



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
ARCHITETTURA, TERRITORIO E AMBIENTE

L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
ARCHITETTURA, TERRITORIO E AMBIENTE

L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo manuale.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

La presente pubblicazione fa riferimento ad attività svolte in un periodo antecedente l'accorpamento delle tre Istituzioni e quindi riporta ancora, al suo interno, richiami e denominazioni relativi ai tre Enti soppressi.

Informazioni aggiuntive sull'argomento sono disponibili nel sito Internet: <http://www.sinanet.apat.it/it/inventaria>.

ISPRA – Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.it

ISPRA, RAPPORTI 93/2009

ISBN 978-88-448-0394-0

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina:

Coordinamento tipografico:

Daria Mazzella e Simonetta Turco

ISPRA - Settore Editoria

Amministrazione:

Olimpia Girolamo

ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione:

Michelina Porcarelli

ISPRA - Settore Editoria

AUTORI

Prof. Ing. Carlo Collivignarelli (Responsabile scientifico)

Prof. Ing. Giorgio Bertanza (Coordinatore operativo)

Dott. Ing. Maria Cristina Collivignarelli

Dott. Ing. Sabrina Zanaboni

Dott. Ing. Alessandro Abbà

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente

Cattedra di Ingegneria Sanitaria-Ambientale

Gli autori desiderano ringraziare i Responsabili degli impianti di Assago (MI), Baciacavallo (PO), Bergamo, Brescia, Bologna, Bresso (MI), Bulgarograsso (CO), Cagliari, Canegrate (MI), Carimate (CO), Carpi (MO), Cassano Spinola (AL), Castiglione delle Stiviere (MN), Collegno (TO), Costa Volpino (BG), Crema (CR), Cremona, Fino Mornasco (CO), Firenze, Fusina (VE), Gvirate (VA), Mantova, Merone (CO), Milano Nosedo, Milano San Rocco, Monza San Rocco (MI), Mortara (PV), Mozzanica (BG), Novi Ligure (AL), Olgiate Olona (VA), Palermo, Pavia, Pero (MI), Peschiera Borromeo (MI), Peschiera del Garda (BS), Ranica (BG), Robecco sul Naviglio (MI), San Antonino Ticino (VA), Settimo Torinese (TO), Varedo (MI), Varese, Verona, Villasimius (CA), Voghera (PV), Zaule (TS), per aver fornito le informazioni necessarie alla stesura del lavoro.

PREMESSA

Il Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i., individua tra gli strumenti per il raggiungimento degli obiettivi di tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee, le misure tese alla conservazione, al risparmio, al riutilizzo ed al riciclo delle risorse idriche. A tal proposito, il Decreto dispone che coloro che gestiscono o utilizzano la risorsa idrica adottino le misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi e ad incrementare il riciclo e il riutilizzo e, in particolare, che le regioni adottino norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate.

Per quanto riguarda la problematica del trattamento e recupero dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione delle acque reflue urbane, essa assume sempre maggiore rilevanza, principalmente per i seguenti motivi: l'aumento dei quantitativi di fanghi prodotti in conseguenza della estensiva applicazione delle norme vigenti sulla depurazione; le difficoltà per lo smaltimento in discarica, oggi destinazione prevalente dei fanghi, in ottemperanza alle recenti normative sulla gestione dei rifiuti e delle discariche; i vincoli sempre più restrittivi per il riutilizzo in agricoltura. È importante quindi individuare i processi che consentono la minimizzazione della produzione, il recupero e l'utilizzo dei fanghi stessi.

L'obiettivo del riutilizzo delle acque depurate e dei fanghi è strettamente condizionato dal corretto funzionamento degli impianti di depurazione e può essere, quindi, lo stimolo per la progressiva ottimizzazione del funzionamento degli impianti stessi.

Nel 2004, ISPRA (già APAT) ha avviato la collaborazione con il Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria – Ambientale del Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente (DICATA) dell'Università degli Studi di Brescia con un incarico di ricerca sui criteri per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane al fine di conseguire il migliore utilizzo delle strutture esistenti e adottare i migliori interventi di upgradig.

Nello svolgimento dell'incarico suddetto sono emersi diversi aspetti della depurazione delle acque di scarico urbane che si è ritenuto importante analizzare ed approfondire. Aspetti relativi alla verifica e caratterizzazione della funzionalità degli impianti, alla ottimizzazione della gestione per il miglioramento della efficienza depurativa ed energetica degli impianti stessi, alle soluzioni impiantistiche che possono favorire i recuperi delle risorse acqua e fanghi. Per approfondire tali aspetti, nel 2007, ISPRA ha proseguito la collaborazione con il DICATA con uno studio sulla "ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici", i cui risultati sono riportati nel presente Rapporto.

Patrizia Fiorletti

INTRODUZIONE

Nel 2007 ISPRA (già APAT) ha affidato al Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente (DICATA) dell'Università degli Studi di Brescia un contratto di ricerca dal titolo "L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici".

Il lavoro si è svolto attraverso numerosi sopralluoghi e contatti con i gestori di impianti distribuiti sul territorio nazionale, l'analisi di precedenti esperienze di ricerca e professionali degli estensori del presente Rapporto, l'esame di materiale bibliografico, la rielaborazione dei risultati di studi condotti nell'ambito del Gruppo di Lavoro "Gestione Impianti di Depurazione" attivo presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Brescia, l'analisi di indagini recentemente condotte da altri enti (es. la stessa APAT, l'ISTAT, ecc.), l'esame di Piani di Tutela delle acque nel frattempo redatti da alcune regioni ecc.

Il lavoro, nel suo insieme, è costituito da due sezioni, la prima riguardante gli aspetti metodologici e la seconda inerente i criteri e le modalità di intervento per la massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e la riduzione dei consumi energetici.

La sezione 1 è suddivisa in tre parti. Nella prima vengono descritti i criteri per la definizione degli impianti di depurazione "tipo"; successivamente vengono approfonditi i criteri per la verifica di funzionalità e per la caratterizzazione degli impianti.

La sezione 2 è invece suddivisa in cinque parti, dedicate all'approfondimento, rispettivamente, dei seguenti aspetti:

- l'applicazione dei criteri di caratterizzazione descritti nella sezione 1, al fine di pervenire ad un giudizio di "funzionalità" degli impianti;
- la definizione dei criteri di ottimizzazione della gestione per migliorare l'efficienza depurativa;
- la riduzione dei consumi energetici;
- la valutazione tecnico-economica di alcune soluzioni che consentano di ridurre il quantitativo di fanghi prodotti ed il recupero di materia ed energia dagli stessi;
- la valutazione tecnico economica di soluzioni impiantistiche che consentano di ottenere acque depurate suscettibili di riutilizzo.

INDICE

SEZIONE 1 – ASPETTI METODOLOGICI

PARTE I

DEFINIZIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE “TIPO”

1. INDIVIDUAZIONE DEI CRITERI DI SELEZIONE	5
1.1 CRITERI “STATISTICI”	5
1.1.1 Indagine ISTAT: la depurazione delle acque reflue in Italia (anno 1999).....	5
1.1.2 Indagine del Comitato per la vigilanza sull’uso delle risorse idriche: lo stato dei servizi idrici (anno 2002).....	6
1.1.3 Indagine APAT ex D.M. n. 198/2002 (anni 2002-2003).....	7
1.1.4 Indagine ISTAT: il sistema dell’indagine sulle acque (anno 2005).....	14
1.2 CRITERI “TECNICI”	14
1.2.1 Primo criterio: taglia dell’impianto.....	15
1.2.2 Secondo criterio: tipologia impiantistica.....	15
1.2.3 Terzo criterio: tipologia di carico trattato.....	16
1.2.4 Quarto criterio: condizioni di carico dell’impianto.....	16
1.3 QUADRO RIEPILOGATIVO.....	16
2. FONTI CONSULTATE E QUALITÀ DEI DATI DISPONIBILI	19
3. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI SELEZIONE: ESEMPI	21
3.1 DATABASE NAZIONALE (APAT): ESEMPIO DELLA REGIONE PUGLIA.....	21
3.2 DATABASE REGIONALI: ESEMPIO DELLA REGIONE LOMBARDIA.....	24
3.3 ESEMPIO DI BASE INFORMATIVA ACQUISITA MEDIANTE INDAGINE DIRETTA PRESSO GLI IMPIANTI.....	28
3.4 VALUTAZIONI COMPARATIVE.....	32
4. INDIVIDUAZIONE DI CASI SIGNIFICATIVI	33
4.1 IMPIANTI CON TIPOLOGIA IMPIANTISTICA “CONVENZIONALE” (A FANGHI ATTIVI) E DIVERSA POTENZIALITÀ.....	33
4.2 IMPIANTI DI PARI POTENZIALITÀ E DIVERSA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA.....	35
4.3 IMPIANTI DI PARI POTENZIALITÀ E TIPOLOGIA IMPIANTISTICA E DIVERSO CONTRIBUTO INDUSTRIALE.....	37

PARTE II

DEFINIZIONE DI CRITERI PER LA VERIFICA DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

5. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ CONSOLIDATE	41
5.1 MONITORAGGIO.....	41
5.1.1 Il campionamento: modalità e frequenza.....	42
5.1.2 Criteri di scelta per l'adozione delle metodiche analitiche.....	46
5.1.3 Controllo operativo della rete fognaria.....	48
5.1.4 Monitoraggio del liquame influente.....	49
5.1.5 Pre-trattamenti: grigliatura, equalizzazione/omogeneizzazione, dissabbiatura/disoleatura.....	51
5.1.6 Sedimentazione primaria.....	52
5.1.7 Comparto biologico.....	54
5.1.8 Sedimentazione finale.....	58
5.1.9 Trattamenti terziari.....	59
5.2 CAPACITÀ DEI SISTEMI DI FORNITURA DELL'OSSIGENO.....	61
5.2.1 Obiettivo delle verifiche dei sistemi di aerazione.....	61
5.2.2 Prova con acqua pulita.....	61
5.2.3 Prove ad impianto funzionante.....	62
5.2.3.1 Prova in condizioni dinamiche.....	63
5.2.3.2 Prova in condizioni di regime.....	64
5.2.3.3 Analisi dell'off-gas.....	65
5.3 COMPORTAMENTO IDRODINAMICO DEI BACINI.....	65
5.3.1 Fase sperimentale.....	66
5.3.2 Elaborazione dei dati sperimentali.....	68
5.3.3 Esempio: prova idrodinamica su una vasca di ossidazione.....	73
5.4 CARATTERISTICHE DI SEDIMENTABILITÀ DEL FANGO ATTIVO E POTENZIALITÀ DEI SEDIMENTATORI FINALI.....	75
5.4.1 Fase sperimentale.....	76
5.4.2 Elaborazione dei dati sperimentali.....	76
5.5 QUALITÀ E ATTIVITÀ DEL FANGO BIOLOGICO.....	79
5.5.1 La depurazione biologica: significato e organismi coinvolti.....	79
5.5.2 Analisi microscopica del fango.....	80
5.5.2.1 Il calcolo dell'indice SBI (<i>Sludge Biotic Index</i>).....	81
5.5.2.2 Le caratteristiche del fiocco e l'identificazione dei batteri filamentosi.....	81
5.5.3 La biomassa microbica.....	82
5.5.4 La misura dell'attività della biomassa.....	83
5.5.4.1 La verifica dell'attività della biomassa nella fase di stabilizzazione dei fanghi.....	84
6. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ “NON CONVENZIONALI”	85
6.1 CALCOLO DEI CONSUMI ENERGETICI.....	85
6.2 CALCOLO DEI CONSUMI DI REAGENTI.....	91
6.3 DETERMINAZIONE DEI BILANCI DI MASSA SUI PARAMETRI “NON CONVENZIONALI”.....	92
6.3.1 Metalli pesanti e sostanze con comportamento simile.....	95

6.3.2 Parametri “conservativi”	96
6.3.3 Solfuri e solfiti.....	97
6.3.4 Grassi e oli animali/vegetali.....	97
6.3.5 Sostanze organiche.....	97
6.3.6 Considerazioni riassuntive.....	99
6.4 TEST DI OUR, AUR e NUR	100
6.4.1 Test di OUR (<i>Oxygen Utilization Rate o Oxygen Uptake Rate</i>).....	101
6.4.2 Il respirometro	102
6.4.3 Un esempio di applicazione dei test di OUR: frazionamento del COD	104
6.4.4 Test di AUR e di NUR.....	107
6.4.5 Esempio di applicazione dei test per il monitoraggio dell’attività della biomassa in impianti a fanghi attivi.....	115
7. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ “NON CONVENZIONALI” APPLICATE AD IMPIANTI CHE TRATTANO RIFIUTI LIQUIDI.....	115
7.1 DETERMINAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRATTAMENTO DI RIFIUTI LIQUIDI DA PARTE DI UN IMPIANTO	115
7.2 TEST IN BATCH PER IMPIANTI BIOLOGICI: ALCUNE APPLICAZIONI.....	117
7.3 TEST DI TRATTABILITÀ CHIMICA.....	120

PARTE III

DEFINIZIONE DI CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE DI UN IMPIANTO

8. INDAGINE PRESSO GLI IMPIANTI “TIPO”.....	127
8.1 IMPOSTAZIONE E PROCEDURA DI LAVORO.....	127
8.2 RISULTATI.....	129
8.3 CONSIDERAZIONI.....	139
9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE.....	141
9.1 INDAGINI “STATISTICHE”.....	141
9.2 INDAGINI APPROFONDITE.....	143

SEZIONE 2 – CRITERI E MODALITÀ DI INTERVENTO PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI RECUPERI DI RISORSA (ACQUE E FANGHI) E LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

PARTE I

DEFINIZIONE DI INDICI DI FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

1. CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI.....	149
1.1 CALCOLO DELLE PORTATE.....	149
1.2 CALCOLO DELLE CONCENTRAZIONI.....	150
1.3 CALCOLO DEI CARICHI	151

1.4 CALCOLO DEI RENDIMENTI DI RIMOZIONE.....	152
1.5 CALCOLO DEI PRINCIPALI PARAMETRI DI PROCESSO	153
1.5.1 Carico del fango	153
1.5.2 Età del fango	154
1.5.3 Carico idraulico superficiale.....	155
1.5.4 Tempo di permanenza.....	155
2. INDICI DI FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI.....	157
2.1 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GENERALITÀ.....	157
2.2 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GLI INDICATORI.....	158
2.3 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GLI INDICI	159
2.3.1 Efficienza depurativa dell’impianto (D)	160
2.3.2 Gestione dei fanghi (F)	164
2.3.3 Consumi di energia (E).....	166
2.3.4 Consumi di reagenti e combustibile (R).....	169
2.3.5 Costi (C).....	171
3. APPLICAZIONE DEGLI INDICI DI FUNZIONALITÀ AGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE “TIPO”.....	173
3.1 VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI	175
3.2 CONFRONTO TRA I DIVERSI IMPIANTI	184

PARTE II

DEFINIZIONE DI CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE PER IL MIGLIORAMENTO DELL’EFFICIENZA DEPURATIVA

4. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D).....	195
5. CONFRONTO DEGLI INDICI PARZIALI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D) E POSSIBILI INTERVENTI	197
5.1 INDICE PARZIALE RELATIVO AL COD.....	197
5.2 INDICE PARZIALE RELATIVO AI SOLIDI SOSPESI.....	198
5.3 INDICE PARZIALE RELATIVO ALL’AZOTO	199
5.4 INDICE PARZIALE RELATIVO AL FOSFORO	200
5.5 INDICE PARZIALE RELATIVO AD <i>ESCHERICHIA COLI</i>	201

PARTE III

MIGLIORAMENTO DELL’EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE

6. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA ENERGETICA	205
7. POSSIBILI INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELL’EFFICIENZA ENERGETICA	209

7.1 DESCRIZIONE DEL SISTEMA OXYFUZZY E RISULTATI CONSEGUIBILI ...	209
7.2 STABILITÀ DEL PROCESSO	209
7.3 RISPARMIO ENERGETICO	211
PARTE IV	
RIDUZIONE DEL QUANTITATIVO DI FANGHI PRODOTTI E RECUPERO DI MATERIA ED ENERGIA	
8. VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI DAL PUNTO DI VISTA DELLA GESTIONE DEI FANGHI	215
9. LA MINIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DI FANGHI	217
9.1 INTERVENTI SULLA LINEA ACQUE	217
9.1.1 Interventi sui trattamenti chimico-fisici e meccanici.....	217
9.1.2 Interventi sul comparto biologico.....	218
9.2 INTERVENTI SULLA LINEA FANGHI.....	221
9.2.1 Interventi di tipo chimico-fisico.....	221
9.2.2 Verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione delle fasi di trattamento esistenti.....	223
10. ALTERNATIVE IMPIANTISTICHE PER LA VALORIZZAZIONE ENERGETICA/MATERIALE	225
10.1 ESSICCAMENTO TERMICO	225
10.2 COMBUSTIONE	226
10.3 PIROLISI/GASSIFICAZIONE.....	226
10.4 COMBUSTIONE INDIRETTA E RECUPERO DI MATERIA	227
10.4.1 Co-combustione con i rifiuti urbani.....	227
10.4.2 Produzione di cemento.....	228
10.4.3 Produzione di asfalto	228
10.4.4 Produzione di laterizi	229
10.4.5 Inertizzazione termica/ceramizzazione.....	229
10.5 CO-DIGESTIONE DI FANGHI E ALTRI SUBSTRATI ORGANICI.....	229
11. FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELLE DIVERSE ALTERNATIVE DI GESTIONE DEI FANGHI	231
11.1 PREMESSA.....	231
11.2 INQUADRAMENTO DELLA PROBLEMATICHE	232
11.3 PRODUZIONE DI FANGHI IN LOMBARDIA	233
11.3.1 Situazione attuale	233
11.3.2 Situazione al 2016	233
11.4 ALTERNATIVE DI GESTIONE DEI FANGHI E POSSIBILI SCENARI DI INTERVENTO	234
11.4.1 Applicabilità delle diverse strategie di intervento	234
11.4.2 Scenari per la gestione dei fanghi.....	236
11.4.3 Ulteriori aspetti da approfondire	240

PARTE V

RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE DEPURATE

12. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D_i)	243
13. POSSIBILI INTERVENTI PER IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE DEPURATE	249
13.1 RISPETTO DEI LIMITI TABELLARI E TECNOLOGIE DI AFFINAMENTO	249
13.1.1 Parametri “critici” per il riutilizzo delle acque reflue.....	249
13.1.2 Verifica di efficienza degli impianti ed esempi di calcolo.....	250
13.1.3 Integrazioni impiantistiche richieste.....	253
13.2 ESEMPI APPLICATIVI ITALIANI	255
13.2.1 Il riutilizzo <u>industriale</u> : casi reali.....	259
13.2.1.1 L’impianto A.....	259
13.2.1.2 L’impianto B.....	261
13.2.1.3 L’impianto C.....	263
13.2.1.4 L’impianto D.....	265
13.2.1.5 L’impianto E.....	267
13.2.2 Il riutilizzo <u>indiretto</u> per <u>scopo irriguo</u> : casi reali.....	268
13.2.2.1 L’impianto F.....	268
13.2.2.2 L’impianto G.....	270
13.2.2.3 L’impianto H.....	272
13.2.2.4 L’impianto I.....	274
13.2.3 Il riutilizzo <u>diretto</u> per <u>scopo irriguo</u> : casi reali.....	276
13.2.3.1 L’impianto L.....	276
13.2.3.2 L’impianto M.....	279
13.2.4 Ipotesi di riutilizzo delle acque reflue.....	281
13.2.4.1 Il caso della Lombardia.....	271
13.2.4.1.1 L’impianto N.....	282
13.2.4.1.2 L’impianto O.....	284
13.2.4.1.3 L’impianto P.....	286
13.2.4.1.4 L’impianto Q.....	287
13.2.4.1.5 L’impianto R.....	289
13.2.4.2 Altri progetti di riutilizzo delle acque in Italia.....	291
13.2.4.2.1 L’impianto S.....	291
13.2.4.2.2 L’impianto T.....	293
13.2.4.2.3 L’impianto U.....	294
13.3 ASPETTI ECONOMICI, DI PIANIFICAZIONE E SOCIALI.....	266
13.4 CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE.....	297
14. LA PIANIFICAZIONE DEL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE A SCALA DI BACINO IDROGRAFICO	299
14.1 PREMESSA.....	299
14.2 DEFINIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO.....	300
14.3 FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI.....	301
14.4 FATTIBILITÀ TECNICA DEL RIUTILIZZO.....	302

14.4.1 Integrazioni impiantistiche richieste.....	302
14.4.2 Aspetti idraulici.....	303
14.5 SCENARIO DI INTERVENTO.....	304
14.6 BENEFICI ATTESI.....	304
14.7 ASPETTI ECONOMICI.....	305
14.8 CONCLUSIONI.....	305
BIBLIOGRAFIA.....	307

**ALLEGATO 1 – TABELLE “ORIGINALI” RELATIVE
AGLI IMPIANTI OGGETTO DELL’INDAGINE**

SEZIONE I
ASPETTI METODOLOGICI

PARTE I

**DEFINIZIONE DEGLI
IMPIANTI DI DEPURAZIONE “TIPO”**

1. INDIVIDUAZIONE DI CRITERI DI SELEZIONE

In questo capitolo vengono proposti, attraverso l'analisi di studi recentemente condotti a livello nazionale e regionale, criteri utili alla classificazione/selezione degli impianti di depurazione. In particolare questi criteri vengono definiti "statistici" o "tecnici", a seconda del tipo e del livello di dettaglio delle informazioni cui sono riferiti.

1.1 CRITERI "STATISTICI"

A livello nazionale, sono state condotte diverse indagini riguardanti il servizio idrico in generale e, più in particolare, la depurazione. Nell'ambito del presente lavoro, vengono presi brevemente in esame i seguenti studi:

- la depurazione delle acque reflue in Italia (anno 1999);
- lo stato dei servizi idrici (anno 2002);
- l'indagine APAT secondo l'ex D.M. n. 198/2002 (anni 2002-2003);
- il sistema delle indagini sulle acque (anno 2005).

L'obiettivo di questo esame di sintesi è di descrivere i criteri statistici utilizzati nei diversi studi per la suddivisione degli impianti di depurazione.

Qui di seguito vengono riportati i criteri di suddivisione riscontrati:

- 1 la classe dimensionale degli impianti;
- 2 lo stato di funzionamento (in esercizio, non in esercizio ed in corso di realizzazione);
- 3 la potenzialità in termini di abitanti equivalenti serviti (effettivi e di progetto);
- 4 la tipologia di trattamento (preliminare, primario, secondario, terziario, ecc.);
- 5 la portata idraulica di progetto e quella effettivamente trattata;
- 6 l'area geografica;
- 7 l'età media degli impianti;
- 8 la produzione, il trattamento e la destinazione dei fanghi;
- 9 il grado di estensione del servizio di depurazione delle acque reflue rispetto a quello della rete fognaria;
- 10 la conformità dei limiti per COD, BOD, SS, N e P.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati alcuni elementi descrittivi di sintesi dei singoli studi statistici sopra citati.

1.1.1 Indagine ISTAT: la depurazione delle acque reflue in Italia (anno 1999)

L'indagine (ISTAT, 2004) fornisce un quadro complessivo dell'uso delle acque urbane dal prelievo allo scarico, sulla base delle rilevazioni censuarie sugli impianti di depurazione delle acque reflue urbane e sulle reti fognarie.

Le informazioni dell'indagine sono state raccolte mediante l'autocompilazione di un modello cartaceo (Mod. Istat Dep) da parte degli Enti gestori degli impianti di depurazione delle acque

reflue urbane. Questa rilevazione fa parte del Sistema delle Indagini sulle Acque (SIA-1999), predisposto dall'ISTAT per fornire un quadro complessivo dell'uso delle acque urbane dal prelievo allo scarico.

Per l'analisi delle informazioni sono stati applicati i seguenti criteri di suddivisione:

- la zona geografica nella quale è presente l'impianto, distinguendo in Provincia, ATO, bacino idrografico zona altimetrica (montagna, collina, pianura) e classe di litoraneità;
- la funzionalità dell'impianto (in esercizio, non in esercizio oppure in corso di realizzazione);
- la potenzialità degli impianti, in termini di abitanti equivalenti serviti effettivi e di progetto;
- la tipologia di trattamento (primario, con indicazione di quanti consistono solamente in vasche Imhoff, secondario e terziario);
- il numero di comuni serviti da ciascun impianto.

L'analisi delle informazioni recepite ha portato all'elaborazione di una relazione di sintesi e di nove tavole numerate presentate su fogli di calcolo.

1.1.2 Indagine del Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche: lo stato dei servizi idrici (anno 2002)

Il Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche ha redatto il secondo rapporto sulle ricognizioni disponibili al 31/12/2002, sulle opere di adduzione, distribuzione, fognatura e depurazione (Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche, 2003).

Per l'analisi dei dati dello stato delle opere sono stati adottati alcuni indicatori di controllo, che nel caso del servizio di depurazione sono i seguenti:

- la copertura del servizio ossia il rapporto tra abitanti serviti e abitanti residenti (%);
- il surplus di capacità depurativa, definito dal rapporto tra la potenzialità dell'impianto e gli abitanti serviti (A.E./ab.);
- le dimensioni degli impianti riferite alle seguenti classi di potenzialità:
 - A.E. < 2.000;
 - 2.000 < A.E. < 10.000;
 - 10.000 < A.E. < 100.000;
 - A.E. > 100.000;
- l'età degli impianti;
- la destinazione prevalente dei fanghi (agricoltura, discarica e incenerimento) a cui corrispondono complessità tecniche, economiche e gestionali crescenti.

I dati sono stati elaborati dal Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche senza apportare alcuna correzione, demandando cioè agli ATO, che hanno provveduto a trasmetterli, il compito di effettuare un'eventuale validazione.

Insieme ai risultati dell'elaborazione dei dati è perciò indicato anche il grado di affidabilità dell'indicatore di controllo; questo grazie a due indici che esprimono il livello di completezza dei dati ed il loro coefficiente di variazione.

1.1.3 Indagine APAT: ex D.M. n. 198/2002 (anni 2002-2003)

Il Decreto Legislativo n° 152, 11 maggio 1999, recante le disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento, all'articolo 3 comma 7 dispone che venga realizzata una completa divulgazione delle informazioni riguardanti lo stato di qualità delle acque.

Tale disposizione è stata attuata mediante il D.M. 18 settembre 2002 n. 198, al fine di assolvere agli obblighi comunitari e assicurare una più ampia divulgazione delle informazioni sullo stato di qualità delle acque.

Con la pubblicazione del decreto sono state stabilite le modalità e gli standard informativi secondo i quali le Regioni devono trasmettere i dati conoscitivi, le informazioni e le relazioni prescritti dal Decreto legislativo stesso, entro e non oltre le scadenze temporali previste per i singoli settori, al fine di assolvere agli obblighi dettati dall'art. 3, comma 7, del D.Lgs. 152/99 e s.m.i..

L'APAT (l'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) si incarica di raccogliere ed elaborare i dati e le informazioni inviati dalle Regioni e dalle province autonome di Trento e Bolzano, realizzando delle relazioni di sintesi e cartografie per ciascun settore, da trasmettere al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

Il Decreto Ministeriale prevede inoltre, all'articolo 2, che entro 30 giorni successivi alle scadenze temporali, l'APAT trasmetta al Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio un elenco delle regioni e delle province autonome che non hanno adempiuto agli obblighi previsti nel decreto.

Gli schemi necessari per la corretta raccolta delle informazioni e dei dati sullo stato delle acque sono contenuti nell'allegato presente nel D.M..

Tale allegato contiene inizialmente i criteri generali che sono stati usati lungo tutto il documento, successivamente suddivide la raccolta dei dati in tre settori principali, che sono ulteriormente frazionati in parti.

L'allegato è articolato nel seguente modo:

1. Criteri generali

2. Settore 1 – Acque a specifica destinazione

- Parte A – Acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile
- Parte B – Acque di balneazione
- Parte C – Acque dolci idonee alla vita dei pesci
- Parte D – Acque destinate alla vita dei molluschi

3. Settore 2 – Disciplina degli scarichi

- Parte A – Trattamento acque reflue urbane
- Parte B – Scarichi industriali e da insediamenti produttivi

4. Settore 3 – Protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole

Nella trattazione seguente sarà preso in esame il paragrafo relativo alla “disciplina degli scarichi”.

Disciplina degli scarichi

La raccolta delle informazioni viene articolata dal decreto in 7 schede:

- *Scheda 6* – agglomerato
 - *Scheda 6.1* – impianti depurazione
 - *Scheda 6.2* – programmazione
 - *Scheda 6.3* – riutilizzo
 - *Scheda 6.4* – acque reflue industriali biodegradabili
 - *Scheda 6.5* – aree sensibili
 - *Scheda 6.6* – relazione

Le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano devono trasmettere le informazioni all'APAT, il quale, successivamente, elabora i dati e li trasferisce al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, secondo le scadenze temporali riportate nelle tabelle seguenti.

Scheda 6.1 – Impianti di depurazione

Di seguito sarà presa in esame la scheda 6.1, relativa alla raccolta delle informazioni riguardanti gli impianti di depurazione. Saranno analizzate le principali voci di ogni sezione della scheda, includendovi le note contenute nel decreto ministeriale in esame, eventuali integrazioni tratte dal D.Lgs. 152/99, problematiche riscontrate durante l'analisi ed eventuali considerazioni.

Il modulo informativo 6.1 è diviso in 5 parti:

1. Agglomerato
2. Impianto di depurazione
3. Emissioni
4. Fanghi
5. Corpo recettore dell'impianto

Nel caso in cui un agglomerato sia servito da due o più impianti di trattamento, il decreto ministeriale stabilisce che si debba compilare una sola volta la sezione "agglomerato", mentre le altre sezioni devono essere compilate in numero pari agli impianti presenti nell'agglomerato.

1. AGGLOMERATO

Denominazione	<input type="text"/>	Codice agglomerato ⁽¹⁻⁴⁾	<input type="text"/>
Regione	<input type="text"/>		
Comune/i	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	Codice	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Bacino idrografico ⁽¹⁻⁴⁾	<input type="text"/>	Codice	<input type="text"/>
Data della sicurazione	<input type="text"/>		

Carico nominale ⁽¹⁾	Carico totale servito ⁽²⁾	Carico totale trattato ⁽³⁾	Portata media annua trattata
a.e.	a.e.	a.e.	m ³ /anno

Note

Questa sezione contiene le informazioni dell'agglomerato che, secondo la definizione data dal D.Lgs. 152/99, è "l'area in cui la popolazione ovvero le attività economiche sono sufficientemente concentrate così da rendere possibile la raccolta e il convogliamento delle acque reflue urbane verso un sistema di trattamento o verso un punto di scarico finale".

La compilazione di questa sezione è a cura della Regione.

2. IMPIANTO DI DEPURAZIONE

Data situazione ^(??)	<input type="text"/>	Data di dismissione permanente dell'impianto	<input type="text"/>
Codice nazionale dell'impianto	<input type="text"/>		
Nome dell'impianto	<input type="text"/>		
Codice regionale	<input type="text"/>		
Comune di ubicazione	<input type="text"/>	Codice	<input type="text"/>
Bacino idrografico ^(??) dell'impianto	<input type="text"/>	Codice	<input type="text"/>

Logitudine	Latitudine	Sistema geografico
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Tipologia di trattamento	preliminare	<input type="checkbox"/>
	primario	<input type="checkbox"/>
	secondario	<input type="checkbox"/>
	più avanzato	<input type="checkbox"/>
	nessun trattamento	<input type="checkbox"/>

Capacità organica di progetto ^(??)	Capacità idraulica di progetto ^(??)	Portata media annua attuale ^(??)	Data di entrata in esercizio
a.e.	m ³ /d	m ³ /anno

Questa sezione, anche se non espressamente specificato nel decreto, dovrebbe essere a cura del gestore dell'impianto.

La presenza della voce relativa al bacino idrografico sia in questa sezione della scheda che nella sezione "1. Agglomerato", sta ad indicare che l'impianto potrebbe essere contenuto all'interno dell'agglomerato descritto nella scheda, ma il punto di recapito sito in un bacino idrografico diverso.

La voce "nessun trattamento" di cui al campo "tipologia di trattamento" andrebbe compilata, secondo la definizione fornita nelle note presenti nell'allegato del D.M. 18/09/2002, nel caso in cui l'agglomerato non presentasse impianto di depurazione.

Le voci "capacità organica di progetto" e "capacità idraulica di progetto" sono relative ai valori utilizzati per il dimensionamento dell'impianto, quindi prontamente disponibili presso l'ente gestore.

La voce "portata media annua attuale" è definita dalle note del D.M. come "effettivo volume trattato annualmente dall'impianto". Poiché nelle norme di compilazione delle schede non viene specificato se considerare o meno i dati relativi ai giorni piovosi, si ritiene che il dato includa le acque meteoriche addotte al trattamento.

3. EMISSIONI

	Emissione	Riduzione	Conformità ^(??)		
COD ^(??)	<input type="text" value="mg/l"/>	<input type="text" value="%"/>			
BOD ₅ ^(??)	<input type="text" value="mg/l"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>		
SS ^(??)	<input type="text" value="mg/l"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>		
Fosforo ^(??)	<input type="text" value="mg/l"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>
Azoto ^(??)	<input type="text" value="mg/l"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="%"/>	<input type="text"/>

Metodo di monitoraggio per l'azoto^(??):

- AM (media annuale)
DF (media giornaliera)

Note

Questa sezione fa riferimento, in larga parte, all'allegato 5 del D.Lgs. 152/99 contenente i limiti d'emissione degli scarichi idrici.

Il campo "BOD₅", come definito dalle note del D.M. 18/09/2002, deve essere compilato in tutti i casi a prescindere dalla tipologia di trattamento; il campo "COD" è obbligatorio solo in presenza di un "trattamento secondario" o un "trattamento più avanzato"; mentre il campo "SS" è obbligatorio se vi è un "trattamento primario".

I campi "Fosforo" e "Azoto" sono obbligatori se è necessaria la loro rimozione, quindi, secondo l'articolo 32 comma 1 del D.Lgs. 152/99, nel caso di impianti con potenzialità superiore ai 10.000 A.E. recapitanti in acque recipienti definite come aree sensibili, oppure per tutti gli impianti anche non recapitanti in aree sensibili, se sono presenti scarichi industriali in fognatura. L'articolo 32 comma 2 del D.Lgs. 152/99 stabilisce che nel caso in cui può essere dimostrato che nelle aree sensibili ove recapita l'impianto la percentuale minima di riduzione del carico complessivo in ingresso a tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane è pari almeno al 75% per il fosforo totale ovvero per almeno il 75% per l'azoto totale, si può prescindere dal rispetto dei limiti di concentrazione della tabella 2, Allegato 5. Nella scheda 6.1 sono presenti quindi dei campi aggiuntivi ove inserire la percentuale di riduzione descritta e la conformità. In realtà la compilazione di questi campi della scheda richiederebbe la conoscenza del bilancio di massa dei nutrienti sull'intero bacino dell'area sensibile, informazione che non necessariamente è in possesso dei gestori dei singoli impianti.

Il campo "metodo di monitoraggio per l'azoto" prevede due classi di controllo. Il D.Lgs. 152/99 stabilisce che, in caso di scarico in area sensibile, per l'azoto totale, in alternativa al riferimento alla concentrazione media annua di 10 mg/L (AM), purché si ottenga un analogo livello di protezione ambientale, può essere preso come limite da non superare la concentrazione media giornaliera di azoto totale (DF) pari a 20 mg/L per tutti i campioni con una temperatura dell'effluente nel reattore biologico pari o superiore a 12°C.

Tutti i parametri sopra elencati devono rispettare o i limiti di concentrazione o le percentuali di riduzione, intesi in rapporto con il carico affluente all'impianto, presenti nelle tabelle 1, 2 e 3 dell'allegato 5 al D.Lgs. 152/99, qui di seguito riportate.

Il punto di prelievo per i controlli, ai sensi dell'articolo 28 comma 3 del D.Lgs. 152/99, "deve essere sempre il medesimo e deve essere posto immediatamente a monte del punto di immissione nel corpo recettore". Questa indicazione è da interpretare nel senso che fra i due punti non deve esistere alcuna possibilità di intercettazione e/o di introduzione di acque di altra natura, anche se ubicati a discreta distanza. In linea generale il punto di prelievo deve essere collocato all'interno dell'area occupata dall'impianto o nelle immediate vicinanze. Nel caso di controlli della percentuale di riduzione dell'inquinante, deve essere previsto un punto di prelievo anche all'entrata dell'impianto di trattamento.

Per la raccolta dei dati il D.Lgs. 152/99 stabilisce che vanno considerati i "campioni medi ponderati nell'arco di 24 ore".

Per i parametri di tabella 1 del decreto 152/99, il numero di campioni, ammessi su base annua, la cui media giornaliera può superare i limiti tabellari è definito, dal D.Lgs 152/99, in rapporto al numero di campionamenti effettuati durante l'anno. Inoltre si precisa che per tali campioni non conformi, lo scarico può essere considerato in regola se non si superano le concentrazioni della tabella 1 oltre alle percentuali seguenti:

BOD₅ : 100%
COD : 100%
SS : 150%

Il numero di campionamenti minimi, che devono essere effettuati su base annua, sono contenuti in un'apposita tabella inclusa nell'allegato 5 del decreto 152/99 e sono definiti in base alla potenzialità dell'impianto. La scheda 6.1 del decreto ministeriale non prevede nessun campo ove inserire il numero di campioni che sono stati raccolti per la determinazione delle emissioni e quanti di essi sono risultati non conformi.

Il D.Lgs. 152/99 prevede, sempre nell'allegato 5, che i campionamenti siano eseguiti sia da parte del gestore dell'impianto che dall'autorità competente per il controllo. Poiché le schede sono trasmesse ad APAT dalle Regioni, non è chiaro se i dati relativi alla conformità ai limiti di emissione sia il frutto di una elaborazione dei dati raccolti dal gestore oppure dei dati raccolti dall'Ente di controllo (ARPA).

Inoltre, per i campi "emissioni", potrebbero essere utili anche delle voci aggiuntive con i valori massimi, con l'esclusione eventualmente dei dati rilevati in caso di pioggia, e minimi riscontrati nell'anno di valutazione.

4. FANGHI

Produzione di fanghi tds/y

Trattamento fanghi

In sito tds/y

Fuori sito tds/y

Note

Riutilizzo fanghi:

Agricoltura: tds/y

Altro: tds/y

Smaltimento fanghi:

Discarica: tds/y

Incenerimento: tds/y

Altro: tds/y

Sotto la voce “produzione di fanghi” si è inteso, nel corso delle elaborazioni successivamente svolte, che il valore sia riferito al quantitativo di fanghi dopo tutti i trattamenti eventuali (in particolare di digestione e/o stabilizzazione aerobica) e sia relativo alla somma dei fanghi primari, secondari, terziari (se prodotti).

5. CORPO RECETTORE DELL’IMPIANTO

Suolo

acque dolci		Nome cel corpo idrico		codice	
acque di transizione		denominazione		codice	
acque costiere		tratto		codice	

monitoraggio sì
 no

Longitudine punto di scarico	Latitudine punto di scarico	Sistema geografico

Note

Classificazione

Sensibile
Normale
Bacino scolante in area sensibile

Data di classificazione ⁽¹⁸⁾

Questa sezione risulta particolarmente importante per conoscere se il corpo recettore dello scarico sia o meno area sensibile.

Riguardo a questa sezione, il Decreto Ministeriale non chiarisce i modi con cui i relativi campi debbano essere compilati, ciò che può indurre a casi ambigui. Infatti, ad esempio, esistono casi di impianti che scaricano in un'area sensibile la quale, a sua volta, fa parte del bacino scollante di un'altra area sensibile.

