.0	8.2
ago-02	12.8	8.1
mag-03	14.0	7.5
set-03	12.7	7.2
apr-04	13.8	6.8
set-04	0.6	6.5
mag-05	12.2	6.0
mag-06	11.5	5.4
mag-07	6.2	4.9
mag-08	8.7	4.4
giu-09	8.2	3.9
giu-10	1.0	3.5
giu-11	1.3	3.2
giu-12		2.9
giu-13		2.6
giu-14		2.3
giu-15		2.1
giu-16		1.9
giu-17		1.7
giu-18		1.5
giu-19		1.4
giu-20		1.2
giu-21		1.1
giu-22		1.0
giu-23		0.9
giu-24		0.8
giu-25		0.7

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
mar-96	9630.0	13593.5
ott-96	10825.0	13619.8
feb-97	9040.0	13634.9
set-97	22740.0	13660.9
mar-98	6096.0	13683.2
set-98	19370.0	13705.9
ago-99	17300.0	13747.2
nov-99	16498.0	13758.6
mag-00	18280.0	13781.2
ott-00	17540.0	13800.2
giu-01	14230.0	13830.5
ott-01	17930.0	13845.7
giu-02	14930.0	13876.0
ago-02	17199.0	13883.7
mag-03	16430.0	13917.9
set-03	17290.0	13933.3
apr-04	16530.0	13960.1
set-04	5160.0	13979.3
mag-05	14970.0	14009.8
mag-06	15580.0	14056.0
mag-07	9330.0	14102.3
mag-08	21680.0	14148.9
giu-09	16900.0	14199.4
giu-10	9210.0	14246.2
giu-11	13670.0	14293.1
giu-12		14340.3
giu-13		14387.6
giu-14		14435.0
giu-15		14482.5
giu-16		14530.4
giu-17		14578.2
giu-18		14626.2
giu-19		14674.4
giu-20		14722.9
giu-21		14771.4
giu-22		14820.0
giu-23		14868.9
giu-24		14918.0
giu-25		14967.1

Data	P tot. (mg/l)	Tendenza P tot.
giu-26		0.7
giu-27		0.6
giu-28		0.5
giu-29		0.5
giu-30		0.4
giu-31		0.4
giu-32		0.3
giu-33		0.3
giu-34		0.3
giu-35		0.3
giu-36		0.2
giu-37		0.2
giu-38		0.2
giu-39		0.2
giu-40		0.1
giu-41		0.1
giu-42		0.1
giu-43		0.1
giu-44		0.1

Data	Conducibilità elettrica a 18° (µs/cm)	Tendenza Conducibilità elettrica a 18° C (µs/cm)
giu-26		15016.4
giu-27		15065.9
giu-28		15115.6
giu-29		15165.4
giu-30		15215.4
giu-31		15265.5
giu-32		15315.9
giu-33		15366.4
giu-34		15417.0
giu-35		15467.8
giu-36		15518.9
giu-37		15570.0
giu-38		15621.3
giu-39		15672.7
giu-40		15724.5
giu-41		15776.3
giu-42		15828.3
giu-43		15880.4
giu-44		15932.9

Appendice 2 - Grafici

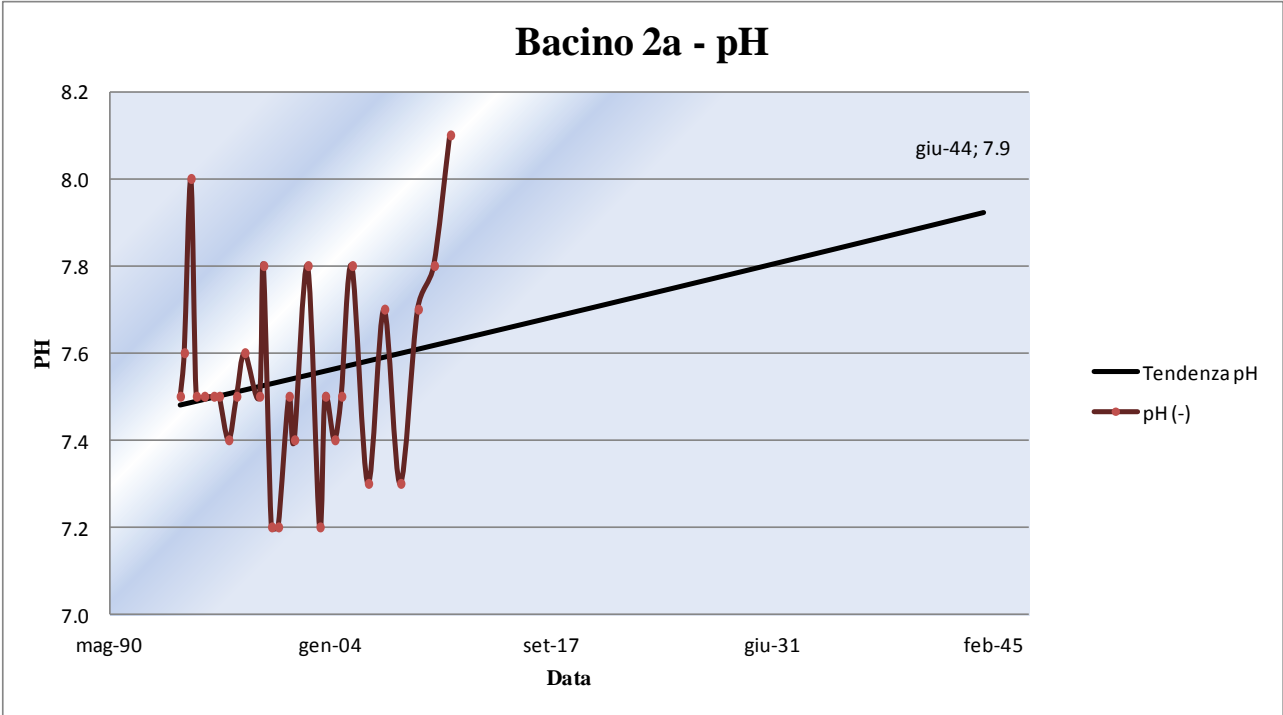
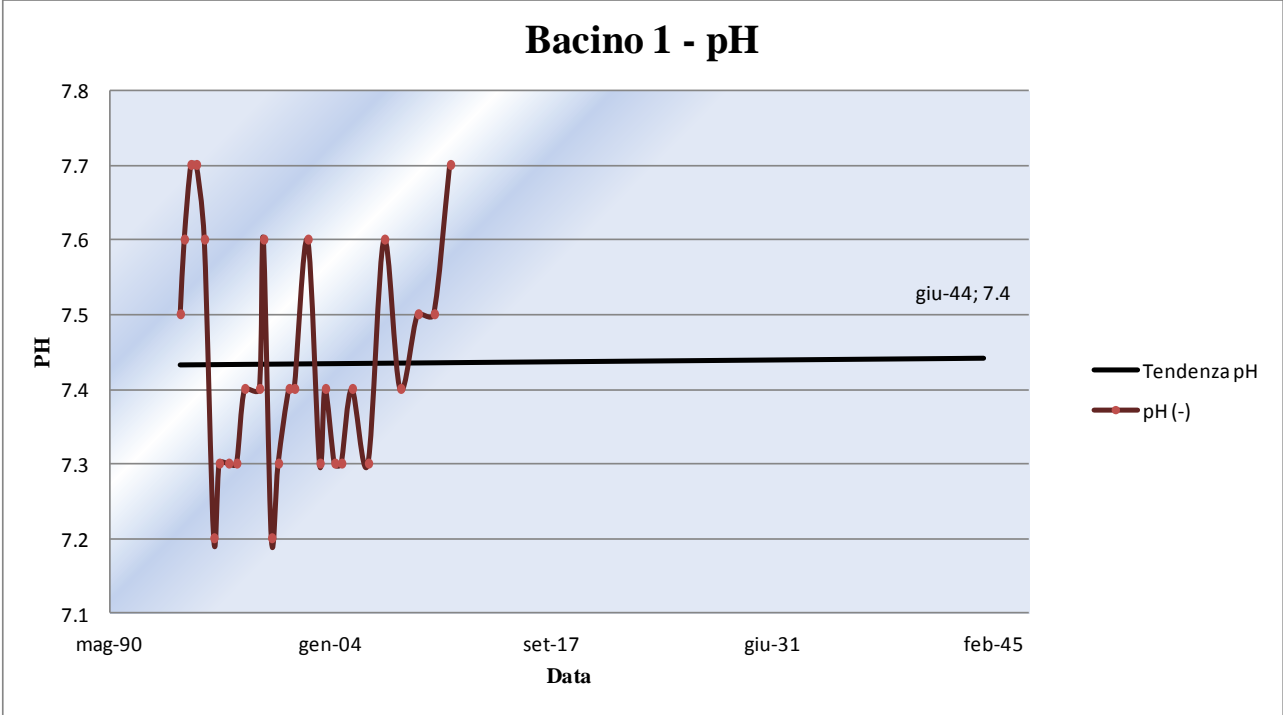
Di seguito vengono riportati i grafici relativi ai parametri studiati nella presente tesi, per i bacini più anziani della discarica gestita da S.A.Ba.R. Spa.

I parametri presi in considerazione per ogni bacino sono (tra parentesi l'unità di misura):

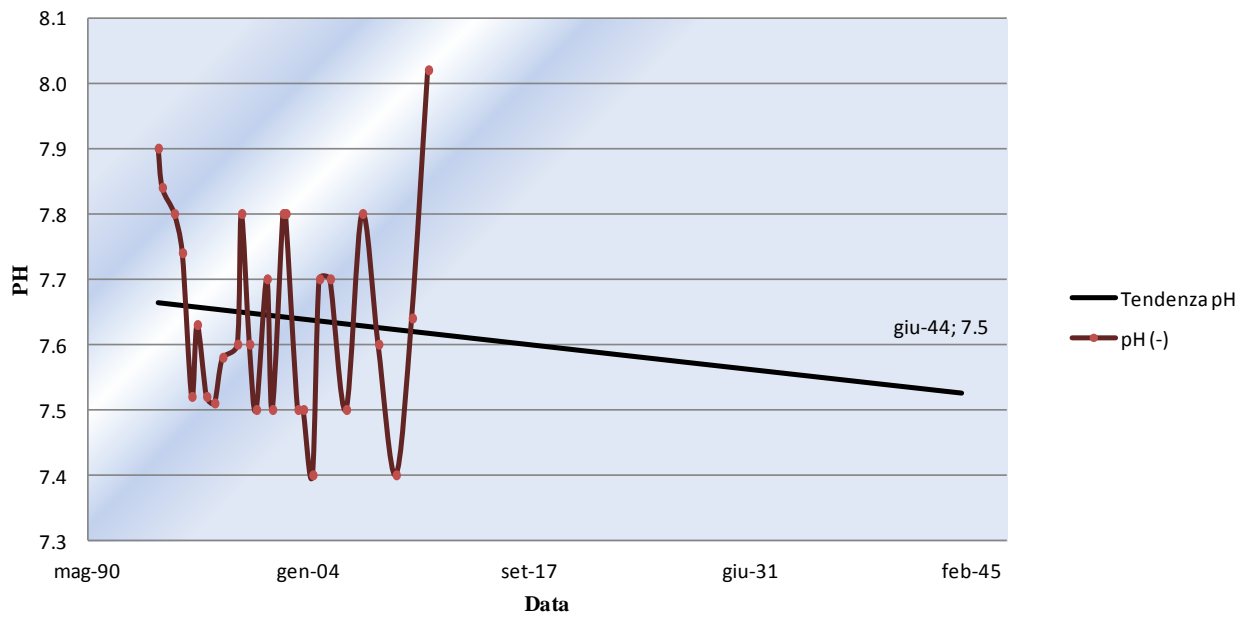
- pH (-)
- B.O.D. (mg/l)
- C.O.D. (mg/l)
- NH₄ (mg/l)
- P (mg/l)
- Conducibilità elettrica a 18° (μs/cm)

I grafici si riferiscono ai valori riportati nell'appendice 1.