1.1.4 Indagine ISTAT: il sistema dell'indagine sulle acque (anno 2005)

La nuova indagine a livello nazionale (ISTAT, 2006) si compone di più indagini e ricognizioni ed ha l'obiettivo di monitorare il processo di affidamento della gestione dei servizi idrici e di rilevare i dati relativi alle seguenti infrastrutture: acquedotti, reti di distribuzione comunali, reti fognarie e impianti di depurazione delle acque reflue urbane.

I criteri con i quali sono stati suddivisi gli impianti sono i seguenti:

- l'ubicazione geografica dell'impianto, sia per Regione, sia per ATO;
- il grado di depurazione, che rappresenta la modalità con cui le acque reflue convogliate nella rete fognaria pubblica confluiscono in uno o più impianti di depurazione; si può distinguere in:
 - grado di depurazione "completo", se tutti i reflui fognari confluiscono nel depuratore (o in più depuratori);
 - grado di depurazione "parziale" se vi confluiscono in parte e per la parte rimanente vengono scaricati direttamente nel corpo idrico recettore senza subire un trattamento di depurazione;
 - grado di depurazione "assente", se i reflui fognari vengono scaricati totalmente nel corpo idrico recettore senza subire un trattamento di depurazione;
- lo stato di funzionamento dell'impianto (in esercizio oppure non in esercizio);
- la potenzialità dell'impianto solamente in termini di abitanti equivalenti serviti effettivi;
- la tipologia di trattamento (primario, secondario, terziario).

L'analisi dei risultati ha portato all'elaborazione di una relazione finale di sintesi integrata con otto tavole numerate presentate su fogli di calcolo.

1.2 CRITERI "TECNICI"

In questo paragrafo si intendono descrivere i criteri tecnici per la suddivisione degli impianti di depurazione oggetto del presente studio, in impianti di depurazione "tipo".

Per la suddivisione degli impianti di depurazione selezionati sono stati scelti i seguenti criteri tecnici:

- 1 la taglia dell'impianto;
- 2 la tipologia impiantistica;
- 3 la tipologia di carico trattato;
- 4 le condizioni di carico dell'impianto.

1.2.1 Primo criterio: taglia dell'impianto

Gli impianti di depurazione presi in considerazione nel presente studio sono stati suddivisi nelle seguenti classi di potenzialità di progetto:

- < 2.000 [A.E.];
- 2.000 – 9.999 [A.E.];
- 10.000 – 49.999 [A.E.];
- 50.000 – 99.999 [A.E.];
- \geq 100.000 [A.E.].

Questa suddivisione è coerente con il PTUA (Piano di Tutela e Uso delle Acque) della regione Lombardia, in particolare con il Regolamento Regionale n. 3 del 24 marzo 2006 dal titolo “Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell’articolo 52, comma 1, lettera a) della Legge Regionale 12 dicembre 2003, n. 26” all’Allegato B.

La potenzialità di progetto, in termini di A.E., può essere calcolata dai carichi di progetto di BOD e di COD, considerando una produzione media giornaliera, per un refluo di origine domestica, pari a 60 g/ab-d per il BOD e a 120 g/ab-d per il COD.

1.2.2 Secondo criterio: tipologia impiantistica

Si possono individuare diversi tipi di suddivisione, in funzione della tipologia impiantistica, a seconda dell’aspetto che si voglia mettere in evidenza.

Ad esempio, se si vuole indagare l’efficienza di trattamento si possono considerare i seguenti trattamenti:

- primario;
- secondario a medio carico;
- secondario a basso carico con rimozione dei nutrienti;
- terziario.

Se si vuole invece studiare l’effetto della tipologia impiantistica sulla produzione di fanghi, si possono suddividere gli impianti in funzione della presenza delle seguenti fasi di trattamento:

- sedimentazione primaria;
- ossidazione ad alto carico oppure a basso carico;
- chiariflocculazione;
- filtrazione.

Se invece si vuole evidenziare la tecnologia impiantistica, allora si possono suddividere gli impianti nel seguente modo (considerando le tecnologie più diffuse a scala reale):

- impianti a fanghi attivi tradizionali o SBR;
- impianti con sistemi di biomassa adesa;
- impianti con tecnologia MBR.

Se infine si vuole puntare l’attenzione sul trattamento e sulla destinazione dei fanghi, si possono effettuare le seguenti suddivisioni:

- impianti con stabilizzazione separata dei fanghi (aerobica oppure anaerobica);
- impianti con sistema di disidratazione meccanica di varie tecnologie (filtropressa, nastropressa, centrifuga, ecc.);

-
- impianti dotati di essiccamento termico;
 - impianti con la presenza di altri trattamenti dei fanghi (ad esempio l’incenerimento, la gassificazione, ecc.).

1.2.3 Terzo criterio: tipologia di carico trattato

Una presenza considerevole di scarichi industriali nelle reti fognarie urbane potrebbe comportare problemi di vario tipo, spesso molto particolari e “nuovi” per i gestori di impianti di depurazione.

Gli scarichi industriali devono essere compatibili con l’impianto di depurazione i cui processi di trattamento potrebbero essere compromessi in modo più o meno grave dagli scarichi industriali grezzi non pretrattati.

Per questi motivi una suddivisione basata sulla tipologia di carico trattato potrebbe essere la seguente:

- impianti di depurazione che trattano prevalentemente un carico di origine domestica;
- impianti di depurazione che trattano anche un significativo carico industriale.

1.2.4 Quarto criterio: condizioni di carico dell’impianto

Un ulteriore criterio di suddivisione degli impianti di depurazione riguarda le condizioni di carico dell’impianto (idraulico e organico).

I sovraccarichi possono essere sia di tipo temporaneo (occasionali o periodici) che a carattere permanente.

In base all’esame dei dati gestionali possono essere individuati entrambi i tipi di situazione. Tuttavia, disponendo di dati aggregati è solo possibile determinare le condizioni di funzionamento medie e pertanto solo i casi di sovraccarico permanente.

In definitiva, sia in base al carico idraulico, sia in funzione del carico organico, si può effettuare la seguente classificazione:

- impianti che hanno un margine di potenzialità residua;
- impianti sovraccaricati.

Uno sbilanciamento tra carico organico e carico idraulico altera ovviamente anche la “forza” del liquame.

1.3 QUADRO RIEPILOGATIVO

La valutazione del funzionamento degli impianti di depurazione richiede l’effettuazione di una serie di verifiche di funzionalità a diverso grado di complessità. Queste sono ampiamente descritte nella parte II. Per la definizione dei piani di verifica, nonché per la corretta interpretazione dei risultati delle verifiche stesse è necessaria una classificazione degli impianti.

Accorpendo i criteri “statistici” e “tecnici” definiti in precedenza, e suddividendoli in criteri riferiti rispettivamente ai parametri strutturali e ai parametri gestionali, si ottiene la tabella di sintesi 1.3/1. Alcuni parametri riportati in tale tabella sono idonei solamente per l’effettuazione di analisi statistiche, altri anche per valutazioni tecniche di maggior dettaglio.

Tab. 1.3/1 – *Criteri di classificazione degli impianti. Viene specificato, per ogni criterio di classificazione, se esso è riferito ad aspetti strutturali piuttosto che gestionali e se è da ritenersi più idoneo per indagini di tipo statistico e/o per valutazioni tecniche di maggior dettaglio.*

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE	Aspetti strutturali		Aspetti gestionali	
	Statistici	Tecnici	Statistici	Tecnici
Classe dimensionale	X	X		
Stato di funzionamento	X			
Condizioni di carico dell'impianto			X	X
Tipologia di trattamento	X	X		
Età media	X			
Produzione, trattamento e destinazione dei fanghi			X	
Tipologia di carico trattato			X	X

2. FONTI CONSULTATE E QUALITÀ DEI DATI DISPONIBILI

Le fonti di dati utilizzate per il presente studio sono le seguenti:

- il database nazionale (APAT) aggiornato agli anni 2002-2003;
- un database regionale (quello della regione Lombardia aggiornato a gennaio 2007);
- le informazioni ottenute a seguito di sopralluoghi e contatti diretti con i gestori nel corso di precedenti lavori (ARPA, 2004; Collivignarelli e Bertanza, 2005; IRER, 2007).

In particolare, dal database nazionale (APAT), sono stati estrapolati i dati riguardanti tutti gli impianti della regione Puglia; le informazioni ottenute mediante sopralluoghi e contatti con i gestori sono relative ad un campione di impianti con varia collocazione geografica (prevalentemente al Nord Italia).

Nonostante la non perfetta omogeneità dei dati esaminati si è cercato di suddividere il campione di impianti secondo i criteri “statistici” e “tecnici” precedentemente proposti.

I dati relativi alla regione Puglia presenti nel database nazionale (APAT) sono riferiti ad un rilevamento ultimato il 31 dicembre 2002. In relazione alle indicazioni fornite nel § 1.1.3, la disponibilità dei dati non è totale, anche se in generale è buona. Una grave carenza di dati si evidenzia nella capacità idraulica di progetto e nella portata trattata. Si evidenzia inoltre la mancanza di alcune indicazioni riguardanti le emissioni e gli abbattimenti percentuali dei parametri considerati. Anche per quanto riguarda la sezione dedicata ai fanghi, al loro trattamento e smaltimento si osservano carenze di dati relative a 80 impianti circa.

Nel database della regione Lombardia sono indicate, oltre alle informazioni di carattere geografico (coordinate dell'impianto e dello scarico, area idrografica, ATO di appartenenza, comuni serviti attualmente, ecc.) le seguenti informazioni:

- la potenzialità di progetto ed effettiva degli impianti (sia in termini di A.E. civili, sia dal punto di vista degli A.E. industriali);
- l'anno della messa in esercizio degli impianti e quello della prevista dismissione;
- la capacità idraulica di progetto e quella effettivamente trattata;
- la tipologia di trattamento non solo distinguendo in preliminare, primario, secondario e terziario, ma andando a specificare quali tipi di processi sono presenti nell'impianto (accumulo, grigliatura, sedimentazione primaria, filtrazione, ecc.).

La regione Lombardia presenta un discreto livello di qualità dei dati forniti, a livello generale; tuttavia, per circa un terzo del totale degli impianti attivi, non sono riportate tutte le informazioni richieste.

L'indagine su un campione di impianti con varia collocazione geografica (prevalentemente al Nord Italia) presenta un livello di dettaglio dei dati recepiti sicuramente superiore rispetto ai primi due esempi, poiché le informazioni derivano direttamente da sopralluoghi e contatti con gestori.

Per quanto riguarda infine l'indagine direttamente eseguita mediante contatti diretti con i gestori, lo studio era volto ad acquisire una serie di dati costruttivi e gestionali (nonché elementi di costo, laddove possibili e iniziative in corso o in progetto sul riutilizzo di acque e fanghi). L'indagine ha riguardato 38 impianti per lo più dislocati nel Nord Italia, ma con qualche esempio significativo nel Centro-Sud.

In particolare sono state richieste le informazioni riportate in seguito.

-
- Scheda descrittiva dell’impianto:
 - schema di flusso delle fasi di trattamento;
 - dimensioni e caratteristiche dei comparti principali;
 - contributo industriale al carico (sia in termini di COD, sia di portata);
 - dati di progetto (carichi di COD, BOD, N, P e portate);
 - eventuali peculiarità (tecnologie particolari, sistemi innovativi, ecc.);
 - ente gestore.
 - Dati di funzionamento relativi ad un periodo significativo (un anno, se non sono intervenute variazioni al carico e/o all’impianto):
 - andamento temporale della portata e degli inquinanti “convenzionali” (COD, BOD, forme azotate e fosforo) in ingresso e in uscita;
 - temperatura, pH del liquame, concentrazione di SS e SSV in vasca di ossidazione, ossigeno disciolto e temperatura in vasca di ossidazione;
 - consumi energetici suddivisi per utenza;
 - fanghi prodotti, cioè fanghi estratti dai sedimentatori (portata e concentrazione media di solidi sospesi totali e volatili);
 - energia prodotta dalla eventuale digestione anaerobica dei fanghi (biogas prodotto e suo contenuto di metano) e autoconsumi interni;
 - fanghi smaltiti (dato annuale, specificando se trattasi di fango tal quale o se il dato si riferisce alla sostanza secca e precisando il contenuto medio di sostanza secca e sostanza volatile del fango smaltito);
 - consumo di reagenti (dato annuale), suddiviso per i diversi usi;
 - problematiche particolari;
 - eventuali analisi relative a parametri diversi da quelli sopra indicati sia sulle acque sia sui fanghi (es. tensioattivi, metalli pesanti, oli minerali, pesticidi, ecc.).
 - Dati di costo:
 - costruzione: costo indicativo di realizzazione dell’impianto attualizzato al presente oppure con il riferimento della data di costruzione;
 - esercizio (energia, reagenti, personale, manutenzione, smaltimento fanghi, ecc.);
 - eventuali studi di fattibilità su interventi di ampliamento/ristrutturazione finalizzati all’incremento della capacità depurativa o al miglioramento delle prestazioni dell’impianto).
 - Recupero:
 - forme di recupero/smaltimento dei fanghi in atto e problematiche o eventuali progetti;
 - progetti di recupero delle acque reflue o iniziative in atto.

La qualità dei dati recepiti è stata molto buona per quanto riguarda la scheda descrittiva degli impianti e i dati di funzionamento, soprattutto quelli relativi agli inquinanti “convenzionali”. Pochi impianti hanno fornito invece informazioni riguardanti i consumi energetici, la quantità di fanghi smaltiti, il consumo di reagenti e i costi di gestione.

3. APPLICAZIONE DEI CRITERI DI SELEZIONE: ESEMPI

In questo capitolo, in base alle informazioni presenti nei database a diverso livello di estensione geografica e quindi di approfondimento, si cercheranno di applicare i criteri di selezione individuati in precedenza per ottenere classificazioni utili.

Dai primi due esempi ad ampia scala (regione Puglia e Lombardia) dovranno emergere essenzialmente aspetti di tipo statistico. Viceversa dal terzo esempio, per il quale la qualità dei dati è sicuramente migliore rispetto ai primi due, si potrà verificare se è possibile effettuare anche valutazioni legate ad aspetti di tipo tecnico.

3.1 DATABASE NAZIONALE (APAT): ESEMPIO DELLA REGIONE PUGLIA

Tra tutte le indagini a livello nazionale viste in precedenza (vedi § 1.1) si è fatto riferimento, in questa sede, al database fornito da APAT, ed in particolare si sono scelti, come esempio, gli impianti della regione Puglia.

Per quanto riguarda le possibili classificazioni in base a criteri di tipo “statistico” è possibile, dalle informazioni in nostro possesso, effettuare una suddivisione degli impianti in funzione dello stato di funzionamento, sulla base dell’età media (vedi tabella 3.1/1) e a seconda della destinazione dei fanghi di depurazione (vedi tabella 3.1/2).

Dal punto di vista della suddivisione in funzione dei criteri “tecnici”, si possono eseguire le classificazioni in base alla taglia dell’impianto (primo criterio), alla completezza del trattamento (preliminare, primario, secondario, terziario) e alle condizioni di carico, in questo caso solo dal punto di vista idraulico (quarto criterio).

Non è invece possibile suddividere gli impianti in base alla tipologia di carico trattato (terzo criterio).

Anche per quanto riguarda la tipologia di trattamento (secondo criterio) dal database non si può conoscere se l’impianto presenti una tecnologia MBR oppure un sistema a biomassa adesa.

In seguito sono riportate tre tabelle (3.1/3, 3.1/4 e 3.1/5) che riassumono la suddivisione degli impianti secondo i criteri “tecnici” esposti in precedenza.

Al 31 dicembre 2002, nel database nazionale (APAT) erano presenti 211 impianti per la regione Puglia; 8 risultavano non in funzione, 6 dismessi, mentre un unico impianto non ha indicato alcuna informazione a riguardo.

In definitiva in Puglia erano attivi 195 impianti di depurazione di acque reflue urbane, per una capacità di trattamento complessiva (secondo le potenzialità di progetto) pari a 4.800.000 A.E. circa.

Tab. 3.1/1 – *Suddivisione degli impianti in funzione dell'età media.*

Età degli impianti	Impianti		Capacità organica di progetto	
	[N°]	[%]	[A.E.]	[%]
< 1985	68	45,0	1.897.930	47,0
1985-1989	15	10,0	442.382	10,9
1990-1995	28	18,5	726.071	18,0
> 1995	40	26,5	971.453	24,1
Totale	151	100	4.037.836	100

Tab. 3.1/2 – *Suddivisione degli impianti in funzione della destinazione dei fanghi.*

Taglia [A.E.]	Agricoltura		Discarica		Incenerimento		Altro	
	[N° imp.]	[A.E. prog.]	[N° imp.]	[A.E. prog.]	[N° imp.]	[A.E. prog.]	[N° imp.]	[A.E. prog.]
< 2.000	9	11.489	-	-	-	-	-	-
2.000-9.999	33	188.976	-	-	-	-	-	-
10.000-49.999	71	1.549.319	-	-	-	-	-	-
50.000-99.999	10	728.164	-	-	-	-	-	-
≥ 100.000	5	1.068.200	-	-	-	-	-	-
Totale	128	3.546.148	-	-	-	-	-	-

Osservando la tabella 3.1/1 si può notare che, rispetto ai 151 impianti di depurazione che hanno fornito il dato, la maggior parte degli impianti (circa il 55%) è stata avviata prima del 1990. C'è inoltre da rilevare il fatto che alcuni impianti hanno dichiarato quale anno di avvio una data precedente al 1990. Il 57% del carico organico di progetto, in termini di abitanti equivalenti, grava su impianti avviati prima del 1990.

Come si può osservare dalla tabella 3.1/2 l'unica destinazione dei fanghi di depurazione è lo spandimento in agricoltura. Il dato si riferisce a 128 impianti di depurazione e nella tabella è evidenziata anche la suddivisione degli impianti per classe di potenzialità.

Tab. 3.1/3 – *Suddivisione degli impianti in funzione della taglia.*

Taglia [A.E.]	Impianti		Capacità organica di progetto	
	[N°]	[%]	[A.E.]	[%]
< 2.000	17	8,7	22.059	0,5
2.000-9.999	63	32,3	330.430	7,2
10.000-49.999	95	48,7	2.025.513	44,0
50.000-99.999	13	6,7	936.164	20,4
≥ 100.000	7	3,6	1.284.923	27,9
Totale	195	100	4.599.089	100

Tab. 3.1/4 – *Suddivisione degli impianti in funzione del trattamento.*

Trattamento	Impianti		Capacità organica di progetto	
	[N°]	[%]	[A.E.]	[%]
Preliminare	-	-	-	-
Primario	7	3,8	57.579	1,3
Secondario	179	96,2	4.514.652	98,7
Terziario	-	-	-	-
Totale	186	100	4.572.231	100

Tab. 3.1/5 – *Suddivisione degli impianti in funzione delle condizioni di carico idraulico.*

Taglia [A.E.]	Impianti sottocaricati (carico idraulico)				Impianti sovraccaricati (carico idraulico)			
	[N°]	[%]	[A.E. prog.]	[%]	[N°]	[%]	[A.E. prog.]	[%]
< 2.000	3	4,0	3.851	0,2	2	5,4	2.443	0,2
2.000-9.999	21	28,0	131.704	7,6	8	21,6	28.754	2,0
10.000-49.999	43	57,4	961.940	55,4	21	56,8	451.154	31,5
50.000-99.999	7	9,3	509.785	29,3	3	8,1	198.388	13,9
≥ 100.000	1	1,3	130.000	7,5	3	8,1	751.000	52,4
Totale	75	100	1.737.280	100	37	100	1.431.739	100

Nella regione Puglia il 49% circa degli impianti presenta una potenzialità compresa tra 10.000 e 49.999 A.E.. Questa tipologia di impianti tratta anche la maggior parte del carico inquinante (calcolato sulla base della capacità di progetto). La stragrande maggioranza degli impianti della regione è caratterizzata da uno schema che prevede trattamenti secondari; non sono inoltre presenti impianti dotati di trattamenti terziari.

In Puglia il numero di impianti di potenzialità inferiore a 2.000 A.E. è piuttosto basso; in percentuale rappresentano infatti solamente il 9% del numero totale di impianti, che corrisponde allo 0,5% di carico inquinante potenzialmente trattabile.

Sono inoltre presenti sette impianti di potenzialità superiore a 100.000 A.E., tutti dotati di trattamenti secondari e che ricevono circa il 28% del carico inquinante complessivo.

Per quanto riguarda le condizioni di carico degli impianti si può osservare (tabella 3.1/5) che in totale sono presenti 37 impianti sovraccaricati dal punto di vista idraulico, pari al 33% circa. Questi impianti trattano globalmente il 45% del carico complessivo.

La maggior parte degli impianti con sovraccarico ha una potenzialità compresa tra 10.000 e 49.999 A.E., anche se i 3 impianti sovraccaricati di potenzialità superiore a 100.000 A.E. trattano più del 50% del carico riferito a tutti gli impianti sovraccaricati.

3.2 DATABASE REGIONALI: ESEMPIO DELLA REGIONE LOMBARDIA

In base alle informazioni contenute nel database regionale, si possono suddividere gli impianti, secondo i criteri “statistici” indicati nei precedenti paragrafi, in base allo stato di funzionamento e in funzione dell’età media (tabella 3.2/1). Non è invece possibile classificare gli impianti a seconda della destinazione dei fanghi di depurazione, per mancanza di dati a riguardo. In base ai criteri di tipo “tecnico” è possibile suddividere gli impianti in funzione di tutti i criteri esposti nel § 1.2, anche se, dal punto di vista della tipologia di trattamento (secondo criterio), è possibile effettuare solamente una suddivisione in funzione della completezza del trattamento (vasca Imhoff, primario, secondario, terziario) e di “particolari” trattamenti inseriti nello schema della linea acque dell’impianto (nitrificazione/denitrificazione, chiariflocculazione, defosfatazione, filtrazione, disinfezione, ozonizzazione). Dai dati in nostro possesso non è invece possibile conoscere se l’impianto presenta una tecnologia MBR, oppure un sistema a biomassa adesa.

Le informazioni contenute nel database regionale della Lombardia sono relative a 1.748 impianti di depurazione di acque reflue urbane. A gennaio 2007 erano attivi 1.429 impianti, 306 erano in previsione al 2016 e 3 non avevano fornito alcuna informazione relativa allo stato di funzionamento.

Tab. 3.2/1 – *Suddivisione degli impianti in funzione dell’età media.*

Età degli impianti	Impianti		Capacità organica di progetto	
	[N°]	[%]	[A.E.]	[%]
< 1985	138	34,6	1.739.435	27,4
1985-1989	121	30,3	1.925.432	30,3
1990-1995	55	13,8	1.612.293	25,4
> 1995	85	21,3	1.074.050	16,9
Totale	399	100	6.351.210	100

Come si può osservare dalla tabella 3.2/1 gli impianti della regione Lombardia sono stati avviati per la maggior parte prima del 1990; tuttavia una buona parte è di data recente (avviati dopo il 1995). Gli impianti che hanno fornito informazioni a riguardo sono solamente 399.

Il carico organico che grava sugli impianti avviati prima del 1990 è pari al 58% circa.

Le tabelle che seguono riassumono il numero degli impianti suddivisi per classe di potenzialità, per completezza del trattamento e per la presenza di “particolari” trattamenti.

Tab. 3.2/2 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità < 2.000 A.E. per tipologia di trattamento.*

IMPIANTI CON POTENZIALITÀ < 2.000 A.E.							
Trattamento	N° impianti	Nitrific./denitrif.	Chiariflocc.	Rimoz. P	Filtraz.	Disinfez.	O₃
Vasca Imhoff	82	-	-	-	-	-	-
Primario	39	-	-	-	-	-	-
Secondario	269	57	-	-	-	1	-
Terziario	125	57	4	24	8	109	1
Totale	515	114	4	24	8	110	1

Tab. 3.2/3 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità 2.000-9.999 A.E. per tipologia di trattamento.*

IMPIANTI CON POTENZIALITÀ 2.000 – 9.999 A.E.							
Trattamento	N° impianti	Nitrific./denitrif.	Chiariflocc.	Rimoz. P	Filtraz.	Disinfez.	O₃
Vasca Imhoff	2	-	-	-	-	-	-
Primario	4	-	-	-	-	-	-
Secondario	144	29	-	-	-	-	-
Terziario	98	66	4	33	14	78	-
Totale	248	95	4	33	14	78	-

Tab. 3.2/4 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità 10.000-49.999 A.E. per tipologia di trattamento.*

IMPIANTI CON POTENZIALITÀ 10.000 – 49.999 A.E.							
Trattamento	N° impianti	Nitrific./denitrif.	Chiariflocc.	Rimoz. P	Filtraz.	Disinfez.	O₃
Vasca Imhoff	-	-	-	-	-	-	-
Primario	1	-	-	-	-	-	-
Secondario	45	10	-	-	-	1	-
Terziario	57	36	11	20	16	43	-
Totale	103	46	11	20	16	44	-

Tab. 3.2/5 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità 50.000-99.999 A.E. per tipologia di trattamento.*

IMPIANTI CON POTENZIALITÀ 50.000 – 99.999 A.E.							
Trattamento	N° impianti	Nitrific./denitrif.	Chiariflocc.	Rimoz. P	Filtraz.	Disinfez.	O₃
Vasca Imhoff	-	-	-	-	-	-	-
Primario	1	-	-	-	-	-	-
Secondario	13	4	1	-	-	-	-
Terziario	13	10	2	8	3	10	1
Totale	27	14	3	8	3	10	1

Tab. 3.2/6 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità ≥ 100.000 A.E. per tipologia di trattamento.*

IMPIANTI CON POTENZIALITÀ ≥ 100.000 A.E.							
Trattamento	N° impianti	Nitrific./denitrif.	Chiariflocc.	Rimoz. P	Filtraz.	Disinfez.	O₃
Vasca Imhoff	-	-	-	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	-	-
Secondario	7	2	-	1	-	-	-
Terziario	25	17	3	6	7	19	2
Totale	32	19	3	7	7	19	2

Come si può osservare dalle tabelle riportate in precedenza, la taglia di impianti prevalente è quella inferiore ai 2.000 A.E. (rappresentano circa il 56% del numero totale di impianti), seguita da quella con una potenzialità di progetto compresa tra 2.000 e 9.999 A.E.. La capacità di trattamento complessiva, in termini di A.E. di progetto, è pari a circa 14.500.000 A.E.; inoltre, come era logico attendersi, la maggior parte del carico inquinante (il 62% circa) è trattato da impianti con potenzialità superiore a 100.000 A.E..

Per quanto riguarda la completezza del trattamento, si può notare che la tecnologia costituita dalla vasca Imhoff è presente quasi esclusivamente negli impianti con potenzialità inferiore a 2.000 A.E. e, anche se solamente per due impianti, anche per la classe di potenzialità compresa tra 2.000 e 9.999 A.E.. Si può osservare inoltre che, per gli impianti di potenzialità inferiore a 2.000 A.E., sono presenti un buon numero, pari circa al 24% del numero totale di impianti appartenenti a questa classe di potenzialità, di impianti dotati almeno di un trattamento terziario.

Globalmente, gli impianti che presentano un trattamento di nitrificazione/denitrificazione sono 288, pari al 31% del totale. La percentuale degli impianti che presentano un trattamento di rimozione dell'azoto, aumenta all'aumentare della classe di potenzialità dell'impianto, passando dal 22% per gli impianti di taglia inferiore ai 2.000 A.E., al 59% per gli impianti con potenzialità superiore a 100.000 A.E..

In tutta la regione Lombardia gli impianti che presentano la disinfezione mediante ozono sono solamente quattro, due dei quali di potenzialità superiore a 100.000 A.E..

Per quanto riguarda la valutazione del contributo del carico industriale (§ 1.2.3) sono stati suddivisi tutti gli impianti che hanno fornito tale informazione (in particolare l'indicazione degli A.E. industriali) nelle seguenti classi (dove il contributo industriale è stato calcolato come percentuale degli A.E. industriali rispetto alla potenzialità totale espressa in A.E.) (Avezzù *et al.*, 2003):

- contributo industriale fino al 25%;
- contributo industriale variabile dal 26 al 50%;
- contributo industriale variabile dal 51 al 75%;
- contributo industriale variabile dal 76 al 90%;
- contributo industriale variabile dal 91 al 100%.

Il carico industriale è stato calcolato, laddove possibile, utilizzando gli A.E. effettivamente trattati; qualora non disponibile tale informazione, il contributo industriale è stato determinato sulla base della potenzialità nominale.

Nella tabella 3.2/7 è riportato, per ogni classe di potenzialità, il numero degli impianti in funzione del contributo industriale. Gli impianti che hanno fornito il dato sono in totale 191.

Tab. 3.2/7 – *Suddivisione degli impianti in funzione del contributo industriale.*

Taglia impianto [A.E.]	Dati utilizzati	Contributo industriale [%]					TOT impianti
		0 – 25	26 – 50	51 – 75	76 – 90	91 – 100	
< 2.000	A.E. trattati	29	5	2	1	-	47
	A.E. nominali	4	5	-	1	-	
2.000 – 9.999	A.E. trattati	28	10	3	-	-	64
	A.E. nominali	12	11	-	-	-	
10.000 – 49.999	A.E. trattati	21	6	2	1	-	47
	A.E. nominali	10	7	-	-	-	
50.000 – 99.999	A.E. trattati	5	1	-	1	-	17
	A.E. nominali	3	6	-	-	1	
≥ 100.000	A.E. trattati	3	7	2	-	-	16
	A.E. nominali	-	-	2	2	-	

Come si osserva dalla tabella 3.2/7 esiste un unico impianto che presenta un contributo industriale superiore al 90% ed appartiene alla classe di potenzialità compresa tra 50.000 e 99.999 A.E.. La maggior parte degli impianti (pari al 60% circa) presenti in Lombardia presenta un valore del carico industriale inferiore al 25%.

Sono presenti inoltre due impianti, nella classe di potenzialità < 2.000 A.E., che presentano un contributo industriale variabile dal 76 al 90%.

Infine la classificazione in funzione delle condizioni di carico dell'impianto (quarto criterio) è riportata in tabella 3.2/8.

Tab. 3.2/8 – *Suddivisione degli impianti in funzione delle condizioni di carico organico.*

Taglia impianto [A.E.]	(A.E. trattati/A.E. nominali) < 1				(A.E. trattati/A.E. nominali) = 1			
	[N° imp.]	[%]	[A.E. prog]	[%]	[N° imp.]	[%]	[A.E. prog]	[%]
< 2.000	104	37,5	79.268	0,9	409	63,5	276.969	5,4
2.000 – 9.999	87	31,4	348.915	3,7	159	24,7	654.056	12,7
10.000 – 49.999	50	18,1	1.047.518	11,2	53	8,2	1.166.603	22,7
50.000 – 99.999	15	5,4	1.027.803	11,0	12	1,9	850.154	16,5
≥ 100.000	21	7,6	6.883.544	73,2	11	1,7	2.195.927	42,7
Totale	277	100	9.337.048	100	644	100	5.143.709	100

Come si può notare dalla tabella 3.2/8 in Lombardia non sono presenti impianti sovraccaricati. Questo fatto deriva dalle informazioni riportate nel database regionale: infatti nei casi in cui non è presente il dato relativo alla capacità organica trattata (in termini di A.E.) è stato inserito lo stesso valore della capacità organica nominale e viceversa. È stato perciò riportato il numero di impianti per i quali la potenzialità organica nominale è uguale a quella trattata.

Si può osservare che gli impianti con potenzialità inferiore a 49.999 A.E. che presentano un rapporto tra A.E. trattati e A.E. nominali uguale ad 1 sono in numero superiore rispetto a quelli appartenenti alle stesse classi di potenzialità che presentano una capacità organica di progetto inferiore a quella trattata. Le considerazioni riportate in precedenza si ribaltano considerando gli impianti di potenzialità superiore a 50.000 A.E..

3.3 ESEMPIO DI BASE INFORMATIVA ACQUISITA MEDIANTE INDAGINE DIRETTA PRESSO GLI IMPIANTI

Mediante indagine diretta presso gli impianti di depurazione sono state recuperate informazioni riguardanti quaranta impianti circa dislocati sul territorio nazionale.

Per ovvie ragioni di riservatezza, nel seguito gli impianti verranno considerati in forma anonima.

Nelle tabelle che seguono vengono suddivisi gli impianti in funzione dei quattro criteri esposti nel § 1.2. Nel campione di impianti presi in considerazione non sono presenti né impianti di potenzialità di progetto inferiore ai 2.000 A.E., né impianti con potenzialità compresa tra 2.000 – 9.999 A.E..

La maggior parte (32 rispetto ai 38 totali) degli impianti presenti in questo campione ha una potenzialità superiore a 100.000 A.E..

Per la determinazione delle condizioni di sovra e sottocarico idraulico dell'impianto (quarto criterio) è stata considerata la portata media giornaliera considerando, ove disponibili, le rilevazioni effettuate in uscita o in ingresso, ma comunque al netto della portata sfiorata in tempo di pioggia. Questo criterio ha portato ad una leggera sovrastima della portata in tempo asciutto, dovuta al fatto che sono stati inclusi i giorni di pioggia con portata uguale a quella massima trattabile, che ovviamente è superiore a quella media in tempo asciutto.

Tab. 3.3/1 – *Suddivisione degli impianti con potenzialità 10.000-49.999 A.E..*

IMPIANTO	TIPO	NOTE SUI TRATTAM.	TAGLIA [A.E. prog.]	TIPO DI CARICO	ULTIMO AGGIORNAM.		
					IRER	APAT	Aree sensib.
A1 ¹	FA	Predenitro	40.000 (BOD)	-			X
A2	FA	Predenitro	43.000 (BOD) 43.000 (COD)	360 m ³ /d di rifiuti liquidi (autorizzati)		X (solo dati consumi)	

¹ sovraccarico idraulico

Come si può osservare dalla tabella 3.3/1, tutti gli impianti considerati in questa classe di potenzialità presentano la tipologia impiantistica a fanghi attivi.

Per quanto riguarda il terzo criterio (tipologia di carico trattato) l'impianto A1 non specifica alcuna informazione riguardante il trattamento di reflui industriali. Viceversa l'impianto A2 è autorizzato a trattare fino a 360 m³/d (108.000 m³/anno) di rifiuti liquidi, per un carico massimo di COD pari a 10.000 kg/d. Tale impianto è dunque evidenziato in azzurro poiché presenta, secondo le informazioni contenute nel § 1.2.3, un significativo contributo industriale.

L'impianto A1 risulta sovraccaricato dal punto di vista idraulico, mentre l'impianto A2 non ha fornito informazioni a riguardo.

Tab. 3.3/2 – Suddivisione degli impianti con potenzialità 50.000-99.999 A.E..

IMPIANTO	TIPO	NOTE SUI TRATTAM.	TAGLIA [A.E. prog.]	TIPO DI CARICO	ULTIMO AGGIORNAM.		
					IRER	APAT	Aree sensib.
B1 ¹	FA	Predenitro	96.000 (BOD) 96.000 (COD)	-			X
B2 ^{1°}	FA	Predenitro	86.400 (BOD)*	-			X
B3	FA	Predenitro	77.000 (BOD) 77.000 (COD)	Prevalentem. civile (10 m ³ /d di rifiuti liquidi)	X (2006) + consumi		
B4	FA	Tratt. III: CF + filtrazione + UV	90.000	Civile/industr.	X (2006)		

* calcolati dalle concentrazioni entranti

¹ sovraccarico idraulico [°] sovraccarico organico

Nella classe di potenzialità 50.000 – 99.999 A.E. non sono presenti impianti (vedi tabella 3.3/2) con tecnologia MBR o con sistemi a biomassa adesa.

Due impianti non hanno fornito l'indicazione del contributo industriale; l'impianto B3, da contatti avuti con il gestore, presenta un carico industriale trascurabile rispetto al carico totale.

Gli impianti B1 e B2 risultano sovraccaricati dal punto di vista idraulico; per quest'ultimo si nota anche un sovraccarico organico.

Tab. 3.3/3 – Suddivisione degli impianti con potenzialità ≥ 100.000 A.E..

IMPIANTO	TIPO	NOTE SUI TRATTAM.	TAGLIA [A.E. prog.]	TIPO DI CARICO	ULTIMO AGGIORNAM.		
					IRER	APAT	Aree sensib.
C1	FA+ Bio ades	Tratt. III a biomassa adesa	260.000 (BOD) 224.000 (COD)	Preval. civile (carico ind. 10-15% sul COD)	X (2005/06)		
C2 ¹	FA+ Biof.		316.000 (FA) 250.000 (Biof)	-	X (dati progetto)		X (dati funzion.)
C3	FA + MBR		400.000 (BOD)	Parz. mista e parz. nera	X (2006)		
C4	FA		100.000 (BOD)	-			X
C5	FA	Tratt. III: CF + filtr.+UV	100.000 (BOD) 100.000 (COD)	Civile/industr.	X (2006)		
C6	FA		105.000 (BOD) 96.000 (COD)	-			X
C7 ¹	FA	Predenitro +defosfat.	110.000 (BOD)	-			X
C8	FA	Predenitro	138.000 (BOD) 160.000 (COD)	Preval. civile (170 m ³ /d di rifiuti liquidi)		X (reagenti consumi e fanghi)	X
C9	FA	Predenitro	138.000 (BOD)	-			X
C10	FA	Predenitro	145.000 (BOD)	-			X

segue

segue **Tab. 3.3/3** – *Suddivisione degli impianti con potenzialità ≥ 100.000 A.E..*

C11 ¹	FA		153.000 (BOD)	-			X
C12	FA		177.000 (BOD) 218.000 (COD)	-		X (reagenti consumi e fanghi)	X
C13 ¹	FA	Predenitro + defosf. simultanea	195.000 (BOD)*	-		X (reagenti consumi e fanghi)	X
C14 ^o	FA		216.000 (BOD)*	-			X
C15	FA	Predenitro + defosfat. chimica	312.000 (BOD)	-		X (reagenti consumi e fanghi)	X
C16 ¹	FA	Predenitro In ampl.: filtr III, def. chim. e UV (lotto 3)	330.000 (BOD)	-		X (2004) + consumi	
C17 ¹	FA	Comparto anossico + predenitro+ postdenitro + riareaz.	342.000 (BOD)	-			X
C18 ¹	FA	Predenitro	400.000 (BOD) 370.000 (COD)	-		X (2005) + consumi	
C19 ^{1o}	FA	Tratt. III: filtrazione + disinfezione	430.000 (BOD) 645.000 (COD)	-		X (2005) + consumi	
C20	FA	OX: 2 filtri perc. + 4 vasche	440.000 (BOD) 403.000 (COD)	Preval. civile (125 m ³ /d di rifiuti liquidi)		X + consumi	
C21	FA	Tratt. III: CF + filtraz. sabbia +UV e/o ipoclor. Dati funz. solo per P	540.000 (BOD)	Preval. civile	X (dati di progetto)	X (dati di funzion.)	
C22	FA		650.000 (BOD)	-			X
C23	FA (O ₂ puro)	Tratt. III: filtrazione	730.000 (BOD) 670.000 (COD)			X (solo dati consumi)	
C24	FA	Predenitro Tratt. III: filtraz. sabbia+UV	800.000 (BOD) 680.000 (COD) Dimension. per 1.050.000 AE	Preval. civile	X (2006)		
C25 ^o	FA	Predenitro Tratt. III: filtr. sabbia + disinf. peracetico	1.000.000 (BOD) 850.000 (COD)	Preval. civile	X (2006)		

segue

segue **Tab. 3.3/3** – *Suddivisione degli impianti con potenzialità ≥ 100.000 A.E.*

C26 ¹	FA	Tratt. III: defosfatazi one simultanea +disinf. con ipoclorito	2.100.000 (BOD) 2.100.000 (COD)	Civile/industr.		X	
C27 ¹	FA	Predenitro Tratt. III:C/F +chiarif. pacchi lamellari + ozono	140.000 (BOD) 180.000 (COD)	Significativo contrib. ind.		X (reagenti consumi e fanghi)	X (funzion)
C28 ¹	FA	Filtrazione	142.800 (BOD) 119.000 (COD)	Significativo contrib. ind.			X
C29 ¹	FA	Predenitro Tratt. III: filtr. sabbia + ozonizz.	154.000 (BOD) 192.500 (COD)	Significativo contrib. ind.		X (reagenti consumi e fanghi)	X
C30	FA	Predenitro Tratt. III: filtraz. prima della disinf	180.000 (BOD) 180.000 (COD)	60% civile 40% ind.	X (2006) + consumi		
C31 ^{1°}	FA	Pretratt. pozzi neri. Denitro	330.000 (BOD) 300.000 (COD)	Consistente contributo industriale		X + consumi	
C32	FA	Predenitro Tratt III: filtraz. sabbia + ozono + UV	385.000 (BOD)	Componente ind.: 60-70%	X (2006)		

* calcolati dalle concentrazioni entranti

¹ sovraccarico idraulico [°] sovraccarico organico

Come si può osservare dalla tabella 3.3/3, sono presenti 3 impianti che presentano, secondo la classificazione adottata nel § 1.2.2 (secondo criterio), una tipologia impiantistica diversa da quella a fanghi attivi che rimane comunque la più diffusa. In particolare, l'impianto C1 e quello C2 presentano un sistema a biomassa adesa; il primo come trattamento terziario, mentre il secondo presenta un sistema di biofiltrazione su una linea di trattamento. L'impianto C3 è costituito invece da una tecnologia MBR, applicata su una delle tre linee.