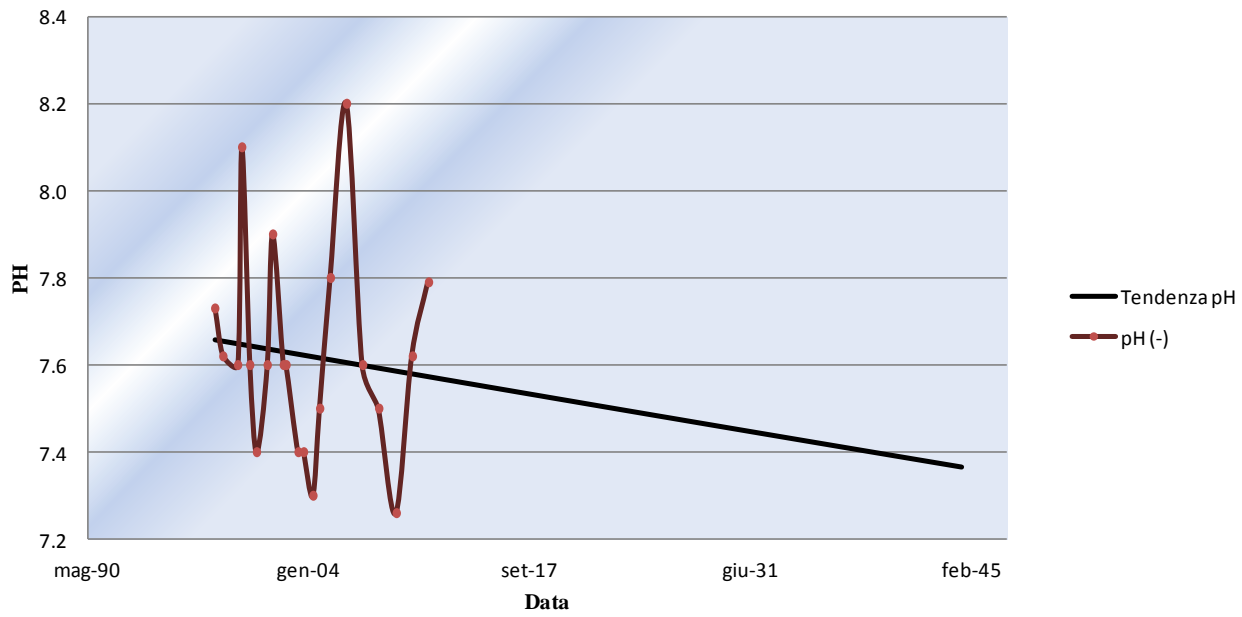
A.2.1 - pH



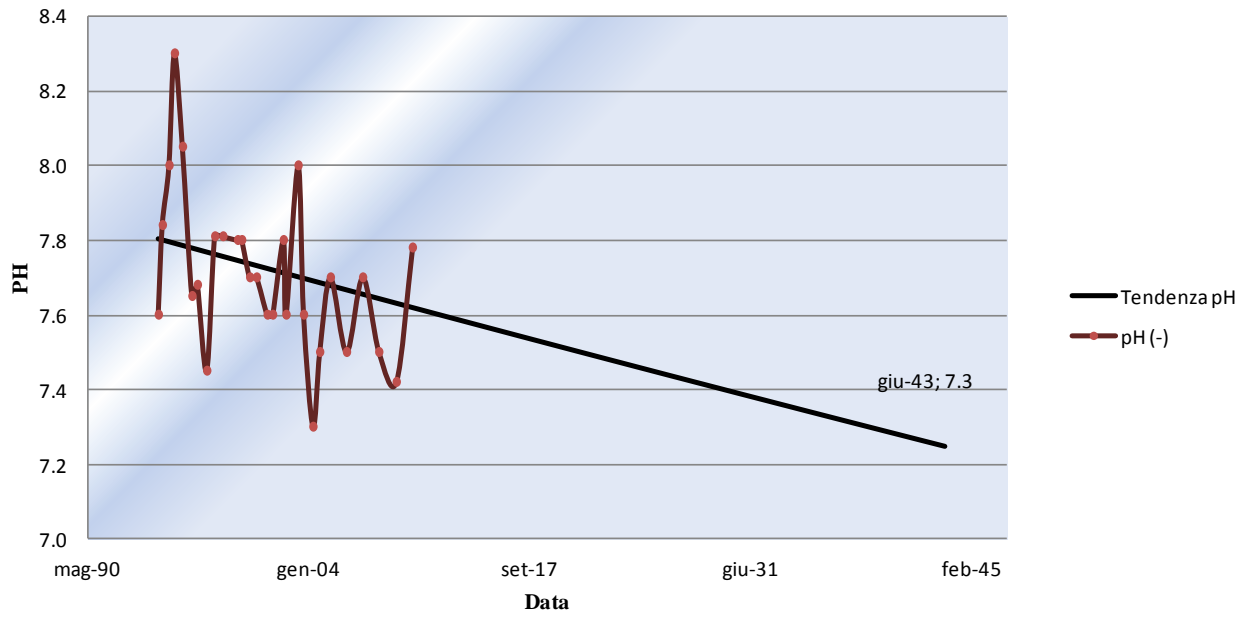
Bacino 3 - pH



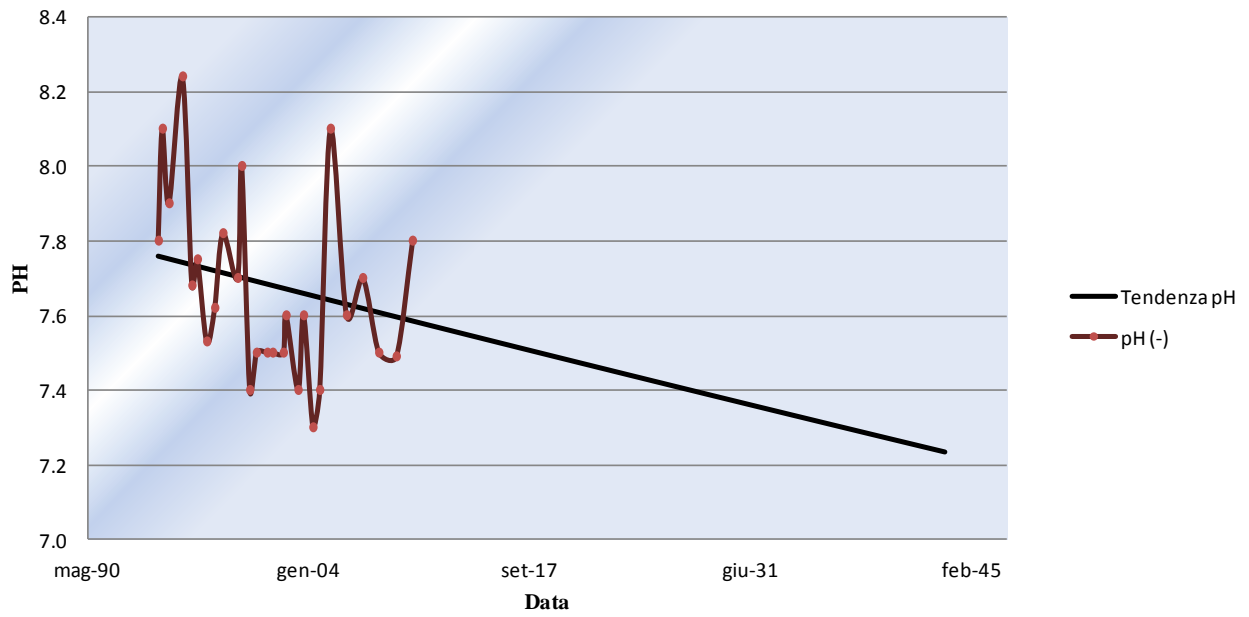
Bacino 4 - pH



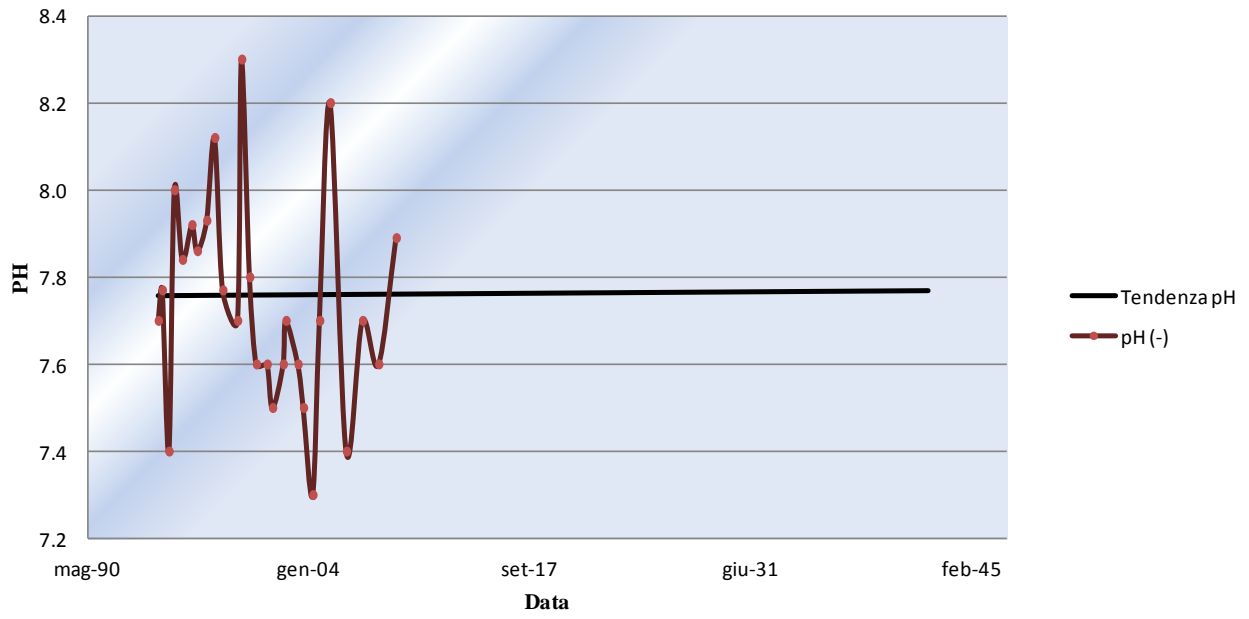
Bacino 5 - pH



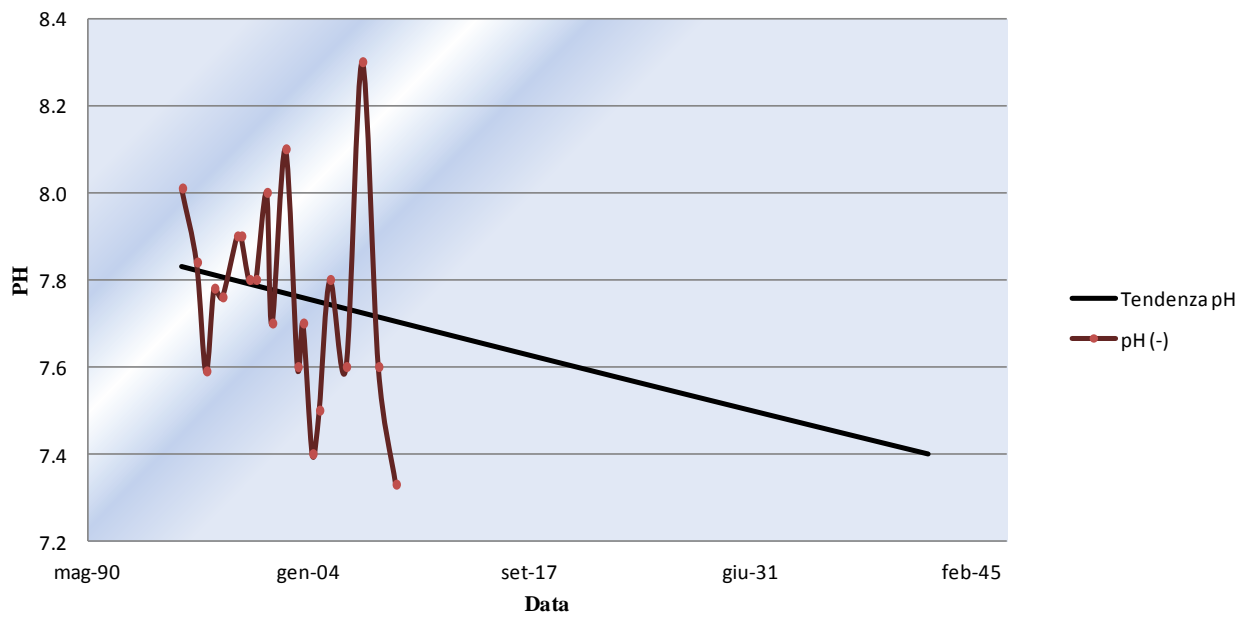
Bacino 6 - pH



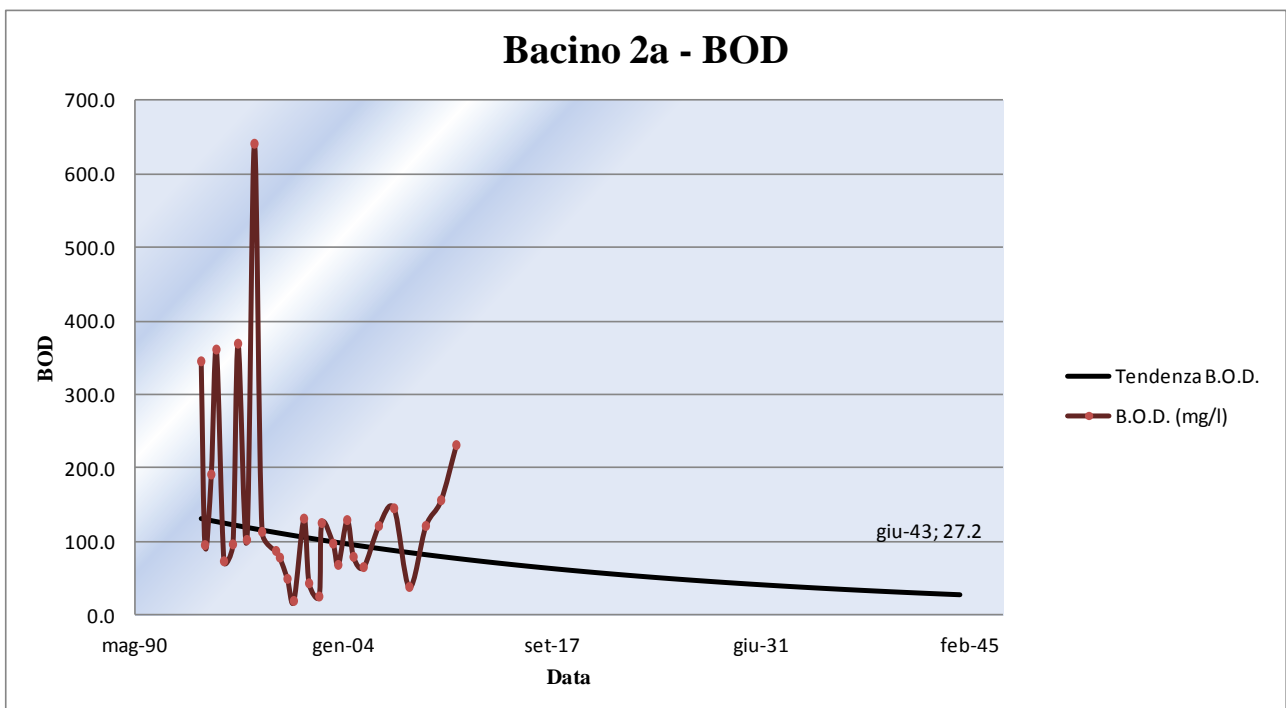
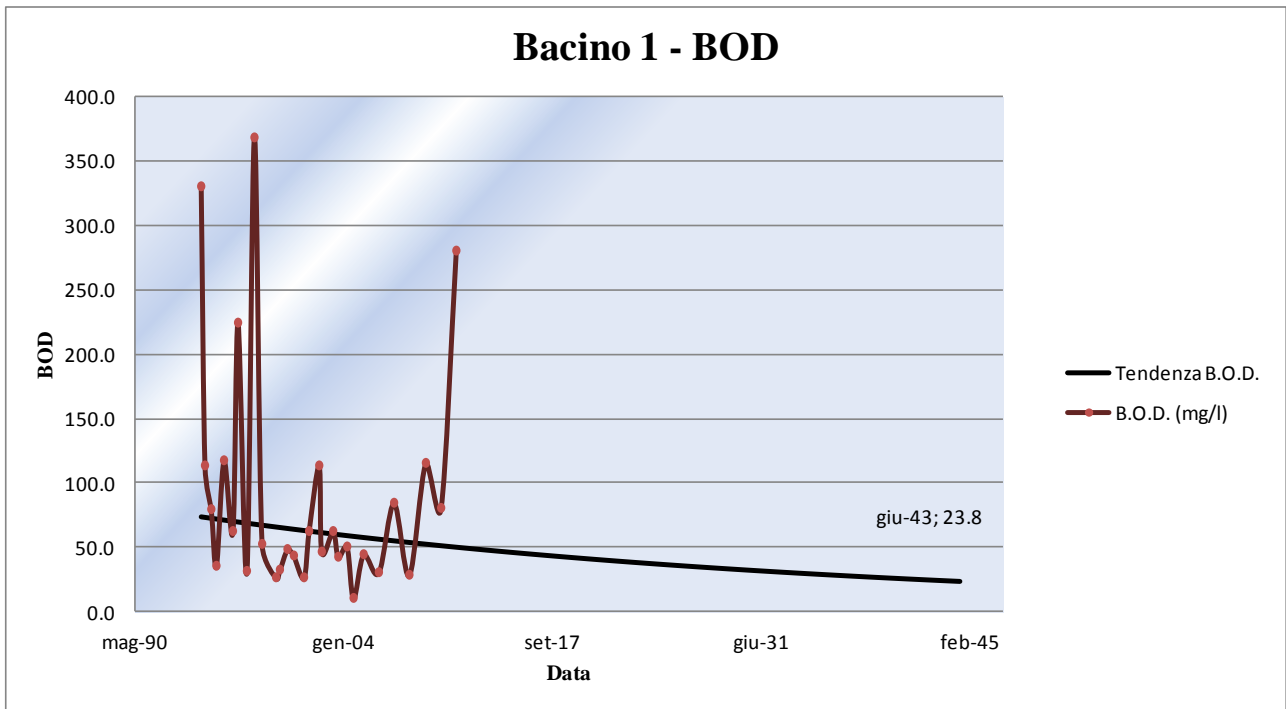
Bacino 7 - pH