Per quanto riguarda invece il contributo industriale (terzo criterio) sono stati individuati 6 impianti, evidenziati in azzurro nella tabella 3.3/3, che trattano un significativo contributo industriale. È da rilevare il fatto che molti impianti non hanno fornito informazioni riguardanti il carico industriale. Secondo il criterio delle condizioni di carico dell'impianto (quarto criterio) gli impianti sovraccaricati dal punto di vista idraulico sono pari a 13. Due di questi impianti (C19 e C31) presentano anche un sovraccarico di tipo organico. Anche per altri due impianti (C14 e C25) si osserva un carico organico di progetto minore rispetto a quello trattato, pur non presentando alcun sovraccarico idraulico.

C'è da notare il fatto che gli impianti C21 e C23 non hanno fornito informazioni né relative al carico organico trattato né alla portata trattata; anche per l'impianto C20, proprio a causa della mancanza di dati, non si possono fare considerazioni riguardanti l'eventuale sovraccarico idraulico.

3.4 VALUTAZIONI COMPARATIVE

Nella tabella 3.4/1 è indicato un giudizio che tiene conto dell'attendibilità e completezza delle informazioni ottenute a seguito dell'analisi dei database della regione Puglia e della Lombardia e dai dati ottenuti mediante l'indagine diretta presso alcuni impianti. Tale giudizio viene classificato in tre livelli: buono, medio e scarso; qualora invece, per un determinato criterio, non sia possibile effettuare alcuna suddivisione, è stata riportata l'espressione "nessuna informazione".

Tab. 3.4/1 – *Attendibilità/completezza delle informazioni recepite dai database presi in considerazione.*

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE	Database nazionale	Database regionale	Campione di impianti contattati direttamente
Classe dimensionale	Buono	Buono	Buono
Stato di funzionamento	Buono	Buono	Buono
Condizioni di carico dell'impianto	Medio	Medio*	Buono
Tipologia di trattamento	Buono	Buono	Buono
Età media	Buono	Medio	Nessuna informazione
Produzione, trattamento e destinazione dei fanghi	Medio	Nessuna informazione	Medio
Tipologia di carico trattato	Nessuna informazione	Scarso	Medio

* nessuna informazione per le condizioni di carico idraulico.

Dalla tabella 3.4/1 si può osservare che, in generale, l'attendibilità/completezza dei dati ricevuti è buona e, come era logico attendersi, l'indagine presso gli impianti ha fornito le informazioni più attendibili. Per quanto riguarda i criteri di classificazione riferiti alla produzione, trattamento e destinazione dei fanghi e quello relativo alla tipologia di carico trattato, si può osservare che le informazioni non hanno una buona attendibilità in nessuna delle indagini prese in considerazione.

4. INDIVIDUAZIONE DI CASI SIGNIFICATIVI

In questo capitolo, sulla base delle informazioni reperite mediante l'indagine diretta presso gli impianti (vedi § 3.3) e in funzione dei criteri tecnici esposti nel § 1.2, saranno selezionati un numero di impianti di depurazione "tipo" secondo le seguenti modalità:

- impianti con tipologia impiantistica "convenzionale" (a fanghi attivi) e diversa potenzialità;
- impianti di pari potenzialità e diversa tipologia impiantistica;
- impianti di pari potenzialità e tipologia impiantistica e diverso contributo industriale.

Per ovvie ragioni di riservatezza, nel seguito gli impianti verranno considerati in forma anonima.

4.1 IMPIANTI CON TIPOLOGIA IMPIANTISTICA "CONVENZIONALE" (A FANGHI ATTIVI) E DIVERSA POTENZIALITÀ

Gli impianti a tipologia impiantistica "convenzionale" (a fanghi attivi) selezionati dal campione descritto nel § 3.3 sono i seguenti:

- classe di potenzialità 50.000 – 99.999 A.E. **impianto 1**;
- classe di potenzialità ≥ 100.000 A.E. **impianto 2**.

In seguito, per gli impianti selezionati, vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi dell'impianto, il contributo industriale e l'eventuale sovraccarico idraulico e/o organico.

Impianto 1

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **77.000 A.E.**
- Carico di BOD: **4.620 kg/d**
- Carico di COD: **9.240 kg/d**
- Carico di Azoto (TKN): **708 kg/d**
- Carico di Fosforo: **156 kg/d**
- Portata media: **17.240 m³/d**
- Portata di punta: -
- Portata massima: **3.300 m³/h**

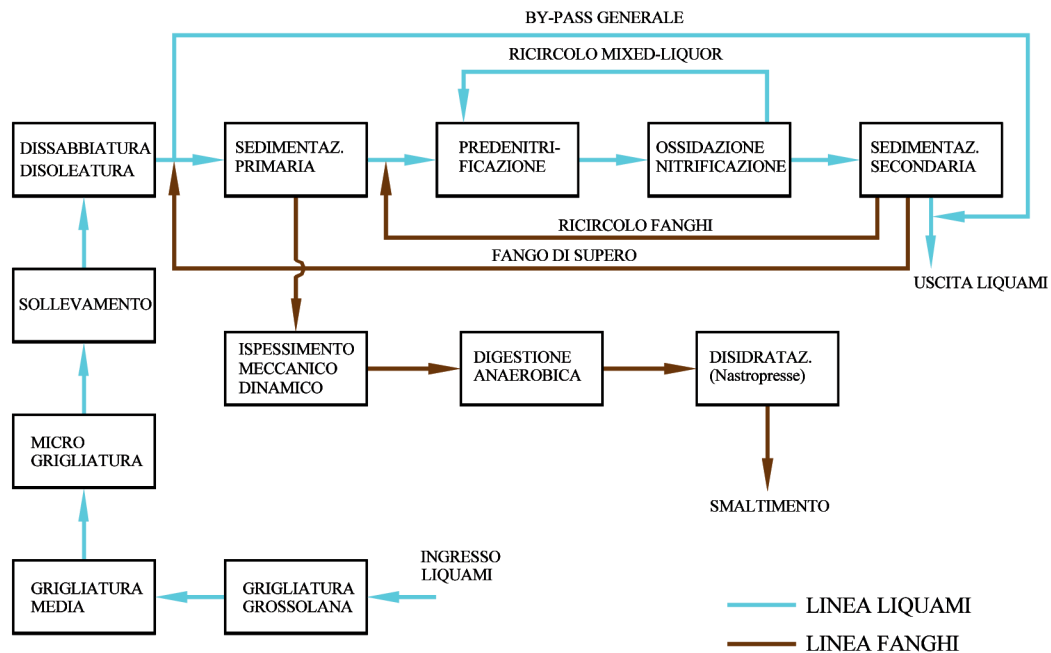
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

A seguito di contatti con il gestore dell'impianto è stato appurato che l'impianto riceve un contributo industriale trascurabile rispetto a quello di origine domestica.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto non risulta sovraccaricato né dal punto di vista idraulico, né da quello organico.

SCHEMA A BLOCCHI



Impianto 2

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **1.000.000 A.E.**
- Carico di BOD: **60.480 kg/d**
- Carico di COD: **101.520 kg/d**
- Carico di Azoto: **9.720 kg/d**
- Carico di Fosforo: **1.512 kg/d**
- Carico di SST: **58.320 kg/d**
- Portata media: **432.000 m³/d**
- Portata di punta: **18.000 m³/h**
- Portata massima: **54.000 m³/h**

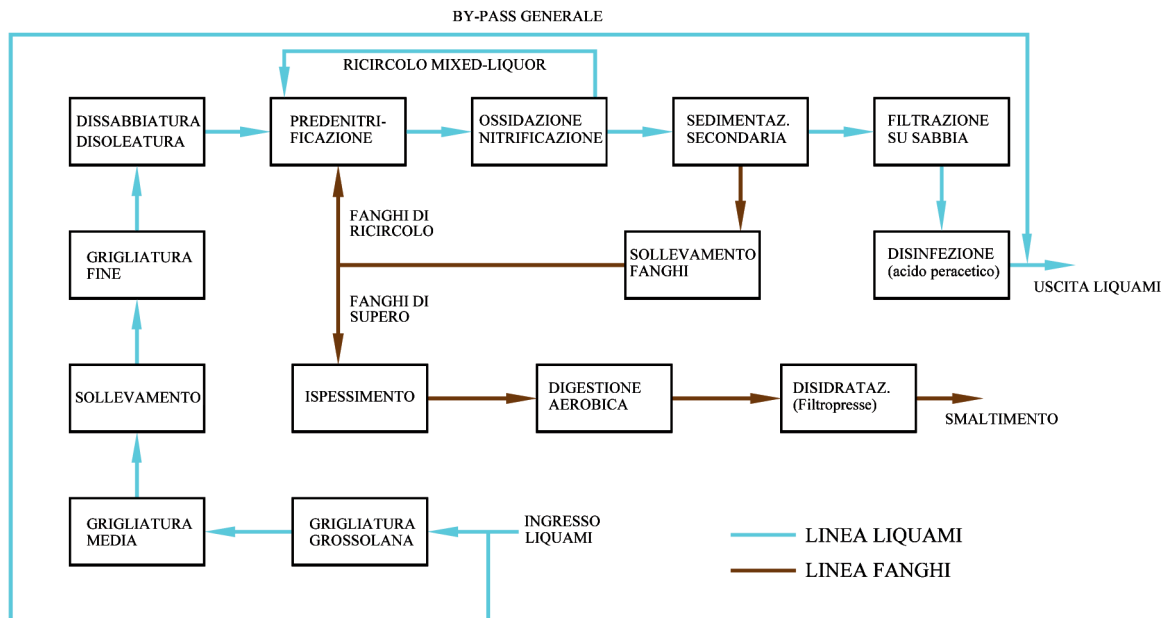
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

L'impianto tratta essenzialmente un liquame di origine domestica.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto è sovraccaricato dal punto di vista organico; il carico trattato, in termini di A.E., è pari a 1.380.000.

SCHEMA A BLOCCHI



4.2 IMPIANTI DI PARI POTENZIALITÀ E DIVERSA TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

Gli impianti che presentano una tipologia impiantistica diversa da quella a fanghi attivi sono presenti solamente nella classe di potenzialità ≥ 100.000 A.E..

Tra questi impianti sono stati selezionati, sulla base del secondo criterio, i seguenti:

- impianti a fanghi attivi **impianto 3**;
- impianti con tecnologia MBR **impianto 4**.

Impianto 3

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **330.000 A.E.**
- Carico di BOD: **19.800 kg/d**
- Carico di Azoto (TKN): **3.960 kg/d**
- Portata media: **65.856 m³/d**
- Portata di punta: **3.600 m³/h**
- Portata massima: **5.786 m³/h**

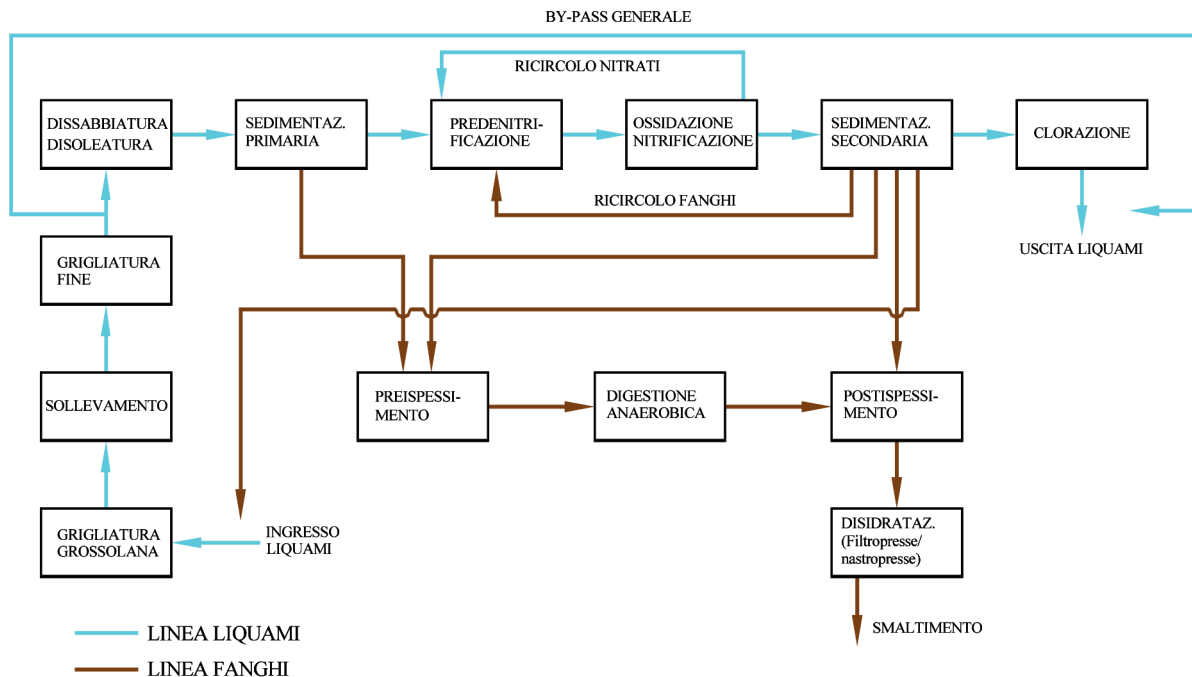
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

Dai dati in nostro possesso non è possibile sapere se l'impianto riceve un contributo industriale significativo.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto è sovraccaricato dal punto di vista idraulico; la portata media trattata è pari a 79.216 m³/d.

SCHEMA A BLOCCHI



Impianto 4

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **400.000 A.E.**
- Carico di BOD: **22.950 kg/d**
- Carico di COD: **45.450 kg/d**
- Carico di SS: **26.280 kg/d**
- Carico di Azoto totale: **4.500 kg/d**
- Carico di Fosforo totale: **720 kg/d**
- Portata media: **90.000 m³/d**
- Portata di punta: -
- Portata massima: -

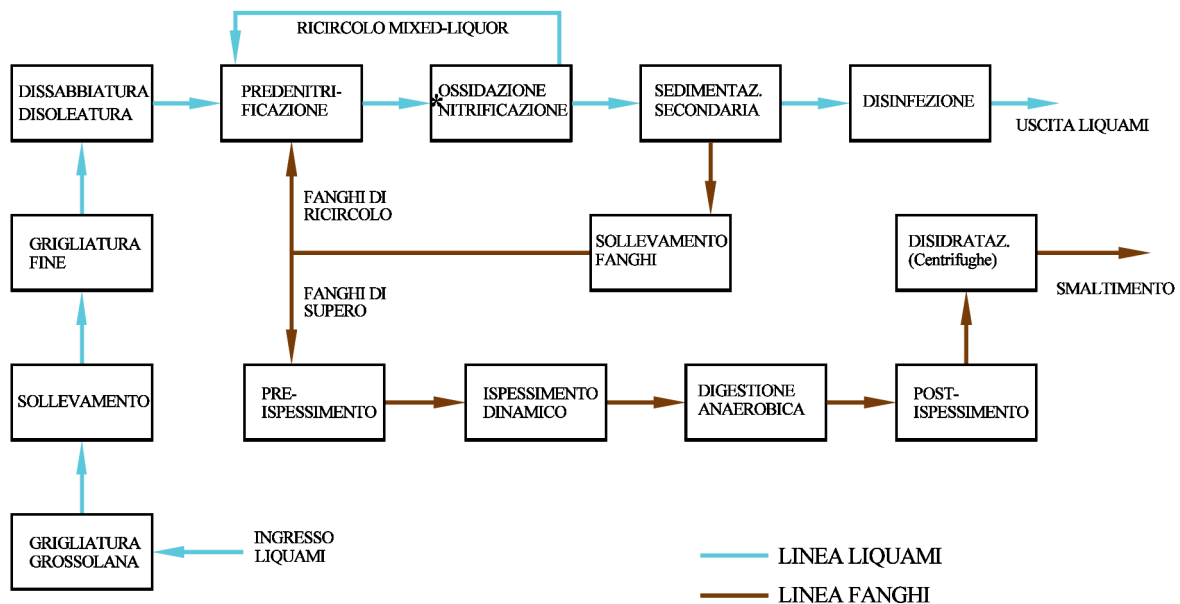
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

Dai dati in nostro possesso non è possibile sapere se l'impianto riceve un contributo industriale significativo.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto non risulta sovraccaricato, né dal punto di vista idraulico, né da quello organico.

SCHEMA A BLOCCHI *



* Sono presenti tre linee di cui una di tipo MBR.

4.3 IMPIANTI DI PARI POTENZIALITÀ E TIPOLOGIA IMPIANTISTICA E DIVERSO CONTRIBUTO INDUSTRIALE

La suddivisione degli impianti appartenenti alla medesima classe di potenzialità e diverso contributo industriale è stata fatta solo per gli impianti che trattano un carico complessivo di progetto superiore a 100.000 A.E.. In particolare sono state fatte le seguenti suddivisioni:

- impianti con carico prevalentemente di origine domestica **impianto 2**;
- impianti con significativo contributo industriale **impianto 5**.

In seguito vengono riportate solamente le informazioni relative all'impianto 5, poiché l'impianto con carico prevalentemente di origine domestica (impianto 2) è già stato preso in considerazione nel § 4.1.

Impianto 5

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **140.000 A.E.**
- Carico di BOD: **8.400 kg/d**
- Carico di COD: **21.600 kg/d**
- Carico di Azoto: **1.520 kg/d**
- Portata media: **1.042 m³/h**
- Portata di punta: **1.600 m³/h**
- Portata massima: **1.200 m³/h**

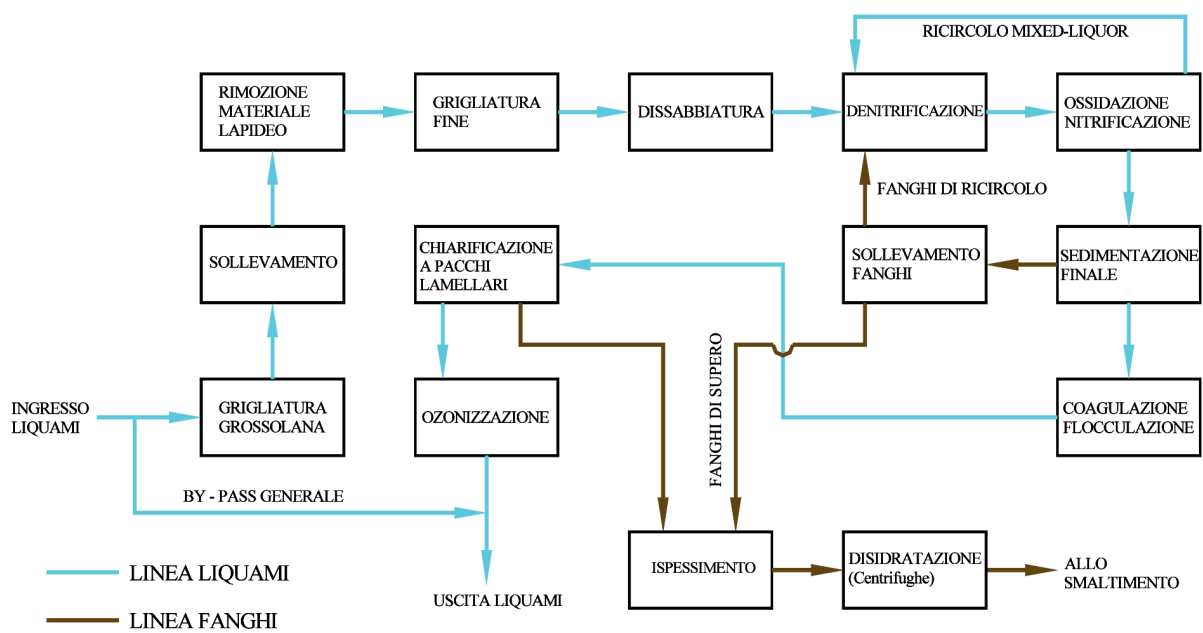
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

L'impianto riceve un significativo contributo industriale.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto risulta leggermente sovraccaricato dal punto di vista idraulico; infatti riceve una portata media giornaliera pari a 26.634 m³/d, contro i 25.000 m³/d di progetto.

SCHEMA A BLOCCHI



PARTE II

DEFINIZIONE DI CRITERI PER LA VERIFICA DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

5. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ CONSOLIDATE

Il processo di depurazione biologica delle acque reflue si basa su complessi meccanismi chimici, fisici e biologici strettamente interconnessi. L'efficienza del sistema è conseguita attraverso un'attenta e corretta gestione dell'impianto.

Appare evidente, in questi termini, la necessità di attuare il monitoraggio, ovvero la rilevazione dei parametri che consentano la continua interpretazione della situazione in atto. Utili strumenti per una corretta gestione dell'impianto, oltre al monitoraggio, sono le verifiche di funzionalità (idrodinamica dei reattori, sedimentabilità dei fanghi e capacità di trasferimento dell'ossigeno). Le tecniche di verifica della funzionalità presentate in questo capitolo possono definirsi "consolidate" in quanto ormai messe a punto da diversi anni. Ciò nonostante esse non sono normalmente adottate nella gestione degli impianti, in quanto richiedono un (modesto) "sforzo" aggiuntivo, spesso sufficiente ad ostacolare la diffusa applicazione di tali procedure.

Di seguito vengono riportate:

- modalità e frequenza di campionamento per ciascuna fase (pre-trattamenti, trattamenti primari, secondari e terziari) in sede di monitoraggio;
- finalità e metodiche di effettuazione delle verifiche di funzionalità.

Quanto riportato in questo capitolo è principalmente desunto dalle seguenti pubblicazioni:

1. "Le verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione della depurazione delle acque di scarico urbane", CIPA, 2006;
2. "La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico", Il sole24ore, 2000;
3. "Il collaudo delle opere di ingegneria sanitaria-ambientale - Parte I", Hyper, 2000.

5.1 MONITORAGGIO

Il processo di depurazione biologica delle acque reflue si basa su complessi meccanismi chimici, fisici e biologici, strettamente interconnessi, che consentono la rimozione della sostanza inquinante e l'ottenimento di un effluente chiarificato. L'efficienza del sistema (da cui dipende il rispetto dei limiti di legge) è conseguita attraverso un'attenta e corretta gestione dell'impianto.

Appare evidente, in questi termini, la necessità di attuare il monitoraggio, ovvero la rilevazione di parametri che consentano la continua interpretazione della situazione in atto.

Il gestore di un impianto si trova pertanto a dover effettuare una serie di scelte, per valutare, innanzitutto:

- i parametri da misurare;
- la frequenza di campionamento;
- i punti di campionamento (anche in termini di "fase" del processo) tenendo conto del costo delle analisi (reagenti e strutture) e del tempo di esecuzione (e quindi della manodopera impegnata).

La scelta dei parametri da rilevare presuppone la conoscenza del significato da loro assunto in relazione alla fase del processo considerata. I dati, infatti, devono fornire informazioni significativamente utili e facilmente interpretabili al fine di consentire la buona conduzione dell'impianto e, laddove necessario, interventi mirati ed efficaci da parte del gestore.

L'attività di monitoraggio si differenzia a seconda del fine che si intende raggiungere, ovvero della situazione specifica: gli ambiti in cui si prevede il monitoraggio sono infatti così distinguibili:

- collaudo ed avviamento dell'impianto;
- tariffazione;
- gestione ordinaria.

Nel presente paragrafo si focalizza l'attenzione sul monitoraggio da svolgersi nell'ambito della gestione ordinaria, accennando solo brevemente ad alcuni elementi di monitoraggio straordinario per la risoluzione delle disfunzioni degli impianti.

5.1.1 Il campionamento: modalità e frequenza

Il campionamento costituisce la prima fase di ogni procedura analitica e pertanto deve essere eseguito in modo da non inficiare i risultati finali. Il campione deve essere prelevato con una frequenza adeguata per assicurare la rappresentatività dei parametri da rilevare, in funzione degli obiettivi da perseguire. Inoltre, la modalità con cui è eseguito un campionamento dipende dai parametri che si vogliono determinare, dalla variabilità del campione e dalle informazioni che si desidera ricavarne. Infine, le tecniche di prelievo, confezionamento, conservazione e manipolazione, devono impedire che avvengano modifiche delle componenti e dei parametri da determinare.

Modalità. I campioni possono essere distinti in funzione dell'arco di tempo che rappresentano:

- campioni istantanei: idonei per il controllo di un evento particolare (per esempio uno scarico anomalo), qualora i parametri da misurare non siano costanti e nei casi in cui i campioni medi potrebbero annullare le differenze tra i singoli campioni;
- campioni compositi (costituiti dall'unione di più aliquote prelevate a intervalli di tempo regolari, indipendentemente dalle variazioni della portata e/o dei carichi): consentono di monitorare l'andamento temporale di uno o più parametri, nel caso in cui non sia necessario determinare bilanci di massa o non sia tecnicamente possibile effettuare i campioni medi ponderali, di cui al punto successivo;
- campioni medi ponderali (es. su 3 e 24 ore, come indicato dal D. lgs. 152/06, costituiti dall'unione di più aliquote prelevate in volumi o ad intervalli di tempo variabili in funzione delle variazioni della portata e/o dei carichi): idonei per la valutazione del carico inquinante totale, per il calcolo dei bilanci di massa e dei rendimenti depurativi; richiedono l'impiego di campionatori automatici o di strumentazione da processo.

Il campionamento può essere attuato in modo manuale e in modo automatico; alcuni criteri di scelta sono suggeriti dalle norme UNI EN 25667-1 e 25667-2; un campionatore automatico deve consentire la possibilità di eseguire campionamenti complessi del tipo:

- a intervalli fissi o variabili;
- proporzionalmente alla portata (anche a seguito di un segnale esterno);
- con attivazione causata da un impulso esterno (es. eventi di pioggia, immissione di scarichi, ecc.);
- con attivazione posticipata;
- medi proporzionali o compositi;
- ripartizione in più bottiglie (o di più campioni per bottiglia).

I campionatori automatici possono essere a installazione fissa o mobili:

- i campionatori fissi (disponibili anche autosvuotanti) funzionano continuamente con alimentazione di rete; dovrebbero essere resistenti alle intemperie e soprattutto dotati di un sistema di refrigerazione interno;
- i campionatori mobili devono essere di concezione modulare per facilitarne l'utilizzo anche da parte di un solo operatore e devono poter essere facilmente calati anche nei chiusini fognari (ovvero avere un diametro massimo inferiore a 50 cm); le batterie, ricaricabili, devono avere durata sufficientemente lunga.

L'utilizzo del campionario automatico deve essere valutato anche in funzione dei parametri da rilevare. Si ricorda, per esempio, a tal proposito, che alcuni inquinanti sono difficilmente campionabili in automatico: ad esempio gli oli e grassi, aderendo alle pareti dei tubi dei campionatori portano a sottostimarne la concentrazione. Inoltre, poiché queste sostanze tendono a fluttuare, si creano problemi di posizionamento dei tubi di prelievo, che devono essere completamente immersi per non aspirare aria.

È necessario attuare una corretta conservazione dei campioni, innanzitutto ponendoli in contenitori adeguati. La natura dei parametri da analizzare, infatti, influenza anche il tipo di contenitore e le modalità pratiche con cui il campione viene prelevato. I recipienti di vetro borosilicato sono adatti per tutti i campionamenti; i flaconi in polietilene possono essere convenientemente utilizzati per una molteplicità di campionamenti (tranne nel caso in cui si debbano determinare oli, grassi o altre sostanze idrofobe, e solventi organici).

Si demanda a trattazioni specifiche (Metodi IRSA-CNR, Manuali UNICHIM, ecc.) la descrizione degli accorgimenti da adottare per quanto riguarda la scelta dei contenitori, i reagenti o i conservanti da immettere nel campione all'atto del prelievo, le procedure di prelievo, i punti di campionamento. La corretta gestione dei campioni richiede inoltre il rispetto di procedure formali di tipo amministrativo, come, ad esempio, la compilazione di etichette, verbali di prelievo, registri dei campioni. Ciò diviene necessario qualora si intenda effettuare la certificazione di qualità del servizio.

Frequenza. Il D. lgs. 152/06 (All. 5) stabilisce, ai fini dell'autocontrollo relativamente al rispetto dei limiti di emissione per lo scarico in corpi d'acqua superficiali, una frequenza minima di campionamento da osservare relativamente alle caratteristiche dell'influente e dell'effluente, suddividendo gli impianti in tre classi di potenzialità. E' evidente che tale frequenza, estremamente ridotta, non consenta al gestore dell'impianto di trarre informazioni circa l'effettiva funzionalità del sistema, per cui diviene necessario nell'ambito della gestione, modulare (e differenziare) la frequenza di analisi, a seconda dei parametri e della fase di processo di volta in volta considerati.

Nel presente paragrafo si suggeriscono i parametri da determinare nelle diverse fasi del processo di depurazione biologica, indicando alcuni criteri per la scelta delle frequenze da osservare: considerata infatti l'estrema variabilità dei fattori che rendono peculiare ogni impianto di depurazione (potenzialità, caratteristiche del liquame influente, modalità di fornitura di aria, biomassa presente, ecc.) risulterebbero poco significative indicazioni generali circa il monitoraggio da effettuare, in termini di frequenza di campionamento. La conoscenza della situazione di un impianto (ivi compresa l'efficienza delle singole fasi del processo) è acquisibile solamente attraverso una campagna analitica capillare e approfondita.

Si introduce, pertanto, la definizione di due tipologie di monitoraggio, alle quali si farà riferimento nel seguito:

- monitoraggio "routinario": effettuato nell'ambito della normale gestione dell'impianto di depurazione;

-
- monitoraggio “intensivo” o “stagionale”: limitato e determinato dalla necessità specifica, a un periodo di tempo circoscritto (es.: 20 giorni) e, possibilmente, da ripetersi con scadenze definite nel corso dell’anno o annualmente.

Il concetto di “monitoraggio routinario” non necessita di chiarimenti; è invece opportuno illustrare il significato di “monitoraggio intensivo”.

Ogni impianto di depurazione è caratterizzato da una molteplicità di fattori (strutturali, processistici, connessi alla tipologia del liquame influente, alle condizioni climatico-ambientali, ecc.) e necessita di uno studio iniziale approfondito, volto alla conoscenza e alla definizione della situazione in atto. L’esame dei risultati ottenuti consente quindi al gestore di definire in modo mirato i termini del monitoraggio routinario, concentrando l’attenzione sui parametri rivelatisi più significativi.

Il monitoraggio “intensivo” deve essere effettuato quotidianamente, per un periodo almeno pari all’età del fango, prelevando campioni medi rappresentativi del maggiore arco di tempo possibile (possibilmente di 24 ore); tale operazione deve essere effettuata ogniqualvolta intervengano variazioni a carico di fattori esterni, quali, ad esempio:

- l’alternanza delle stagioni;
- le variazioni della popolazione in seguito all’afflusso turistico;
- la periodicità dei cicli di produzione industriale e delle fasi di lavorazione in agricoltura.

I periodi dell’anno in cui devono essere effettuati i cicli di “monitoraggio intensivo” variano in funzione della situazione considerata e, comunque, devono comprendere necessariamente le situazioni estreme (carico, temperatura, ecc.). E’ evidente che l’effettuazione regolare di tale campagna di analisi consente di scegliere di volta in volta i parametri da misurare, tralasciando quelli meno significativi: in taluni casi, addirittura, può risultare superfluo ripetere il monitoraggio intensivo.

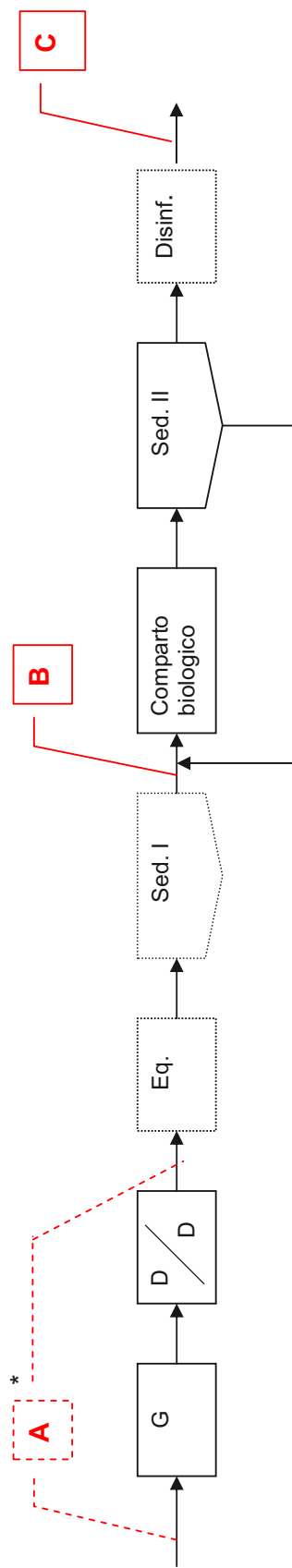
Poiché, tuttavia, il monitoraggio intensivo è sicuramente oneroso e non sempre può essere attuato, si è ritenuto utile, a titolo esemplificativo, riportare anche i parametri e le relative frequenze di campionamento per il monitoraggio routinario di un impianto a fanghi attivi di medie dimensioni (indicativamente tra 10.000 e 100.000 A.E.).

Per definire le frequenze del monitoraggio routinario, si deve tenere conto di una serie di fattori, la cui importanza può chiarirsi ed evidenziarsi proprio in seguito al campionamento intensivo. Ad esempio, la frequenza di analisi dovrebbe essere incrementata in proporzione all’instabilità di funzionamento dell’impianto (normalmente più marcata per installazioni di minore potenzialità); d’altro canto, la disponibilità di mezzi (risorse umane e tecniche) che caratterizza i grandi impianti consente un maggior numero di controlli. Il carico inquinante sversato da un grande impianto è in ogni caso più “importante” in termini di impatto sul ricettore (e ciò richiederebbe un monitoraggio più attento).

La campagna analitica è funzione della tipologia e della potenzialità dell’impianto. Nel presente capitolo si fa riferimento agli impianti a fanghi attivi (analizzandone le diverse fasi di processo), ma la logica di base può essere considerata valida per qualsiasi tipo di impianto biologico.

Si riporta, in Fig. 5.1.1/1, lo schema semplificato di un teorico impianto a fanghi attivi, in cui sono indicate tutte le fasi potenzialmente presenti: l’attività di monitoraggio intensivo prevede l’impiego di campionatori automatici, il cui posizionamento è suggerito nella figura. Si osserva che l’effettuazione di tale programma comporta l’installazione di tre campionatori per ogni impianto, in corrispondenza del liquame influente, dell’ingresso al comparto biologico e dell’effluente finale.

Fig. 5.1.1/1 – Punti di posizionamento (A,B,C) dei campionatori automatici in un ipotetico impianto a fanghi attivi.



Legenda

G = grigliatura

D/D = dissabbiatura/diroleatura

Eq. = equalizzazione

Sed. I = sedimentazione primaria. Qualora non sia prevista dallo schema impiantistico, s'intende comunque l'ingresso al comparto biologico.

Comparto biologico = pre/post denitrificazione; ossidazione-nitrificazione

Sed. II = sedimentazione secondaria

Disinf. = disinfezione finale dell'effluente

N. B. = Le parti tratteggiate non sono sempre presenti in tutti gli impianti

* = La sezione A rappresenta il punto di monitoraggio del liquame influente all'impianto. L'ubicazione deve essere scelta in funzione delle caratteristiche del liquame (possibili problemi di sporcamento/intasamento a monte della griglia) e del punto di immissione dei surmatanti della linea fanghi, il cui contributo non deve essere considerato a questo livello.

5.1.2 Criteri di scelta per l'adozione delle metodiche analitiche

La necessità da parte del gestore di un impianto di trattamento delle acque reflue di seguire in tempo reale l'evolversi di situazioni critiche per il processo biologico e, in alcuni casi, la difficoltà nel dotare gli impianti di un laboratorio chimico preposto ai controlli analitici, hanno portato alla diffusione e all'utilizzo di metodiche semplificate, alternative a quelle consigliate dall'IRSA – CNR e di “kit” per l'esecuzione delle analisi da laboratorio.

Le metodiche IRSA – CNR prevedono infatti, in molti casi, l'utilizzo di apparecchiature costose e sofisticate e implicano una procedura molto lunga, complessa e costosa, ciò che ne rende poco agevole l'applicazione nel monitoraggio degli impianti di depurazione. Metodiche alternative (di semplice esecuzione e aventi costi più contenuti) sono suggerite da Enti e associazioni e sostituiscono frequentemente i cosiddetti “metodi ufficiali”.

Infatti, qualsiasi metodica si intenda adottare, è necessario che il laboratorio ne documenti la validazione e la riferibilità ai metodi cosiddetti ufficiali o riconosciuti internazionalmente validi, al fine di consentire il confronto dei dati ottenuti. Si ritiene inoltre opportuno, per i parametri più significativi, documentare il rispetto della norma tecnica UNI EN ISO 45000. L'applicazione di tali procedure bene suffraga l'attendibilità dei dati che il gestore deve, a norma di legge, trasmettere all'Autorità di controllo.

Data l'elevata diffusione dei kit, sia presso impianti con potenzialità medio-grande (molti dei quali dotati di laboratori attrezzati), sia presso gli Enti preposti al controllo, si ritiene opportuno, in questa sede, approfondirne la trattazione. I principali vantaggi pratici, connessi al loro utilizzo, possono essere così sintetizzati:

- facilità di esecuzione analitica;
- tempi brevi per l'ottenimento dei risultati;
- utilizzo controllato di reagenti tossici o pericolosi;
- smaltimento degli stessi da parte dei fornitori (in alcuni casi);
- possibilità di utilizzo anche da parte di personale non specializzato;
- minor incidenza della voce ore/uomo sulla gestione operativa, poiché si annullano i tempi per la preparazione dei reagenti e si riducono quelli per l'esecuzione delle analisi;
- i kit presentano costi più elevati rispetto ai reagenti necessari per l'esecuzione delle analisi secondo le metodiche ufficiali, ma, considerando il costo analitico complessivo (personale addetto, strumentazione, manutenzione e struttura del laboratorio, smaltimento dei reagenti) i due sistemi sono confrontabili per bassi volumi di attività.

A fronte di vantaggi notevoli come quelli precedentemente esposti, si contrappongono problematiche generali relative ai seguenti aspetti:

- il volume di campione da sottoporre ad analisi, in alcuni casi è molto ridotto: l'operatore deve pertanto intervenire per renderlo idoneo all'analisi per non inficiare la significatività del risultato;
- l'uso dei test in cuvetta è ottimale nei controlli in campo e in tempo reale per conoscere l'evolversi di una situazione processistica, ma consente anche di effettuare il bilancio delle specie chimiche che concorrono alle reazioni di biodemolizione e di trasformazione dei substrati. In questo caso, tuttavia, si dovrebbero periodicamente confermare i risultati attraverso le metodiche ufficiali, poiché le scelte processistiche e operative che ne derivano sono fondamentali, in quanto portano alla definizione dei costi di gestione di un impianto;
- la non idoneità dei kit, ai sensi della legge, per discriminare se un refluo rientri o meno nei limiti imposti dalla normativa, data l'importanza conferita al risultato e quindi alla necessità di ottenere un dato estremamente preciso;

– i kit, come peraltro le metodiche convenzionali, sono soggetti a interferenze e i reflui industriali che convergono all'impianto di smaltimento, per la loro diversità di provenienza, possono contenere svariate molecole interferenti tra le quali si può instaurare un effetto sinergico. Il saggio in cuvetta può servire come screening presuntivo (preliminarmente all'analisi mediante metodiche ufficiali); l'operatore può comunque consultare le tabelle allegate alle confezioni dei kit in cuvetta, ove sono segnalate le possibili interferenze con le metodiche considerate.

Si riportano, di seguito, alcune considerazioni circa le procedure analitiche dei test in cuvetta più diffusi (integrando quanto emerso da un sondaggio eseguito presso diversi impianti di depurazione).

- **Determinazione del COD.** Poiché il volume di campione utilizzato nell'analisi risulta estremamente ridotto, si introduce un errore significativo, soprattutto nel caso di acque contenenti concentrazioni rilevanti di solidi sospesi (soprattutto nel caso di prelievi effettuati sui liquami in ingresso agli impianti). Il campione deve quindi essere omogeneizzato accuratamente prima di essere sottoposto ad analisi (come peraltro indicato dal D. lgs. 152/06).
- **Determinazione della concentrazione dello ione ammonio.** Il metodo di determinazione secondo Nessler presenta in alcuni casi il problema della formazione di torbidità, dovuta a reazioni secondarie che intervengono in aggiunta a quella colorimetrica principale. I kit che utilizzano questo metodo, quindi, analogamente alla metodica secondo l'IRSA, presentano questo tipo di limitazione, associata al metodo stesso e non alla procedura insita nell'utilizzo dei kit. Il metodo di determinazione al cloro-indofenolo viceversa, è più idoneo per l'analisi dello ione ammonio e non presenta controindicazioni rilevanti. Si tratta, quindi, di scegliere con accortezza il metodo da seguire di volta in volta. Si consiglia, in ogni caso, una preventiva filtrazione del campione attraverso membrana da 45 µm per eliminare le interferenze dovute alla torbidità.
- **Determinazione della concentrazione di azoto totale.** L'analisi dell'azoto totale implica un'ossidazione chimica del campione. Nel caso della presenza di sostanza organica ossidabile chimicamente, anch'essa partecipa alla reazione di ossidazione, causando una sproporzione stechiometrica tra specie ossidante e composto ossidato e portando quindi a una successiva sottostima dell'azoto totale. In tal caso, l'operatore deve utilizzare i test in cuvetta specifici per determinati intervalli di valori (in termini di concentrazione di azoto e di COD) o effettuare opportune diluizioni del campione. L'azoto totale Kjeldhal può essere solo determinato per differenza dall'azoto totale.
- **Determinazione della concentrazione di tensioattivi.** I kit in commercio per la determinazione dei tensioattivi risolvono il problema della preparazione dei reagenti, che contengono molecole pericolose, semplificando e riducendo i tempi dello svolgimento analitico successivo. L'utilizzo dei test in cuvetta in questo caso è giustificato se si deve analizzare un numero elevato di campioni: la metodica ufficiale può essere seguita per confermare alcuni dei dati ottenuti.
- **Analisi dei metalli.** L'analisi dei metalli utilizzando kit è applicabile esclusivamente alle specie in soluzione, ma non nel caso di matrici solide, come ad esempio per i fanghi. In impianti prevalentemente civili l'apporto di metalli in soluzione è molto contenuto: nei laboratori oggetto delle interviste, l'uso dei kit per la determinazione dei metalli nelle acque è stato pertanto ridotto o addirittura abbandonato.
- Per altri parametri (nitriti, nitrati, fosfati, fosforo totale, cloro residuo) è comprovata dagli utilizzatori l'affidabilità dei test in cuvetta. Si ricorda, tuttavia, che laddove le specie chimiche

da determinare siano sostanzialmente allo stato disciolto (es.: nitriti, nitrati, fosfati) è opportuno effettuare una preventiva filtrazione mediante membrana a 0,45 µm per eliminare le interferenze dovute alla torbidità del campione.

5.1.3 Controllo operativo della rete fognaria

Il controllo del liquame influente in un impianto è fondamentale, in quanto consente al gestore di intervenire di volta in volta per evitare il verificarsi di situazioni che possano ridurre l'efficienza di depurazione con possibile superamento dei limiti di legge. Tale controllo si traduce nella conoscenza delle caratteristiche del liquame: fluttuazioni di portata, valore dei parametri chimici e chimico-fisici.

Il tipo di sistema fognario (unitario o separato) influenza sia la portata in ingresso all'impianto di trattamento, sia le caratteristiche del liquame. Infatti, sebbene sistemi fognari separati (una condotta per le acque bianche e una per le acque nere) comportino un aumento dei fenomeni di setticITÀ del liquame, la configurazione separata delle reti genera minore fluttuazione delle portate, agevolando sia la gestione dei punti critici della fognatura (scolmatori, tratti fognari in pressione) sia la gestione della depurazione (sovraccarichi idraulici, punte di carico dovute alle acque di prima pioggia, ecc.). Per motivi storici, tecnici, ma soprattutto economici la maggior parte delle reti fognarie sono di tipo unitario.

Il controllo della rete fognaria, l'identificazione e il censimento degli scarichi (in particolare nel caso di significativi apporti industriali) sono elementi di non trascurabile importanza nella gestione di un impianto.

Nell'ambito del censimento degli scarichi si possono effettuare due tipi di controllo sulla rete fognaria: uno di tipo volumetrico, che consente di valutare i volumi scaricati anche in termini di portata oraria, e uno di tipo qualitativo per conoscere i carichi organici e il contenuto d'inquinanti che caratterizzano le varie tipologie d'attività. La mappa degli scarichi industriali potrà essere utilizzata dal gestore della fognatura per mantenere sotto controllo i punti critici della rete, come per esempio i manufatti scolmatori di piena, e dal gestore della depurazione per conoscere la qualità dei reflui (ottimizzando il processo) o in caso di variazione della composizione media in ingresso all'impianto di trattamento attivando (in coordinamento con il gestore della fognatura) una campagna di controlli sui singoli scarichi.

Una volta completato il censimento analitico degli scarichi è possibile costruire un modello di campionamento, che potrà riguardare i singoli scarichi delle aziende o, in caso di problemi o disfunzioni impiantistiche, opportuni tronchi della rete fognaria. Tale campionamento è finalizzato alla rilevazione delle portate e dei parametri analitici ritenuti più significativi in relazione alla tipologia del ciclo produttivo.

Inoltre, l'analisi degli scarichi produttivi è finalizzata a verificare la corrispondenza delle caratteristiche qualitative del refluo ai limiti previsti nell'autorizzazione allo scarico, nonché ad ottenere i dati da utilizzare per calcolo del canone di fognatura e depurazione. A tale proposito (ma anche nel caso in cui si debba esprimere un parere di competenza per il rilascio o rinnovo dell'autorizzazione allo scarico) risulta fondamentale impostare un controllo dipendente essenzialmente dalla tipologia dell'attività esercitata dall'azienda. In particolare oltre ai parametri che caratterizzano il carico organico (COD, COD_{sol flocc}, BOD₅, ecc.) si andranno a ricercare quelle sostanze previste dal Regolamento di Fognatura che possono essere prodotte o utilizzate nello specifico processo industriale. Infatti è necessario identificare il minor numero possibile di pa-

rametri significativi delle realtà produttive tenendo conto della necessità di rapidità analitica e della disponibilità di strutture di laboratorio.

Il numero di controlli e quindi di campionamenti sarà proporzionale all'entità dello scarico sia in termini di portata che di criticità qualitativa in relazione al processo biologico di depurazione (es. presenza nel ciclo produttivo di metalli pesanti, sostanze tossiche e/o bioaccumulabili). La situazione degli scarichi è inoltre controllata indirettamente attraverso l'effettuazione di analisi in sezioni dell'impianto, in particolar modo attraverso campioni in ingresso all'impianto, ma anche in campioni di fango ispessito o disidratato. Inoltre la caratterizzazione della biomassa dà informazioni circa la presenza di sostanze che inibiscono l'attività della microfauna (suggerendo la presenza di sostanze tossiche nell'influente) o l'aumento repentino del carico organico.

Più specificamente, si suggerisce il controllo della portata influente nelle stazioni di sollevamento, meglio se attraverso un sistema di telecontrollo e l'utilizzo di campionatori automatici autosvuotanti per il monitoraggio dei reflui in ingresso all'impianto.

In questa sede non si vuole approfondire ulteriormente l'argomento, poiché si è in attesa di una identificazione dei Gestori d'Ambito; nell'attuale fase, la pianificazione e l'esecuzione del controllo degli scarichi in pubblica fognatura (la cui autorizzazione compete ai Comuni) è definito dai soggetti individuati dal Regolamento di Fognatura.

5.1.4 Monitoraggio del liquame influente

Il controllo delle caratteristiche del liquame influente riveste un'importanza fondamentale nell'ambito del monitoraggio di routine, ma, soprattutto, nella fase di approfondimento conoscitivo che si attua mediante il monitoraggio intensivo: la verifica della compatibilità del refluo immesso nell'impianto con il successivo trattamento biologico è infatti lo scopo primario dell'indagine analitica. Le variazioni quali-quantitative del refluo da trattare, si ripercuotono direttamente sull'efficienza di depurazione e, quindi, sulla possibilità di garantire il rispetto dei limiti di legge per l'effluente finale. Si riporta, di seguito, un elenco dei principali parametri da determinare sul liquame in ingresso all'impianto (Tab. 5.1.4/1).

La tabella si divide in due sezioni: la doppia linea separa i parametri misurati sperimentalmente da quelli calcolati.

Tab. 5.1.4/1 – Parametri da determinare sul refluo in ingresso all'impianto: programma di monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
Q (m ³ /h)	in continuo	in continuo
pH	in continuo	in continuo
ORP (mV)	in continuo	in continuo
COD (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana
COD sol floc (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana
BOD ₅ (mg/L) ^{1,2}	1/settimana	2/mese
NH ₄ ⁺ (mg/L) ²	1/giorno	2/settimana
N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ (mg/L) ³	3/settimana	qualora necessario
TKN (mg/L) ¹	3/settimana	2/settimana
P totale (mg/L) ¹	3/settimana	2/settimana
Solidi sospesi totali (mg/L) ³	1/giorno	2/settimana
Solidi sospesi sedimentabili (mL/L) ³	1/giorno	2/settimana
Q _{media oraria} (m ³ /h)	1/giorno	1/giorno
Q _{punta} (m ³ /h)	1/giorno	1/giorno
Q _{massima pioggia} (m ³ /h)	in caso di pioggia	in caso di pioggia

¹ Determinare su campione medio di 24 ore.

² Il BOD può essere convenientemente sostituito dal COD sol floc, di più immediata esecuzione (Mamais et al, 1993).

³ Determinare su campione istantaneo.

N. B.: nel corso del monitoraggio intensivo si deve esercitare una gestione oculata e attenta degli analiti riportati dal D. lgs. 152/06, considerando la realtà in cui si trova l'impianto. Si ricordano, a titolo esemplificativo, i seguenti parametri: oli, tensioattivi, metalli, cloruri, solfati, nitriti, nitrati.

La misura in continuo della portata consente di evidenziarne l'andamento durante la giornata e quindi la determinazione della portata media oraria, della portata di punta nera e massima di pioggia. La rielaborazione dei dati raccolti consente inoltre il calcolo del carico inquinante in ingresso (da effettuare sui valori medi delle analisi giornaliere).

Il COD deve essere determinato sia relativamente alla concentrazione totale, sia relativamente alla frazione solubile. In particolare quest'ultima, può, sebbene con approssimazione, sostituire la misura del BOD durante il monitoraggio routinario.

La determinazione del BOD riveste una notevole importanza ai fini del controllo del processo biologico, in quanto consente di quantificare la frazione biodegradabile della sostanza organica presente. Sebbene la metodica analitica sia passibile di molteplici imprecisioni, se ne consiglia comunque l'effettuazione, secondo metodi ufficiali o accreditati, evitando l'uso dei test rapidi in cuvetta, (Gruppo di Lavoro GID, 1999).

Si rende necessario misurare la concentrazione di solidi sospesi sedimentabili solo se lo schema di processo prevede la fase di sedimentazione primaria.

Per quanto attiene ai parametri per i quali è consigliato il campionamento medio sulle 24 ore, si consiglia di intensificarlo, qualora se ne ipotizzi una elevata variabilità nell'arco della giornata, fino a determinare i valori medi sulle 3 ore, per 24 consecutive. Ciò deve essere effettuato nell'ambito del monitoraggio intensivo per una settimana completa.

I dati raccolti nel corso del periodo di monitoraggio intensivo consentono di selezionare i parametri maggiormente soggetti a variazioni e di stabilirne la frequenza di rilevamento nell'ambito del monitoraggio routinario. Generalmente, si ricorda che, accanto ai parametri riportati a titolo esemplificativo nella Tab. 5.1.4/1 e nelle relative note, è necessario controllarne altri, la cui presenza è connessa con situazioni specifiche come, ad esempio, l'immissione di liquami di origine industriale: si considerano, in tal caso, gli inquinanti potenzialmente presenti, in funzione di quanto emerso dal monitoraggio della rete fognaria (metalli, solventi, ecc.).

In ogni caso, si consiglia, generalmente, di intensificare le analisi rispetto a quanto previsto dal D. lgs. 152/06; questi accorgimenti devono essere considerati soprattutto nel caso in cui si intenda procedere alla valutazione delle rese di depurazione dell'impianto: i dati puntiformi ed eccessivamente distanziati nel tempo sono scarsamente significativi.

5.1.5 Pre-trattamenti: grigliatura, equalizzazione/omogeneizzazione, dissabbiatura/disoleatura

Grigliatura

La verifica dell'efficienza della fase di grigliatura non costituisce oggetto di monitoraggio né intensivo, né routinario; essa è effettuata all'atto del collaudo dell'impianto o, ad esempio, allorché subentra una nuova gestione.

Le principali indicazioni, a tal proposito, riguardano:

- la stima del quantitativo giornaliero di grigliato rimosso e delle sue caratteristiche (solidi sospesi totali e volatili) che consente di valutare il possibile impatto olfattivo e visivo e fornisce indicazioni sui possibili interventi nel caso si verificano efficienze inferiori a quelle attese;
- il calcolo della velocità del liquame a monte della griglia.

Dissabbiatura

Analogamente a quanto avviene per la grigliatura, non si prevede un monitoraggio regolare per la fase di dissabbiatura.

Disoleatura

Accanto alla verifica attuata in sede di collaudo o nell'ambito dei controlli periodici di funzionalità, è possibile intervenire attraverso una campagna di monitoraggio qualora si rilevi la presenza anomala di oli nel liquame in ingresso al comparto biologico o se ne ipotizzi l'afflusso, per esempio in seguito allo sviluppo di schiume biologiche. In particolare si consiglia di determinare i seguenti parametri:

- oli vegetali e animali, oli minerali all'ingresso e all'uscita della fase di disoleatura;
- tensioattivi totali, all'ingresso della fase di disoleatura: i tensioattivi, infatti, emulsionano gli oli e possono quindi inficiare il processo di disoleatura.

Le analisi devono essere effettuate su campioni medi di 24 ore, per un periodo di almeno due settimane. Qualora si utilizzi un campionatore autosvuotante, è necessario verificare che i campioni siano omogenei, che non vi siano perdite di oli all'atto del campionamento (per flottazione) e che gli oli stessi non aderiscano alle pareti del campionatore.

Equalizzazione-omogeneizzazione

La determinazione dei parametri in ingresso e in uscita (cfr. Tab. 5.1.4/1, relativa al monitoraggio del liquame in ingresso) consente di verificare l'efficienza della fase di equalizzazione, in termini di riduzione delle oscillazioni di portata, concentrazioni e carichi. Ciò presuppone l'adozione di un criterio di campionamento (ad esempio orario) che consenta di apprezzare le variazioni dei parametri nell'arco temporale di interesse.

In generale, comunque, è meno oneroso in termini di tempo e di costi (ma ugualmente significativo) valutare l'efficienza della fase di equalizzazione-omogeneizzazione mediante la sola misura della portata: gli altri parametri possono essere quindi determinati direttamente all'ingresso del comparto biologico.

5.1.6 Sedimentazione primaria

La Tab. 5.1.6/1 riporta i parametri da determinare e gli indici da calcolare per la fase di sedimentazione primaria, con indicazioni circa il punto di campionamento. Le frequenze riportate possono sicuramente essere ridotte, laddove si evidenzino buone correlazioni tra le caratteristiche del liquame in ingresso e in fase di sedimentazione primaria.

Tab. 5.1.6/1 – Parametri da determinare per la fase di sedimentazione primaria nell'ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
$Q_{\text{fanghi estratti}} \text{ (m}^3\text{/d)}$	1/giorno	1/giorno
$\text{pH}_{\text{uscita}}^1$	1/giorno	-
$\text{COD}_{\text{uscita}} \text{ (mg/L)}^2$	1/giorno	1/settimana
$\text{COD sol flocc} \text{ (mg/L)}^{2,3}$	1/settimana	2/mese
$\text{BOD}_{\text{uscita}} \text{ (mg/L)}^2$	1/settimana	2/mese
$\text{NH}_4^+ \text{ uscita} \text{ (mg/L)}^1$	3/settimana	2/mese
$\text{N-NO}_3^-, \text{N-NO}_2^- \text{ uscita} \text{ (mg/L)}^1$	3/settimana	2/mese
$\text{TKN}_{\text{uscita}} \text{ (mg/L)}^2$	3/settimana	2/mese
$\text{P totale}_{\text{uscita}} \text{ (mg/L)}^2$	3/settimana	2/mese
$\text{Solidi sospesi sedimentabili}_{\text{uscita}} \text{ (mL/L)}^1$	1/giorno	2/mese
$\text{Solidi sospesi totali}_{\text{fanghi estratti}} \text{ (g/L)}^1$	1/giorno	2/mese
$\text{Solidi sospesi volatili}_{\text{fanghi estratti}} \text{ (g/L)}^1$	1/giorno	2/mese
$\text{Tempo di residenza idraulica (h)}^4$	1/giorno	1/giorno
$\text{Carico idraulico superficiale sulla } Q_{\text{media}} \text{ e sulla } Q_{\text{massima giornaliera}} \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{·d)}^4$	1/giorno	1/giorno
$\text{Carico idraulico sullo stramazzo sulla } Q_{\text{media}} \text{ e sulla } Q_{\text{massima giornaliera}} \text{ (m}^3\text{/m·h)}^4$	1/giorno	1/giorno

¹ Determinare su campione istantaneo.

² Determinare su campione medio di 24 ore.

³ Come già osservato per il refluo in ingresso all'impianto, è possibile misurare il COD sol flocc in alternativa (sebbene, naturalmente, i due parametri assumano significati non coincidenti) alla determinazione del BOD, lunga e influenzata da molteplici fattori.

⁴ E' evidente che si deve procedere alla rilevazione quotidiana delle portate, per poi poter effettuare, anche in un secondo momento, il calcolo dei suddetti parametri.

Laddove ne sussista la fattibilità economica, è possibile impiegare strumenti ottici o a ultrasuoni per misurare in continuo l'altezza dell'interfaccia acqua-fango, con l'obiettivo di ottimizzare le operazioni di estrazione del fango.

Qualora si attui la defosfatazione chimica, secondo lo schema di pre-defosfatazione, è opportuno monitorare, in aggiunta ai parametri indicati, anche la concentrazione di fosforo totale in uscita dal comparto, con la medesima frequenza indicata per il COD.

5.1.7 Comparto biologico

Rimozione del carbonio

Il processo di depurazione è svolto dalla biomassa che colonizza la vasca di ossidazione: appare quindi evidente la necessità di verificare che si instaurino le condizioni ottimali per garantire i regolari processi metabolici e di controllare le caratteristiche e lo “stato di salute” delle popolazioni presenti.

I valori di pH, temperatura e ossigeno disciolto (Tab. 5.1.7/1) dovrebbero essere rilevati mediante misurazioni in continuo, in quanto strettamente connessi con l’attività biologica; questa considerazione, valida per il monitoraggio routinario, è ancor più significativa nel caso del monitoraggio intensivo.

Le misurazioni effettuate mediante sonde on-line dovrebbero comunque essere controllate regolarmente con strumenti portatili, per evitare l’acquisizione di dati errati a causa dello sporcamento delle sonde stesse.

La concentrazione dei solidi sospesi totali effettuata giornalmente consente di calcolare il carico e l’età del fango individuando così le condizioni di processo.

Tab. 5.1.7/1 – Parametri da determinare nel comparto biologico (*mixed liquor*) per il controllo della rimozione del carbonio nell’ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
pH	in continuo	in continuo
Temperatura (°C)	in continuo	in continuo
Ossigeno disciolto (mg/L)	in continuo	in continuo
Solidi sospesi totali (g/L)	1/giorno	2/settimana
Solidi sospesi volatili (g/L)	1/giorno	2/settimana
Solidi sospesi sedimentabili (mL/L)	1/giorno	2/settimana
Indice biotico del fango (S.B.I.) ¹	3/settimana	1/settimana
Analisi dei batteri filamentosi ²	3/settimana	1/settimana
SOUR (mg O ₂ /g · SSV h)	3/settimana	1/settimana
Carica batterica totale (CFU/mL) ³	1/settimana	qualora necessario
SVI (oppure SSVI o DSVI (mL/g) ⁴	3/settimana	2/settimana
Indice di bioflocculazione (mg/g) ⁵	qualora necessario	qualora necessario
Indice di galleggiamento ⁵	qualora necessario	qualora necessario
Indice di schiumeggiamento (%) ⁶	qualora necessario	qualora necessario
Carico del fango (kg COD/kgSSV·d)	1/giorno	2/settimana
Età del fango (d)	1/giorno	2/settimana

¹ Tale misura può essere sostituita, in particolare nell’ambito del monitoraggio routinario, dalla stima quantitativa della microfauna (Madoni, 1988).

² Qualora si verificano, per esempio, fenomeni di foaming, può essere opportuno controllare i batteri filamentosi anche nelle schiume, al fine di meglio stabilire gli interventi operativi (AGAC, 1992).

³ Tale analisi (cfr. Gruppo di Lavoro GID, 1999, per la metodica) può utilmente integrare le informazioni derivanti dalle altre misure biologiche, sebbene, a causa della complessità e dei lunghi tempi di lettura del risultato, non sia proponibile per la routine.

⁴ La determinazione dello SSVI (Stirred Sludge Volume Index), mediante sedimentazione del fango in un cilindro di 3,5 L con agitazione pari a 1 rpm, consente di ridurre l'imprecisione della misura dovuta al grado di mescolamento (IRSA-CNR, 1999). La misura del DSVI (Diluted Sludge Volume Index), già effettuato presso numerosi impianti, consente di ottenere risultati più attendibili rispetto allo SVI.

⁵ Per la metodica si rimanda a Vismara, 2000. Da effettuarsi, specificamente, nel caso si evidenzino disfunzioni nella fase di sedimentazione finale.

⁶ L'indice del potere schiumogeno (Blackall et al., 1991) si deve effettuare, in particolare, nel caso si evidenzino disfunzioni nella fase di sedimentazione finale.

Per quanto riguarda i parametri biologici, l'analisi della microfauna, del fiocco e dei batteri filamentosi dovrebbe essere effettuata regolarmente anche nell'ambito del monitoraggio routinario, per poter evidenziare tempestivamente eventuali alterazioni che potrebbero compromettere i rendimenti di depurazione e per poter rilevare in anticipo l'insorgenza di "patologie" della fase di sedimentazione, quali bulking, rising, foaming.

L'effettuazione regolare delle analisi biologiche consente inoltre di conoscere lo stato "di salute" della microfauna e quindi di avere indicazioni circa le condizioni dell'impianto dei giorni precedenti al prelievo (per esempio l'inibizione e/o la scomparsa di alcuni organismi in seguito all'immissione di sostanze tossiche) e di ipotizzarne l'andamento successivo.

Poiché ogni vasca di ossidazione rappresenta un ecosistema a sé stante, i dati raccolti durante il monitoraggio biologico intensivo iniziale (precedente a quello routinario) correlati ai dati chimici, fisici e di processo, consentono di individuare le caratteristiche delle popolazioni presenti e di coglierne le variazioni quali-quantitative associate al mutamento dei fattori esterni.

La determinazione respirometrica del SOUR, se effettuata almeno settimanalmente, nell'ambito del monitoraggio routinario, consente di evidenziare immediatamente un calo di attività della biomassa. Il calcolo degli indici di volume del fango (SVI, SSVI e DSVI) e degli indici di bioflocculazione, di galleggiamento e di potere schiumogeno, deve essere effettuato qualora si evidenzino, in base all'osservazione al microscopio, un aumento della concentrazione dei batteri filamentosi, e, soprattutto, qualora vi siano evidenti disfunzioni nelle vasche di ossidazione e di sedimentazione (foaming, bulking, rising, ashing, pin-point floc). Si rimanda a test specifici per quanto attiene la scelta dei controlli da effettuare e delle strategie di intervento (AGAC, 1992).

Nitrificazione

Nell'ambito dell'ottimizzazione del processo di nitrificazione, è importante conoscere il valore del carico del fango. Infatti, data la natura autotrofa dei batteri nitrificanti, un'eccessiva presenza di sostanza organica carboniosa inibirebbe la reazione di nitrificazione. Allo stesso modo, è necessario monitorare la portata di supero e la relativa concentrazione di solidi sospesi per calcolare l'età del fango, che deve essere sufficientemente elevata per consentire lo sviluppo dei batteri nitrificanti che hanno velocità di crescita bassa.

La temperatura influenza l'accrescimento dei batteri nitrificanti (per incrementi di 10°C la velocità di duplicazione cellulare raddoppia) e la velocità di trasformazione del substrato (Beccari *et al.*, 1993).

L'intervallo di pH ottimale per l'azione dei batteri nitrificanti è compreso tra 7,2 e 8,5. La determinazione del pH può essere eseguita in laboratorio, oppure in continuo sull'impianto.

La nitrificazione riduce il valore di alcalinità che dovrebbe quindi essere determinata sul liquame in ingresso e in uscita dalla fase di nitrificazione: se il potere tampone del liquame è sufficiente, non dovrebbero viceversa verificarsi significative variazioni del pH.

Le prove respirometriche di AUR (eseguite manualmente o mediante appositi biosensori) consentono di quantificare l'attività nitrificante esplicita dalla biomassa. Inoltre, poiché i batteri nitrificanti costituiscono la frazione più sensibile della biomassa a eventuali fenomeni di intossicazione, l'effettuazione di prove di AUR consente di evidenziare la riduzione o la perdita dell'attività metabolica della popolazione batterica.

Accanto alle prove di AUR, è possibile quantificare il consumo di ossigeno da parte delle popolazioni eterotrofe e autotrofe (reazioni di nitritazione e di nitratazione) attraverso la misura dell'OUR con il dosaggio di NaClO_3 (inibente i batteri preposti alla nitratazione) e di alliltiurea (inibente i batteri preposti alla nitritazione), secondo il metodo proposto da Sumarcz-Gorska *et al.*, 1996.

La determinazione della concentrazione di batteri nitrificanti consente, qualora si sia rilevata l'assenza del processo di nitrificazione, di evidenziarne l'eventuale presenza nel comparto di ossidazione: data la complessità e la durata di tale procedura analitica, non se ne consiglia comunque l'effettuazione nell'ambito della gestione ordinaria dell'impianto.

Per la fase di ossidazione-nitrificazione si suggerisce di monitorare, in aggiunta ai parametri riportati nella Tab. 5.1.7/1 (previsti nel caso della rimozione del carbonio) i parametri specifici riportati in Tab. 5.1.7/2.

Tab. 5.1.7/2 – Parametri da determinare nel comparto biologico per il controllo del processo di nitrificazione in aggiunta a quelli indicati in Tab. 5.1.7/1, nell'ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
Alcalinità <small>mixed liquor</small> (mg CaCO_3/L)	1/settimana	-
O.R.P. <small>mixed liquor</small> (mV)	in continuo	in continuo
AUR <small>mixed liquor</small> (mg $\text{N-NH}_4^+/\text{g} \cdot \text{SSV h}$)	3/settimana	qualora necessario
Concentrazione batteri nitrificanti <small>mixed liquor</small> (MPN/mL) ¹	qualora necessario	qualora necessario

¹ Si consiglia di seguire la metodologia proposta da IPLA (1992).

Denitrificazione

Per il monitoraggio della denitrificazione risulta fondamentale, nell'ambito del monitoraggio intensivo, misurare la concentrazione di ossigeno disciolto, in quanto la sua presenza inibisce la produzione dell'enzima nitrato-reduttasi. Il gestore, qualora si verificano disfunzioni nel processo di denitrificazione, avrà cura, durante il monitoraggio routinario, di verificare che nella vasca di denitrificazione il fango sia in condizioni anaerobiche. Per quanto riguarda l'alcalinità, si rileva che la denitrificazione è una reazione che produce HCO_3^- . La misura di questo pa-

rametro può essere effettuata sul liquame in ingresso e in uscita alla sezione. Solitamente, l'incremento di pH che deriverebbe dall'aumento di alcalinità è compensato dal potere tampone del liquame. L'intervallo di pH ottimale per i batteri denitrificanti è comunque compreso tra 7 e 8.

Il potenziale di ossidoriduzione (ORP) è un parametro correlabile alle condizioni di processo, sebbene l'interpretazione dei valori rilevati non sia sempre immediata.

Sulla corrente in ingresso alla sezione e sull'effluente possono essere determinate le concentrazioni di azoto nitrico e nitroso per valutare l'efficienza del comparto specifico.

La misura del NUR e la determinazione della concentrazione dei batteri denitrificanti si possono effettuare in caso di necessità. Si ricorda che la determinazione dei batteri denitrificanti (Dacarro *et al.*, 1997) consente anche di evidenziare la presenza di batteri "accumulatori di nitrati", non in grado quindi di completare la reazione di denitrificazione. Per le determinazioni microbiologiche relative alla carica batterica eterotrofa totale e ai batteri nitrificanti, anche nel caso dei batteri denitrificanti la procedura analitica è complessa; non se ne consiglia pertanto l'adozione nell'ambito del normale monitoraggio degli impianti.

Si riportano, in Tab. 5.1.7/3, i parametri da determinare nella fase di denitrificazione biologica.

Tab. 5.1.7/3 – Parametri da determinare per il comparto biologico di denitrificazione, nell'ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
$Q_{\text{ricircolo mixed liquor}}$ (m ³ /h) ¹	in continuo	in continuo
pH mixed liquor	in continuo	-
N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ ingresso, uscita (mg/L)	1/giorno	qualora necessario
Ossigeno disciolto mixed liquor (mg/L)	in continuo	-
Alcalinità mixed liquor (mg CaCO ₃ /L)	1/settimana	-
O.R.P. mixed liquor (mV)	in continuo	in continuo
NUR mixed liquor (mg N-NO ₃ ⁻ /g · SSV h)	1/settimana	qualora necessario
Concentrazione batteri denitrificanti mixed liquor (MPN/mL)	qualora necessario	qualora necessario

¹ Qualora si tratti di pre-denitrificazione.

Defosfatazione

Qualora si attui la rimozione del fosforo per via biologica è consigliata l'effettuazione delle analisi riportate nella Tab. 5.1.7/4.

Tab. 5.1.7/4 – Parametri da determinare per il comparto biologico di defosfatazione, nell'ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
pH mixed liquor	in continuo	-
Ossigeno disciolto mixed liquor (mg/L)	in continuo	-
O.R.P. mixed liquor (mV)	in continuo	in continuo
P-PO ₄ ³⁻ ingresso, uscita (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana

¹ La misura deve essere effettuata su campione istantaneo.

Si consiglia di misurare la concentrazione di fosforo nei fanghi di supero, al fine di meglio valutare l'efficienza del processo di defosfatazione.

Per quanto attiene alla defosfatazione chimica in simultanea, in aggiunta ai parametri citati nella Tab. 5.1.7/1, possono essere condotte analisi specifiche sui fanghi per verificare l'eventuale accumulo di sostanze chimiche in funzione dei reagenti utilizzati. Deve inoltre essere stimata la sovrapproduzione di fango di supero conseguente al dosaggio dei reattivi chimici.

5.1.8 Sedimentazione finale

L'efficienza della sedimentazione finale è influenzata in modo determinante dalla natura del fiocco del fango attivo presente nella vasca di ossidazione. L'analisi regolare dei batteri filamentosi e delle caratteristiche del fiocco permette di evidenziare in anticipo l'insorgenza di eventuali disfunzioni e di intervenire di volta in volta in modo mirato, contrastando lo sviluppo dei microrganismi responsabili. Inoltre, l'effettuazione dei test per la determinazione degli indici di bioflocculazione e di galleggiamento (di rapida esecuzione e di immediata interpretazione) consente di chiarire la tipologia delle disfunzioni.

La determinazione della concentrazione del COD, del BOD₅, delle forme azotate e del fosforo totale deve essere affiancata, qualora se ne renda necessario, dalla determinazione delle sostanze difficilmente biodegradabili o biorefrattarie di cui si sospetti la presenza nel liquame.

Si riporta, in Tab. 5.1.8/1, l'elenco dei parametri e degli indici da determinare per la fase di sedimentazione finale.

Tab. 5.1.8/1 – Parametri da determinare per la fase di sedimentazione finale nell’ambito del monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
$Q_{\text{ricircolo}}$ (m^3/h)	in continuo	in continuo
Q_{supero} (m^3/d)	1/giorno	1/giorno
$\text{COD}_{\text{uscita}}$ (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana
$\text{BOD}_5_{\text{uscita}}$ (mg/L) ^{1,2}	1/settimana	2/mese
$\text{NH}_4^+_{\text{uscita}}$ (mg/L) ³	1/giorno	2/settimana
$\text{TKN}_{\text{uscita}}$ (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana
N-NO_3^- , $\text{N-NO}_2^-_{\text{uscita}}$ (mg/L) ³	1/giorno	2/settimana
$\text{P}_{\text{totale}_{\text{uscita}}}$ (mg/L) ¹	1/giorno	2/settimana
Solidi sospesi totali fango di ricircolo (g/L) ³	1/giorno	2/settimana
Solidi sospesi totali uscita (mg/L) ³	1/giorno	2/settimana
Livello dei fanghi sedimentati (m) ⁴	2/settimana	1/settimana
Carico idraulico superficiale sulla Q_{media} e sulla $Q_{\text{massima giornaliera}}$ ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) ⁵	1/giorno	1/giorno
Carico di solidi ($\text{kg SS}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	1/giorno	2/settimana
Carico idraulico sullo stramazzo sulla Q_{media} e sulla $Q_{\text{massima giornaliera}}$ ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{h}$) ⁵	-	1/giorno
Tempo di residenza (h) ⁵	1/giorno	1/giorno

¹ Determinare su campione medio di 24 ore.

² Si possono integrare i valori di BOD con quelli di COD sol floc, sebbene i due parametri non abbiano il medesimo significato.

³ Determinare su campione istantaneo.

⁴ Si suggerisce, laddove possibile, l'utilizzo di misuratori on-line.

⁵ E' evidente che si deve procedere alla rilevazione quotidiana delle portate, per poi poter effettuare, anche in un secondo momento, il calcolo dei suddetti parametri.

5.1.9 Trattamenti terziari

Filtrazione

In aggiunta ai parametri di qualità dell’effluente indicati per la fase di sedimentazione secondaria (Tab. 5.1.8/1), qualora si attui il trattamento di filtrazione, devono essere determinati anche i seguenti parametri:

- torbidità (espressa in NTU), in continuo;
- numero di lavaggi/giorno.

Trattandosi, tuttavia, di operazioni che rientrano nella gestione ordinaria dell'impianto, se ne omette, in questa sede, una descrizione diffusa.

Disinfezione dell'effluente

Per verificare l'efficienza della disinfezione, si devono prelevare i campioni a monte e a valle del trattamento. Il COD e gli indici di contaminazione fecale devono essere tenuti sotto controllo in caso di aumento del carico organico in ingresso all'impianto, per esempio in concomitanza con massicci afflussi turistici. In questo caso è necessario seguire le indicazioni relative al programma di monitoraggio intensivo, e quindi controllare in differenti periodi dell'anno le caratteristiche dell'effluente da trattare. Il cloro gas, e i suoi composti, l'ozono e l'acido peracetico sono ossidanti energici e reagiscono con numerosissimi composti, prendendo parte a reazioni definite "cloro-richiesta": è dunque necessario controllare i valori di COD dei reflui da trattare, per garantire sempre una corretta concentrazione di cloro disponibile.

E' necessario controllare la concentrazione di sottoprodotti di disinfezione, molti dei quali hanno evidenziato elevata attività mutagena, sebbene non siano ancora state previste concentrazioni limite in base all'attuale legislazione.

Disinfezione con il cloro e i suoi composti. Il cloro e l'ipoclorito, per determinati valori di pH, reagiscono con l'ammoniaca in soluzione acquosa formando clorammine; i parametri da considerare, specialmente nel caso di reflui contenenti elevate concentrazioni di forme azotate ridotte, sono: il pH (che deve essere compreso fra 8 e 10), la temperatura, il tempo di contatto, la concentrazione di ammoniaca e della sostanza organica.

La verifica dell'efficienza di disinfezione è effettuata attraverso il rilevamento di *E. Coli* prima e dopo il trattamento. Si deve infine rilevare in ogni caso la concentrazione di cloro residuo.

Disinfezione con l'ozono. È necessario controllare il COD (la sostanza organica interferisce con il processo di disinfezione), e la temperatura (la solubilità dell'ozono diminuisce in modo esponenziale con l'aumento della temperatura). Si deve inoltre misurare la concentrazione di ozono residuo. Per quanto attiene le modalità e la frequenza di campionamento, nonché per le analisi microbiologiche, vale quanto indicato per il cloro.

Disinfezione con radiazioni ultraviolette. I fattori da considerare per valutare l'applicabilità del trattamento sono: la trasmittanza dell'acqua, il tempo di irraggiamento, la portata dell'acqua, la disposizione delle lampade all'interno della camera di irraggiamento. Si ricorda, inoltre, che alcuni composti (ferro, manganese, carbonati) possono precipitare sulla superficie delle lampade diminuendone l'efficacia di emissione. A differenza degli altri disinfettanti, i raggi ultravioletti non alterano le caratteristiche organolettiche dell'acqua trattata e danno luogo a limitata produzione di sottoprodotti di disinfezione. Non vi sono sottoprodotti da controllare. Per le analisi microbiologiche vale quanto indicato per il cloro, ma non è necessario aggiungere tiosolfato, in quanto non esistono residui di disinfettante.

Disinfezione con acido peracetico. È necessario determinare la concentrazione di COD, che interferisce con il meccanismo di disinfezione. In letteratura non si riportano casi di formazione di sottoprodotti di disinfezione tossici, in quanto l'acido peracetico si dissocia in acido acetico e perossido di idrogeno. Sono state tuttavia rilevate, in alcuni casi, concentrazioni non trascurabili di aldeidi e chetoni, che sarebbe pertanto opportuno tenere sotto controllo analitico.

Si riportano, in Tab. 5.1.9/1, i parametri da determinare per il controllo del trattamento di disinfezione dell'effluente.

Tab. 5.1.9/1 – Parametri da determinare per la fase di disinfezione, in aggiunta ai parametri di qualità dell’effluente, riportati nella Tab. 5.1.8/1, che devono essere comunque determinati prima e dopo la fase di disinfezione.