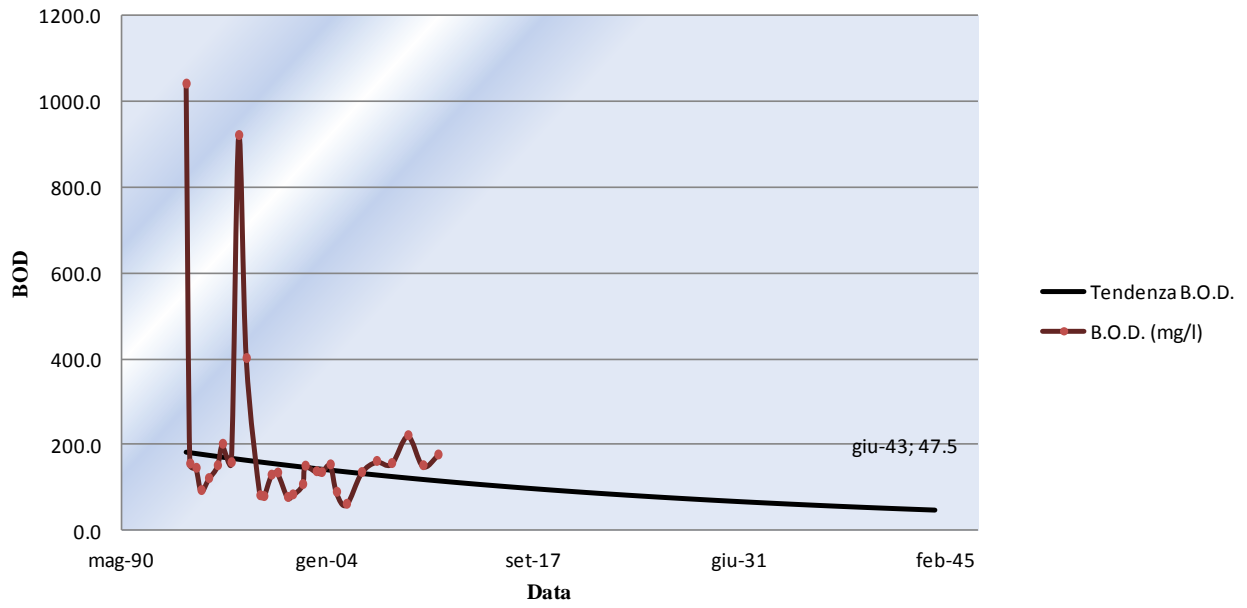
Bacino 8 - pH



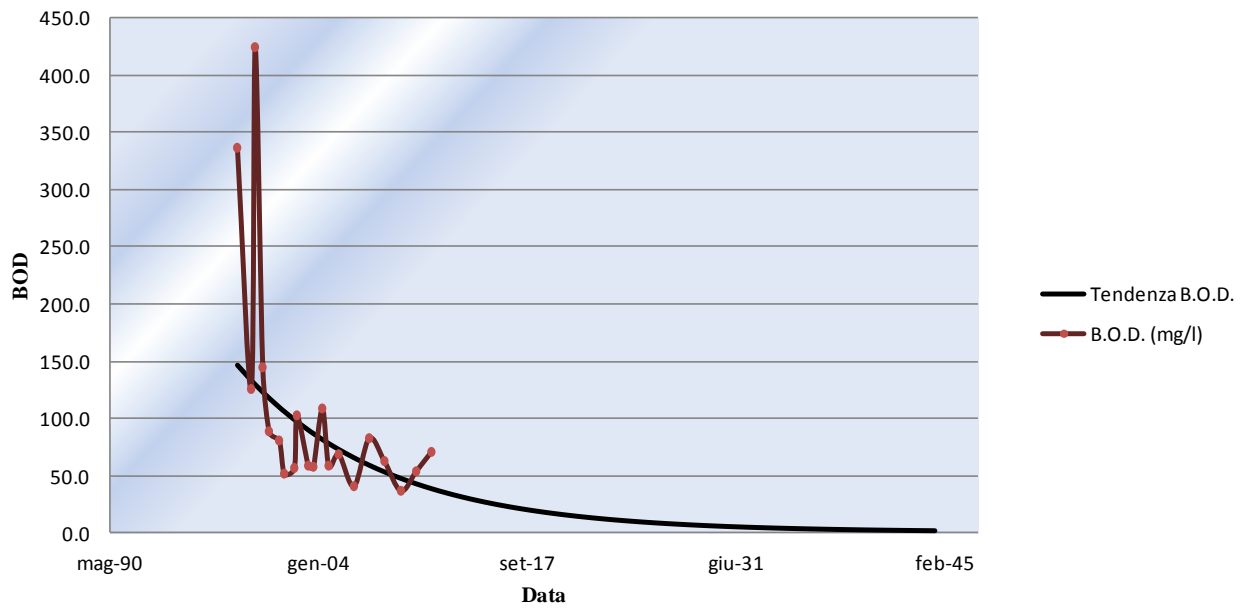
A.2.2 - B.O.D.



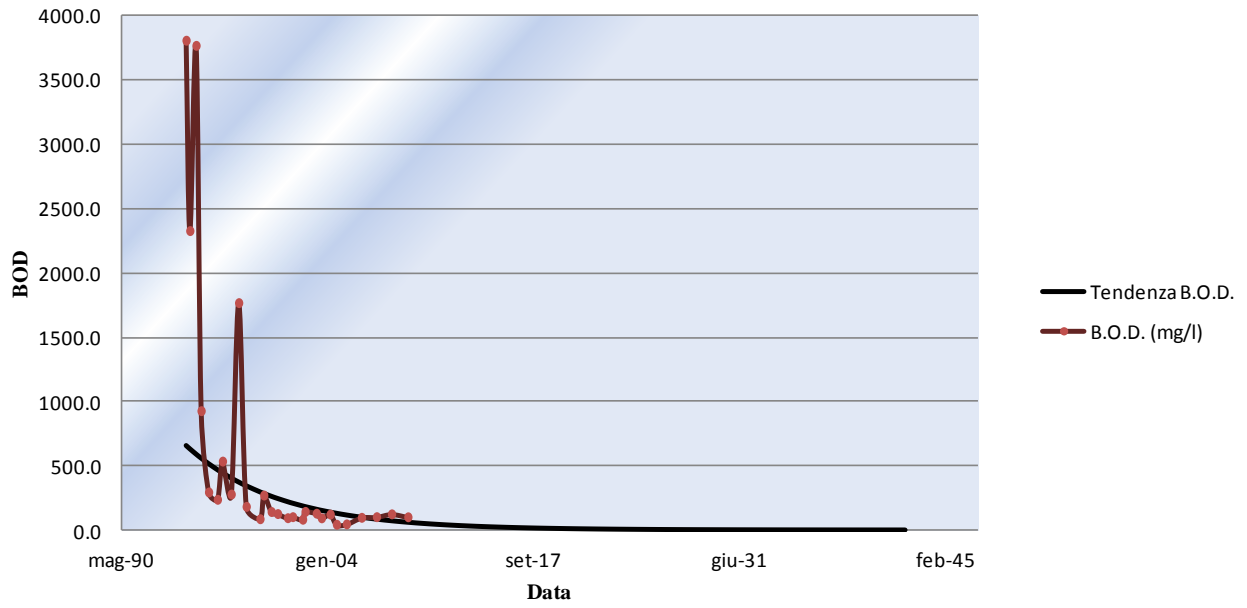
Bacino 3 - BOD



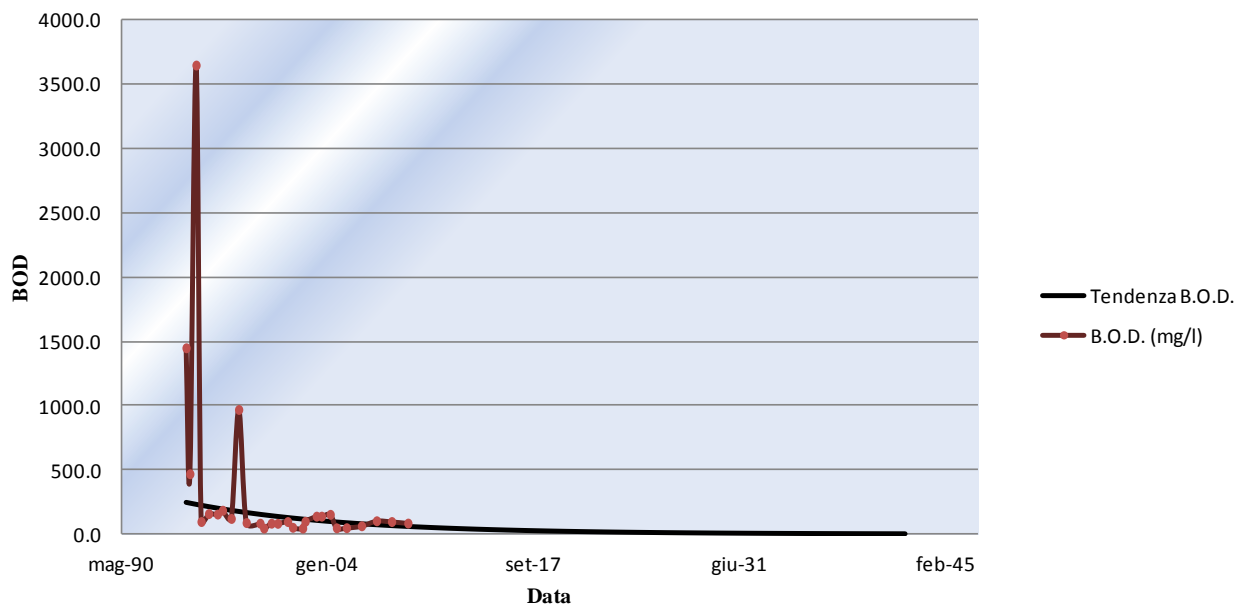
Bacino 4 - BOD



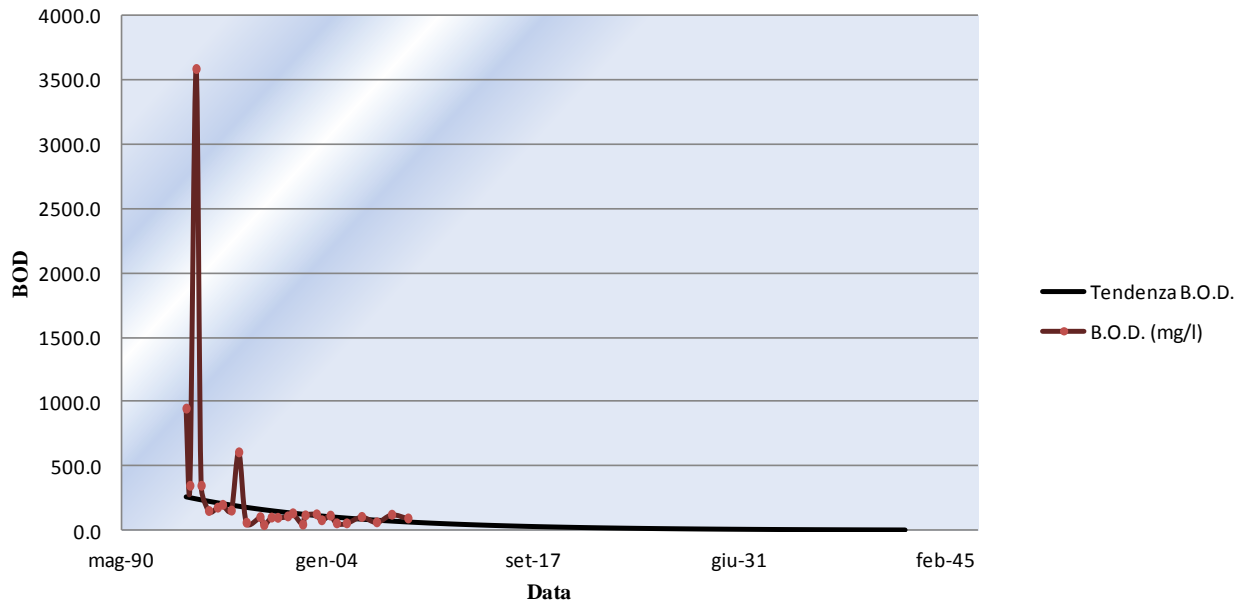
Bacino 5 - BOD



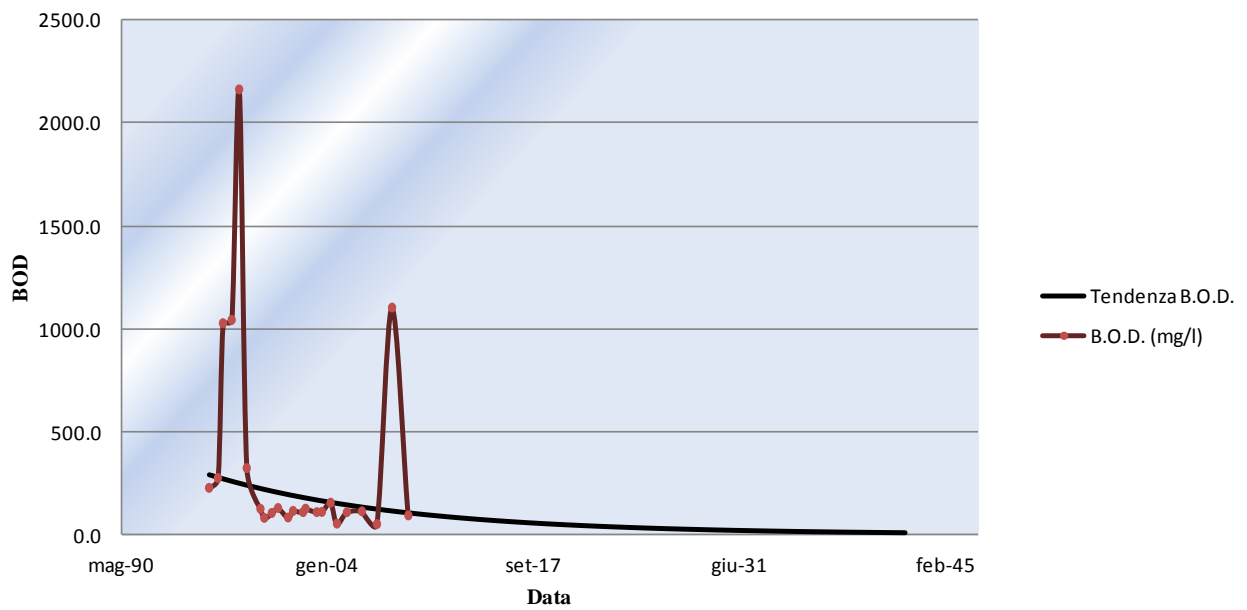
Bacino 6 - BOD



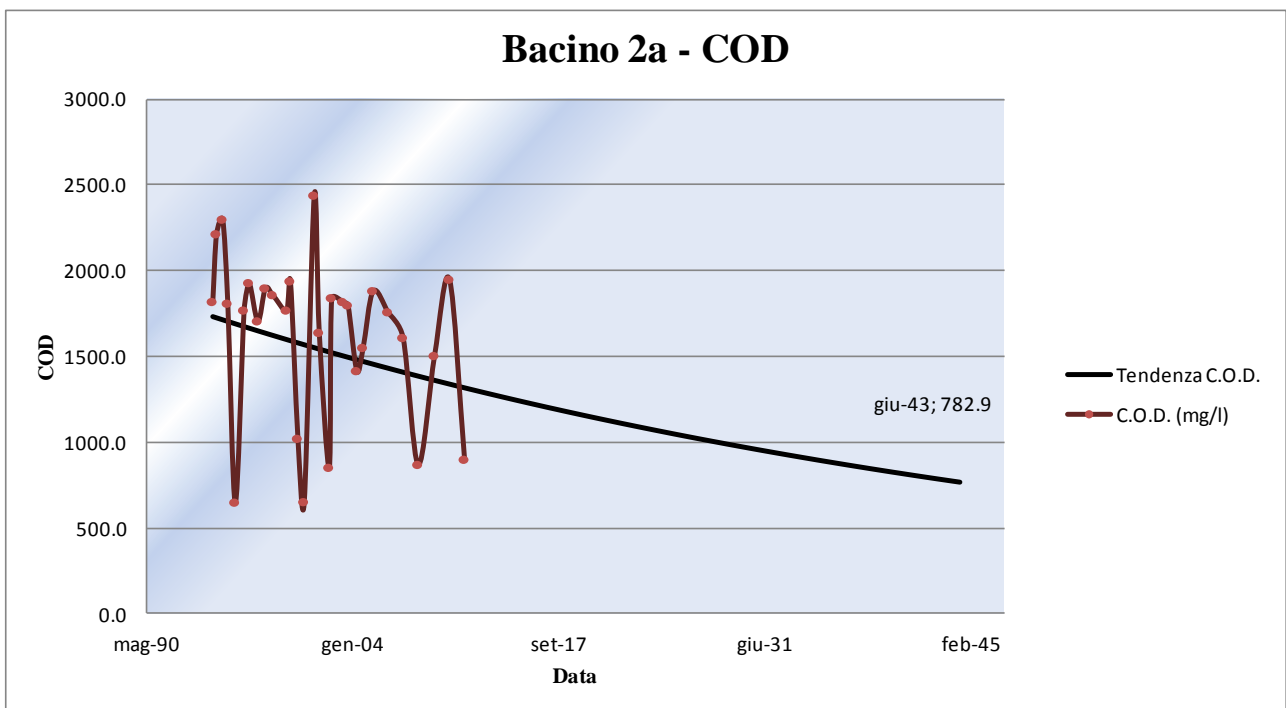
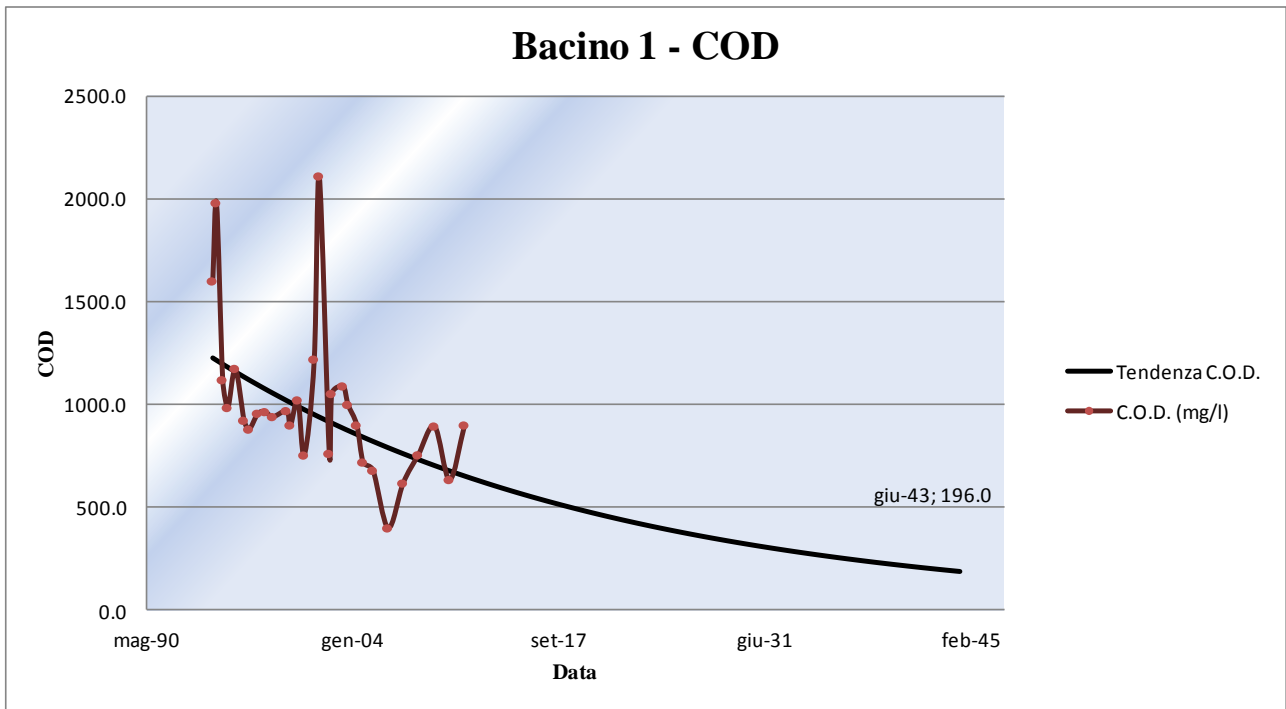
Bacino 7 - BOD



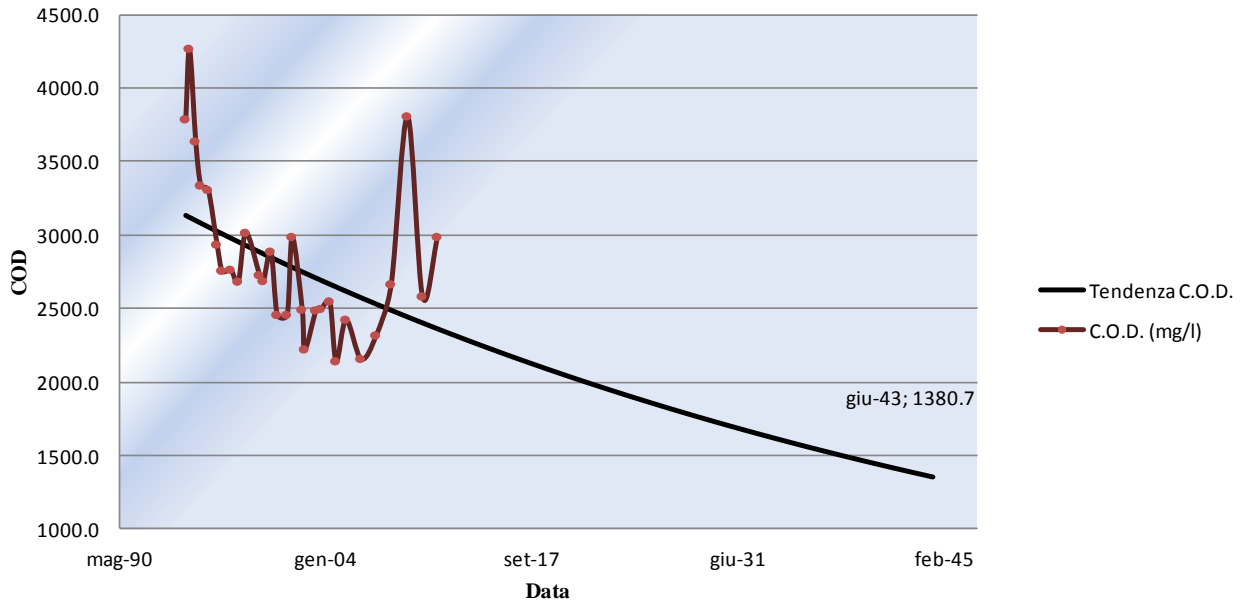
Bacino 8 - BOD



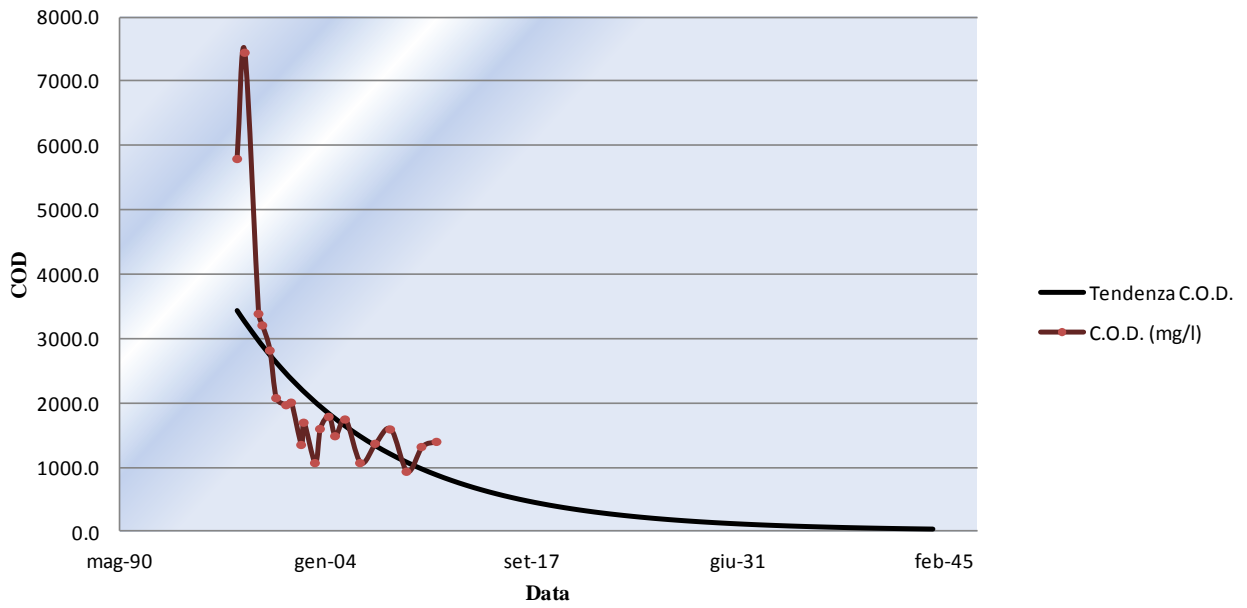
A.2.3 - C.O.D.