Parametro	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario (es.: 10.000÷100.000 A.E.)
Dosaggio di disinfettante (mg/L) ¹	1/settimana	1/settimana
Sottoprodotti specifici per il sistema di disinfezione adottato (mg/L, µg/L)	1/mese	-
Disinfettante residuo (mg/L)	in continuo	in continuo
<i>E. Coli</i> (CFU/mL)	2/settimana	1/settimana
Test di tossicità (LC50) ²	qualora necessario	qualora necessario

¹ Da calcolare su Q₂₄ e su Q_{massima giornaliera}.

² Da effettuarsi qualora richiesto, mediante test con *Daphnia spp.* o con batteri bioluminescenti.

N. B.: si ribadisce l’importanza di controllare periodicamente la formazione di sottoprodotti di disinfezione che, sebbene non siano normati per quanto concerne l’immissione in corpi idrici superficiali, sono tossici e incompatibili con l’ambiente.

5.2 CAPACITÀ DEI SISTEMI DI FORNITURA DELL’OSSIGENO

5.2.1 Obiettivo delle verifiche dei sistemi di aerazione (Bertanza e Collivignarelli, 2006)

La determinazione della capacità di trasferimento dell’ossigeno da parte dei sistemi di aerazione ha come obiettivo la determinazione della costante di trasferimento dell’ossigeno caratteristica del particolare sistema esaminato (vasca + sistema di aerazione). In questo modo si può calcolare la quantità di ossigeno che il sistema di aerazione è effettivamente in grado di fornire nell’unità di tempo. Questo valore va poi confrontato con il dato di targa della macchina e con il reale fabbisogno della biomassa nelle diverse condizioni di carico influente, di temperatura, ecc..

In quel che segue vengono espone le metodologie sperimentali adottabili allo scopo, che si distinguono, come è noto, in due tipi, a seconda che prevedano di operare con acqua pulita (ad impianto, cioè, fuori servizio) o con mixed-liquor (impianto in funzione).

5.2.2 Prova con acqua pulita

La verifica della capacità di trasferimento dell’ossigeno da parte di un generico sistema di aerazione viene tradizionalmente effettuata con una metodica che prevede l’uso di acqua pulita. Tale procedura (della quale pure esistono molte versioni che si differenziano in alcuni dettagli) si spiega con la necessità di fornire un dato di targa che faccia riferimento a condizioni standard prefissate. Tali condizioni standard prevedono appunto:

– uso di acqua pulita (priva, cioè, o quantomeno molto povera dei più tradizionali interferenti tipo solidi sospesi, grassi, tensioattivi, ecc.);

- temperatura di 20°C;
- pressione di 760 mm Hg;
- concentrazione iniziale di ossigeno disciolto pari a zero.

Il test consiste essenzialmente in una rieraazione dell'acqua nella quale preventivamente sia stata azzerata la concentrazione di ossigeno disciolto e consente, in pratica, la ricostruzione sperimentale della curva di aerazione la cui espressione analitica è la seguente:

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} \cdot (C_S - C)$$

dove:

- K_{La} = coefficiente di trasferimento dell'ossigeno (h^{-1})
- C = concentrazione di ossigeno disciolto al generico istante t (mg/L)
- C_S = concentrazione di saturazione dell'ossigeno disciolto nell'acqua pulita (mg/L).

Dai dati sperimentali raccolti si risale al valore di K_{La} e da esso alla capacità di ossigenazione del sistema.

Come già detto, le metodiche in uso, pur essendo nella sostanza molto simili, si differenziano per alcuni dettagli che riguardano i dosaggi dei reattivi deossigenanti, i criteri e tempi della loro miscelazione, i punti di rilevamento dell'ossigeno disciolto, ecc..

Si rinvia, per l'approfondimento dell'influenza di questi ed altri fattori sul risultato della prova e per la procedura ufficiale adottata in Italia dall'UIDA, alla letteratura specializzata (EPA, 1983; UIDA; ASCE, 1993; ONORM).

5.2.3 Prove ad impianto funzionante

Il metodo utilizzato consiste nella verifica della capacità di ossigenazione "in campo", cioè nelle reali condizioni di funzionamento dell'impianto (Kayser, 1969).

Esso permette di ottenere la "vera" misura della capacità di trasferimento di ossigeno tenendo conto "direttamente":

- delle condizioni di temperatura del mixed-liquor;
- delle condizioni geometriche del bacino ossidativo;
- delle caratteristiche qualitative del liquido (concentrazione di SS, contenuto di tensioattivi, di oli e grassi, salinità, ecc.).

Rispetto alle procedure di prova su acqua pulita, il metodo "in campo" presenta inoltre una serie di prerogative pratiche quali:

- il risparmio di grossi volumi di acqua pulita;
- il risparmio di elevati quantitativi di deossigenante (solfito di sodio e cobalto cloruro);
- la possibilità di operare la misura senza by-passare (sia pur temporaneamente) la portata di liquame affluente all'ossidazione;¹

¹ Anziché interrompere il deflusso del liquame durante la prova, esso viene lasciato normalmente fluire, sia nella fase di "deossigenazione" sia nella successiva fase di "ossigenazione" durante la quale si descrive la curva ossigeno disciolto/tempo che permette poi di ricavare i risultati desiderati; tale variante comporta l'introduzione di un possibile elemento di turbativa, determinata dall'apporto di ossigeno con il liquame e il ricircolo in ingresso e dal

– la possibilità (conseguente ai vantaggi precedenti) di ripetere la prova molte volte senza difficoltà.

La misura della capacità di trasferimento di ossigeno può, in pratica, essere condotta attraverso tre diverse procedure: in condizioni “dinamiche”, in condizioni “di regime”, mediante l’analisi dell’ “off-gas”.

5.2.3.1 Prova in condizioni dinamiche

Si ferma il sistema di aerazione lasciando deossigenare il mixed-liquor a spese della respirazione del fango attivo; si calcola quindi la velocità di trasferimento di ossigeno dalla curva di riossigenazione che si può descrivere a partire dalla rimessa in moto degli aeratori.

L’equazione di bilancio dell’ossigeno disciolto durante la riossigenazione è la seguente:

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} \cdot (C'_s - C) - r \quad (*)$$

avendo trascurato, come già detto, il termine che tiene conto della (piccola) variazione di contenuto di ossigeno dovuta al continuo fluire della portata (liquame + ricircolo in ingresso e mixed-liquor in uscita dal bacino).

Il significato dei simboli è il seguente:

K_{La} = coefficiente di trasferimento dell’ossigeno (h^{-1})

C = concentrazione di ossigeno disciolto nel mixed-liquor (mg/L)

C'_s = concentrazione di ossigeno disciolto nel mixed-liquor alla saturazione (mg/L)

r = velocità di respirazione del fango (mg/L/h)

Durante il test, l’ossigeno disciolto aumenta fino a raggiungere un valore asintotico C^+ . In tale condizioni si ha:

$$\frac{dC}{dt} = 0 = K_{La} \cdot (C'_s - C^+) - r$$

da cui

$$r = K_{La} \cdot (C'_s - C^+)$$

Inserendo nella (*) questa espressione di r si ottiene:

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} \cdot (C^+ - C)$$

carico di ossigeno estratto assieme al mixed-liquor in uscita. A questo proposito è da sottolineare che pur essendo possibile tenerne conto con semplici equazioni di bilancio è stata fatta una stima che dimostra la pratica influenza del deflusso di portata durante la prova ai fini del risultato finale sul K_{La} (Collivignarelli e Urbini, 1990; Bonomo et al., 1996).

che, integrata tra gli estremi $C(0)$ e $C(t)$ corrispondenti al tempo $t' = 0$ e $t'' = t$, dà l'equazione di una retta:

$$\ln \frac{C^+ - C(t)}{C^+ - C(0)} = -K_{La} \cdot t$$

Quindi, dai dati sperimentali, con una regressione lineare secondo il metodo dei minimi quadrati, si può facilmente ricavare il valore del coefficiente di trasferimento dell'ossigeno K_{La} . Valutato il K_{La} nel modo descritto, è possibile riportare il valore alle condizioni standard:

$$(K_{La})_{20^\circ C} = \frac{(K_{La})_T}{1,024^{(T-20)}} \cdot \frac{1}{\alpha}^2$$

da cui si può determinare la capacità di trasferimento dell'ossigeno caratteristica del sistema in esame (in condizioni standard) OC_{ST} , da confrontarsi con il fabbisogno effettivo della biomassa (nelle diverse condizioni di carico) e con il dato di targa della macchina:

$$OC_{ST} = (K_{La})_{20^\circ C} \cdot 9,08 \cdot V$$

dove 9,08 mg/L è la concentrazione di saturazione dell'ossigeno in acqua in condizioni standard e V è il volume del reattore.

5.2.3.2 Prova in condizioni di regime

La misura della capacità di ossigenazione può essere condotta anche in condizioni di regime: si lasciano cioè inalterate le condizioni di funzionamento, limitando le osservazioni al contenuto di ossigeno disciolto C e rilevando contemporaneamente la velocità di respirazione r . Il metodo si basa sulla seguente equazione valida in condizioni stazionarie ($dC/dt = 0$):

$$K_{La} \cdot (C'_s - C) - r = 0^3$$

Il termine K_{La} si può allora calcolare dalla relazione:

$$K_{La} = \frac{r}{C'_s - C}$$

in cui

r = mg/L/h di ossigeno richiesto dalla respirazione della biomassa

C'_s = valore di saturazione (mg/L) nel mixed-liquor (con respirazione inibita: ad esempio mediante cloruro di mercurio)

C = media dei valori di ossigeno disciolto misurati in vasca durante la prova (mg/L).

² Il valore del coefficiente $\alpha = \frac{K_{La \text{ mixed liquor}}}{K_{La \text{ acqua pulita}}}$ può essere a sua volta determinato sperimentalmente (Collivignarelli e Urbini, 1990), oppure assunto, in prima approssimazione, uguale a 0,8.

³ Avendo trascurato, nel bilancio dell'ossigeno, il carico entrante con il liquame influente e i ricircoli e il carico uscente con l'effluente.

Durante l'esecuzione di questo test vanno rilevati sistematicamente in una serie di punti della vasca di ossidazione numerosi valori di ossigeno disciolto a diverse profondità: ciò allo scopo di ottenere concentrazioni di ossigeno il più possibile rappresentative dell'intera situazione del bacino ossidativo.

Contemporaneamente a questi rilievi, vengono effettuate misure di velocità di respirazione (*Oxygen Uptake Rate*).

Con questa procedura si ammette che la velocità di respirazione misurata e quella che effettivamente si verifica sul bacino ossidativo siano uguali. Numerose esperienze hanno dimostrato che, nei campi di concentrazioni alle quali si opera, queste condizioni sono effettivamente verificate.

5.2.3.3 Analisi dell'off-gas

Questa procedura è applicabile laddove siano installati sistemi di aerazione sommersi. Essa consiste, in sintesi, nella misura dell'ossigeno immesso e dell'ossigeno uscente in fase gassosa dalla vasca. La differenza tra questi due termini fornisce l'ossigeno trasferito dalla fase gassosa alla fase liquida.

Questo bilancio, sotto alcune ipotesi semplificative (Bonomo *et al.*, 1996) può essere scritto nella seguente forma:

$$K_{La} = \rho \cdot q/V \cdot (Y_i - Y_u)/(C_s - C)$$

dove:

- ρ = densità dell'ossigeno alla temperatura ed alla pressione a cui sono riferite le portate di gas
- q = portata di gas (avendo assunto quella uscente uguale a quella entrante)
- V = volume del reattore
- Y_i, Y_u = frazione molare o volumetrica dell'ossigeno nel gas entrante ed uscente
- C_s = concentrazione a saturazione dell'ossigeno disciolto nel liquido
- C = concentrazione di ossigeno disciolto in vasca.

Per l'esecuzione di questa misura è necessario disporre un sistema di copertura flottante per la raccolta del gas (non è necessario coprire tutta la vasca, potendosi effettuare misure in punti diversi, purché la superficie interessata non sia inferiore indicativamente ai 2 m²) e della strumentazione per la misura di composizione, temperatura, pressione e portata del gas.

5.3 COMPORTAMENTO IDRODINAMICO DEI BACINI

Le verifiche del comportamento idrodinamico dei reattori hanno l'obiettivo di individuare eventuali scostamenti dalla configurazione prevista in sede progettuale, nonché di suggerire interventi correttivi/migliorativi, con la possibilità, peraltro di verificarne a posteriori l'efficienza. Queste prove possono inoltre essere condotte periodicamente, durante la vita dell'impianto, per verificare gli effetti dell'invecchiamento di strutture e macchinari e/o variazioni nelle condizioni di funzionamento (es. portate).

I parametri idrodinamici che hanno un'influenza più o meno rilevante sul processo in atto nel reattore o, più in generale, sulle caratteristiche dell'effluente, sono:

- la concentrazione degli inquinanti all'interno del reattore (quindi lo schema di flusso⁴);
- il tempo di permanenza (e quindi l'esistenza o meno di volumi morti);
- gli eventuali by-pass di portata.

Una volta quantificati eventuali fenomeni anomali e ipotizzata una loro localizzazione, è possibile mettere a punto accorgimenti in grado di attenuare o eliminare gli effetti negativi riscontrati. Chiaramente tali interventi sono diversi da caso a caso, tuttavia, si tratta, in generale, di modifiche strutturali di scarsa entità (posizionamento di deflettori-deviatori di flusso, installazione di dispositivi di miscelazione, riposizionamento dei flussi entranti-uscenti, riposizionamento di dispositivi di aerazione, livellamento degli stramazzi di sfioro, ecc.) che spesso risultano molto efficaci.

La verifica sperimentale del comportamento idrodinamico di un bacino viene effettuata secondo la tecnica di stimolo-risposta e si articola essenzialmente in due fasi: l'una (sperimentale, "in campo") di raccolta dati e l'altra (teorica, "a tavolino") di elaborazione degli stessi. Durante la prima fase viene ricostruita la curva di risposta del reattore in esame ad una perturbazione realizzata immettendo un tracciante (tale operazione deve essere effettuata in modo da non alterare il regime idraulico del sistema). Nella fase successiva si individua un modello teorico di funzionamento idrodinamico in grado di simulare quello rilevato sperimentalmente.

Questa procedura di verifica, inizialmente applicata solo ad alcune fasi di trattamento (vasca di ossidazione e sedimentatore finale), è stata recentemente adattata e testata, sia in scala pilota che in scala reale, su tutti gli stadi normalmente presenti negli impianti di depurazione di reflui urbani ed industriali, nonché negli impianti di potabilizzazione.

5.3.1 Fase sperimentale

Diverse sono le sostanze che possono essere impiegate come traccianti nelle verifiche del comportamento idrodinamico di reattori (su varia scala). Tra esse sono inclusi: sali inorganici (come cloruri di sodio, calcio e litio, carbonato di litio, ecc.), sostanze coloranti (ad es. Rodamina B, Rodamina WT, blue di bromofenolo, blue destrano 2000, ecc.), traccianti biologici (come spore di *Bacillus Globigii*, batteriofagi, ad esempio del batterio *Serratia marcescens*, ecc.), isotopi (come trizio e deuterio) (Pike *et al.*, 1969; Wimpenny, 1977; Drury and Wheeler, 1982; Urbini *et al.*, 1982; Hall, 1983; Muslu, 1983; Brown *et al.*, 1984; Smart, 1985; Jimenez *et al.*, 1988; Horan *et al.*, 1991; Bertanza *et al.*, 1995).

La scelta va effettuata, caso per caso, in funzione di numerosi fattori, anche fra loro interdipendenti, tra cui quelli di seguito riportati (Collivignarelli *et al.*, 1995):

- caratteristiche fisiche e grado di conservazione;
- potenziale inquinante, pericolosità, tossicità;
- inerzia rispetto al processo operato;
- rilevabilità;
- presenza naturale nel fluido;
- reperibilità e costo.

⁴ Generalmente vengono assunti come "casi limite" di schema di flusso i due modelli ideali di "flusso a pistone" (Plug-Flow) e di "miscelazione completa" (Complete Mixing). Nel primo caso, la velocità del fluido è uniforme in tutte le sezioni trasversali del reattore: ogni elemento di fluido che entra nella vasca avanza senza interazioni con gli elementi entrati precedentemente o successivamente. Se all'interno del reattore è in atto un processo depurativo, si verificherà dunque un gradiente di concentrazione della sostanza inquinante procedendo dalla sezione di ingresso verso l'uscita. Nel caso di miscelazione completa, invece, il contenuto del reattore è completamente omogeneo; le caratteristiche dell'effluente sono identiche a quelle del fluido nella vasca. Per approfondimenti sugli aspetti teorici si rimanda alla bibliografia citata in calce.

Le esperienze condotte dagli estensori del presente capitolo sono state esclusivamente effettuate utilizzando cloruro di sodio o di calcio e carbonato o cloruro di litio, per motivi connessi essenzialmente al basso costo e facile rilevabilità (tramite misura della conducibilità elettrica specifica dell'acqua), nel primo caso, e ai minimi quantitativi richiesti, nel caso dei sali di litio. L'immissione del tracciante (preventivamente disciolto in una soluzione concentrata) nel reattore può avvenire secondo diverse modalità: è importante comunque che sia noto l'andamento del segnale, in modo da poter interpretare la risposta. Per facilitare tale fase è poi opportuno semplificare al massimo i segnali in ingresso ed in genere se ne impiegano due soli tipi:

- segnale ad impulso (Fig. 5.3.1/1);
- segnale a scalino (Fig. 5.3.1/2).

La scelta tra l'uno e l'altro tipo di segnale viene effettuata in funzione della disponibilità di attrezzature (serbatoi, pompe, regolatori di portata, ecc.) e dei volumi in gioco.

Fig. 5.3.1/1 – Immissione del tracciante secondo un segnale a impulso e generica curva di risposta del reattore.

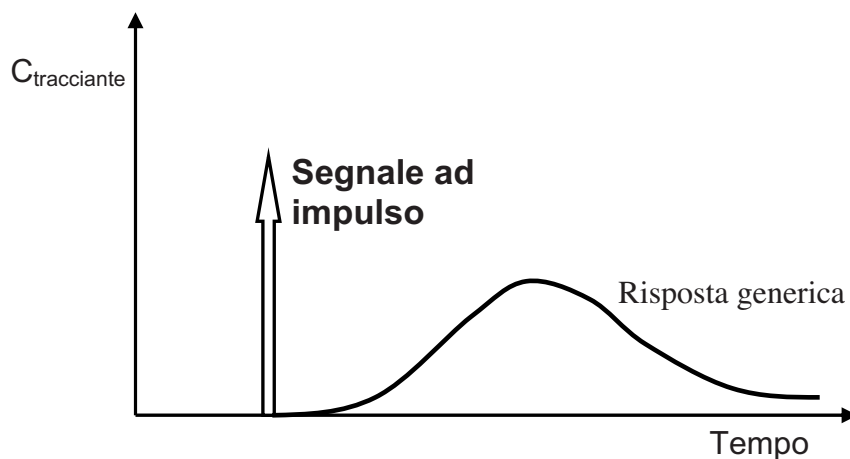
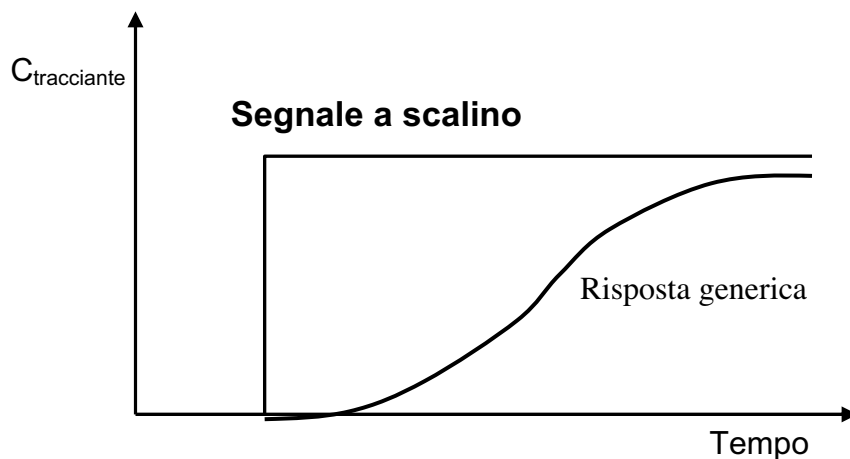


Fig. 5.3.1/2 – Immissione del tracciante secondo un segnale a scalino e generica curva di risposta del reattore.



I parametri che vanno rilevati durante il corso di una verifica del comportamento idrodinamico di un reattore sono di seguito riportati:

- concentrazione del tracciante in uscita dal reattore;
- concentrazione del tracciante nel flusso in ingresso (concentrazione di base);
- concentrazione del tracciante nella soluzione tracciante;
- portate dei flussi in ingresso.

Infine vanno registrati tutti gli eventi particolari che si verificano durante la prova e che possono portare a variazioni nel regime idraulico del sistema: accensioni e spegnimenti di dispositivi di aerazione-agitazione, portate intermittenti (es.: ricircoli, estrazioni di fango, ecc.), ecc..

La curva di risposta del reattore (curva RTD = Retention Time Distribution⁵) viene costruita riportando, su un diagramma tempo-concentrazione, i dati rilevati in uscita dal reattore.

Possono essere individuate due importanti estensioni di queste prove sperimentali:

- la ricostruzione delle curve di risposta relative a volumi parziali di una medesima vasca;
- la verifica di uniformità della distribuzione del flusso lungo gli stramazzi di sfioro di un bacino.

In pratica, si tratta di determinare l'andamento temporale della concentrazione di tracciante in più punti, senza quindi alcun tipo di complicazione (solo quella derivante dal maggior numero di campioni da prelevare) rispetto ad una prova convenzionale.

Il primo caso riguarda vasche di forma geometrica allungata, tendenzialmente di tipo a plug-flow, o reattori fisicamente suddivisi in più comparti, per i quali può essere interessante scomporre concettualmente l'intero volume in più parti di cui valutare singolarmente il comportamento idrodinamico.

La verifica dell'uniformità della distribuzione del flusso in uscita riveste particolare importanza per le vasche di sedimentazione (longitudinali o a pianta circolare), per le quali, come noto, è molto importante riuscire a mantenere una velocità di sfioro dell'effluente chiarificato bassa e il più possibile uniforme lungo tutta la lunghezza degli stramazzi, pena la formazione di correnti di fluido preferenziali, con conseguenze negative sull'efficienza del processo di decantazione.

5.3.2 Elaborazione dei dati sperimentali

La fase elaborativa consiste, come detto, nella determinazione del modello teorico che rappresenti la situazione reale in esame. In pratica si tratta di ricercare i parametri che, attribuiti ai modelli matematici disponibili, consentano di ricostruire la curva di risposta riscontrata sperimentalmente.

In letteratura (Levenspiel, 1962) sono disponibili le espressioni analitiche delle curve di risposta a segnali in ingresso di tipo a scalino o ad impulso per i modelli solitamente impiegati.

Nel seguito si riportano alcuni esempi relativi alle situazioni che si riscontrano più frequentemente nelle applicazioni reali.

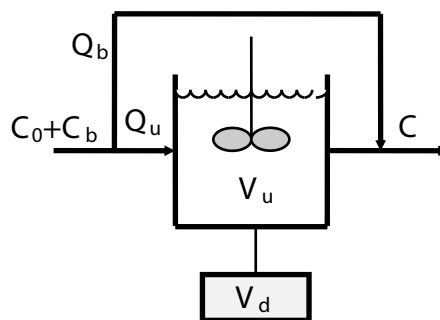
⁵ Anche se, secondo definizione, la curva RTD (Retention Time Distribution) si identifica con il segnale di risposta normalizzato relativo a un ingresso ad impulso, è di uso ormai invalso indicare con RTD la curva di risposta del sistema ad un segnale di qualsiasi forma.

Nelle Fig. 5.3.2/1, 5.3.2/2, 5.3.2/3 e 5.3.2/4 sono riportate anche le curve di risposta relative ai diversi modelli presentati.

La simbologia utilizzata è la seguente:

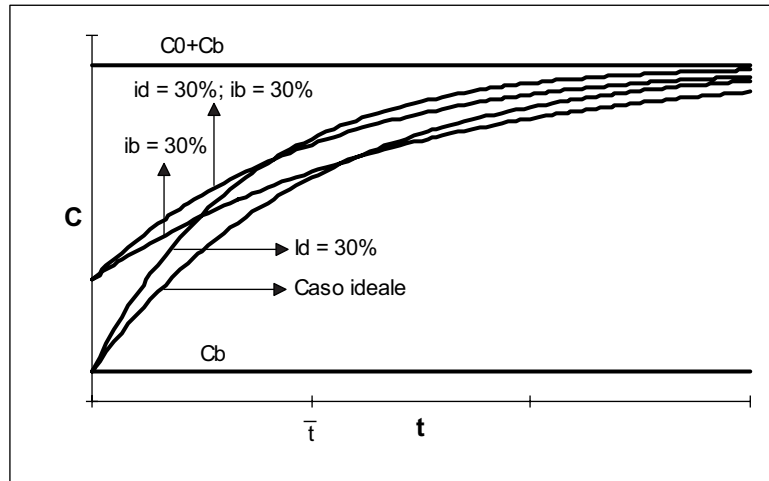
- V = volume del reattore;
 Q = portata entrante;
 V_d = volume morto;
 $i_d = V_d/V$ = indice di volume morto;
 Q_b = portata di by-pass;
 $i_b = Q_b/Q$ = indice di by-pass;
 $\bar{t} = V/Q$ = tempo medio di ritenzione idraulica teorico;
 $\bar{t}_i = V/(QN)$ = tempo medio di ritenzione idraulica teorico di ogni singolo reattore in una cascata di N reattori a miscelazione completa;
 $Pe = uL/D$ = numero di Peclet;
 dove u = velocità media del fluido nella vasca;
 L = lunghezza della vasca;
 D = coefficiente di dispersione assiale;
 C = concentrazione di tracciante in uscita dal reattore;
 $C_0 = Q_s C_s / Q$ = concentrazione di tracciante in ingresso al reattore indotta dalla perturbazione (per ingresso a scalino);
 dove Q_s = portata della soluzione tracciante;
 C_s = concentrazione della sostanza tracciante nella soluzione dosata;
 M = massa di tracciante introdotta (per ingresso ad impulso);
 C_b = concentrazione del tracciante già presente nel flusso entrante (concentrazione di base).

Risposta di un reattore a miscelazione completa (con volume morto e by-pass) ad un se-



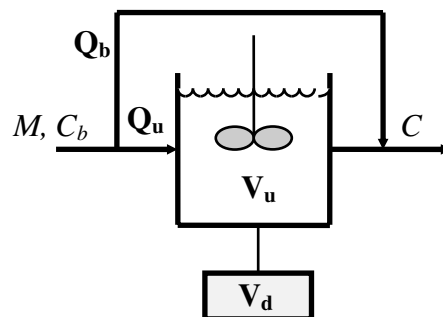
$$C = C_b + C_0 \left(1 - e^{-\frac{t(1-i_b)}{\bar{t}(1-i_d)}} \right) (1 - i_b)$$

Fig. 5.3.2/1 – Curve di risposta di un reattore a miscelazione completa nel caso di segnale di ingresso a scalino (Collivignarelli et al., 1995).



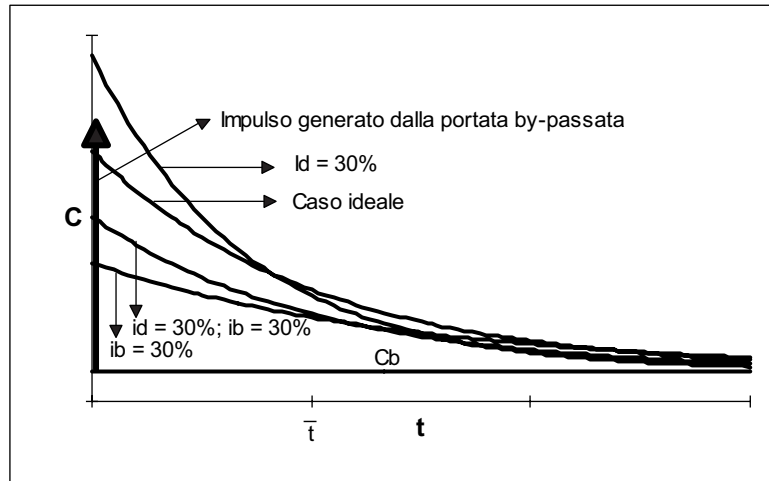
gnale in ingresso a scalino

Risposta di un reattore a miscelazione completa (con volume morto e by-pass) ad un se-



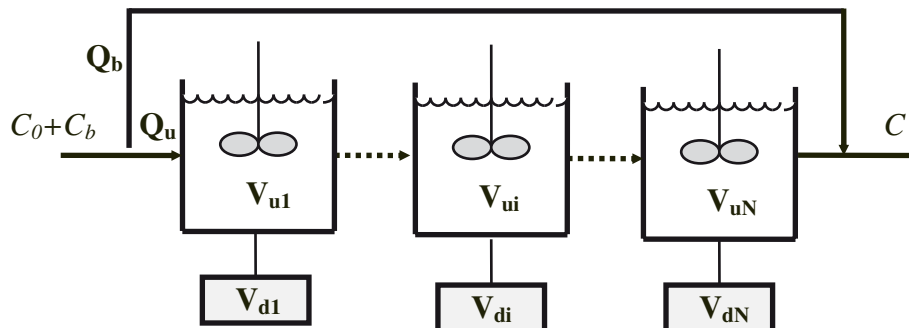
$$C = C_b + \frac{M}{Q} \left[i_b \delta(t) + \frac{(1-i_b)^2}{(1-i_d)t} e^{-\frac{t(1-i_b)}{t(1-i_d)}} \right]$$

Fig. 5.3.2/2 - Curve di risposta di un reattore a miscelazione completa nel caso di segnale di ingresso ad impulso (Collivignarelli et al., 1995).



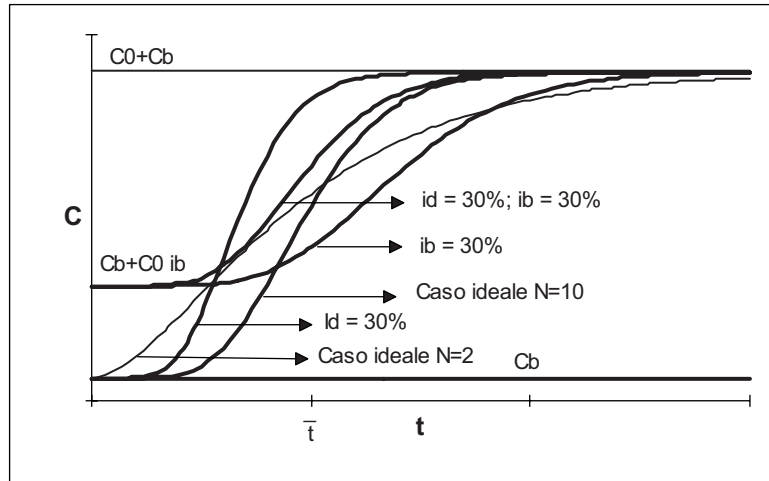
gnale in ingresso a impulso

Risposta di una serie di N reattori a miscelazione completa (con volume morto e by-pass) ad un segnale in ingresso a scalino

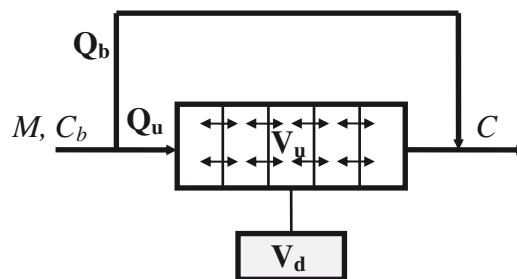


$$C = C_b + C_0 i_b + C_0 \left[1 - e^{-\frac{Nt(1-i_b)}{t(1-i_d)}} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{N^i}{i!} \left(\frac{t(1-i_b)}{t(1-i_d)} \right)^i \right] (1-i_b)$$

Fig. 5.3.2/3 - Curve di risposta di un reattore costituito da una serie di N reattori a miscelazione completa nel caso di segnale di ingresso a scalino (Collivignarelli et al., 1995).

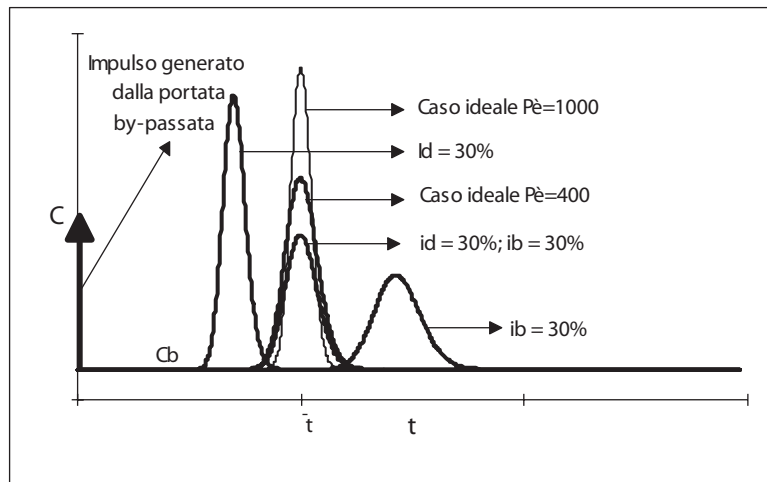


Risposta di un reattore a flusso a pistone con dispersione assiale (con volume morto e by-pass) ad un segnale in ingresso a impulso



$$C = C_b + \frac{M}{Q} \left\{ \delta(t) i_b + \frac{(1-i_b)^2}{t(1-i_d)} \frac{1}{2 \sqrt{\frac{\pi(1-i_b)}{Pet(1-i_d)}}} e^{\left[\frac{\left(1 - \frac{t(1-i_b)}{t(1-i_d)}\right)^2}{\frac{4t(1-i_b)}{Pet(1-i_d)}} \right]} \right\}$$

Fig. 5.3.2/4 - Curve di risposta di un reattore a flusso a pistone con grado di dispersione assiale apprezzabile nel caso di segnale di ingresso ad impulso (Collivignarelli et al., 1995).



5.3.3 Esempio: prova idrodinamica su una vasca di ossidazione

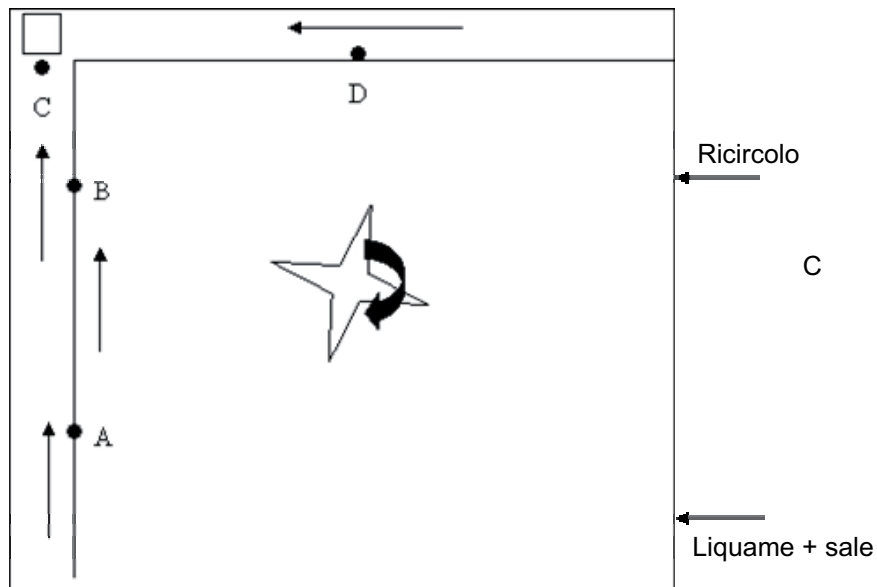
In un impianto suddiviso su tre linee parallele, sono stati testati i comparti di ossidazione. In particolare, sulla seconda vasca di ossidazione (di volume pari a 1.200 m³ e dotata di turbina e aeratore sommerso ad aria aspirata, quest'ultimo non in funzione durante le prove) sono state eseguite due prove: una con immissione del tracciante (soluzione di cloruro di calcio) insieme al liquame, l'altra con immissione del tracciante insieme al fango di ricircolo. In entrambi i casi si è adottata la modalità a scalino.

Prima prova

Nella Fig. 5.3.3/1 sono indicati il punto di immissione del tracciante, e i punti di misura della conducibilità (A, B, C e D).

Il comportamento idrodinamico della vasca è risultato essere ben simulato da un modello costituito da un parallelo tra due reattori a miscelazione completa: il primo con volume pari al 99,7% del volume utile e interessato dal 90% della portata; il secondo con volume pari allo 0,3% del volume utile e interessato dal 10% della portata. Ciò indica, in pratica, la presenza di un by-pass della portata entrante. È stata inoltre rilevata la presenza di un volume morto del 25%.

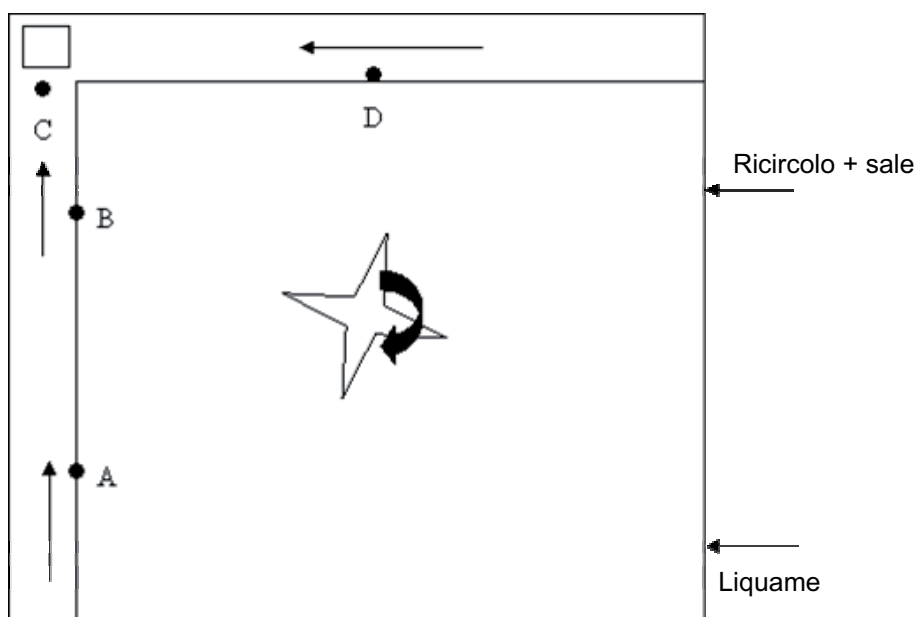
Fig. 5.3.3/1 - *Punti di misura della conducibilità - prima prova.*



Seconda prova

Il punto di immissione del tracciante e i punti di misura della conducibilità (A, B, C e D) sono indicati in Fig. 5.3.3/2.

Fig. 5.3.3/2 - *Punti di misura della conducibilità - seconda prova.*

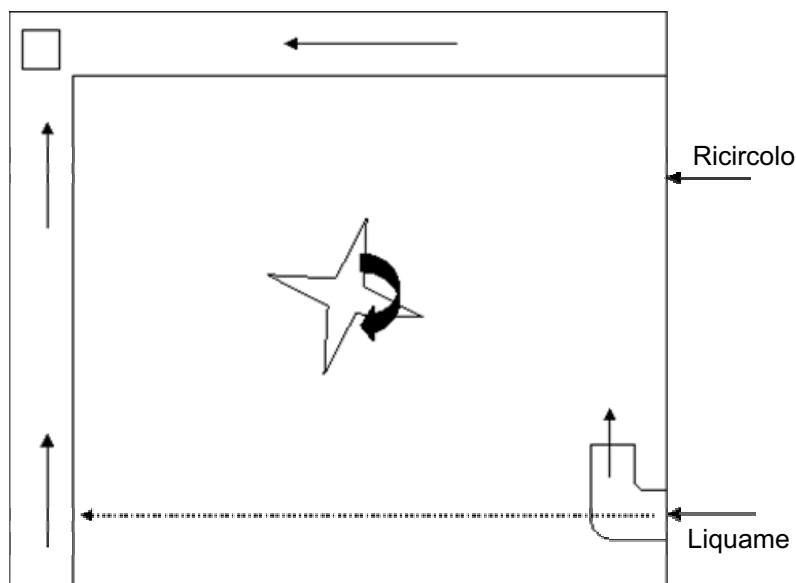


Per simulare la curva sperimentale si è utilizzato un modello di reattore a miscelazione completa con il 25% di volume morto.