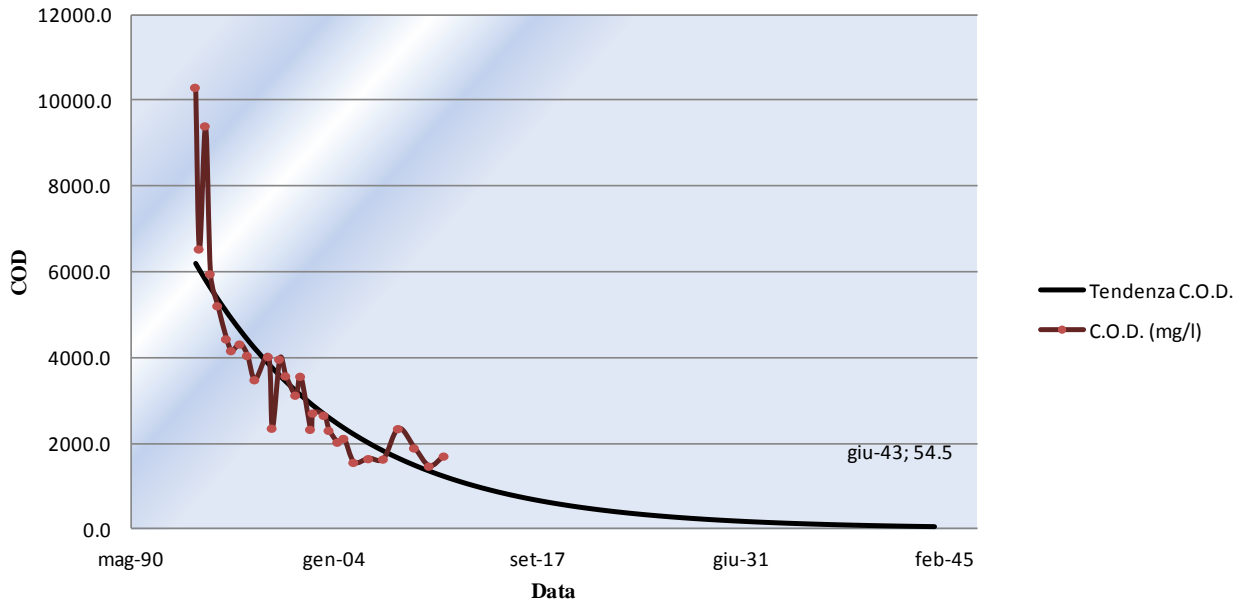
Bacino 3 - COD



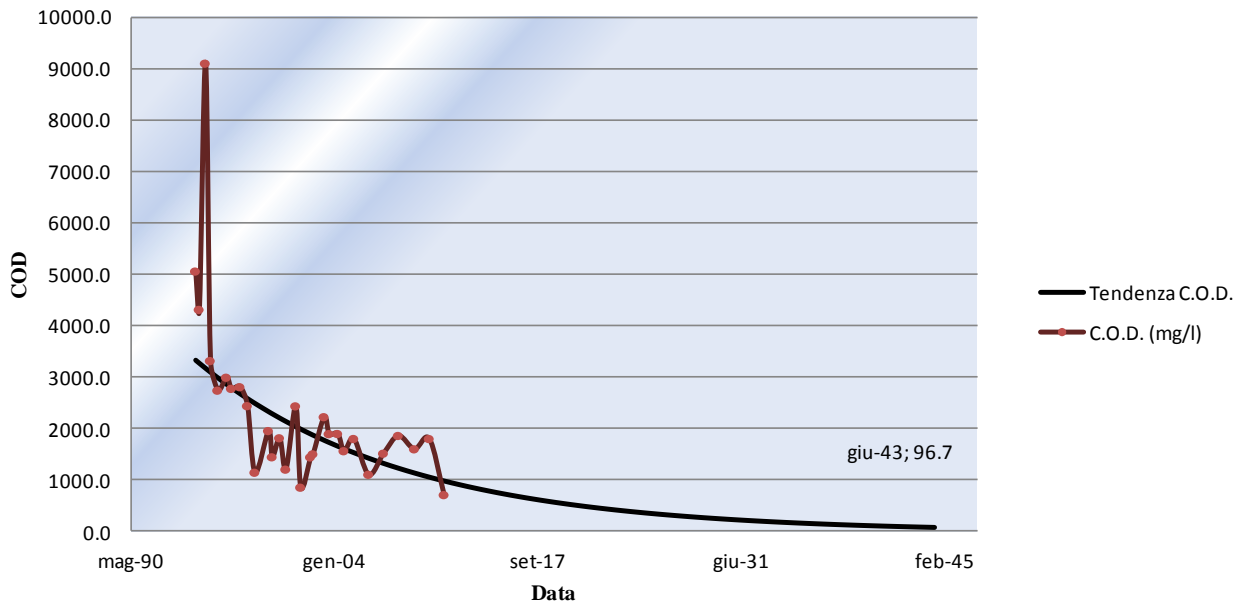
Bacino 4 - COD



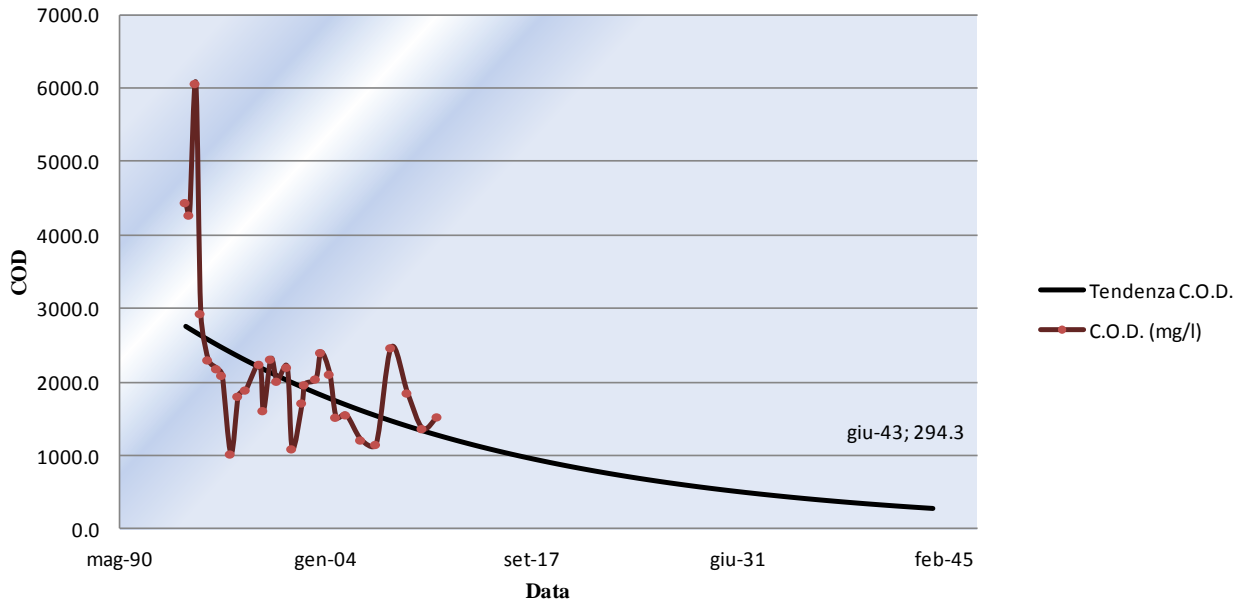
Bacino 5 - COD



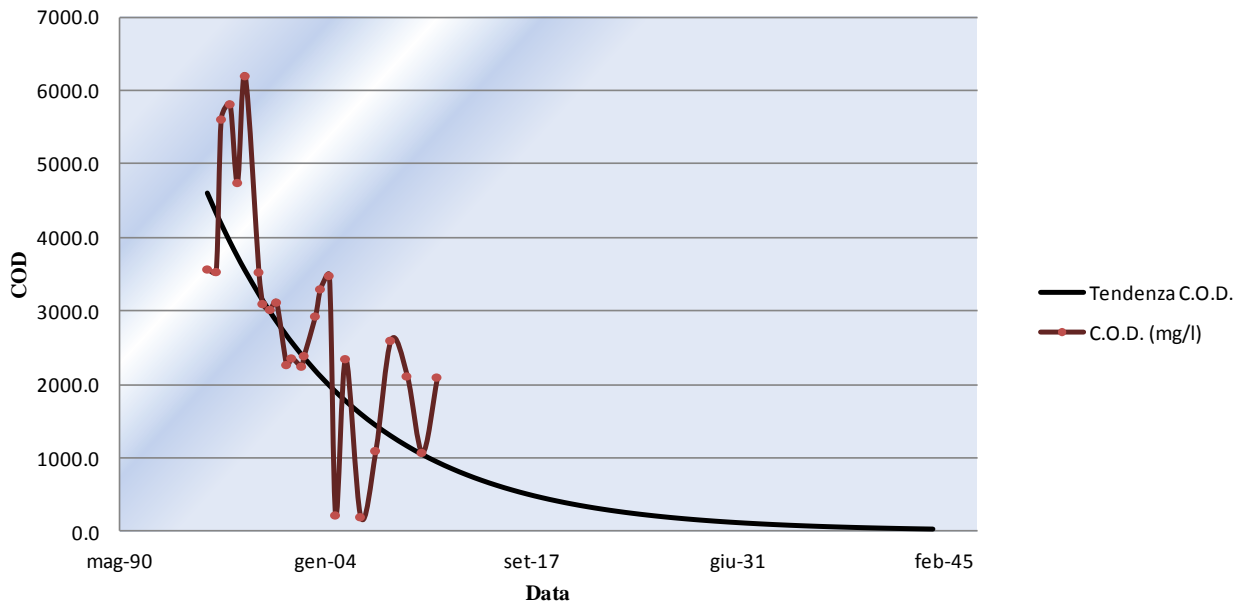
Bacino 6 - COD



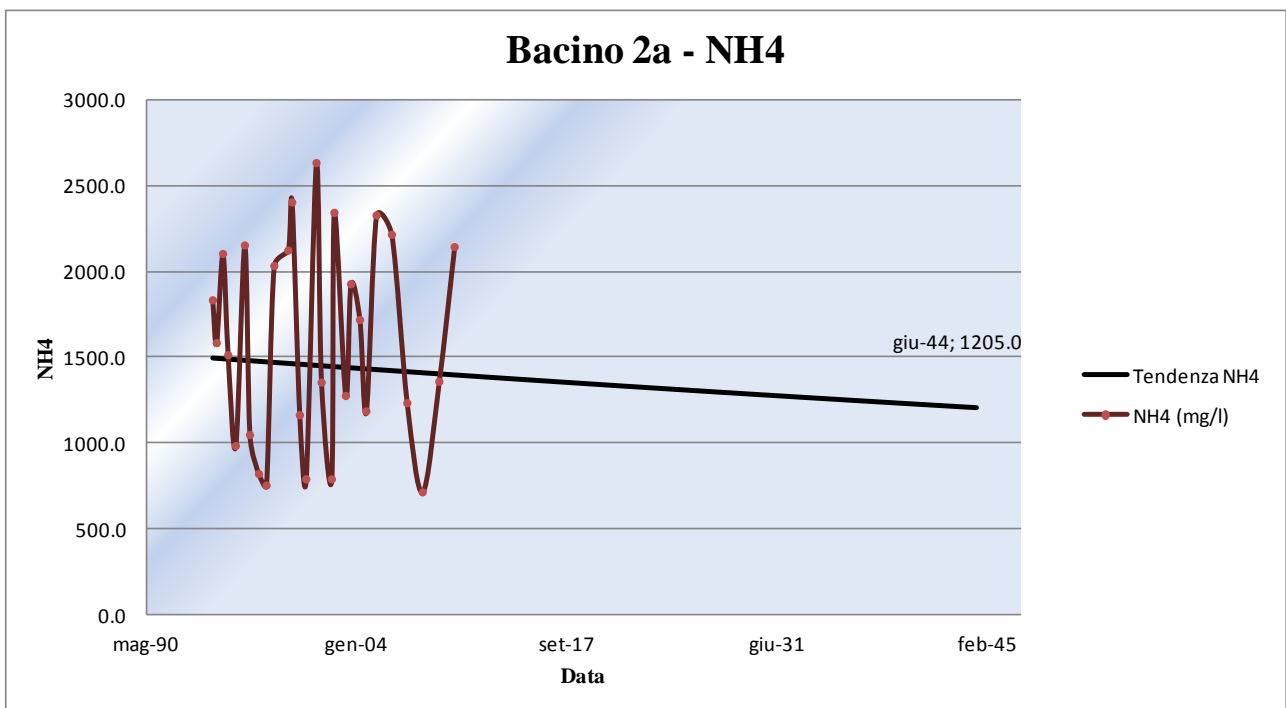
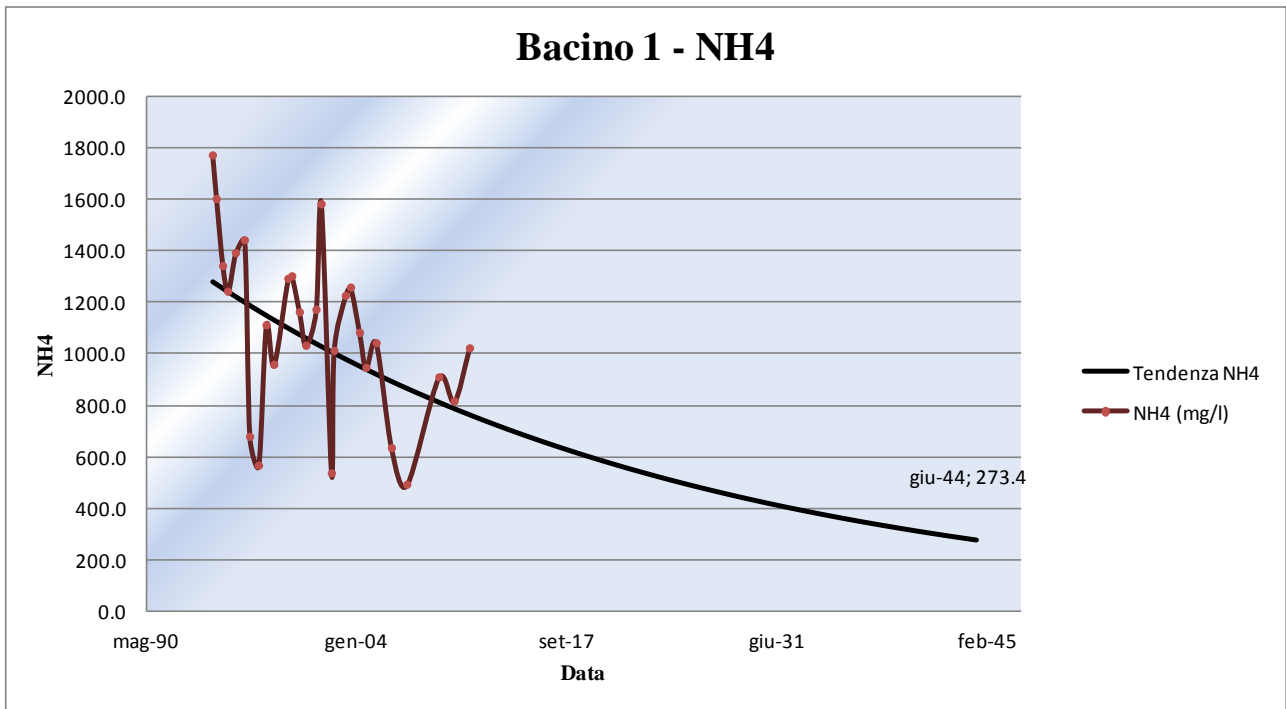
Bacino 7 - COD



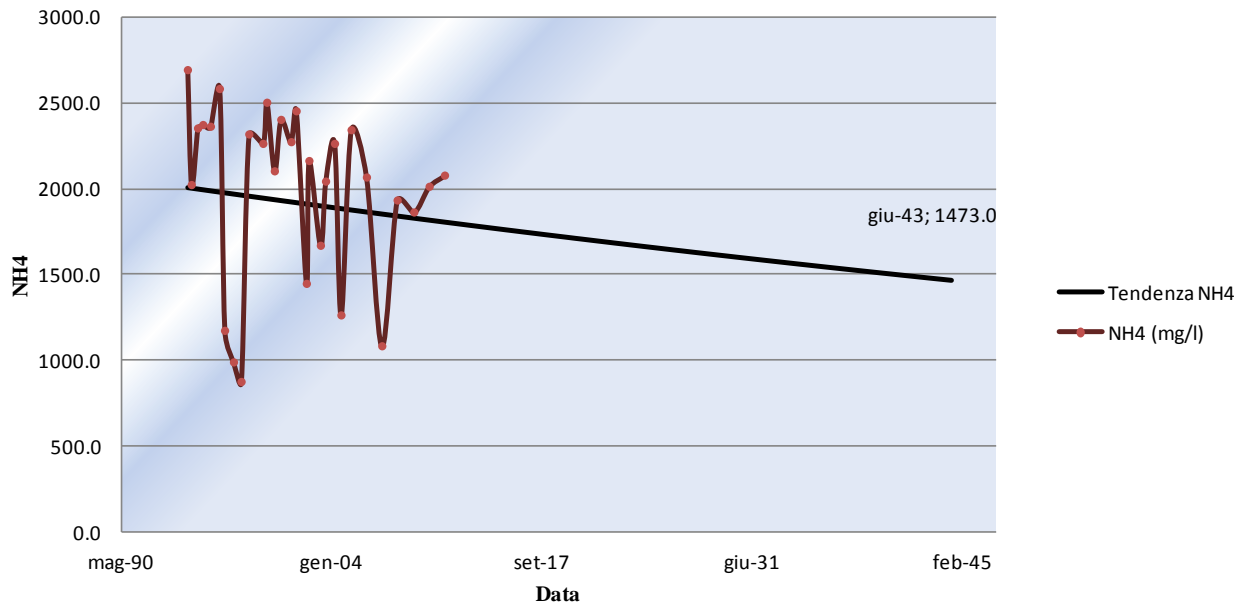
Bacino 8 - COD



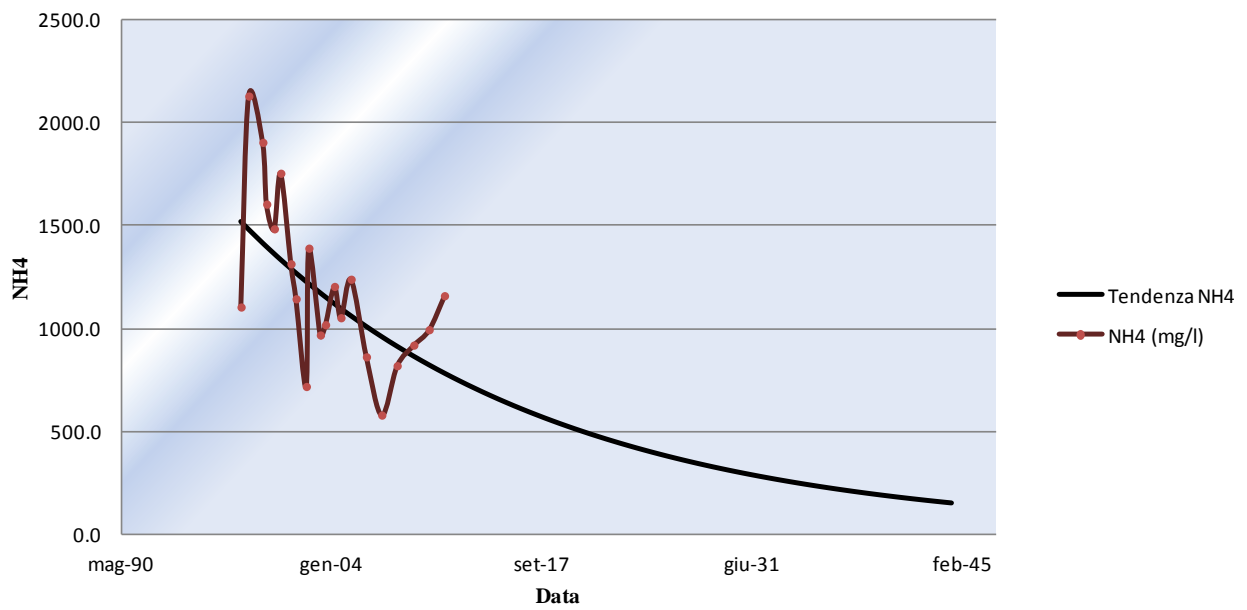
A.2.4 - NH₄



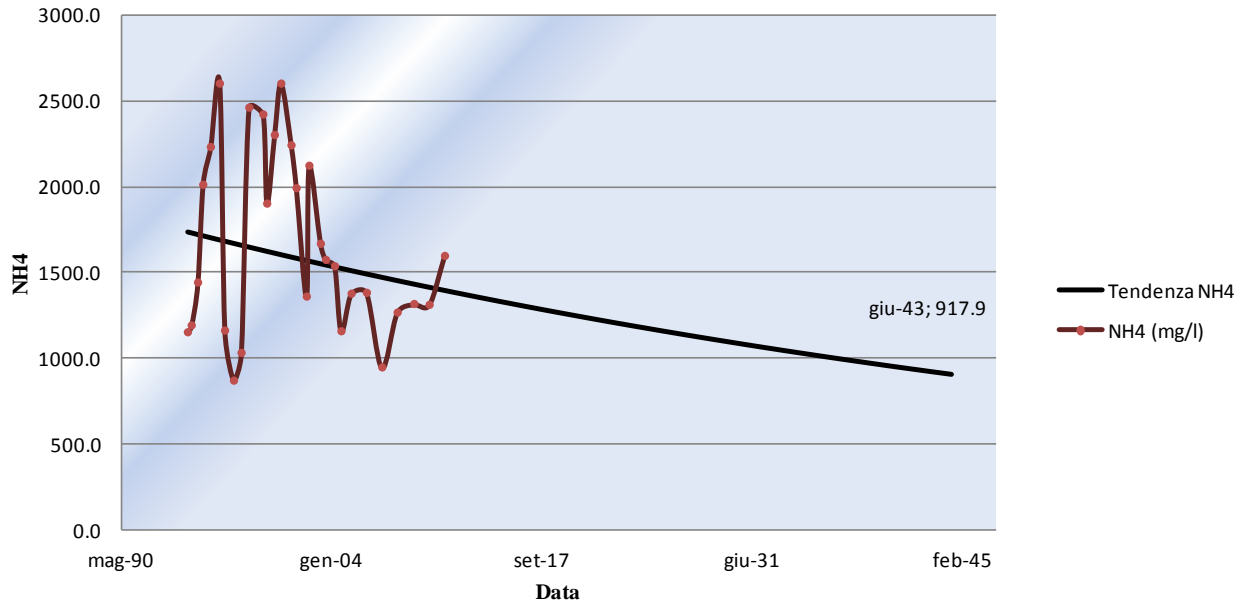
Bacino 3 - NH4



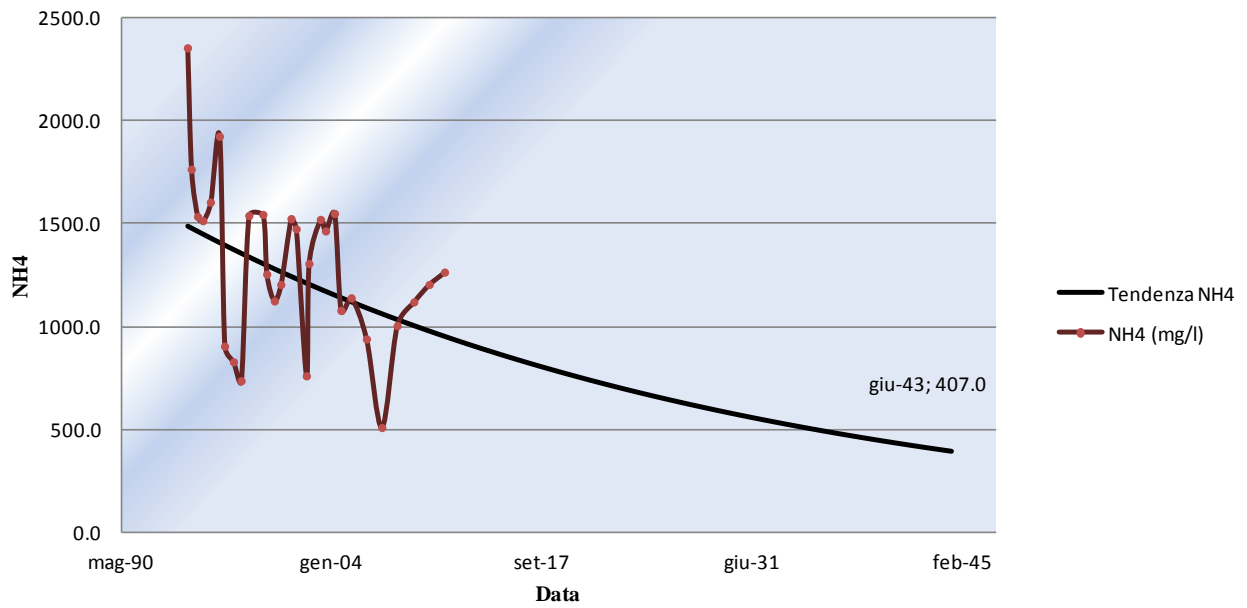
Bacino 4 - NH4



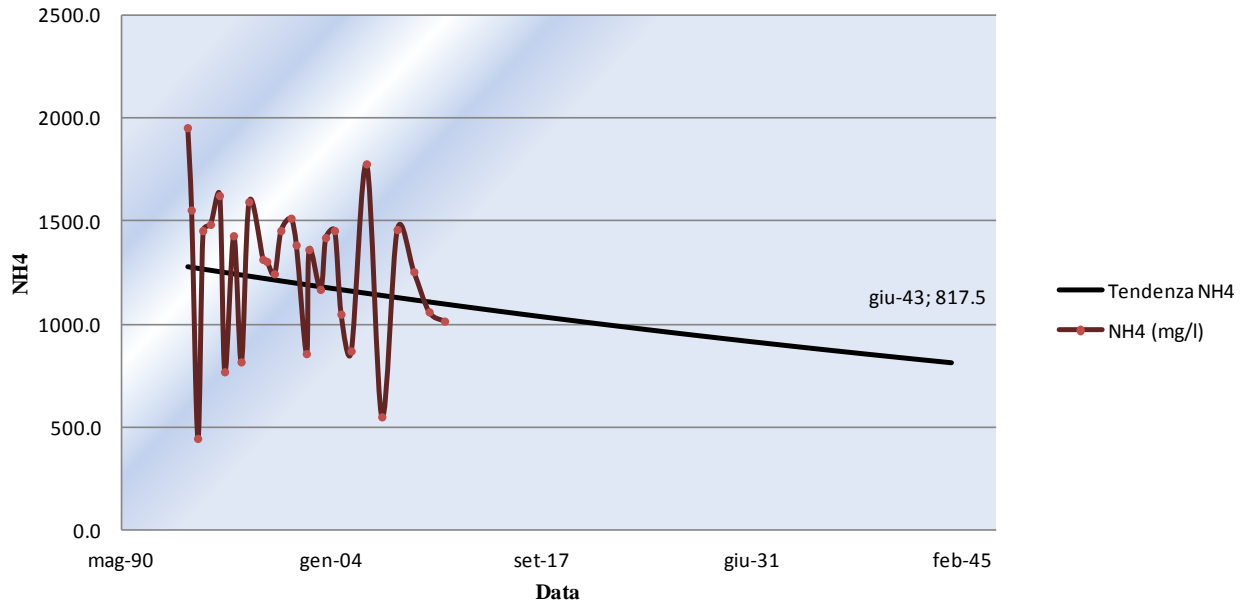
Bacino 5 - NH4



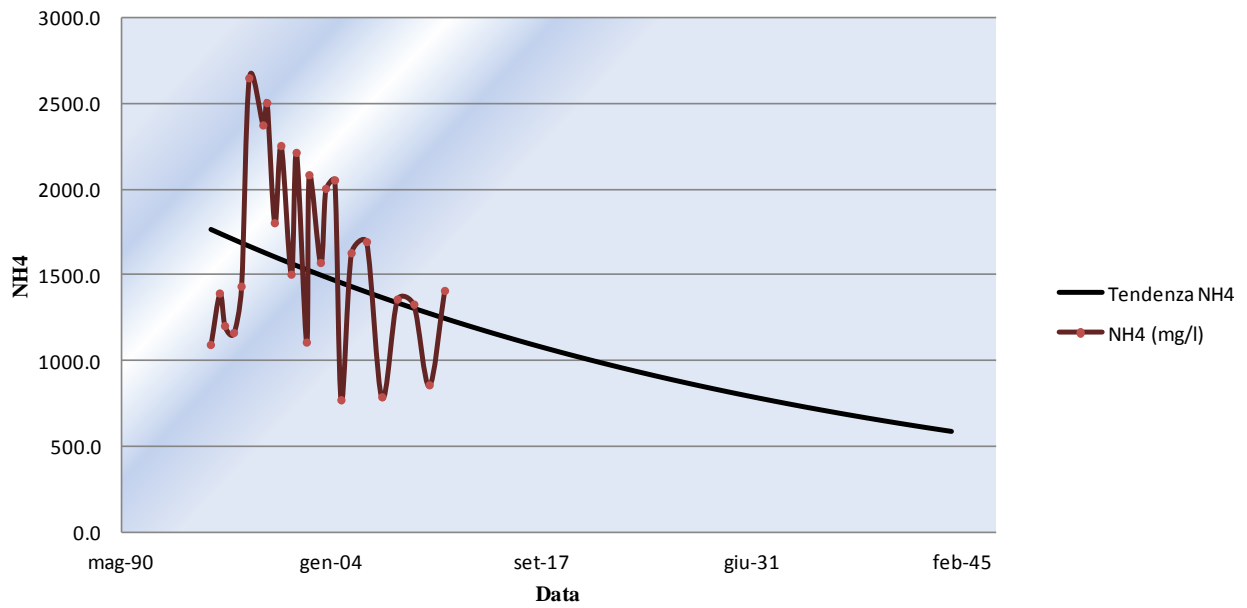
Bacino 6 - NH4



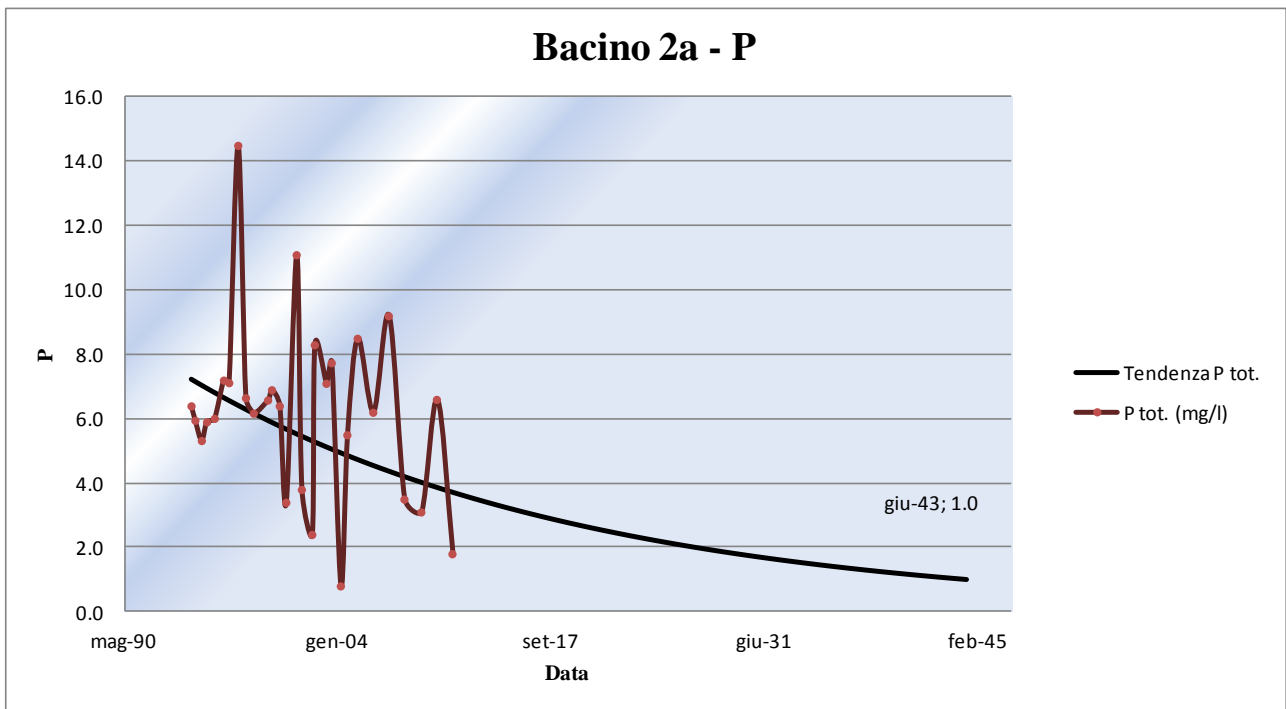
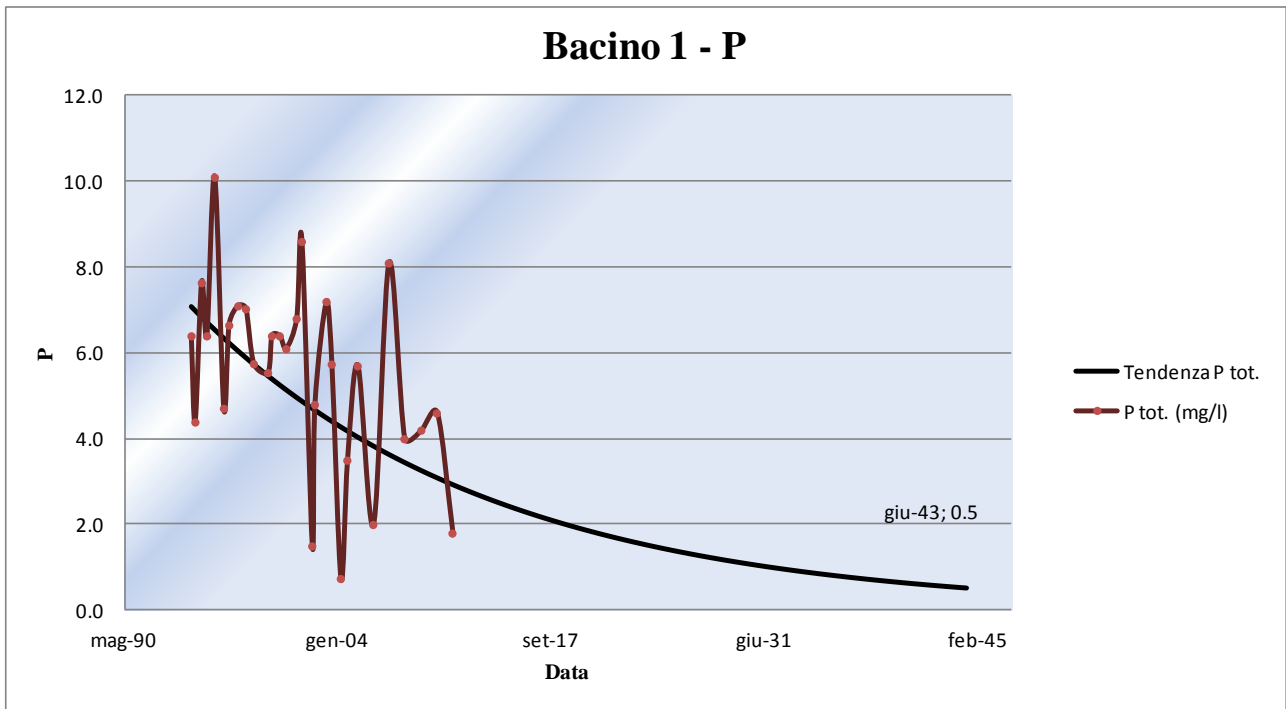
Bacino 7 - NH4