La presenza di volume morto, riscontrata in entrambe le prove, è stata attribuita al fatto che questa vasca è più profonda delle altre del medesimo impianto (che invece non presentano il problema), mentre il sistema di miscelazione è identico. Il fenomeno del by-pass, riscontrato solo nella prima prova, e quindi relativo soltanto al liquame e non al flusso del fango di ricircolo, è stato imputato al posizionamento non idoneo del punto di immissione del liquame.

Per il volume morto, si è ritenuto che questo potesse essere ridotto grazie al corretto funzionamento dell'aeratore sommerso (che al momento della prova non era in funzione); per eliminare il by-pass si è invece proposto di installare una curva sul tubo di immissione del liquame (Fig. 5.3.3/3).

Fig.5.3.3/3 - *Ipotesi di localizzazione del by-pass e intervento correttivo.*



5.4 CARATTERISTICHE DI SEDIMENTABILITÀ DEL FANGO ATTIVO E POTENZIALITÀ DEI SEDIMENTATORI FINALI

Dalla valutazione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango attivo (viene determinata, sperimentalmente, con prove in cilindro, la velocità di sedimentazione del fango a diverse concentrazioni), si può ricavare (sulla base della teoria del flusso solido) il limite di potenzialità del sedimentatore finale in termini di flusso solido per verificarne l'eventuale sovraccarico.

Anche questa prova consta di una fase sperimentale e di una fase successiva di elaborazione dei dati.

5.4.1 Fase sperimentale

La fase sperimentale consiste nell'effettuare prove di sedimentabilità del fango in cilindro (per non avere interferenze sul fenomeno di sedimentazione è consigliabile l'impiego di cilindri con diametri dell'ordine dei 10-12 cm: Dick, 1968).

In una sospensione di fango attivo (data l'elevata concentrazione di solidi) si verifica il fenomeno di sedimentazione di massa, ovvero il fango sedimenta "in blocco" con una velocità costante il cui valore dipende dalla concentrazione. È possibile quindi, realizzando sospensioni con diversa concentrazione di fango attivo (operando miscele, a diversi rapporti di diluizione, con fango di ricircolo, mixed-liquor ed effluente chiarificato: è necessario realizzare almeno 4-5 diverse concentrazioni), determinare le relative velocità di sedimentazione misurando, a diversi istanti, la posizione dell'interfaccia solido-liquido nel cilindro di prova.

5.4.2 Elaborazione dei dati sperimentali

La correlazione tra concentrazione di solidi sospesi (C) e la velocità di sedimentazione (v) può essere convenientemente rappresentata tramite un'equazione del tipo (Olmo, 1978; Olmo, 1994):

$$v = 10^{(aC+b)}$$

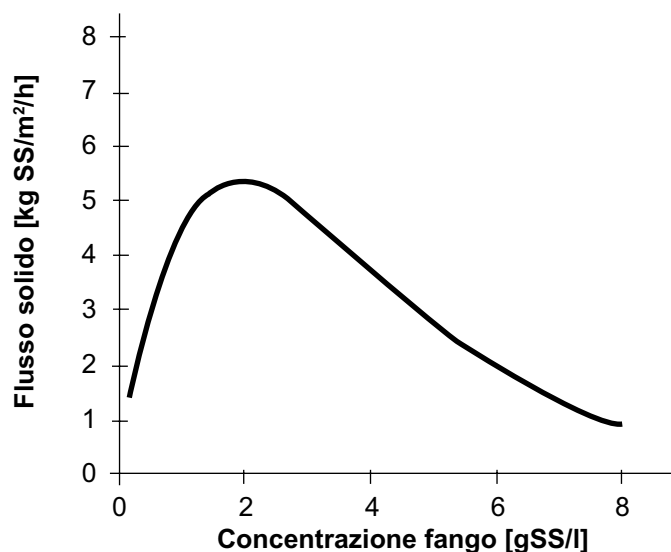
dove a e b sono parametri da determinare. Altre formulazioni matematiche sono state proposte da diversi autori (Dick, 1968).

A questo punto è possibile ricavare la curva del flusso solido per sola sedimentazione "in batch", essendo, per definizione di flusso solido (F):

$$F = C \cdot v$$

Questa curva, nel piano (C, F), ha un andamento del tipo riportato in Fig. 5.4.2/1.

Fig. 5.4.2/1 - Curva di flusso solido.



Infine, tracciando nel medesimo piano (C, F) la retta tangente alla curva del flusso solido che intercetta l'asse delle ascisse in corrispondenza della concentrazione di ricircolo x_r (retta operativa), si individua, sull'asse delle ordinate, il flusso limite F_L (Fig. 5.4.2/2). Il flusso limite rappresenta la quantità massima di solidi che può essere introdotta nel sedimentatore, se la portata di ricircolo (Q_r) è pari a:

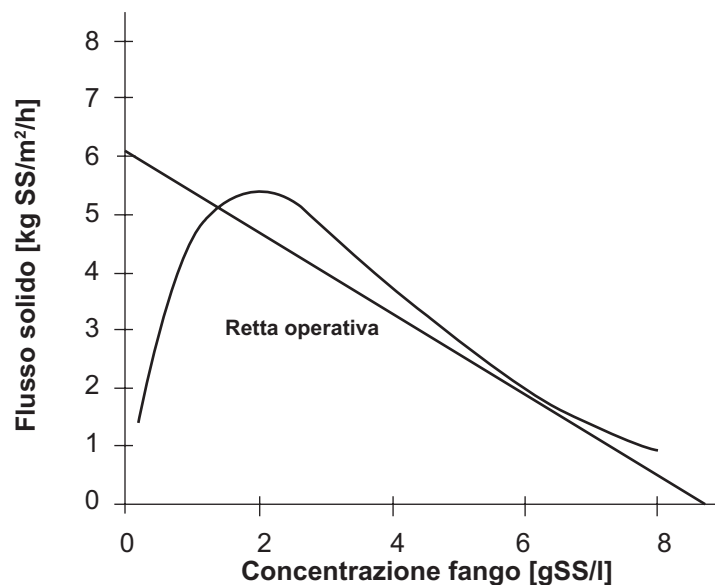
$$Q_r = A \cdot u$$

dove A è la sezione del decantatore e u la pendenza della retta operativa.

Alcuni elementi che possono emergere già a questo livello di elaborazione sono i seguenti:

- valori del flusso limite F_L superiori a $4 \div 5$ kgSS/m²h indicano caratteristiche di sedimentabilità del fango accettabili (si tenga conto, peraltro, che le caratteristiche di sedimentabilità peggiorano al diminuire della temperatura: Reed e Murphy, 1969);
- se la campana della curva del flusso solido è allargata, significa che il fango mantiene le sue migliori caratteristiche di sedimentabilità per un campo ampio di concentrazioni;
- se la concentrazione di solidi sospesi nel mixed-liquor è in corrispondenza dei valori più elevati della curva di flusso solido, la sedimentazione avviene velocemente nella parte alta del sedimentatore garantendo una buona chiarificazione dell'effluente.

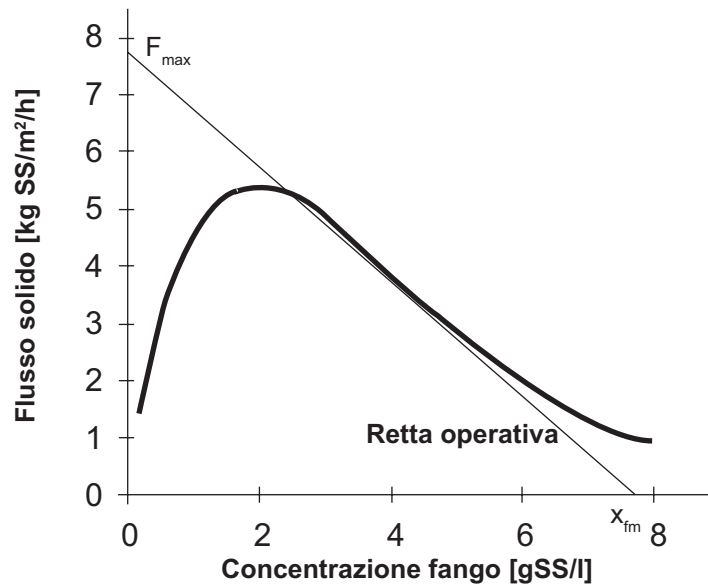
Fig. 5.4.2/2 - Individuazione del flusso limite F_L .



Successivamente si può procedere al calcolo della potenzialità massima del sedimentatore finale per verificarne l'eventuale sovraccarico.

Si determina il flusso massimo F_{max} come intercetta sull'asse delle ordinate della tangente alla curva del flusso solido nel punto di flesso (Fig. 5.4.2/3).

Fig. 5.4.2/3 - Individuazione del flusso solido massimo F_{max} .



Da un bilancio di massa sul sedimentatore, si ricava la seguente relazione:

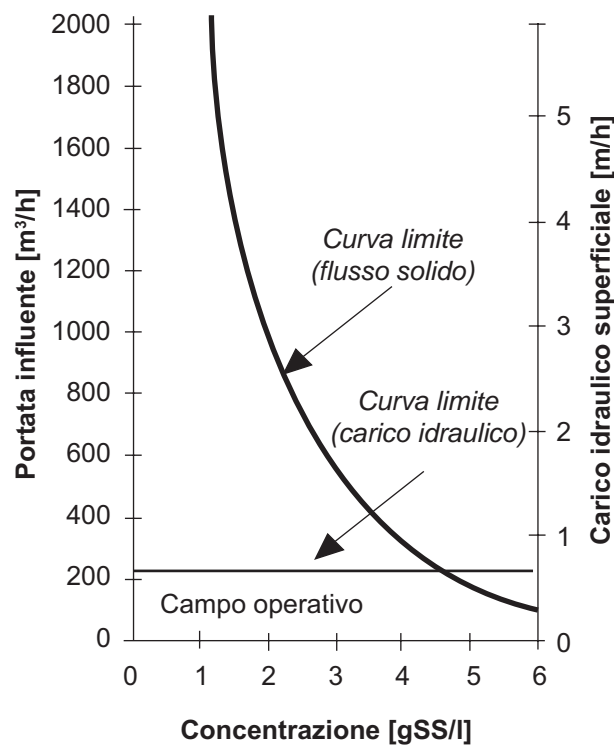
$$Q = \left(\frac{A \cdot F_{max}}{x_o} \right) - \left(\frac{A \cdot F_{max}}{x_{fm}} \right)$$

avendo indicato con Q la portata entrante nell'impianto, con A la sezione in pianta del sedimentatore, con x_o la concentrazione di solidi sospesi in vasca di ossidazione e con x_{fm} la concentrazione di ricircolo individuata dalla retta operativa corrispondente alle condizioni di flusso F_{max} (Fig. 5.4.2/4). La curva che rappresenta questa equazione delimita lo spazio (x_o, Q) in due aree: quella al di sotto della curva corrisponde a condizioni di funzionamento accettabili, quella al di sopra della curva rappresenta situazioni di sovraccarico del sedimentatore in termini di flusso solido.

È anche possibile riportare, sul medesimo grafico, una retta orizzontale che rappresenti il limite di sovraccarico idraulico, connesso con l'esigenza di non superare determinati valori del carico idraulico superficiale.

Entrando quindi nel grafico con le condizioni di funzionamento reali (portata influente e concentrazione di solidi sospesi in ossidazione) si può verificare lo stato di funzionamento del sedimentatore in termini di sovraccarico/sottoutilizzo e l'eventuale margine di potenzialità residua.

Fig. 5.4.2/4 - Rappresentazione grafica del limite di potenzialità massima.



5.5 QUALITÀ E ATTIVITÀ DEL FANGO BIOLOGICO

5.5.1 La depurazione biologica: significato e organismi coinvolti (Autore: Pedrazzani, tratto da Bertanza e Collivignarelli, 2006)

La biomassa attiva di un impianto di depurazione costituisce una complessa biocenosi, ovvero una comunità di esseri viventi che condividono il medesimo ecosistema e che interagiscono tra di loro. Tale biocenosi è composta da batteri, protozoi, alghe, miceti, metazoi, tra i quali si stabiliscono semplici relazioni trofiche (rapporti di predazione, di competizione per i substrati nutritivi), e più complesse interazioni gerarchiche, intese non solo come dominio di una componente sulle altre, ma come gerarchie di integrazione, inglobamento e stratificazione tra le varie specie. La composizione e le caratteristiche di una biomassa attiva possono, sulla base delle esperienze, essere previste in funzione del tipo di impianto e delle caratteristiche del refluo da depurare, tuttavia le oscillazioni della concentrazione delle sostanze nutritive, i parametri gestionali e l'eventuale presenza di sostanze tossiche rendono peculiare ogni biocenosi.

Il meccanismo di depurazione biologica avviene negli impianti con le stesse modalità con cui si verifica in natura. I microrganismi, grazie alle loro capacità adesive, si aggregano a formare il cosiddetto fiocco o il biofilm che rappresentano le unità biofunzionali rispettivamente degli impianti a biomassa sospesa e adesa.

Il fiocco e il biofilm sono dunque principalmente costituiti da una matrice batterica polisaccaridica frammista alla sostanza organica inquinante che viene progressivamente degradata ad ope-

ra di batteri, protozoi, metazoi e miceti, facenti parte di una vera e propria catena alimentare, definita rete trofica del detrito, in cui ogni organismo ha un ruolo preciso:

- i batteri si nutrono di sostanza organica e inorganica; sono predati da protozoi (ciliati, flagellati, amebe) e metazoi (nematodi, rotiferi, oligocheti...);
- i protozoi ciliati e flagellati si distinguono in batteriofagi e predatori di altri ciliati e flagellati;
- le amebe e i nematodi sono onnivori, sebbene essenzialmente detritivori;
- i rotiferi sono “filtratori”, batteriofagi e detritivori.

L’esame dei parametri biologici rappresenta un aspetto di fondamentale importanza per l’approfondimento delle conoscenze su ogni componente della microflora e della microfauna dei fanghi attivi e consente di definire le condizioni correlate alle maggiori rese depurative e di evidenziare lente o repentine variazioni dalle condizioni considerate ottimali.

Le considerazioni esposte di seguito si riferiscono essenzialmente agli impianti a biomassa sospesa, valido in tutti i casi in cui lo schema impiantistico preveda una fase di stabilizzazione dei fanghi.

5.5.2 Analisi microscopica del fango

Nel corso della fase di avviamento di un impianto, durante la formazione dei fiocchi biologici, si può osservare, al microscopio, una tipica **successione** nel tempo dei vari gruppi tassonomici della microfauna, in funzione delle variazioni chimico fisiche che precedono l’**entrata a regime dell’impianto**. In generale, la successione prevede la presenza iniziale di flagellati e di ciliati natanti, successivamente sostituiti da ciliati sessili e, infine, da ciliati mobili di fondo.

Di conseguenza, la presenza di specie normalmente rilevate nella fase di avviamento dell’impianto biologico può indicare uno stato di sofferenza della biomassa causata, per esempio, da perdite di fango, carenza di ossigenazione, variazioni importanti del carico in ingresso, ecc.

La struttura della microfauna è quindi un valido strumento diagnostico ad integrazione dei parametri con cui solitamente si valuta la performance dell’impianto. Secondo il criterio generale degli indicatori biologici, la presenza o la scomparsa di specie particolari, così come l’intera composizione della microfauna, può essere considerata buon indicatore dell’efficienza biologica di depurazione del fango attivo.

La microfauna presente nel fango biologico a “regime” in buone condizioni dovrebbe essere invece caratterizzata da (Madoni, 1988):

- alta densità della microfauna ($\geq 10^6$ individui per litro);
- microfauna composta soprattutto da protozoi ciliati sessili e mobili di fondo, con flagellati praticamente assenti;
- nessun gruppo tassonomico della microfauna dominante numericamente sugli altri oltre un fattore 10.

In fase di avviamento è quindi opportuno verificare mediante **osservazioni regolari** del fango attivo (con frequenza almeno settimanale) che, dopo l’inoculo del fango, la successione ecologica proceda regolarmente, fino a raggiungere le condizioni di regime (o di maturità dell’ecosistema).

5.5.2.1 Il calcolo dell'indice SBI (Sludge Biotic Index)

L'analisi della microfauna è inoltre in grado di fornire utili e pronte indicazioni sull'attività biologica del fango attivo sulla base della struttura della comunità di microrganismi che in esso si sviluppa: numerosi Autori (Curds e Cockburn, 1970; Al Shahwani e Horan, 1991; Estéban *et al.*, 1991) hanno proposto metodi soggettivi, in quanto basati su interpretazioni soggettive, da parte dell'analista, della microfauna che colonizza il fango in esame. Gli indici obiettivi, invece, quale lo SBI (Madoni, 1994a), consentono la comparazione dei valori determinati da differenti operatori.

L'Indice Biotico del Fango si basa sia sulla differente sensibilità mostrata da alcuni gruppi della microfauna ai principali parametri chimici, fisici e gestionali, sia sull'abbondanza e diversità in specie della microfauna: esso consente di definire la "qualità biologica del fango" mediante valori numerici convenzionali (indice biotico). Lo SBI, inoltre, tiene conto dei seguenti fenomeni:

- la **ricchezza in specie** tende a variare con il carico del fango (i massimi valori sono stati rilevati in corrispondenza di carichi compresi tra 0,2 e 0,3 kg BOD/kg SS d (Curds e Cockburn, 1970);
- la **densità della microfauna** diminuisce col decrescere del carico del fango. Nella vasca di aerazione di impianti che attuano la nitrificazione, è attesa una microfauna meno abbondante rispetto ai fanghi attivi convenzionali.

L'indice da assegnare al fango attivo in esame si ottiene mediante l'uso di una tabella a due entrate, che considera, rispettivamente, i gruppi dominanti, la diversità della microfauna (distinzione nelle unità sistematiche) e l'abbondanza della microfauna. I valori di SBI ottenuti dall'utilizzo della tabella a due entrate sono raggruppati in quattro classi di qualità contrassegnate da numeri romani: è possibile quindi rappresentare la qualità biologica del fango attivo mediante classi di giudizio ampie e attendibili. Si rimanda a trattazioni specifiche per quanto attiene al calcolo e all'applicazione dell'indice (Madoni, 1994a; Madoni, 1994b; Madoni, 1996).

5.5.2.2 Le caratteristiche del fiocco e l'identificazione dei batteri filamentosi

I principali problemi che si manifestano durante la gestione degli impianti a fanghi attivi sono connessi al deterioramento delle caratteristiche di sedimentabilità e di compattazione del fango, con conseguente diminuzione dell'efficienza di separazione liquido-solido nel sedimentatore secondario. Tali problemi, molto spesso, dipendono da una progressiva colonizzazione del fango biologico da parte di microrganismi che ne causano profonde alterazioni nella struttura: il prevalere di batteri filamentosi o fiocco-formatori dipende dalla capacità che questi batteri hanno di competere nei riguardi del substrato nelle diverse condizioni ambientali in cui possono venirsi a trovare. I fattori che influenzano i meccanismi cinetici di cattura e utilizzo del substrato sono molteplici e possono essere ricondotti alle caratteristiche dell'influente (natura, composizione, setticità, inoculo, temperatura) a quelle dell'impianto (continuità o discontinuità dei flussi, sequenzialità degli ambienti di reazione, ecc.) e alle modalità di gestione (tempo di residenza idraulico, carico del fango, concentrazione di ossigeno disciolto, ecc.). Per fronteggiare i problemi connessi alla fase di sedimentazione e ai fenomeni di schiume biologiche è opportuno effettuare un esame microscopico del fango per rilevare la struttura del fiocco ed evi-

denziare i microrganismi responsabili e attuare quindi gli interventi correttivi atti a rallentarne lo sviluppo (IRSA-CNR, 1999).

Per quanto attiene la struttura del fiocco, le caratteristiche principali da osservare sono, rispettivamente:

- le dimensioni (da meno di 150 μm a oltre 500 μm);
- la forma (regolare, irregolare);
- la trama (compatta, disgregata);
- la densità (espressa in valore percentuale sul liquido interfiocco);
- l'aspetto del liquido interfiocco (libero, con frammenti o batteri filamentosi in sospensione, ecc.);
- la presenza di residui di origine vegetale o minerale.

Esistono numerose pubblicazioni (Jenkins *et al.*, 1986; Spigoni *et al.*, 1992; IRSA-CNR, 1999), corsi di perfezionamento e programmi per calcolatori elettronici che consentono l'apprendimento delle tecniche di osservazione, il riconoscimento e l'interpretazione delle caratteristiche del fiocco di fango.

L'analisi dei batteri filamentosi prevede innanzitutto una loro quantificazione sulla base di classi di abbondanza relative, l'identificazione mediante osservazione al microscopio ottico (a 1000 ingrandimenti) e l'effettuazione di test di colorazione (mediante coloranti di Gram, Neisser, Nilo blu, aggiunta di solfuro di sodio, di inchiostro di China).

Poiché la materia è ampiamente trattata e approfondita con molteplici esemplificazioni in altri testi, si rimanda ad essi per quanto attiene il significato e l'applicazione delle analisi sopra indicate (Jenkins *et al.*, 1986; Spigoni *et al.*, 1992; IRSA-CNR, 1999).

Le analisi della microfauna, così come l'osservazione al microscopio ottico delle caratteristiche del fiocco (diametro, densità, forma, ecc.) e la determinazione qualitativa dei batteri filamentosi attraverso le tecniche di colorazione citologica (es.: Gram, Neisser) forniscono indicazioni immediate e sono effettuabili in breve tempo e con bassissimi costi.

L'osservazione delle caratteristiche del fiocco dovrebbe essere effettuata **settimanalmente**, per verificare che il fiocco risulti ben formato e per evidenziarne eventuali anomalie che potrebbero causare, durante la gestione ordinaria, disfunzioni a carico della fase di sedimentazione. Allo stesso modo, è opportuno verificare la tipologia e la frequenza dei batteri filamentosi che hanno colonizzato il fiocco.

5.5.3 La biomassa microbica

La biomassa degli impianti a fanghi attivi si presenta strutturata sotto forma di fiocchi sospesi nel mezzo. La sua composizione microbica e la sua attività dipendono da molteplici fattori: le attitudini metaboliche delle varie specie, la disponibilità e la natura del substrato carbonioso, le condizioni fisiche (pH, temperatura, ossigeno disciolto, ecc.) e le resistenze diffusionali dei substrati nei fiocchi. L'azione di biodegradazione è svolta prevalentemente dai batteri, grazie alla loro estrema versatilità nell'utilizzo di una vasta gamma di substrati e ai ridottissimi tempi di duplicazione.

I batteri sono molto diversi per le proprietà fisiologiche e, corrispondentemente, per le specifiche richieste nutrizionali.

Negli impianti a fanghi attivi si distinguono due grosse frazioni di batteri: dispersi e flocculanti (fiocco-formatori). Queste caratteristiche non dipendono dalle proprietà intrinseche delle va-

rie specie, ma rappresentano l'espressione dei caratteri fenotipici influenzati dalle condizioni ambientali e dallo stato fisiologico delle cellule.

I batteri dispersi si trovano in grande quantità liberi nel mixed-liquor e, non flocculando, sfuggono nell'effluente rimanendo in sospensione anche all'uscita della vasca di sedimentazione; diversamente, i flocculanti si aggregano favorendo la sedimentabilità, e si separano sottoforma di fiocchi dall'effluente chiarificato.

Le tradizionali metodiche microbiologiche (Dacarro *et al.*, 1997), sono finalizzate alla caratterizzazione della biomassa batterica, distinta nelle seguenti categorie funzionali:

- eterotrofa totale;
- nitrificante;
- denitrificante

e prevedono procedure complesse con tempi di esecuzione e di lettura dei risultati piuttosto lunghi (almeno 24 ore). Negli ultimi anni sono state proposte tecniche mutuata dalla biologia molecolare per l'ottenimento di risultati più significativi della realtà dell'impianto e dell'efficienza del processo ma, poiché si tratta di applicazioni ancora allo stadio sperimentale, se ne omette la trattazione in questa sede.

5.5.4 La misura dell'attività della biomassa

Accanto alla caratterizzazione biologica del fango, risulta estremamente importante la valutazione dell'attività della biomassa responsabile del processo di depurazione. Per questo si possono prevedere una serie di prove mirate alla quantificazione dell'attività metabolica e, quindi alla evidenziazione dello "stato di salute" dei microrganismi che ne colonizzano il comparto biologico. Tali prove consentono di verificare:

- le **condizioni operative** (in termini, per esempio, di ossigeno disciolto);
- le caratteristiche del **liquame influente** (per esempio un adeguato rapporto COD/TKN, ai fini di una corretta rimozione dell'azoto);
- la presenza di eventuali **sostanze inibenti e/o tossiche** nel liquame influente.

La misura dell'attività della biomassa può essere effettuata mediante prove di laboratorio o mediante analisi in continuo. Nel primo caso, si possono effettuare:

- a) **misure cinetiche**, quali l'OUR (*Oxygen Uptake Rate*), l'AUR (*Ammonia Uptake Rate*) e il NUR (*Nitrogen Uptake Rate*) per determinare, rispettivamente, il consumo di ossigeno da parte di tutta la comunità biologica (oppure dei soli batteri nitrificanti, applicando il metodo proposto da Sumarcz-Gorska *et al.*, 1995) e il tasso di nitrificazione e di denitrificazione per unità di biomassa.
- b) misure di alcuni **metaboliti**, connessi all'**attività cellulare**, quali, per esempio, le proteine totali, l'adenosin trifosfato, la deidrogenasi, la concentrazione di enzimi specifici (lipasi, esterasi, ecc.).

Le misure cinetiche di cui al punto a) richiedono l'impiego di attrezzatura relativamente a basso costo e sono eseguibili in tempi brevi. Esse consentono di ottenere molteplici informazioni, sia riguardo all'attività endogena della biomassa, sia riguardo all'attività ossidativa. Entrambe le tipologie di misura, inoltre, consentono di valutare l'eventuale effetto inibente esercitato da alcune sostanze (singolarmente o sinergicamente) poste a contatto con la biomassa. Per ulteriori dettagli si rimanda al paragrafo 6.4.

Per quanto attiene alle prove in continuo, recentemente hanno avuto ampia diffusione i “biosensori”, ovvero catalizzatori costituiti da componenti biologiche quali gruppi di cellule, porzioni di cellule, tessuti, enzimi specifici collegati a sistemi chimico-fisici che ne rilevano l’attività durante la trasformazione chimica dei substrati da analizzare. I biosensori traducono le trasformazioni chimiche in risposte fisiche (per esempio segnali elettrici). Sebbene i biosensori trovino applicazione anche in prove batch (analoghe a quelle respirometriche descritte al punto a), essi forniscono indicazioni ancora più utili se installati “on line” presso gli impianti. Si distinguono due tipologie di biosensori:

- **biosensori respirometrici** (basati essenzialmente sull’impiego di ossimetri per la misura della respirazione della biomassa);
- **biosensori a titolazione** (basati sull’impiego di un titolatore a pH costante per la misura del substrato consumato mediante i volumi di acido/base da fornire al sistema per mantenere il pH costante).

I biosensori consentono di monitorare, tra l’altro, la concentrazione di ossigeno disciolto, delle forme azotate, la frazione di COD rapidamente biodegradabile, la tossicità del liquame influente.

Il principio di utilizzo dei biosensori unitamente ad esempi di applicazioni pratiche sono riportati in Rozzi *et al.*, 1997a; Rozzi *et al.*, 1997b; Massone *et al.*, 1998.

5.5.4.1 La verifica dell’attività della biomassa nella fase di stabilizzazione dei fanghi

La digestione anaerobica dei fanghi e la produzione di biogas si basano su delicati processi biologici e necessitano quindi di prove e di controlli specifici.

Si segnalano alcune analisi i cui risultati sono significativi e ripetibili:

- a) verifica della **produzione di gas**: il fango fresco, mescolato opportunamente con fango digerito, viene posto in appositi digestori da laboratorio al fine di misurare il biogas prodotto;
- b) misura della **produzione di idrogeno solforato**: il fango digerito viene posto in recipienti chiusi in cui sono immerse cartine di acetato di piombo che si anneriscono in seguito alla formazione di solfuro di piombo (nel processo anerobico, lo zolfo viene ridotto a idrogeno solforato);
- c) misura del **consumo di ossigeno** da parte del fango digerito: l’intensità di respirazione, nel metabolismo aerobico, è connessa con la stabilità del fango;
- d) misura della concentrazione di **deidrogenasi, adenosin trifosfato, batteri metanigeni, enzimi ad essi correlati** (Ranalli *et al.*, 1991): tali parametri sono connessi all’attività biologica del fango, ma si tratta di tecniche costose e complesse;
- e) misura dei **solidi sospesi volatili** che, nei processi di stabilizzazione, vengono ridotti proporzionalmente al tempo di aerazione o di ritenzione a seconda del tipo di processo.

Si ricorda che la valutazione dell’attività del fango del digestore aerobico può essere effettuata applicando le tecniche di cui ai punti c), d), e).

6. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ “NON CONVENZIONALI”

In questo paragrafo verranno riportate le tecniche di funzionalità di tipo “non convenzionali” utili per la quantificazione dei consumi energetici e di reagenti nonché per l’ottimizzazione dei criteri di dimensionamento e delle rese dei trattamenti di tipo biologico (attraverso test respirometrici). A tal proposito verranno riportati alcuni criteri per la valutazione delle “spese energetiche” degli impianti di depurazione in funzione dei trattamenti presenti, delle spese di reagenti, la determinazione dei bilanci di massa sui parametri “non convenzionali” e le modalità di esecuzione di test respirometrici.

6.1 CALCOLO DEI CONSUMI ENERGETICI

Negli Stati Uniti, gli impianti che trattano acque ad uso potabile e quelli che trattano acque di scarico consumano il 2% dell’energia complessivamente prodotta (Batts *et al.*, 1993).

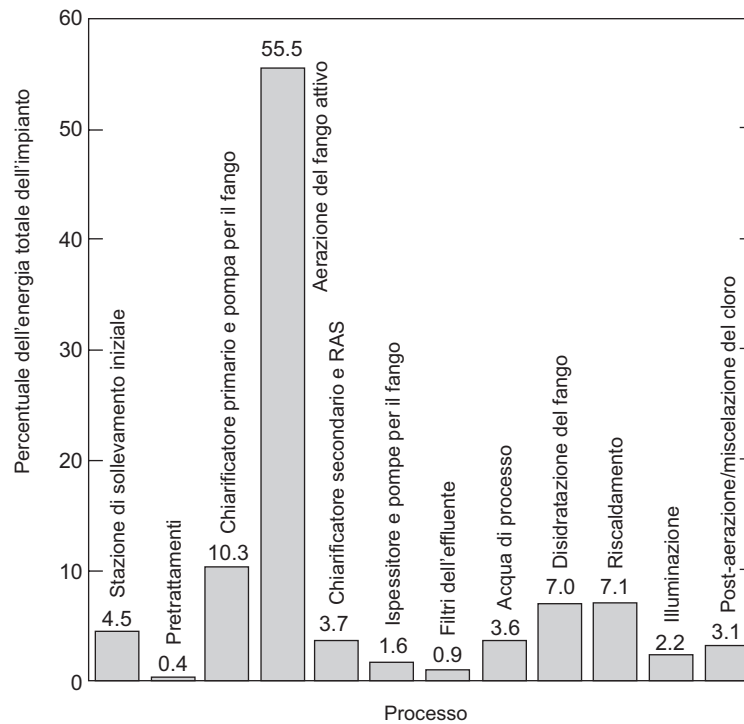
In Italia, nel 2005, l’ISTAT ha riportato che il numero di abitanti residenti, fluttuanti ed equivalenti trattati negli impianti di depurazione delle acque reflue urbane ammontava a 69.228.977; considerando un consumo medio d’energia pari a 35 kWh/abitante-anno, la potenza media assorbita dalla rete risulta essere pari a 277 MW, cioè lo 0.8 % del totale della potenza prodotta sul territorio nazionale (34.589 MW) (Mininni *et al.*, 2006).

Solitamente il 30 % del costo di esercizio di un impianto di trattamento delle acque reflue è dovuto ai consumi energetici. Si prevede, per i prossimi 20 o 30 anni un ulteriore aumento nei consumi energetici di circa il 30-40% (Metcalf & Eddy); la progettazione e la gestione degli impianti di depurazione verranno, per tali motivi, realizzati in modo da minimizzare i consumi energetici.

Considerazioni generali sull’utilizzo dell’energia elettrica in impianti di depurazione (Metcalf & Eddy, 2006)

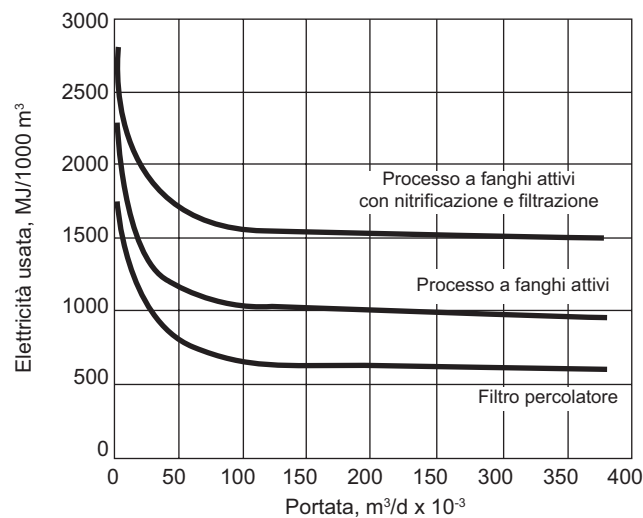
Nella figura 6.1/1 sottostante è riportata la distribuzione dei diversi impieghi dell’energia in un tradizionale impianto a fanghi attivi; per un impianto di questo tipo sono necessari circa 1.100-2.400 MJ di energia elettrica per ogni 1.000 m³ di acque reflue. La quantità di energia elettrica consumata dipende dalla potenzialità dell’impianto e dalla tipologia di trattamenti adottati.

Fig. 6.1/1 – Distribuzione dell'utilizzo di energia in un impianto convenzionale a fanghi attivi (Metcalf & Eddy, 2006).



Nel caso di impianti dotati di trattamenti “spinti” per la depurazione delle acque di scarico, i quantitativi richiesti di energia elettrica risultano essere superiori. Nei casi in cui si abbia un trattamento biologico finalizzato alla rimozione dei nutrienti e la filtrazione, il quantitativo di energia elettrica utilizzato per le fasi aerazione, sollevamento e trattamento dei fanghi risulta superiore al 30-50% rispetto ad un tradizionale processo a fanghi attivi (figura 6.1/2).

Fig. 6.1/2 – Confronto fra l'energia elettrica impiegata in diverse tipologie di processo di trattamento in funzione della portata (Metcalf & Eddy, 2006).



L'introduzione di nuove tecnologie di trattamento delle acque reflue modificheranno le richieste energetiche (tabella 6.1/1).

A tal proposito si cita l'esperienza di Baroni *et al.* (2006) in cui sono dimostrati i vantaggi (in termini di risparmio energetico) derivanti dall'ottimizzazione della fornitura dell'aria nel comparto di ossidazione mediante un sistema di controllo basato su logica fuzzy.

Tab. 6.1/1 – Consumo energetico delle nuove tecnologie per il trattamento delle acque reflue (Metcalf & Eddy, 2006).

TECNOLOGIA	CONSUMO ENERGETICO	
	KWh/Mgal	MJ/1000 m ³
Diffusori a bolle fini	-125 fino a -150	-120 fino a -140
Diffusori a microbolle	-180 fino a -220	-170 fino a -210
Sistemi di controllo dell'ossigeno disciolto	-50 fino a -100	-48 fino a -95
Sistemi di controllo energeticamente efficienti delle soffianti (alette distributrici, valvole a farfalla in ingresso,...)	-50 fino a -150	-48 fino a -140
Soffianti di aerazione energeticamente efficienti (in confronto alle soffianti con alette in ingresso)	-100 fino a -150	-95 fino a -140
Disinfezione a raggi ultravioletti	+50 fino a +200	+48 fino a +190
Membrane		
Microfiltrazione	+200 fino a +400	+190 fino a +380
Osmosi inversa	+1.000 fino a +2.000	+950 fino a +1.900

In linea generale si può quindi affermare che il maggior consumo energetico debba essere addebitato al comparto biologico; le fasi di sollevamento incidono al massimo per un 20% dei consumi totali mentre i pretrattamenti ed i trattamenti primari hanno consumi molto modesti; rilevanti sono invece i consumi energetici della linea fanghi, soprattutto se è presente la digestione aerobica o anaerobica senza il recupero energetico.

In tabella 6.1/2 vengono riportate le formule di calcolo relative ai consumi energetici di alcune fasi di trattamento presenti in un impianto di depurazione. Qualora non sia necessario effettuare un calcolo puntuale, ci si può basare su alcuni dati medi che attribuiscono agli impianti di potenzialità inferiore a 30.000 A.E. consumi energetici pro-capite di 30-50 kWhA.E.⁻¹ anno⁻¹ e a quelli di potenzialità superiore a 30.000 A.E. consumi di 25-40 kWhA.E.⁻¹ anno⁻¹ (Colombo, 2003-84° edizione).

Per ulteriori approfondimenti ed integrazioni si rimanda al Manuale dell'Ingegnere (Colombo, 2003-84° edizione).

Tab. 6.1/2 – Formule di calcolo dei consumi energetici di alcune fasi di trattamento negli impianti di depurazione (Colombo, 2003-84° edizione).

TRATTAMENTO	FORMULA DI CALCOLO [kWh·anno ⁻¹]	CAMPO DI VALIDITA' DELLA FORMULA
Sollevamento liquami (pompe centrifughe sommerse)	$E_y = 8760 \cdot \frac{q_{24}}{q_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(N)_i}{(\eta_m)_i}$ $N = \frac{q_p \cdot h_p}{367 \cdot \eta_p}$ $\eta_p = 1 - 1,1 \cdot (q_p)^{-0,27}$ $\eta_m = 1 - 0,23 \cdot N^{-0,2}$	$10 \leq q_p \leq 1.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ per $q_p < 10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ si pone $\eta_p = 0,46$ n è il numero di pompe installate nella stazione di sollevamento in regolare esercizio
Grigliatura a pulizia meccanica	$E_y = 435 \cdot q_{24}^{0,2}$	$40 \leq q_{24} \leq 2.000$
Dissabbiatura	$E_y = \alpha \cdot V^{0,23}$	$3 \leq V \leq 60 \text{ m}^3$ $\alpha = 380$ per dissabbiatori a canale; $\alpha = 7920$ per dissabbiatori con flusso a vortice ed aerati
Sedimentazione	$E_y = \alpha \cdot f \cdot \sqrt{S}$ $f = 64 + 57,6 \cdot s_f$	$\alpha = 48,44 \cdot v_p$ per sedimentatori circolari $\alpha = 42,93 \cdot v_l$ per sedimentatori rettangolari
Fanghi attivi (aeratori superficiali)	$E_y = 8670 \cdot \frac{N_u}{\eta_{tot}}$ $N_u = \frac{OC_{h,st}}{\eta_{tot}}$ $OC_{h,st} = \frac{OC_h}{\alpha F \cdot \frac{\beta C_s^* - C_{ox}}{C_{s,st}} \theta^{(T-20)}}$	$OC_{kWh,st} = 1,2 + 3,0$ per aeratori ad asse verticale $OC_{kWh,st} = 0,9 + 2,2$ per aeratori ad asse orizzontale

segue

segue **Tab. 6.1/2** – Formule di calcolo dei consumi energetici di alcune fasi di trattamento negli impianti di depurazione (Colombo, 2003-84° edizione).

<p>Fanghi attivi (diffusori d'aria)</p>	$E_y = 8670 \cdot 3,314 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(T_a + 273) \cdot q_a}{\eta_{tot}}$ $\cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_a} \right)^{0,283} - 1 \right]$ $q_a = \frac{OC_{h, st}}{\eta_{ox, st} \cdot f_{O_2} \cdot \rho_a}$ $\eta_{ox, st} = \eta_{ox} \cdot \frac{OC_{h, st}}{OC_h} \cdot \frac{p_a}{p_{a, st}} \cdot \frac{293}{T_a + 273}$ $OC_{h, st} = \frac{OC_h}{\alpha F \cdot \frac{\beta C_s^* - C_{ox}}{C_{s, st}} \cdot \theta^{(T-20)}}$	<p>$\eta_{ox, st} = 0,15 + 0,40$ per diffusori porosi $\eta_{ox, st} = 0,10 + 0,15$ per diffusori non porosi</p>
<p>Digestione anaerobica (perdite di calore verso l'esterno del digestore)</p>	$W_d = \sum_{i=1}^m k_i \cdot A_i \cdot \Delta T_i = q_f \cdot c_{sf} \cdot \rho_f \cdot (T_{fa} - T_{fd})$ $k_i = \left[\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^p \frac{s_j}{c_j} + \frac{1}{h_e} \right]^{-1}$	<p>m è il numero settori termicamente omogenei del digestore (stesso tipo di coibentazione e di fluido esterno) p è il numero di materiali di cui è costituita la coibentazione del digestore</p>
<p>Digestione anaerobica (miscelazione del fango)</p>	$E_y = 7,9 \cdot 10^4 \cdot s_{fd}^3 \cdot V$ $s_{fd} = \frac{1 - \eta_{SS} \cdot v}{1/s_{fa} - \eta_{SS} \cdot v}$	
<p>Digestione anaerobica (recupero energetico)</p>	$W_g = \eta_g \cdot PCI_g \cdot q_g$	

Legenda:

- A = superficie di ogni singolo settore di digestore termicamente omogeneo [m²]
- A_{DB} = superficie totale dei dischi biologici [m²]
- A_{FV} = superficie del filtro sotto vuoto [m²]
- BOD = concentrazione di BOD₅ nell'influente [mgBOD l⁻¹]
- c = coefficiente di conduzione del calore [kJ m⁻¹ h⁻¹ °C⁻¹]
- C_{ox} = concentrazione di saturazione dell'ossigeno disciolto in vasca d'aerazione [mgO₂ l⁻¹]
- C_i^* = concentrazione di saturazione dell'ossigeno in condizioni di esercizio [mgO₂ l⁻¹]
- c_{sf} = calore specifico del fango [kJ kg⁻¹ °C⁻¹]
- $C_{s, st}^*$ = concentrazione di saturazione dell'ossigeno in condizioni standard [mgO₂ l⁻¹]
- d = dosi di cloro gas [mgCl l⁻¹]

segue

segue **Tab. 6.1/2** – *Formule di calcolo dei consumi energetici di alcune fasi di trattamento negli impianti di depurazione (Colombo, 2003-84° edizione).*

E_y	= consumo energetico annuo [kWh anno ⁻¹]
f	= resistenza d'attrito per unità di lunghezza [N m ⁻¹]
f_{O_2}	= 0,2318 kgO ₂ [kg aria ⁻¹]
G	= gradiente medio di velocità [s ⁻¹]
h_e	= calore di convezione del fluido esterno [kJ m ⁻² h ⁻¹ °C ⁻¹]
h_i	= calore di convezione del fluido interno [kJ m ⁻² h ⁻¹ °C ⁻¹]
h_p	= prevalenza della pompa [m]
h_k	= coefficiente di trasmissione del calore [kJ m ⁻² h ⁻¹ °C ⁻¹]
N	= potenza resa all'albero della pompa [kW]
N_e	= carica batterica patogena nell'effluente [MPN (100 ml) ⁻¹]
N_i	= carica batterica patogena nell'influente [MPN (100 ml) ⁻¹]
N_u	= potenza utile (assorbita dal liquame) [kW]
OC_k	= capacità di ossigenazione oraria [kgO ₂ h ⁻¹]
$OC_{k,st}$	= capacità di ossigenazione oraria in condizioni standard [kgO ₂ h ⁻¹]
$OC_{kWh,st}$	= capacità di ossigenazione per unità di energia trasmessa al fluido in condizioni standard [kgO ₂ kWh ⁻¹]
P	= dose oraria di reagenti [kg h ⁻¹]
p_2	= pressione assoluta dell'aria compressa alla mandata [mH ₂ O]
p_a	= pressione atmosferica assoluta [mH ₂ O]
$p_{a,st}$	= pressione atmosferica assoluta in condizioni standard [mH ₂ O]
P_{Cl_g}	= potere calorifico inferiore del biogas [kJ Nm ⁻³]
q_{24}	= portata media giornaliera su base annua [m ³ h ⁻¹]
q_a	= portata d'aria insufflata in condizioni standard [m ³ h ⁻¹]
q_g	= portata di biogas [Nm ³ h ⁻¹]
q_f	= portata del fango [m ³ h ⁻¹]
q_{max}	= portata massima oraria [m ³ h ⁻¹]
q_p	= portata della pompa [m ³ h ⁻¹]
S	= sezione trasversale dell'apparecchiatura [m ²]
s	= spessore di ogni singolo materiale che costituisce la parete del digestore [m]
s_f	= tenore di secco nel fango
s_{fa}	= tenore di secco nel fango alimentato
s_{fd}	= tenore di secco nel fango digerito/disidratato
$\dot{S}S$	= portata di fango secco [tSS h ⁻¹]
T	= temperatura del liquame [°C]
t	= tempo di ritenzione idraulica [h]
T_a	= temperatura dell'aria in atmosfera [°C]
t_f	= tempo di filtrazione [h]
T_{fa}	= temperatura del fango alimentato [°C]
T_{fd}	= temperatura del fango digerito [°C]
TN	= concentrazione di azoto totale nell'influente [mgN l ⁻¹]
t_s	= tempo di scarico [h]
V	= volume dell'apparecchiatura [m ³]
v	= tenore di solidi volatili sui solidi totali
v_p	= velocità periferica della lama raschiafanghi [m s ⁻¹]
v_l	= velocità longitudinale della lama raschiafanghi [m s ⁻¹]
W_d	= calore dissipato nel digestore [kJ h ⁻¹]
W_g	= energia recuperata mediante il biogas [kJ h ⁻¹]
α^k	= coefficiente correttivo relativo al tipo di liquame ed alla pulizia dei diffusori
β	= coefficiente correttivo relativo al tipo di liquame
Δp_f	= perdita di carico dei fanghi [m]
Δp_w	= perdita di carico del liquame [m]
ΔT	= salto termico tra fluido interno ed esterno [°C]
θ	= coefficiente correttivo relativo alla temperatura del liquame
η_g	= rendimento di conversione del biogas
η_m	= rendimento del motore elettrico della pompa
η_{ox}	= rendimento di ossigenazione
$\eta_{ox,st}$	= rendimento di ossigenazione in condizioni standard
η_p	= rendimento idraulico della pompa
η_{SS}	= rendimento di digestione dei solidi totali
η_{tot}	= rendimento totale della pompa/aeratore superficiale/filtropressa
μ	= viscosità dinamica del liquame [Pa s]
ρ_a	= densità dell'aria alla temperatura T_a e alla pressione p_a [kg m ⁻³]
ρ_f	= densità del fango [kg m ⁻³]
ρ_{fa}	= densità del fango alimentato [kg m ⁻³]
ρ_{fd}	= densità del fango disidratato [kg m ⁻³]
ρ_{lf}	= densità del liquame filtrato [kg m ⁻³]

Nella comune pratica gestionale, è molto raro disporre dei consumi energetici distinti per fase di processo; questo rende più difficile individuare se e dove esistono eventuali margini di miglioramento.

6.2 CALCOLO DEI CONSUMI DI REAGENTI

I costi riguardanti il consumo di reagenti dipendono dalla tipologia di liquame da trattare, dalle caratteristiche qualitative che deve rispettare l'effluente, dalle fasi di trattamento e dalle condizioni di esercizio.

I reattivi chimici vengono impiegati in fase di disinfezione (ipoclorito, biossido di cloro, acido peracetico, ozono,...), nei trattamenti terziari (per la rimozione del fosforo ad esempio attraverso sali di ferro, alluminio, calce), nei pretrattamenti chimico-fisici di liquami industriali, nella fase di disidratazione meccanica,.....

In tabella 6.2/1 vengono riportati i dosaggi indicativi per la precipitazione chimica del fosforo in impianti di trattamento per acque reflue domestiche.

Tab. 6.2/1 – *Dosaggi indicativi per la precipitazione chimica del fosforo in impianti di trattamento di acque di rifiuto domestiche (Colombo, 1997-83° edizione).*

Concentrazione nell'effluente: 2-3 mgP/L	Concentrazione nell'effluente: 1-2 mgP/L	Concentrazione nell'effluente: 0,5-1 mgP/L	Concentrazione nell'effluente: 0,3-0,5 mgP/L
Precipitazione simultanea Fe (II) o Al (III), rm = 0,8	Precipitazione simultanea Fe (II) o Al (III), rm = 1	Precipitazione simultanea	Precipitazione simultanea, Fe (II) o Al (III), rm = 2 + filtro-flocc. Fe(II) o Al (III), rm= 2
Pre-precipitazione Al (III), rm = 1	Pre-precipitazione Ca (II) + Fe (II) pH 8-9 (Fe), rm = 1	Precipitazione simultanea + pre-precipitaz. o lagunaggio, Fe (II) o Al (III), rm = 1,5	Post-precipitazione Al (III) pH 5,5-6,0, rm = 2 + filtro-flocculazione Fe(III), rm = 2
-	Precipitazione diretta Ca (II) pH 10-11	Post-precipitazione Al (III) pH 5,5-6,5, rm = 2	Precipitazione diretta Ca (II) + Fe (II), pH 9-10, rm (Fe) = 1,5 + filtro-flocc.
-	Precipitazione diretta Al (III), rm = 1,5	Pre-precipitazione Ca (II) + Fe (II) pH 9-10, rm (Fe) = 1,5	-
-	Post-precipitazione Al (III) pH 6,5-7,2, rm = 1	-	-

Fe(II): sali di ferro bivalente; Al (III): sali di alluminio trivalente; Ca (II): sali di calcio; rm: rapporto molare ione/fosforo.

Nella fase di disinfezione, i prodotti a base di cloro vengono impiegati in quantità pari a 2-8 gCl₂/m³, mentre l'acido peracetico viene impiegato in quantità pari a 1-3 g/m³. I prezzi unitari (compreso il trasporto) per l'approvvigionamento dei reattivi sono: 0,18 €/kg per l'ipoclorito di sodio e 1,55 €/kg per l'acido peracetico (Collivignarelli *et al.*, 2000).

In alcuni impianti si utilizza l'ossigeno puro anziché l'aria e il costo dell'ossigeno liquido consegnato all'impianto si aggira mediamente intorno alle 0,08-0,13 €/kg (Collivignarelli *et al.*, 2000).

I reattivi impiegati nella fase di condizionamento chimico dei fanghi a monte della disidratazione meccanica sono polielettroliti cationici, calce, cloruro ferrico e policloruro di alluminio. Il prezzo unitario del polielettrolita varia in funzione del principio attivo e del grado di cationicità del prodotto; si aggira mediamente tra 3,10-3,87 €/kg (Collivignarelli *et al.*, 2000).

In tabella 6.2/2 sono riportati i dosaggi tipici dei reagenti al variare del processo di disidratazione.

Tab.6.2/2 – Dosaggi tipici dei reagenti al variare del processo di disidratazione (Colombo, 1997-83^o edizione).

Metodo di disidratazione	Fango primario	Fango misto fresco (primario+biologico)	Fango misto (primario+biologico) digerito anaerobicamente
	kg/t di SS		
Centrifuga <i>Polielettrolita</i>	1-2,5	2-5	3-5
Filtropressa a nastro <i>Polielettrolita</i>	2-4	2-5	4-7,5
Filtropressa a camere			
<i>Calce</i>	110-140	110-160	110-300
<i>Cloruro ferrico</i>	40-60	40-70	40-100

Recenti valutazioni hanno dimostrato come l'uso dei reattivi chimici abbia un effetto indiretto sulla produzione di gas serra superiore a quello derivante dai consumi energetici nella gestione del ciclo idrico.

6.3 DETERMINAZIONE DEI BILANCI DI MASSA SUI PARAMETRI “NON CONVENZIONALI”

L'approccio “standard” alla progettazione degli impianti di depurazione municipali fa riferimento essenzialmente a un numero molto limitato di parametri inquinanti (che nei criteri di revisione del PRRA della Regione Lombardia venivano definiti parametri “controllabili”): COD,

BOD, solidi sospesi, azoto, fosforo. D'altra parte, anche nella Direttiva CEE 271/91, per gli scarichi di acque reflue domestiche sono indicati, come parametri di riferimento, il BOD, il COD e i solidi sospesi (Tab. 1, All. 1) e questo approccio è stato seguito anche dal D.Lgs 152/99 e s.m.i. (Tab. 1, All. 5), così come anche ripreso nel D.Lgs 152/06. In realtà è ben raro incontrare situazioni (di dimensione significativa) in cui possa essere esclusa la presenza di scarichi industriali in fognatura, quindi, nella sostanza, gli impianti di depurazione sono in genere soggetti al rispetto anche di tutti gli altri parametri riportati nella Tab. 3 dell'All. 5. Di fatto, però, il rispetto dei limiti relativi a questi parametri, per un impianto convenzionale che tratti acque reflue di natura prevalentemente domestica, viene di norma dato per scontato senza alcuna verifica specifica. E' quindi lecito, in questo contesto, considerare inquinanti "non convenzionali" tutte le sostanze che non siano i "classici" COD, BOD, solidi sospesi, azoto e fosforo.

In seguito agli sviluppi delle conoscenze in settori quali la tossicologia umana e ambientale, la chimica analitica e ambientale e l'ecologia nonché agli approcci sempre più multidisciplinari al problema della gestione delle risorse idriche, il mondo scientifico da tempo pone l'attenzione su gruppi di sostanze variamente definite: *sostanze pericolose, microinquinanti, distruttori endocrini, inquinanti organici persistenti, farmaci* A livello normativo, solo recentemente i legislatori hanno preso in considerazione in maniera sistematica queste problematiche (v. Direttiva quadro 2000/60/CE). Per quanto attiene al panorama italiano, ci si riferisce alle seguenti norme:

- D.lgs 152/99 (e D.lgs 152/06, parte III): in vari punti del decreto vengono considerate le "sostanze pericolose" (elencate ad es. nella Tab. 5 dell'All.5), imponendo per le stesse limiti di emissione particolari (v. Tab. 3/A, All. 5) e comunque richiedendo agli Enti che rilasciano le autorizzazioni allo scarico e agli Enti di controllo un approccio particolarmente attento alla problematica. Inoltre, l'art. 36 del D.lgs 152/99 (art. 110 del D.lgs 152/06), relativo allo smaltimento di rifiuti liquidi in impianti di depurazione municipali, prevede la possibilità di ricevere rifiuti liquidi solo nel caso in cui: gli stessi siano compatibili con l'impianto e con il processo biologico; la capacità residua dell'impianto non venga superata; non venga compromesso il riutilizzo di acque e fanghi. Una valutazione completa di questi aspetti è senz'altro molto complessa e deve necessariamente includere gli inquinanti "non convenzionali": un criterio di analisi che tiene conto di questi fattori è stato proposto da Bertanza e Collivignarelli (2004).
- Il D.M. 185/03 sul riutilizzo delle acque reflue (anche nella "versione" redatta a seguito del D.lgs 152/06: D.M. 93 del 2 maggio 2006, sospeso al momento della stesura del presente articolo): con l'applicazione di questo decreto, si dovrà necessariamente prendere in considerazione il destino di tutte le sostanze inquinanti di cui si richiede il rispetto di uno standard nell'effluente. Ciò dovrà essere fatto *in primis* a livello progettuale (Bertanza, 2004) e, in secondo luogo, a livello gestionale, attuando appositi piani di monitoraggio e adattando opportunamente le ormai consolidate verifiche di funzionalità (Bertanza e Collivignarelli, 2006).
- Il D.M. 367/03 (al di là delle discussioni in atto a livello giuridico sulla sua effettiva applicabilità e tenuto conto comunque del ruolo che le Regioni avranno nella individuazione delle sostanze pericolose significative) riporta un elenco di circa 160 sostanze "nuove" che dovranno essere monitorate nei corsi d'acqua (e quindi negli impianti di depurazione), ponendo anche condizioni molto severe per quanto riguarda il caso dello smaltimento di rifiuti liquidi presso impianti di depurazione municipali (ex art. 36, D.lgs 152/99). In generale, queste considerazioni valgono anche a seguito delle modifiche introdotte dal D.lgs 152/06 (All. 1, parte III).

In situazioni specifiche, quale il caso della Laguna di Venezia (vedi i D.M. Ambiente 23 aprile 1998, 26 maggio 1999, 30 luglio 1999), sono peraltro state emanate norme “ad hoc” che si muovono in questa direzione.

Naturalmente, queste normative, se rigidamente interpretate ed applicate, comporteranno necessariamente significative innovazioni nella progettazione e gestione degli impianti di depurazione, seguendo un approccio “nuovo”, con non poche difficoltà sul piano pratico. Di fatto, probabilmente, a livello applicativo (per quanto riguarda la progettazione, le tecnologie e la gestione degli impianti) non si è ancora del tutto preparati ad affrontare questo nuovo scenario. Di seguito si affronta il tema della verifica quantitativa della “effettiva” capacità di rimozione di inquinanti non convenzionali da parte di un impianto di depurazione biologico, attraverso un esempio di calcolo (Bertanza e Collivignarelli, 2007).

La valutazione quantitativa delle prestazioni di un impianto nei confronti degli inquinanti “non convenzionali” è resa difficile da due ordini di problemi: innanzitutto i processi che si verificano in un impianto (es. bioflocculazione, biodegradazione, ossidazione, strippaggio ecc.) dipendono, per una determinata sostanza, dalle condizioni ambientali (es. temperatura, pH, concentrazione influente ecc.) e di processo (es. età del fango, aria insufflata ecc.). Inoltre, molti dei parametri indicati nella normativa rappresentano una classe di composti (es. fenoli totali), piuttosto che una sostanza specifica (es. 2-clorofenolo).

Per svolgere un esempio di calcolo, si è considerato, come riferimento, il caso del riutilizzo delle acque reflue a scopo irriguo o civile, in ottemperanza al D.M. 185/03 (ricordando che per il riuso in campo industriale si adottano limiti specifici, in relazione alle esigenze dei cicli produttivi destinati a ricevere le acque trattate): in particolare, si sono svolte valutazioni quantitative su alcuni parametri non convenzionali, calcolando quali dovrebbero essere le massime concentrazioni ammesse in ingresso a un impianto di depurazione per rispettare gli standard all’effluente, tenuto conto dei meccanismi di rimozione principali ipotizzabili per dette sostanze. Le concentrazioni risultanti sono state poi confrontate con i limiti per gli scarichi industriali in fognatura (Tab. 3, seconda colonna, All. 5, parte III, D.lgs 152/06).

Il primo passo è consistito dunque nella valutazione delle rese di rimozione dei diversi inquinanti, tenendo in considerazione il diverso comportamento degli stessi nel sistema “impianto di depurazione”. Prendendo in esame i parametri riportati nella Tab. 3, All. 5, parte III del D.lgs. 152/06, si possono individuare le seguenti categorie:

- A. parametri “convenzionali” per il dimensionamento di un processo biologico: solidi sospesi totali, BOD, COD, fosforo, azoto nelle diverse forme, *E. Coli*;
- B. metalli pesanti (ed elementi con comportamento simile): alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio, stagno, zinco, cianuri;
- C. parametri “conservativi”: boro, solfati, cloruri, fluoruri;
- D. solfuri e solfiti;
- E. grassi e oli animali/vegetali;
- F. sostanze organiche: idrocarburi totali, fenoli, aldeidi, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, tensioattivi totali, pesticidi fosforati, pesticidi totali (esclusi i fosforati), aldrin, dieldrin, endrin, isodrin, solventi clorurati.

Come sopra accennato, il bilancio di massa di queste sostanze richiede di conoscere il destino di ciascuna all’interno dell’impianto. Così, ad esempio, se per i parametri “conservativi” si dovrà tener conto, in prima approssimazione, solamente della diluizione, per le sostanze organiche si dovranno considerare la volatilizzazione, la tendenza all’accumulo nel fango (primario

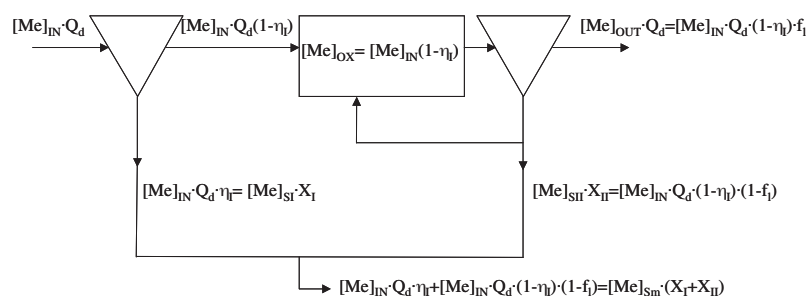
e biologico), la biodegradabilità. Inoltre, proprio per le sostanze organiche, si rende necessaria una specifica analisi per individuare, per ogni classe di composti, un numero limitato di sostanze che siano al meglio rappresentative dell'intero gruppo: la determinazione delle caratteristiche di queste singole sostanze permette così di ricavare un comportamento "medio" attribuibile ad un intero gruppo.

Si sono considerate, per svolgere un esempio di calcolo, alcune tra le sostanze risultate "critiche" per il rispetto dei limiti del D.M. 185/03 in una indagine svolta da Federgasacqua (Drusiani, 2003; AA.VV. 2003): i tensioattivi (come esempio di "categoria" di sostanze organiche), il cromo (come rappresentativo dei metalli pesanti), i cloruri (come esempio di inquinante "conservativo"). Lo schema impiantistico considerato prevede i pretrattamenti meccanici, la sedimentazione primaria, il processo biologico a fanghi attivi a basso carico. Non sono stati invece considerati trattamenti terziari a valle della sedimentazione finale, peraltro ancora troppo poco diffusi per poter rappresentare una situazione "significativa" degli impianti, almeno in Italia.

6.3.1 Metalli pesanti e sostanze con comportamento simile

Il bilancio di massa dei metalli pesanti è schematizzato in figura 6.3.1/1. Come si può vedere, è stata trascurata, in favore di sicurezza, una eventuale rimozione nei pretrattamenti meccanici. I valori dei rendimenti di rimozione in sedimentazione primaria così come dei coefficienti di ripartizione liquido/solido, caratteristici di ogni specifico metallo, sono influenzati dalle condizioni di processo (si pensi ad esempio all'effetto del dosaggio di coagulanti in sedimentazione primaria) e dalla speciazione; tuttavia, sono stati desunti, dalla letteratura tecnica, i valori di riferimento (tendenzialmente cautelativi) riportati in tabella 6.3.1/1 (Bertanza e Collivignarelli, 2007).

Fig. 6.3.1/1 – Schema di bilancio di massa per i metalli pesanti (Bertanza e Collivignarelli, 2007).



Dove:

Q_d = portata giornaliera in ingresso all'impianto (m^3/d)

$[Me]_{IN}$ = concentrazione del generico metallo nel liquame in ingresso (mg/L)

$[Me]_{OX}$ = concentrazione del generico metallo nella miscela aerata (mg/L)

$[Me]_{OUT}$ = concentrazione del generico metallo nel liquame effluente (mg/L)

$[Me]_{SI}$ = concentrazione del generico metallo nel fango primario (mg/kgSS)

$[Me]_{SII}$ = concentrazione del generico metallo nel fango secondario (mg/kgSS)

$[Me]_{SM}$ = concentrazione del generico metallo nel fango misto (primario e secondario) (mg/kgSS)

X_I = produzione di fango primario (kgSS/d)

X_{II} = produzione di fango secondario (kgSS/d)

η_1 = rendimento di rimozione del sedimentatore primario (adimensionale)

f_1 = coefficiente di ripartizione liquido/solido (= frazione che rimane in fase liquida) del generico metallo (adimensionale)

Tab. 6.3.1/1 – *Metalli pesanti e sostanze con comportamento simile: coefficienti proposti per il calcolo del bilancio di massa (ottenuti da: Cabrero et al., 1998; Canziani, 1990; Chipasa, 2003; Eckenfelder e Musterman, 1995; Karvelas et al., 2003 ; Stasinakis, 2003).*

Sostanza	Rendimento di rimozione in sedimentazione primaria η_i	Coefficiente di ripartizione liquido/solido f_i
Alluminio	0,35	0,46
Arsenico	0,25	0,67
Bario	0,4	0,33
Cadmio	0,25	0,67
Cromo totale	0,3	0,57
Cromo VI	0,3	0,57
Ferro	0,4	0,33
Manganese	0,1	0,89
Mercurio	0,3	0,57
Nichel	0,15	0,82
Piombo	0,3	0,57
Rame	0,3	0,57
Selenio	0,25	0,67
Stagno	0,25	0,67
Zinco	0,25	0,67
Cianuri totali	0,25	0,67

Ad esempio, per il cromo, la rimozione in un impianto convenzionale avviene (così come per tutti i metalli pesanti) essenzialmente per bioassorbimento sul fango. Nel caso di presenza della sedimentazione primaria, si può ipotizzare una uguale ripartizione tra fango primario e secondario, a meno che in sedimentazione primaria o nel comparto biologico si faccia uso di reattivi chimici (es. per la defosfatazione), nel qual caso la percentuale di rimozione varia. Per il cromo, dai dati di letteratura (Eckenfelder e Musterman, 1995; Chipasa, 2003; Karvelas *et al.*, 2003; Stasinakis *et al.*, 2003), può essere assunta, con ragionevole approssimazione, una percentuale complessiva di rimozione del 60%. Questo porta a definire, considerando il limite per il riutilizzo, un limite in ingresso pari a 0,25 mg/L per il cromo totale (il limite è 0,1) e 0,0125 mg/L per il cromo VI (il limite è 0,005). Si tratta peraltro di valori nettamente inferiori a quelli ammessi per lo scarico in fognatura: rispettivamente 4 e 0,2 mg/L.

6.3.2 Parametri “conservativi”

Per definizione di parametro “conservativo”, si è assunta l’ipotesi cautelativa che non vi sia rimozione in nessuna fase dell’impianto. Ciò significa che la concentrazione ammessa in uscita deve essere già garantita in ingresso all’impianto.

Nel caso dei cloruri, ad esempio, il limite è pari a 250 mg/L, contro una concentrazione ammessa per lo scarico in fognatura di 1.200 mg/L. Va peraltro ricordato che la concentrazione dei cloruri è indicata nel D.M. 185/03 come “valore guida” e non come concentrazione massima ammissibile.

6.3.3 Solfuri e solfiti

In prima approssimazione, si ipotizza una “perdita” di questi composti, per stripping/ossidazione nel reattore biologico, pari al 50% (Eckenfelder e Musterman, 1995; Eckenfelder, 2000). Si noti, peraltro, che la eventuale ossidazione a solfato non altera significativamente la concentrazione di quest’ultimo ione in quanto le rispettive concentrazioni nei liquami differiscono normalmente di ordini di grandezza.

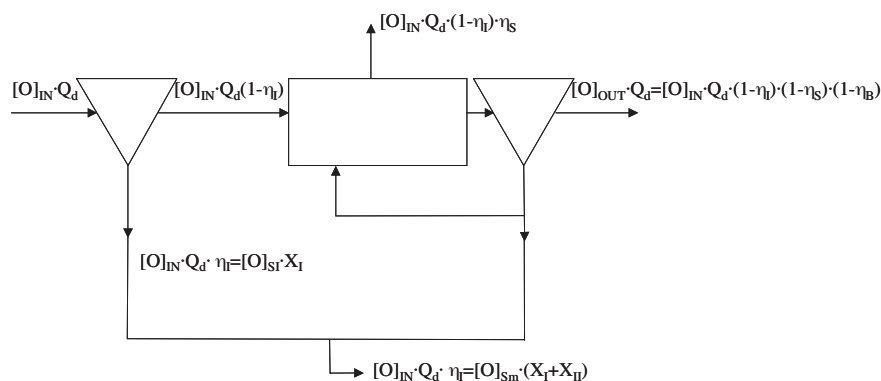
6.3.4 Grassi e oli animali/vegetali

La rimozione di queste sostanze si può assumere pari al 60% (Metcalf & Eddy, 2006), ascrivendola, in via cautelativa, esclusivamente ai pre-trattamenti (disoleatura).

6.3.5 Sostanze organiche

Il bilancio di massa semplificato delle sostanze organiche è schematizzato nella figura 6.3.5/1. Come si può osservare, è stata trascurata, in favore di sicurezza, una eventuale rimozione nei pre-trattamenti meccanici. Inoltre, in questo bilancio semplificato, si sono trascurati gli effetti derivanti dall’eventuale rilascio delle sostanze organiche durante il trattamento dei fanghi e il loro conseguente ricircolo in testa all’impianto con i surnatanti.

Fig. 6.3.5/1 – Schema di bilancio di massa per i composti organici (Bertanza e Collivignarelli, 2007).



Dove:

Q_d = portata giornaliera in ingresso all'impianto (m^3/d)

$[O]_{IN}$ = concentrazione del generico composto organico nel liquame in ingresso (mg/L)

$[O]_{OUT}$ = concentrazione del generico composto organico nel liquame effluente (mg/L)

$[O]_{SI}$ = concentrazione del generico composto organico nel fango primario (mg/kgSS)

$[O]_{SM}$ = concentrazione del generico composto organico nel fango misto (primario e secondario) (mg/kgSS)

X_I = produzione di fango primario (kgSS/d)

X_{II} = produzione di fango secondario (kgSS/d)

η_I = rendimento di rimozione del sedimentatore primario (adimensionale)

η_S = rendimento di rimozione per stripping (adimensionale)

Per ogni gruppo di sostanze organiche considerato nel D.lgs. 152/06 si è resa necessaria la valutazione dei seguenti aspetti:

- tendenza alla volatilizzazione;
- tendenza al bioaccumulo sul fango primario e sulla biomassa (fango biologico): normalmente, in presenza di sedimentazione primaria, prevale l'adsorbimento sul fango primario, potendosi quindi trascurare l'accumulo sul fango biologico;
- biodegradabilità.

La valutazione quantitativa di questi processi è resa difficile da due ordini di problemi: innanzitutto il prevalere dell'uno o dell'altro fenomeno dipende dalle condizioni ambientali (es. temperatura, pH ecc.) e di processo (es. età del fango, aria insufflata ecc.). Inoltre, molti dei parametri indicati nella Tabella 3, All. 5 della parte III del D.lgs. 152/06 rappresentano una classe di composti (es. idrocarburi), piuttosto che una sostanza specifica (es. benzene). Si è quindi resa necessaria una specifica analisi andando ad individuare, per ogni classe di composti, un numero limitato di sostanze con caratteristiche tra loro sensibilmente diverse, pur all'interno del medesimo gruppo (ad esempio, per i fenoli sono stati selezionati i seguenti composti: fenolo; 2,4-Dimetilfenolo; 2-Metilfenolo; 2-Clorofenolo; 2,4-Diclorofenolo; 2,4,5-Triclorofenolo; 2,3,4,6-Tetraclorofenolo; 4-Nitrofenolo; 2,4-Dinitrofenolo; 2,4-Dinitro-6-Metilfenolo) in modo che si potesse, da queste sostanze, ricavare un comportamento "medio" attribuibile all'intero gruppo.

Per quanto riguarda la tendenza alla **volatilizzazione**, il parametro di riferimento è la costante di Henry. È noto, infatti, che lo stripping (pur essendo influenzato da molti fattori, tra cui, temperatura, presenza di solidi sospesi, portata d'aria insufflata e modalità di insufflazione, pH ecc.) è significativo se $H > 10^{-4}$ atm m³/mol e in letteratura sono disponibili le percentuali di volatilizzazione in impianti a fanghi attivi per diversi composti.

Il fenomeno del **bioassorbimento** è funzione della lipofilità dell'inquinante ed è in qualche modo funzione del coefficiente di ripartizione del composto nella coppia di solventi ottanolo-acqua espresso come $\log K_{ow}$. È riportato, in letteratura, che il fenomeno si verifica principalmente sul fango primario, se il comparto esiste, e che è comunque trascurabile quando $\log K_{ow} < 4$.

La **biodegradazione** delle sostanze organiche è influenzata da numerosi fattori (concentrazione in ingresso, schema idrodinamico del reattore, condizioni operative, acclimatazione della biomassa, presenza di altre sostanze ed eventuali effetti sinergici ecc.); per questo motivo, anche se per talune sostanze sono disponibili i parametri cinetici di biodegradazione, un approccio deterministico basato sui modelli classici (tipo Monod) non condurrebbe a risultati utili ai fini pratici, non potendosi, in questo modo, tener conto di tutte le variabili sopra menzionate (a meno di complicare enormemente la modellazione matematica dei fenomeni). Anche in questo caso, quindi, è preferibile adottare dati di letteratura, relativi al funzionamento di impianti reali, che riportano la percentuale di degradazione di determinati composti in determinate condizioni di processo.

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di pervenire alla definizione dei bilanci di massa per ogni gruppo di sostanze, con la possibilità di definire la percentuale di ogni inquinante che mediamente viene:

- trasferita al fango primario;
- strippata;
- biodegradata.

La differenza tra questi contributi rappresenta la frazione residua nell'effluente.

In tabella 6.3.5/1 (Bertanza e Collivignarelli, 2007) si riportano i risultati di queste elaborazioni.

Tab. 6.3.5/1 – *Composti organici: coefficienti proposti per il calcolo del bilancio di massa (ottenuti da Eckenfelder e Musterman 1995, Eckenfelder 2000).*

Sostanza o gruppo di sostanze	Trasferita al fango primario [%]	Strippata [%]	Biodegradata [%]	Residua nell'effluente [%]
Idrocarburi totali	0	0	60	40
Fenoli	0	0	90	10
Aldeidi	0	0	80	20
Solventi organici aromatici	0	15	75	10
Solventi organici azotati	0	0	95	5
Tensioattivi totali	50	0	30	20
Pesticidi fosforati	50	0	5	45
Pesticidi totali (esclusi i fosforati)	50	0	5	45
Aldrin	90	0	0	10
Dieldrin	90	0	0	10
Endrin	90	0	0	10
Isodrin	90	0	0	10
Solventi clorurati	0	30	0	70

Nel caso dei tensioattivi, poiché il limite per il riutilizzo è pari a 0,5 mg/L, dai coefficienti riportati in Tab. 6.3.5/1, si desume che il rispetto di questo valore richiede che in ingresso non sia superata una concentrazione pari a 2,5 mg/L, inferiore al limite per scarico in fognatura (4 mg/L).

6.3.6 Considerazioni riassuntive

In conclusione, la depurazione delle acque di scarico dovrà nel prossimo futuro essere necessariamente indirizzata al controllo non solo dei parametri convenzionali, ma anche di molteplici altre sostanze, oggi di fatto ignorate (salvo casi specifici) nella progettazione degli impianti. Ciò richiederà:

- la messa a punto e standardizzazione di procedure di calcolo per il dimensionamento dei processi; a questo proposito, una procedura è stata già messa a punto Bertanza e Collivignarelli (2007), allo scopo di determinare la capacità residua di trattamento di un impianto che riceve rifiuti liquidi;
- la “rivisitazione” degli schemi convenzionali di trattamento che andranno integrati con processi di affinamento (membrane, filtrazione, ossidazione chimica, adsorbimento) la cui efficacia e il cui impatto economico andranno peraltro realisticamente valutati attraverso una mi-

rata attività di ricerca. A questo proposito, significative ricerche in corso a livello internazionale, pur segnalando la necessità di approfondire diversi importanti aspetti, individuano alcuni schemi impiantistici meritevoli di particolare attenzione (de Jong *et al.*, 2005).

6.4 TEST DI OUR, AUR e NUR (Andreottola e Foladori, 2002)

La respirometria si occupa della misura e dell'interpretazione delle modalità con cui avviene il consumo di ossigeno da parte di un sistema biologico per degradare, rimuovere un substrato. Le misure respirometriche effettuate sui fanghi attivi e sulle acque reflue grezze o sedimentate si basano sulle variazioni della concentrazione di ossigeno disciolto nel reattore (respirometro) e sul calcolo della velocità con cui tale consumo avviene.

L'applicazione della respirometria agli impianti di depurazione può consentire differenti applicazioni, tra le quali le più tipiche sono:

- 3 la caratterizzazione dei reflui in ingresso all'impianto dal punto di vista della loro biodegradabilità;
- 3 la quantificazione delle costanti cinetiche su cui si basa il dimensionamento del volume del reattore biologico;
- 3 la definizione dei parametri per la stima della produzione di fanghi di supero;
- 3 il fabbisogno di ossigeno per il fango attivo proveniente dalla vasca di ossidazione;
- 3 l'eventuale effetto inibitorio da parte di reflui speciali conferiti.

Anche gran parte dei parametri cinetici relativi all'attività dei batteri eterotrofi e dei batteri nitrificanti presenti nel fango attivo in condizioni aerobiche possono essere determinati con test respirometrici, in particolare:

- 3 la velocità massima di crescita specifica;
- 3 la costante di semisaturazione;
- 3 la velocità di rimozione dello specifico substrato carbonioso;
- 3 il coefficiente di crescita specifica;
- 3 la velocità di decadimento.

Per consumo di ossigeno si intende la quantità complessiva di ossigeno utilizzata da un sistema biologico per espletare le funzioni cataboliche ed anaboliche in un certo tempo. La velocità di consumo di ossigeno rappresenta invece la quantità di ossigeno consumata nell'unità di tempo dal sistema correlata alla velocità della reazione biologica. In un fango attivo il consumo di ossigeno è dovuto principalmente ai seguenti contributi:

1. la respirazione, da cui deriva l'energia necessaria a garantire le funzioni delle cellule: questo termine che si misura in assenza di substrato rappresenta il contributo endogeno del consumo di ossigeno;
2. la degradazione del substrato, cioè il consumo di ossigeno necessario per l'ossidazione della sostanza organica o dei composti azotati presenti nel liquame alimentato e per la sintesi di nuovo materiale cellulare: questo termine rappresenta il contributo esogeno del consumo di ossigeno.

Oltre ai test respirometrici di OUR (*Oxygen Uptake Rate*), altri test di attività biologica di immediata esecuzione sia per la modesta strumentazione richiesta sia per la rapidità di esecuzione sono AUR (*Ammonia Utilization Rate*) e NUR (*Nitrate Utilization Rate*).

La descrizione delle singole procedure sperimentali di seguito riportata è desunta da Andreotola e Foladori (2002), cui si rimanda per approfondimenti.