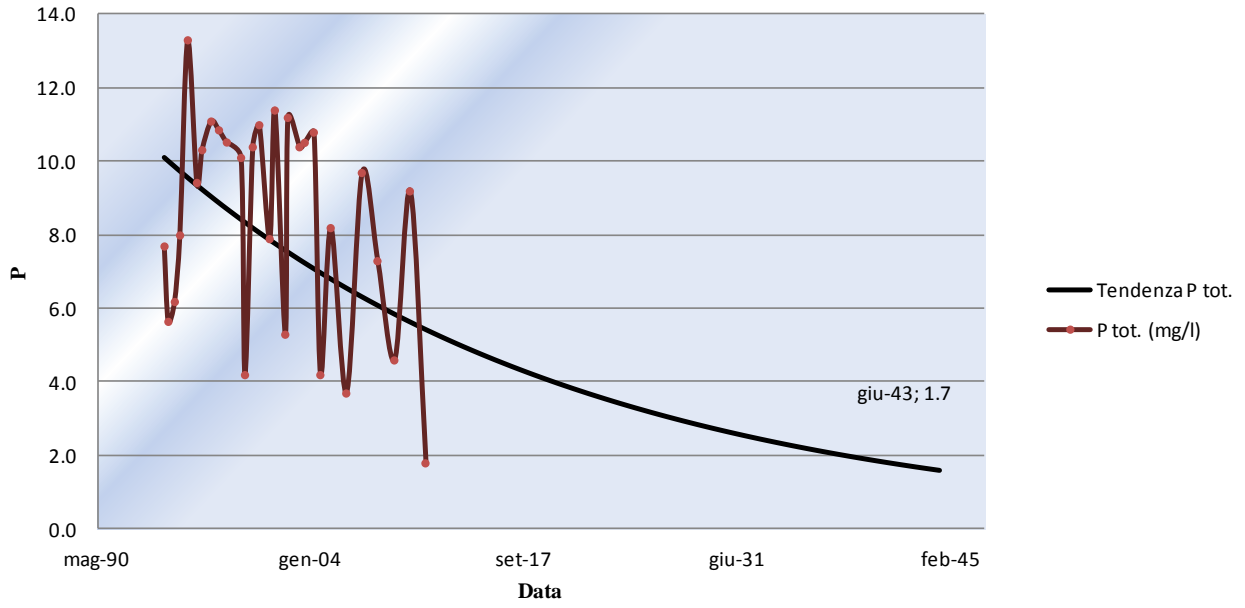
Bacino 8 - NH4



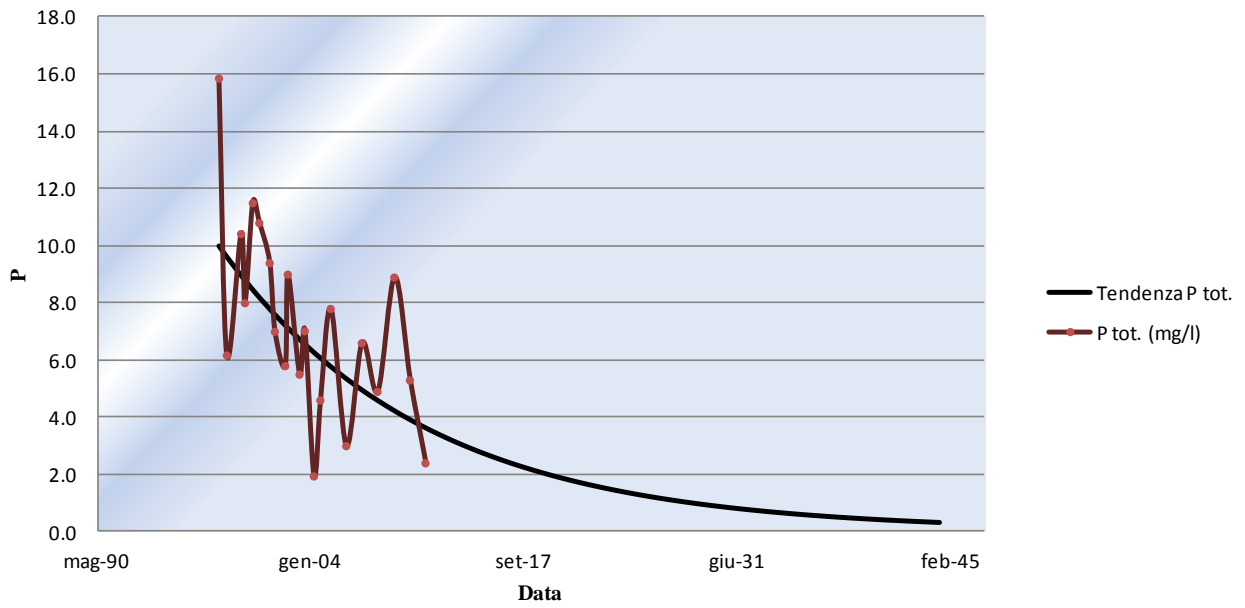
A.2.5 - P



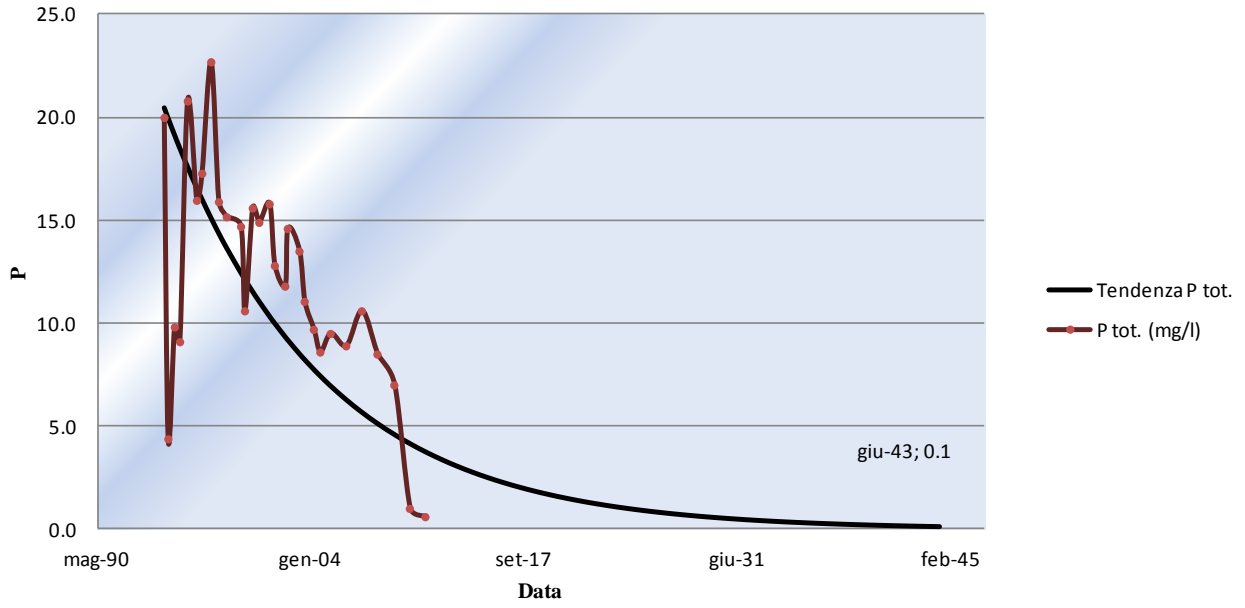
Bacino 3 - P



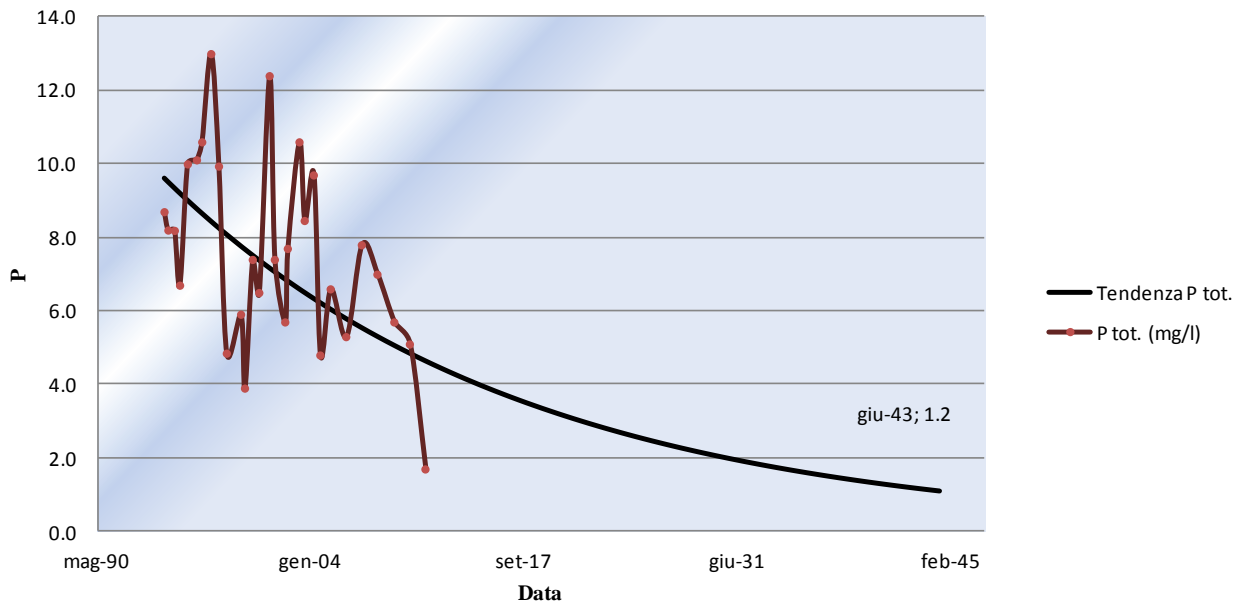
Bacino 4 - P



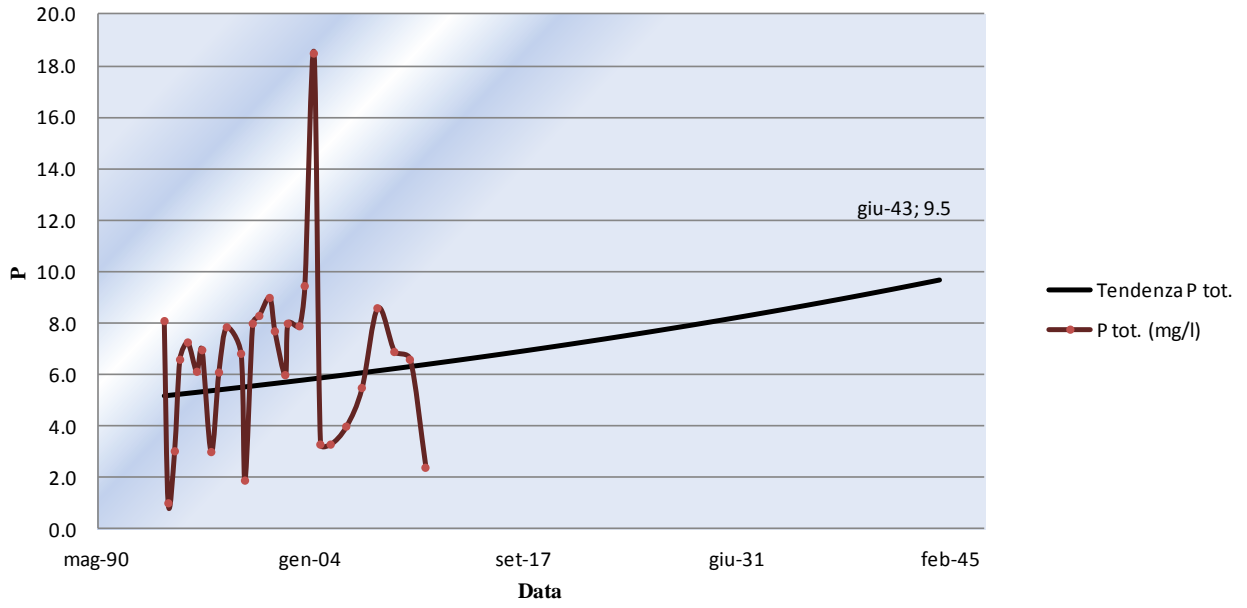
Bacino 5 - P



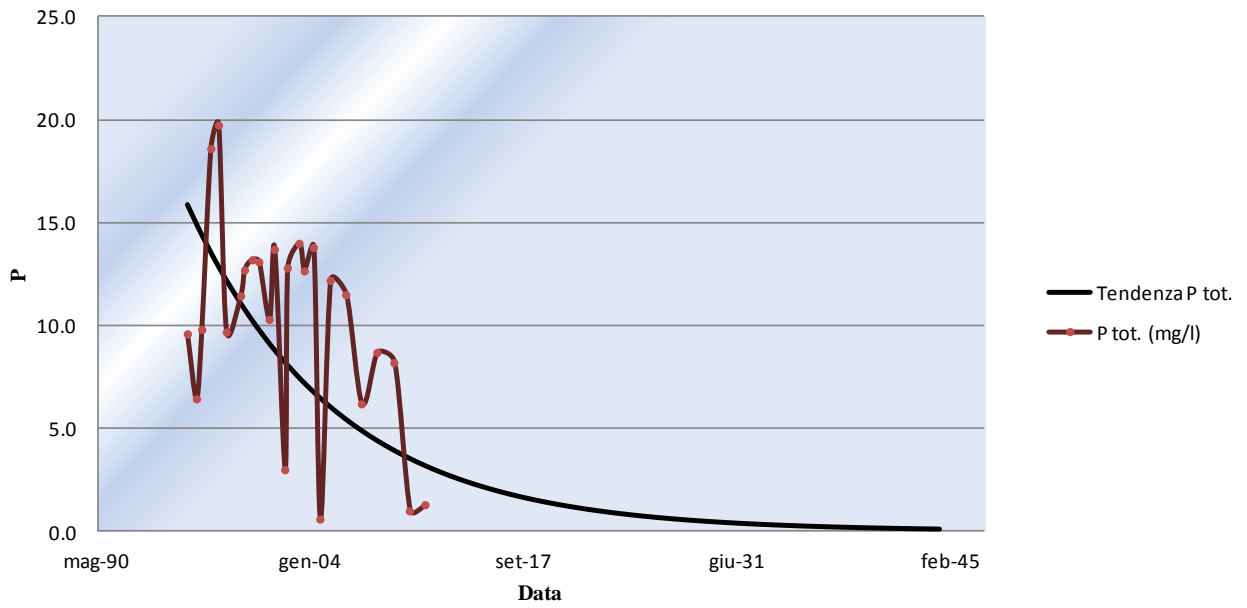
Bacino 6 - P



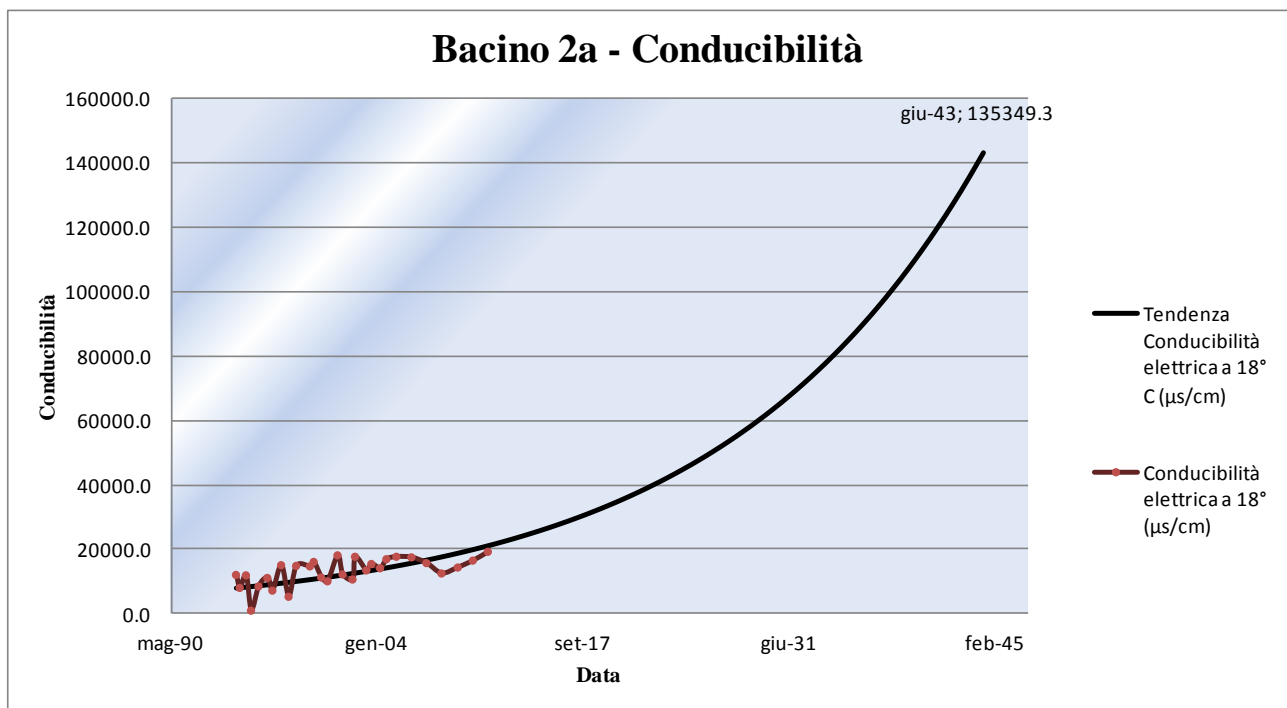
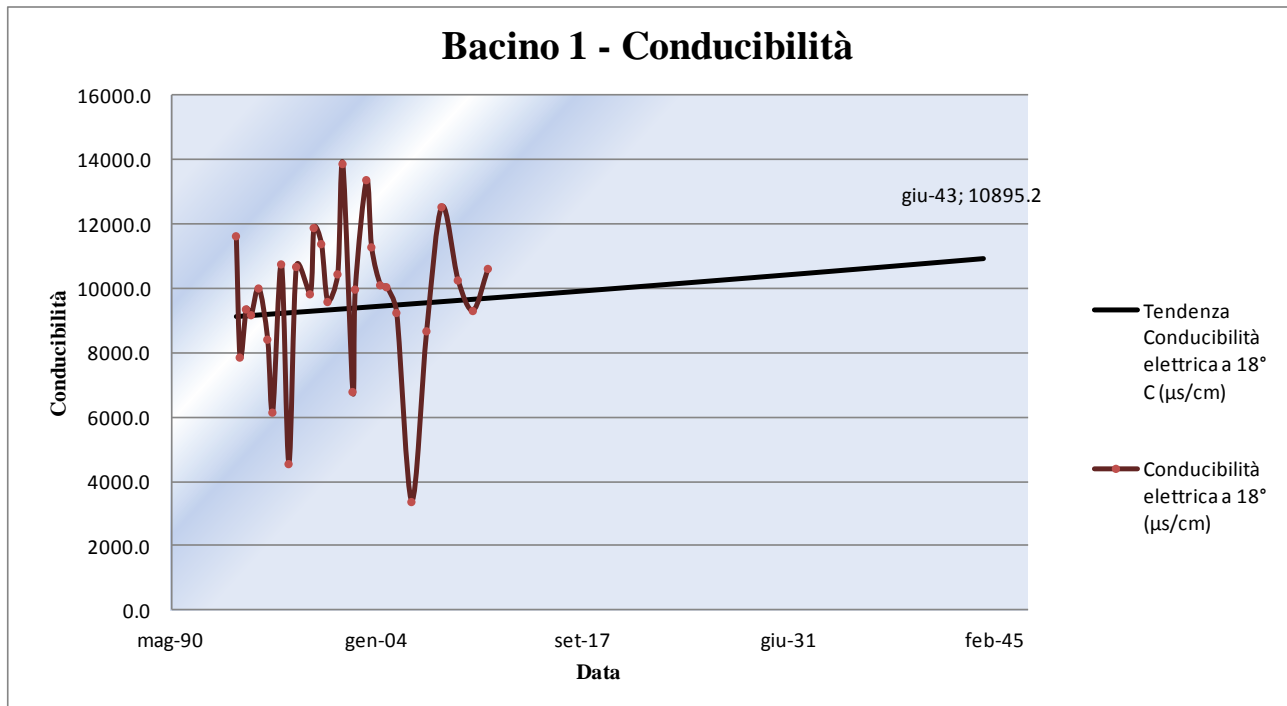
Bacino 7 - P



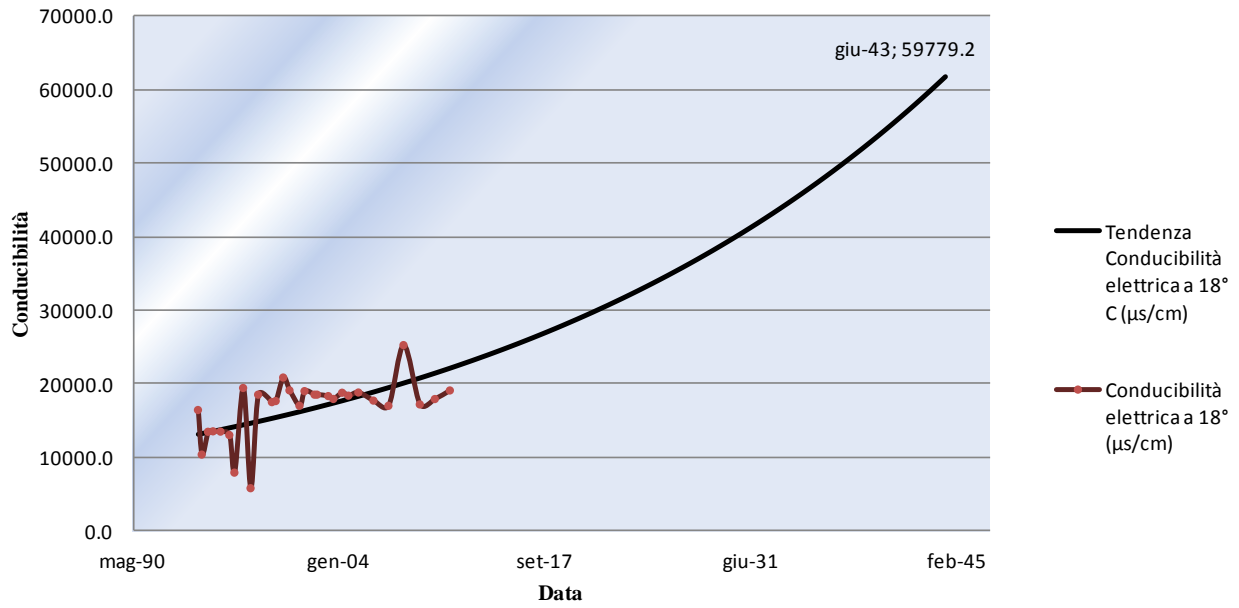
Bacino 8 - P



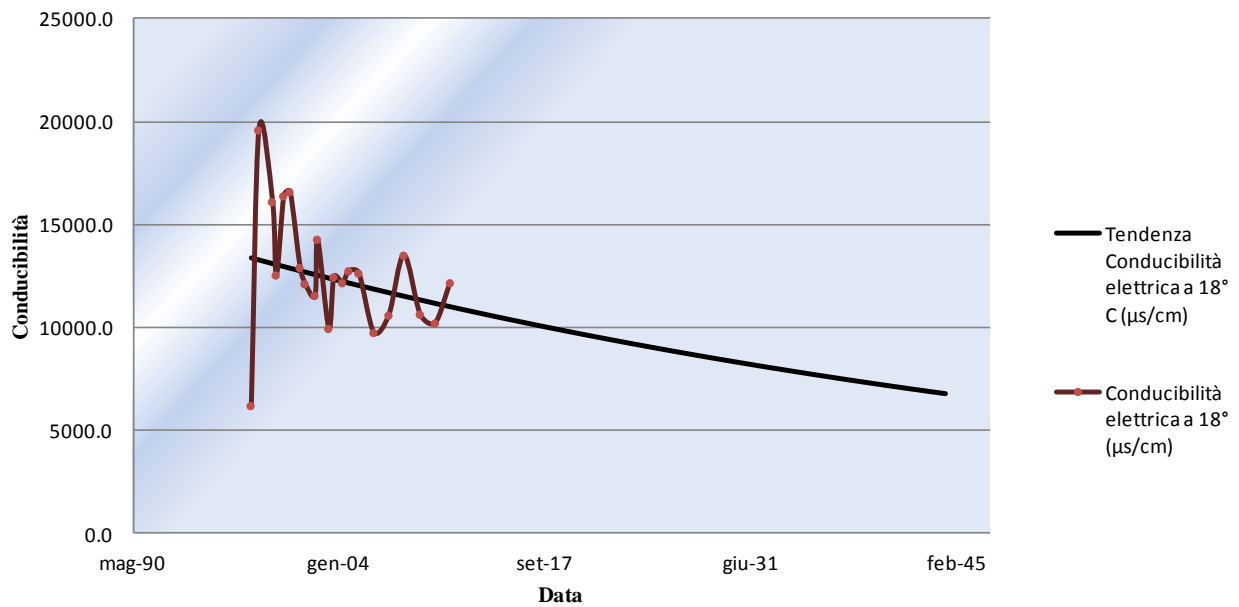
A.2.6 - Conducibilità elettrica a 18° C



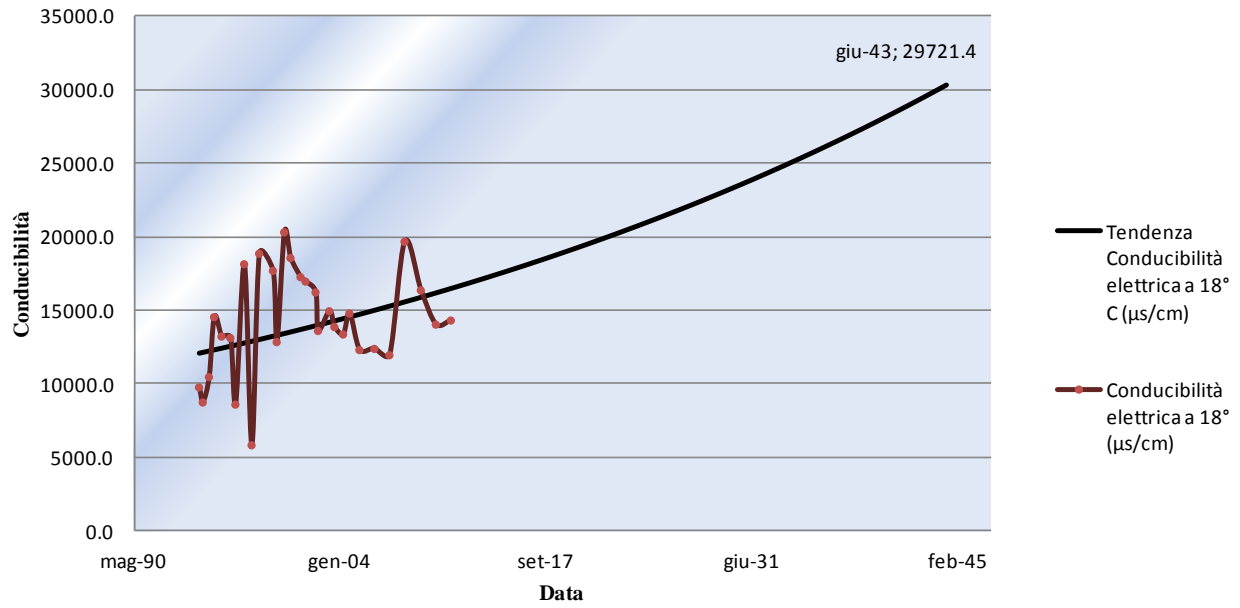
Bacino 3 - Conducibilità



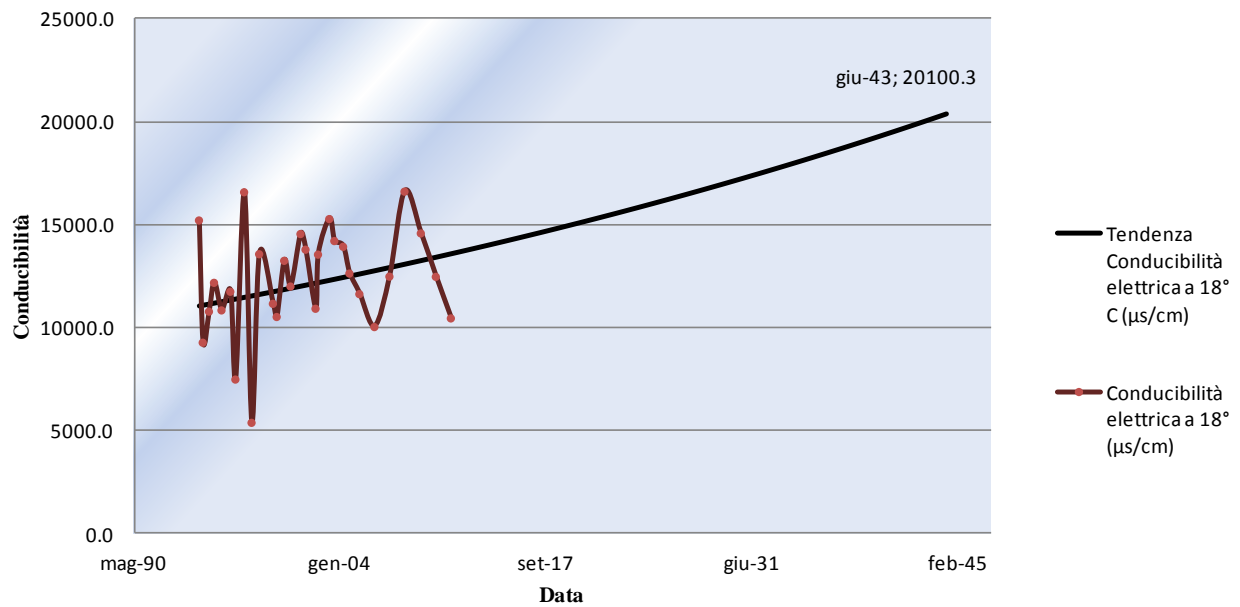
Bacino 4 - Conducibilità



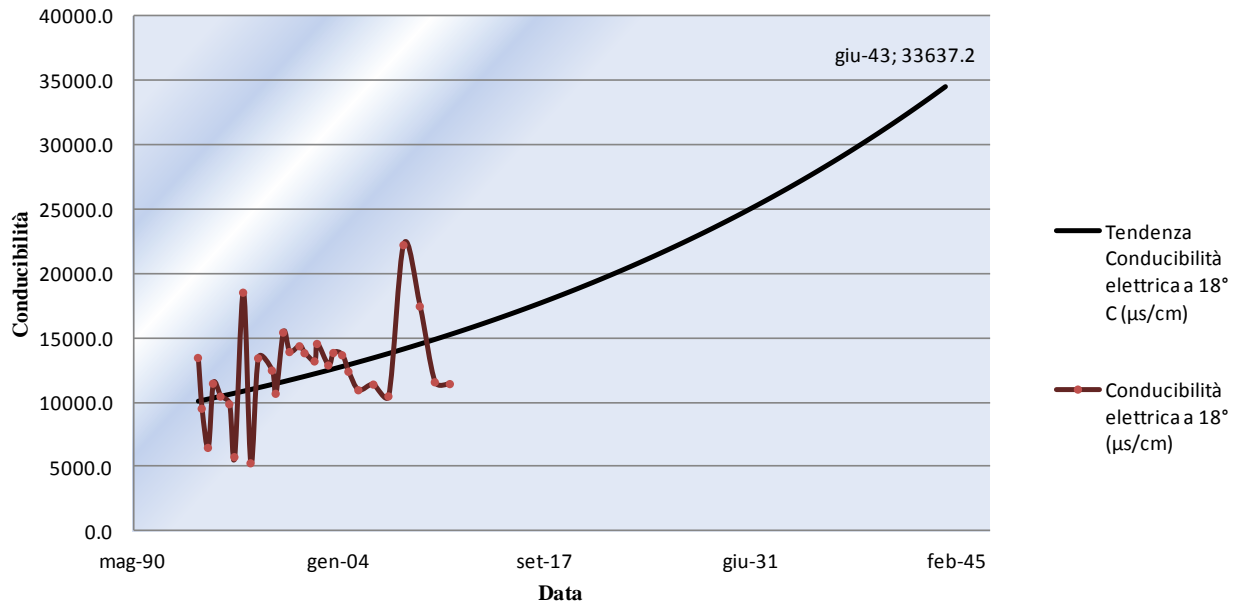
Bacino 5 - Conducibilità



Bacino 6 - Conducibilità



Bacino 7 - Conducibilità



Bacino 8 - Conducibilità