6.4.1 Test di OUR (*Oxygen Utilization Rate* o *Oxygen Uptake Rate*)

Indica la velocità di consumo dell'ossigeno da parte di un sistema biologico. Tale velocità dipende:

1. dalla capacità di degradazione dello stesso da parte della biomassa.
2. dal tipo di substrato aggiunto (vedi figura 6.4.1/1);

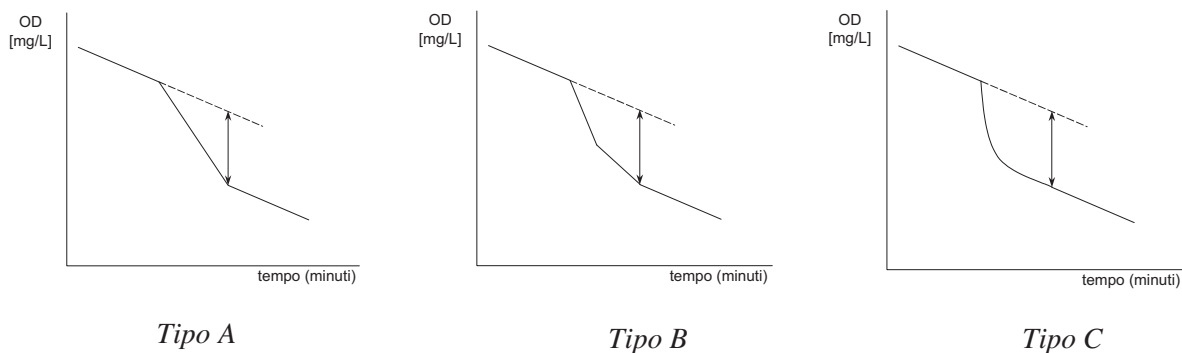
Di seguito sono riportati tre esempi di differenti velocità di consumo dell'ossigeno:

Tipo A: unico substrato puro rapidamente biodegradabile (es. acido acetico)

Tipo B: combinazione di due substrati puri

Tipo C: reflui reali

Fig. 6.4.1/1 - Velocità di consumo di ossigeno al variare del substrato aggiunto.



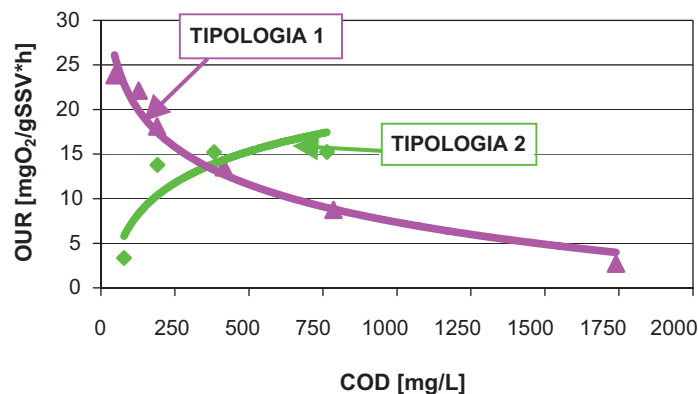
La modalità di esecuzione di un test di OUR può essere così riassunta:

- si immette nella beuta una quantità nota di fango;
- si determinano gli SST e SSV;
- si aerea il campione fino a portarlo a saturazione di O_2 ;
- si sospende l'aerazione e si dosa il liquame da testare tal quale oppure preventivamente diluito in acqua distillata;
- si misura la concentrazione di O.D. ad intervalli di tempo regolari mediante l'ossimetro;
- si elaborano i dati sperimentali registrati (calcolo dell'OUR).

Il valore di OUR è rappresentato dalla pendenza della retta che interpola l'andamento decrescente dei valori di OD nel tempo.

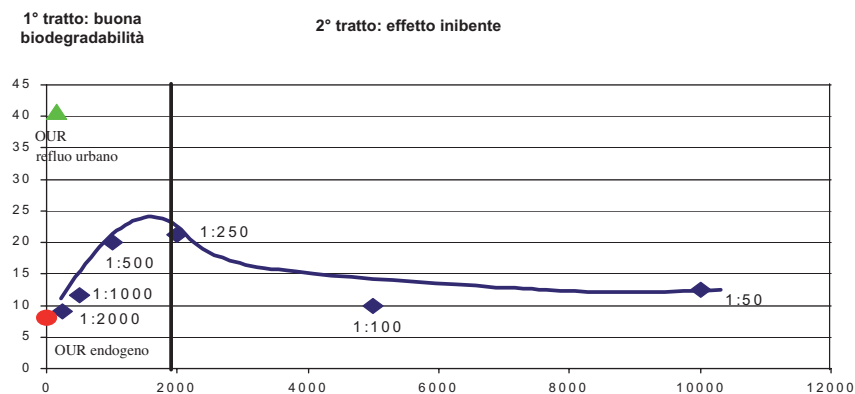
È possibile, in aggiunta, al variare della concentrazione iniziale di COD, verificare un possibile effetto inibente del substrato di cui si vuole studiare la trattabilità biologica sulla biomassa. I risultati ottenibili sono riassunti in figura 6.4.1/2:

Fig. 6.4.1/2 – Possibili risposte della biomassa all'aumentare del COD in un liquame.



La tipologia 1 rappresenta l'andamento tipico di un substrato che esercita un effetto inibente sulla biomassa, infatti all'aumentare del COD si nota una diminuzione del valore dell'OUR. La tipologia 2 rappresenta invece l'andamento tipico di un substrato dotato di buona biodegradabilità, infatti all'aumentare del COD si nota un aumento del valore dell'OUR. In figura 6.4.1/3 sono riportati i risultati sperimentali ottenuti sottoponendo un liquame di origine farmaceutica ad una serie di test respirometrici. Si osserva come da una certa concentrazione di COD (poco meno di 2.000 mg/L) il liquame ha un effetto inibente sulla biomassa.

Fig. 6.4.1/3 – Possibili risposte.

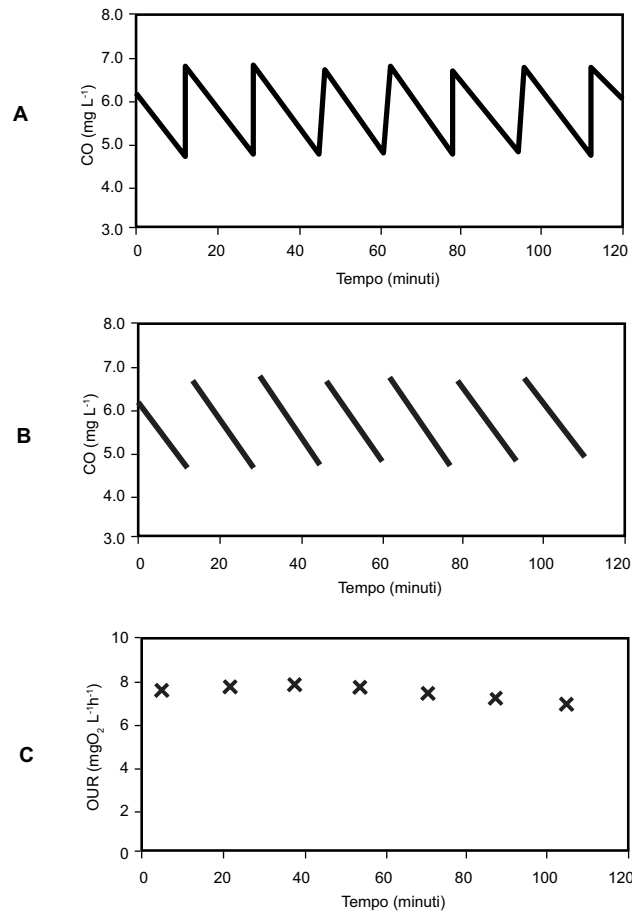


6.4.2 Il respirometro

Il respirometro è costituito da: un reattore in cui è immesso il campione da testare; una sonda di misurazione dell'ossigeno disciolto; un compressore d'aria ed un sistema di acquisizione dati interfacciato ad un computer.

Il respirogramma è una sequenza di valori di OUR acquisiti in continuo nel tempo. Per la determinazione di tale curva è necessario disporre di una successione di tratti decrescenti alterando nel reattore fasi di non aerazione e fasi di aerazione. In figura è rappresentata la sequenza operativa per l'ottenimento del respirogramma (figura 6.4.2/1).

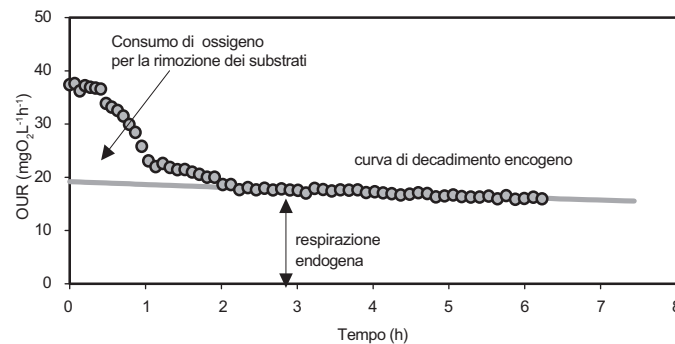
Fig. 6.4.2/1 – Costruzione di un respirogramma (Andreottola e Foladori, 2002).



Il respirogramma di un fango attivo prelevato dalla vasca di ossidazione (figura 6.4.2/2) può risultare distinto in due fasi principali:

- 3 una fase iniziale, in cui l'OUR presenta valori elevati che stanno ad indicare il consumo di ossigeno per l'ossidazione dei substrati carboniosi e/o dell'ammoniaca presenti nel fango attivo;
- 3 una seconda fase che rappresenta la respirazione endogena, che si osserva quando i substrati esogeni sono stati completamente ossidati.

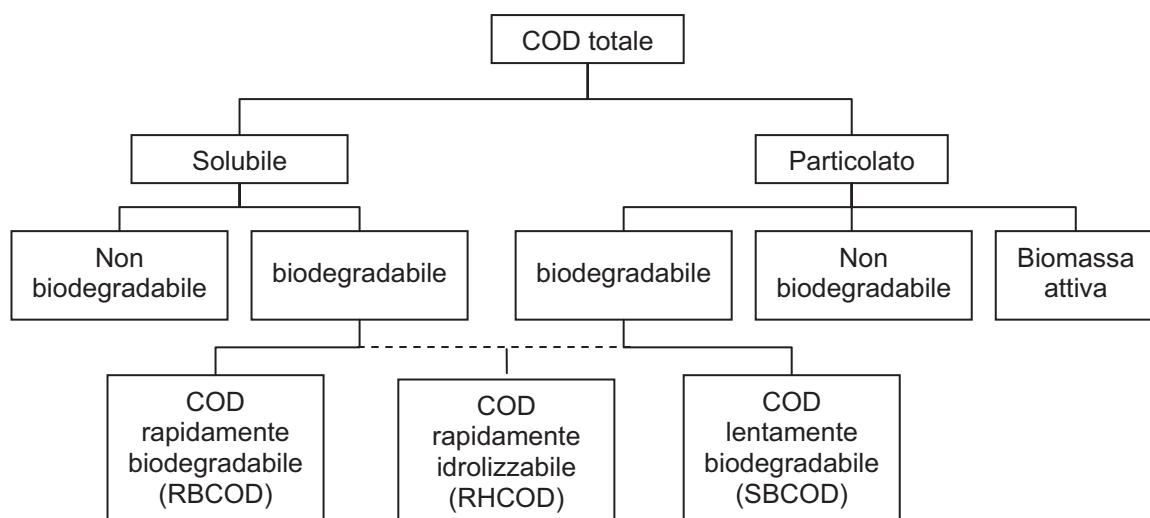
Fig. 6.4.2/2 – Respirogramma di un fango attivo (Andreottola e Foladori, 2002).



6.4.3 Un esempio di applicazione dei test di OUR: frazionamento del COD

Le tecniche respirometriche consentono di ottenere il frazionamento del COD totale nelle sue porzioni biodegradabile e non biodegradabile, secondo quanto implementato nei recenti modelli di progettazione dei processi a fanghi attivi. La caratterizzazione del COD totale in substrati rapidamente e lentamente biodegradabili richiede un tempo compreso tra alcune ore e 1 giorno. Il COD viene suddiviso in frazioni che hanno un preciso significato fisico e impiantistico, alle quali sia associabile una velocità di ossidazione riferibile ad un preciso processo di degradazione. Nella figura 6.4.3/1 è riportata la suddivisione tipica del COD totale.

Fig. 6.4.3/1 – Suddivisione del COD (Andreottola e Foladori, 2002).



La frazione solubile biodegradabile è rappresentata dal substrato rapidamente biodegradabile (RBCOD – *Readily Biodegradable COD*) e da parte del substrato rapidamente idrolizzabile (RHCOD – *Rapidly Hydrolyzable COD*). La frazione particolata biodegradabile è rappresentata dal substrato lentamente biodegradabile (SBCOD – *Slowly Biodegradable COD*) ed anch'essa da una porzione di substrato rapidamente idrolizzabile. La classificazione del COD perciò si basa, non solo su una distinzione fisica, ma soprattutto sul diverso destino subito dal substrato organico durante le fasi di trattamento.

Determinazione delle diverse frazioni

COD totale

Il COD totale si determina secondo metodiche convenzionali indicate negli Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1998) o nei metodi IRSA-CNR (1994), mediante ossidazione con bicromato di potassio, titolazione della quantità residua e risultato in equivalenti di ossigeno.

COD solubile

Per la determinazione del COD solubile si può utilizzare una metodica proposta da Mamais *et al.* (1992) relativa all'analisi del COD solubile flocculato.

In sintesi a 100 mL di campione vengono aggiunti 1 mL di una soluzione di solfato di zinco eptaidrato (100 g/L) ed idrossido di sodio, finché il pH del campione non raggiunge un valore superiore a 10,5. L'ambiente fortemente basico favorisce la flocculazione dei colloidali. Dopo aver lasciato sedimentare il campione, il surnatante viene filtrato su membrana 0,45 µm. Si procede quindi alla determinazione del COD totale secondo la procedura standard.

RBCOD – Readily Biodegradable COD

Il metodo utilizzato per stimare l'RBCOD si basa sull'ipotesi che la biomassa assimila la frazione rapidamente biodegradabile del COD nello stesso modo in cui assimila l'acido acetico o l'acetato di sodio. Questo metodo permette la determinazione dell'RBCOD mediante un test cosiddetto a singolo-OUR, poiché è sufficiente disporre di un unico tratto decrescente della concentrazione di ossigeno disciolto (OD).

L'RBCOD viene calcolato a partire dall'OD consumato sulla base di una curva di calibrazione mediante acetato di sodio secondo una procedura formulata originariamente da Xu e Hulman (1996) e ripresa successivamente da Ziglio *et al.* (2001).

Il vantaggio del metodo a singolo-OUR consiste nel breve tempo richiesto per l'esecuzione (circa 30 minuti).

Il test respirometrico per determinare tutte le frazioni di COD biodegradabile

La caratterizzazione del COD viene effettuata inserendo il refluo in un respirometro contenente fango attivo pre-aerato in condizioni endogene ed a temperatura controllata. Per avere una caratterizzazione attendibile è necessario che il fango attivo abbia le seguenti caratteristiche:

- deve essere acclimatato al refluo da testare;
- non deve aver subito recenti shock da composti tossici o inibenti.

Il procedimento completo per la preparazione del test consiste nei seguenti punti:

1. inserimento nel respirometro di un volume di fanghi attivi (V_r) con concentrazione di 2-3 kgSS/L, mantenuto aerato, miscelato e addizionato di ATU;
2. scelta del volume ottimale di refluo (V_{liq}), che deve essere tale da realizzare un rapporto S_0/X_0 (concentrazione di substrato/concentrazione di biomassa) indicativamente pari a 0,05;
3. dosaggio istantaneo ed in un'unica soluzione di V_{liq} ;
4. avvio del controllo dell'aerazione tra due set-point di ossigeno disciolto e rilevazione in continuo del segnale con frequenza di almeno 5-10 secondi.

Il test si conclude con il raggiungimento delle condizioni endogene.

Quantificazione del COD biodegradabile totale

L'applicazione della metodica sopra descritta produce un respirogramma come quello riportato in figura 6.4.3/2. Questo respirogramma presenta un andamento gradualmente decrescente legato alla progressiva scomparsa dei substrati dai più velocemente ai più lentamente biodegradabili. L'OUR presenta valori elevati all'inizio del test; in questa fase si verifica sia l'ossidazione dell'RBCOD, sia l'idrolisi dell'RHCOD e dell'SBCOD. La porzione finale del respirogramma corrisponde alla respirazione endogena.

L'area compresa (figura 6.4.3/2) tra il respirogramma completo e la respirazione endogena individua l'ossigeno totale utilizzato per l'ossidazione di tutto il COD biodegradabile nel refluo (COD_b).

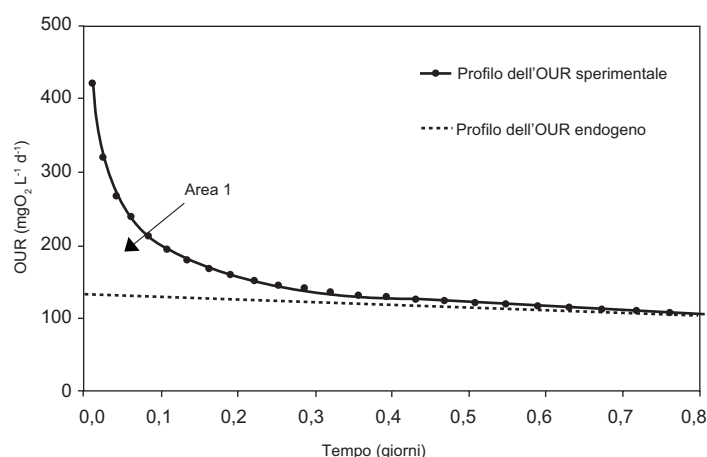
L'entità dell'area viene calcolata come differenza tra l'integrale del respirogramma e l'integrale della curva di decadimento endogeno.

Sulla base dell'ossigeno totale consumato si calcola la quantità di COD effettivamente biodegradato mediante la seguente espressione:

$$\Delta COD_b = \frac{1}{1 - f_{cv} \cdot Y_H} \cdot \Delta O \cdot \frac{V_{liq} + V_f}{V_{liq}}$$

In cui f_{cv} rappresenta il coefficiente di conversione tra COD e SSV, pari a 1,42 – 1,48 mgCOD/mgSSV e Y_H rappresenta il coefficiente di resa cellulare specifica dei batteri eterotrofi, pari a 0,45 mgSSV/mgCOD.

Fig. 6.4.3/2 – *Respirogramma relativo all'ossidazione di un substrato biodegradabile e curva di decadimento endogeno (Andreottola e Foladori, 2002).*



Misura della quantità RHCOD+SBCOD

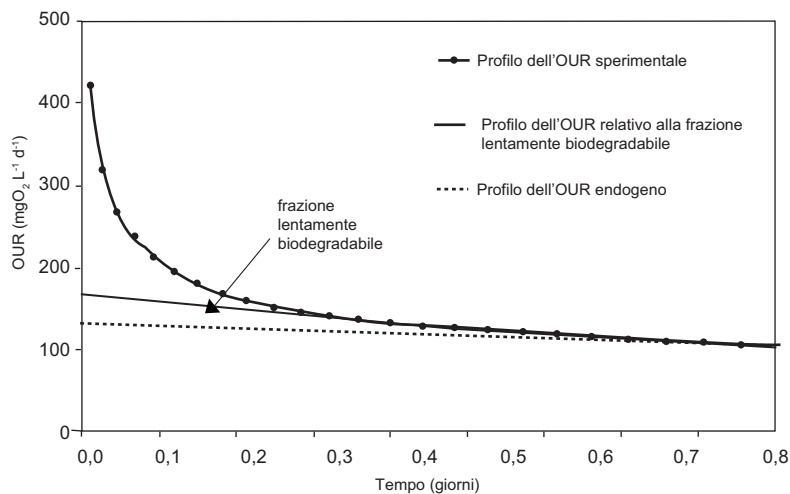
Il COD_b può essere ulteriormente suddiviso nelle seguenti frazioni:

1. RBCOD: si determina con la metodica sopra riportata;
 2. SBCOD+RHCOD: la somma di queste due frazioni si ottiene sottraendo RBCOD da COD_b.
- Questa suddivisione primaria del COD biodegradabile totale ha un'immediata ripercussione nel dimensionamento e controllo degli impianti, in quanto all'entità dell'RBCOD è associata la disponibilità di substrato per la denitrificazione e/o per la defosfatazione biologica.

La dinamica di rimozione di SBCOD+RHCOD è invece importante per verificare l'effettiva rimozione nella vasca di ossidazione dell'impianto in funzione dell'HRT.

Per poter estrapolare il profilo dell'OUR relativo al consumo dell'RHCOD è necessario scorporre preliminarmente il contributo dell'SBCOD. Una volta determinato il respirogramma ed individuato l'andamento dell'OUR endogeno, si può elaborare il contributo relativo alla frazione lentamente biodegradabile adottando uno schema di integrazione alle differenze finite. Per determinare i parametri cinetici $v \cdot x_H$ e K_s , e quindi definire il respirogramma relativo al solo SBCOD, si applica il metodo dei minimi quadrati, ovvero si determinano i valori $v \cdot x_H$ e K_s in grado di minimizzare lo scarto tra la funzione modellizzata e i punti sperimentali. In tal modo è possibile ricostruire il profilo dell'OUR relativo all'SBCOD, come indicato in figura 6.4.3/3.

Fig. 6.4.3/3 – Individuazione della frazione SBCOD all'interno del respirogramma (Andreottola e Folladori, 2002).



Una volta individuato l'andamento dell'OUR correlabile all'utilizzo della frazione lentamente biodegradabile, il respirogramma relativo al consumo della frazione rapidamente idrolizzabile può essere determinato con un procedimento del tutto analogo al precedente. La sola eccezione è che i valori di $v \cdot x_H$ e K_s vengono fatti variare all'interno di un range sperimentale identificato per un substrato puro adottato come standard di riferimento per caratterizzare il substrato rapidamente idrolizzabile.

6.4.4 Test di AUR e di NUR

Per la caratterizzazione delle cinetiche biologiche, accanto al test respirometrico basato sulla misura dell'OUR, possono essere utilizzati anche i test di AUR (*Ammonia Utilization Rate*) per la valutazione della cinetica di nitrificazione ed il test di NUR (*Nitrate Utilization Rate*) per la misura della cinetica di denitrificazione e per la caratterizzazione dei substrati carboniosi per la denitrificazione.

Test di AUR (*Ammonia Uptake Rate*): permette di effettuare in maniera semplice la misura dell'attività dei batteri nitrificanti presenti nella biomassa degli impianti a fanghi attivi.

Il test di AUR può essere applicato per:

1. misurare le cinetiche di nitrificazione;
2. valutare il grado di inibizione (determinazione dell'eventuale effetto inibente sui batteri nitrificanti da parte di un liquame contenente sostanze potenzialmente tossiche).

Modalità di esecuzione

In un reattore batch di alcuni litri vengono miscelati i fanghi attivi con acqua pulita per raggiungere una concentrazione di solidi pari a 2-3 gSST/L. Dopo aver mantenuto la miscela aerata per alcune ore in condizioni endogene, si aggiunge una quantità nota di azoto ammoniacale per arrivare ad una concentrazione nel reattore di circa 20 mgN/L. La miscela va mantenuta continuamente aerata, in modo che l'ossigeno disciolto non risulti mai limitante. Ad intervalli

temporali di 15-30 minuti e per un tempo complessivo di 3-4 ore vengono prelevati campioni di fango attivo, filtrati su filtro a carta ed eseguite le analisi di azoto ammoniacale, nitroso e nitrico. La velocità di nitrificazione, ovvero il valore di AUR, si calcola dalla pendenza della curva di utilizzazione dell' N-NH_4^+ o da quella di produzione di N-NO_2^- ed N-NO_3^- .

Test di NUR (Nitrate Uptake Rate): è un metodo della durata di qualche ora che permette di ottenere una rapida stima dell'attività denitrificante di un fango attivo.

Il test di NUR può essere applicato per:

1. misura delle cinetiche di denitrificazione;
2. caratterizzazione di substrati organici.

Modalità di esecuzione

Si utilizza una miscela di fango attivo, eventualmente diluita per raggiungere un concentrazione di solidi pari a 2-3 gSST/L. Il test NUR viene eseguito in assenza di ossigeno disciolto, mantenendo miscelato il campione ed avendo cura di limitare la diffusione dell'ossigeno dall'aria sovrastante, eventualmente aggiungendo N_2 gassoso per evitare l'ingresso di ossigeno dall'esterno. All'inizio del test si aggiunge una quantità di nitrati, in modo da raggiungere nel reattore una concentrazione di 20-30 mgN/L. Se si ritenesse di essere in presenza di una insufficiente quantità di substrato carbonioso, si può prevedere un'aggiunta di substrato esterno. Non viene aggiunto carbonio, invece, nel caso in cui si richiede la determinazione del NUR endogeno; in tal caso è indicato mantenere la miscela in aerazione per alcune ore prima dell'esecuzione del test al fine di raggiungere le condizioni endogene, ovvero l'esaurimento dei substrati carboniosi presenti originariamente nel fango attivo. Ad intervalli temporali di 15-30 minuti e per un tempo complessivo di 3-4 ore vengono prelevati dei campioni di fango attivo, filtrati su filtro a carta ed eseguite le analisi di azoto nitroso e nitrico. La velocità di denitrificazione, ovvero il valore di NUR viene calcolato dalla pendenza della curva di utilizzazione di N-NO_3^- .

6.4.5 Esempio di applicazione dei test per il monitoraggio dell'attività della biomassa in impianti a fanghi attivi

Di seguito si riportano i risultati di uno studio (Bertanza *et al.*, 2003) che rappresenta il seguito di un precedente lavoro (Andreottola *et al.*, 2001) in cui si è voluta sperimentare l'applicazione in parallelo di alcune tecniche di monitoraggio dell'attività della biomassa in un impianto di depurazione municipale, con l'intento di valutare la possibilità di individuare parametri di monitoraggio, da affiancare a quelli tradizionali, che siano maggiormente e più significativamente correlabili al processo biologico. A tal fine è stata effettuata, presso l'impianto "Città di Verona", una campagna di monitoraggio dal febbraio 2001 al maggio 2002 determinando l'attività deidrogenasica del fango attivo (citata nel paragrafo 5.5.4) ed effettuando test di OUR e AUR. I risultati sono stati confrontati con i dati di funzionamento dell'impianto nel tentativo di trovare possibili correlazioni.

I campioni di fango utilizzati per la misura dell'attività deidrogenasica venivano prelevati in uscita dalle vasche di ossidazione.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei parametri chimico - fisici e operativi dell'impianto sono stati considerati i dati forniti dal laboratorio di analisi situato presso l'impianto stesso.

I dati relativi ai parametri chimici per la linea acque, ottenuti giornalmente in laboratorio, fanno riferimento a tre stazioni di campionamento automatico poste sull'impianto rispettivamente:

- all'ingresso (in), dove si preleva un campione medio nell'arco delle 24 ore (con prelievi ogni 30 minuti);
- all'uscita dai sedimentatori primari (ox), dove si preleva un campione medio nell'arco delle 24 ore (con prelievi ogni 30 minuti);
- all'uscita dai trattamenti secondari (out), dove si prelevano campioni medi su quattro ore (sempre con prelievi ogni 30 minuti), ottenendo quindi sei campioni nell'arco delle 24 ore.

Alle 8.00 di ogni mattina vengono raccolti i recipienti contenenti i campioni delle 24 ore precedenti, e si procede alle analisi dei parametri chimici nel seguente modo:

- sui campioni "in" e "ox" si effettuano le analisi del COD e dell'azoto ammoniacale, che forniscono un valore medio sulle 24 ore;
- sui campioni "out" per le forme azotate si analizzano tutti i 6 contenitori, mentre per gli altri parametri si esegue l'analisi su un campione ottenuto miscelando il contenuto dei 6 contenitori.

Per quanto concerne invece i parametri operativi dell'impianto, vengono monitorati, in continuo: la concentrazione di ossigeno disciolto (O.D.) nelle quattro vasche di ossidazione; la portata all'uscita finale; la portata di ricircolo dei fanghi; la portata del fango di supero.

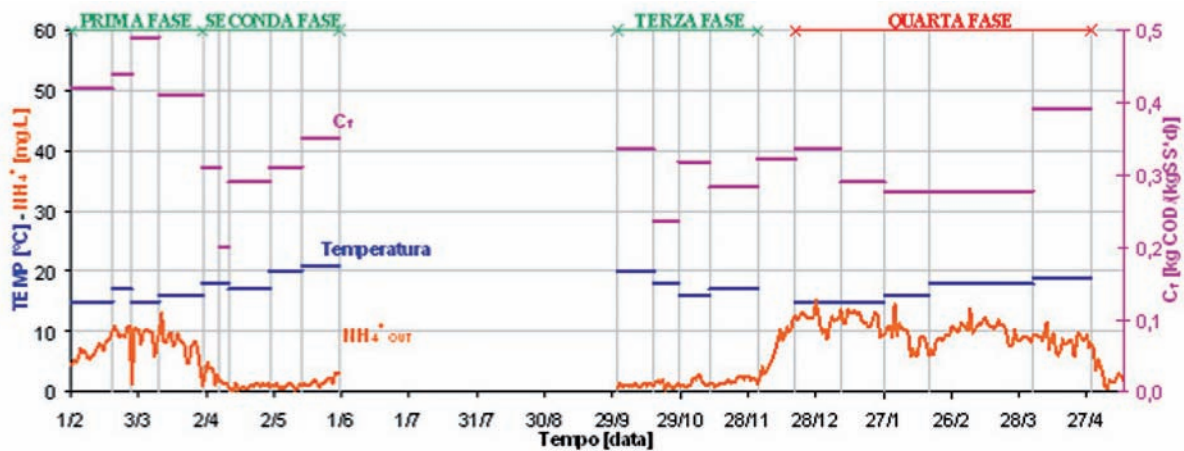
La misura dell'OUR viene effettuata prelevando un campione di mixed liquor dalla vasca di ossidazione e diluendolo in modo da ottenere una concentrazione di SSV pari a circa 2 g/L. Nel caso specifico si è proceduto alla determinazione del consumo di ossigeno (OUR) dosando 70 mg/L di acetato di sodio oltre ad alliltiourea come inibitore del processo di nitrificazione.

La misura dell'AUR viene effettuata (sempre su un campione di mixed liquor prelevato dalla vasca di ossidazione e diluito in modo da ottenere una concentrazione di SSV pari a circa 2 g/L) dosando una soluzione contenente ione ammonio (ammonio carbonato; dosaggio pari a 50 mg/L). Ogni 30 minuti viene determinata la concentrazione di nitrati per l'intera durata della prova (4÷5 h), così da ricavare la velocità di nitrificazione.

Tra i numerosi parametri monitorati nel periodo da febbraio 2001 a maggio 2002, quelli che hanno permesso l'individuazione di fasi di funzionamento ragionevolmente "omogenee" sono: temperatura, carico del fango e azoto ammoniacale in uscita dai trattamenti secondari.

Le fasi individuate sono riportate in figura 6.4.4/1.

Fig. 6.4.4/1 – Concentrazione di ammoniaca effluente ($NH_4^+_{out}$) e valori medi del carico del fango (C_f) e della temperatura nelle diverse fasi di funzionamento “omogeneo” dell’impianto.



Le caratteristiche di funzionamento dell’impianto sono riportate nella tabella 6.4.4/1.

Tab. 6.4.4/1 – Condizioni di funzionamento dell’impianto nell’arco del periodo di osservazione.

Periodo	Date	C_f medio (kg COD/(kg SS*d))	$COD_{out,media}$ (mg/L)	$N-NH_4^+_{out,media}$ (mg/L)	T_{media} (°C)	η_{COD} [%]	η_{NH_4} [%]	η_{Nit} [%]
I	1 feb - 31 mar	0,44	136	8,2	16	63	42	31
II	1 apr - 31 mag	0,29	36	1,6	19	91	77	83
III	1 ott - 2 dic	0,29	51	1,5	18	86	90	88
IV	20 dic - 29 apr	0,31	99	10,3	16	78	40	26

Le rese di nitrificazione delle fasi I, II e III sono giustificabili in base all’andamento del carico del fango e della temperatura; nell’ultima fase, invece, si sono verificati problemi di funzionamento che hanno determinato un incremento repentino della concentrazione di ammoniaca in uscita, nonostante i parametri di processo non fossero tali da determinare un calo così marcato delle rese di nitrificazione.

Si è cercato dunque di verificare se l’andamento dei parametri indicatori dell’attività della biomassa (OUR, AUR e NAD) fosse correlabile alle diverse condizioni di funzionamento dell’impianto. In particolare l’elaborazione dei dati gestionali ha messo in luce quanto segue.

F AUR: la presenza e l’attività dei batteri nitrificanti (e quindi l’AUR) possono essere correlati al rapporto temperatura - carico del fango; questo tipo di correlazione effettuata sui dati raccolti ha permesso di individuare una fascia di valori corrispondente a condizioni di buon funzionamento dell’impianto (figura 6.4.4/2), in cui il verificarsi o meno della nitrificazione dipende essenzialmente dal carico del fango e dalla temperatura. Viceversa, all’insorgere di problemi al processo di nitrificazione i valori dell’AUR sono ricaduti al di fuori di tale fascia, indicando che le basse rese non erano imputabili a bassa temperatura e/o alto carico del

fango, bensì ad altre cause (es. introduzione di sostanze inibenti e/o difficilmente biodegradabili, come peraltro evidenziato dall'attività deidrogenasica: vedi punto successivo).

F **OUR:** anche per questo parametro è stata individuata una significativa correlazione con il carico del fango (figura 6.4.4/3): in questo caso, nel periodo in cui la nitrificazione evidenziava carenze, l'OUR si è comunque mantenuto entro la fascia che caratterizza condizioni di buon funzionamento. Questo è giustificato dal fatto che i batteri eterotrofi, a differenza degli autotrofi, non hanno risentito delle cause di perturbazione esterne.

F **Attività deidrogenasica:** la concentrazione di TPF, confrontata con l'azoto ammoniacale in uscita dai trattamenti secondari (figura 6.4.4/4) mostra, nella fase di buon funzionamento (terza fase), un andamento abbastanza omogeneo, mantenendosi intorno a valori relativamente scarsi, correlabili al basso carico del fango. In corrispondenza di problemi al comparto di nitrificazione si registra dapprima un repentino innalzamento seguito da una diminuzione fino ad arrivare a valori che comunque si mantengono più elevati di quelli misurati nella fase precedente di buon funzionamento. Questo andamento non è però direttamente correlabile al carico del fango, che si mantiene limitato. Si può pertanto ipotizzare l'immissione di un substrato difficilmente biodegradabile/inibente (probabilmente associato agli scarichi industriali in fognatura e/o ai rifiuti liquidi conferiti su gomma) che abbia, da una parte, incrementato l'attività dei batteri eterotrofi e, dall'altra parte, inibito i batteri nitrificanti.

Fig. 6.4.4/2 - Andamento dell'AUR in funzione del rapporto temperatura / carico del fango.

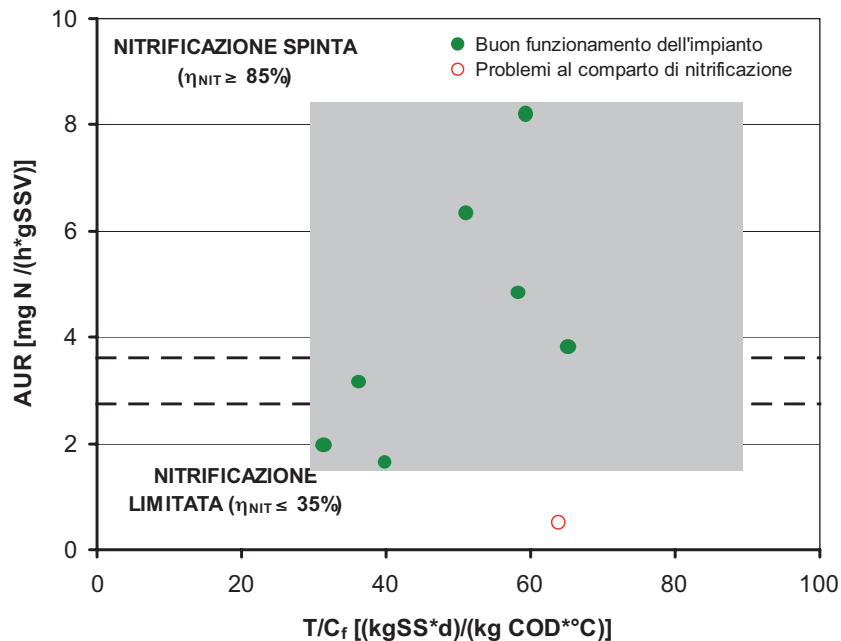


Fig. 6.4.4/3 – Andamento dell' OUR in funzione del carico del fango.

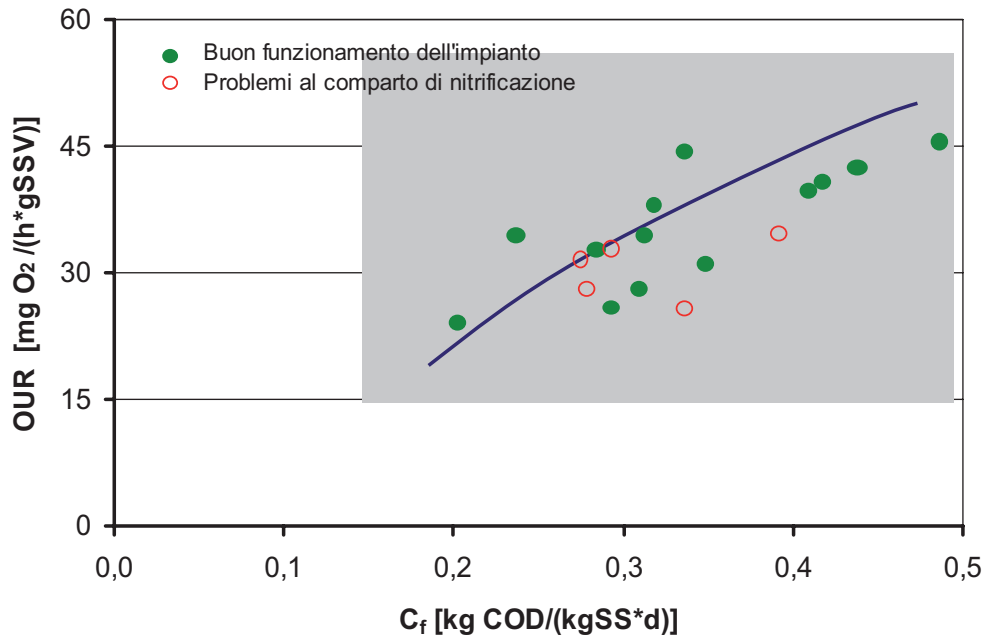
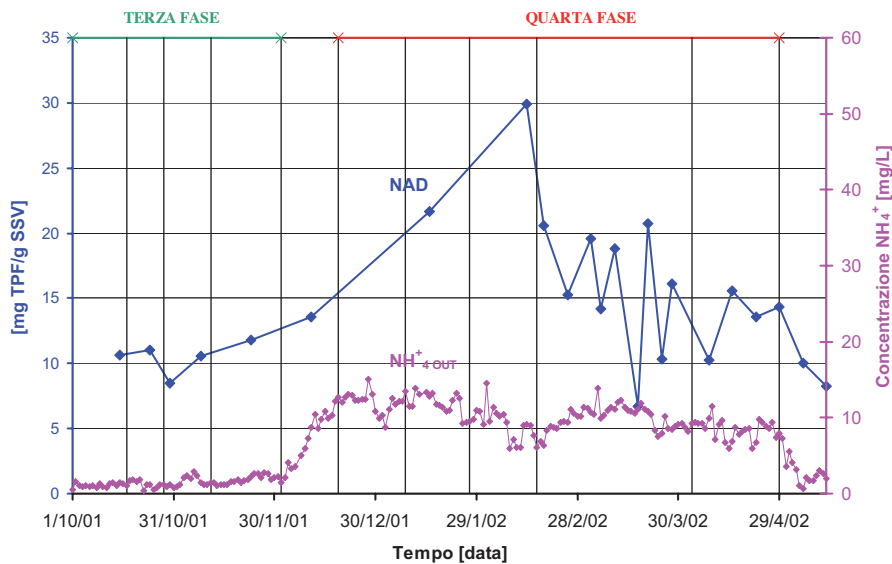


Fig. 6.4.4/4 – Confronto tra l'andamento dell'attività deidrogenasica e la concentrazione di ammoniaca nell'effluente.



Dal lavoro, che non può considerarsi esaustivo in quanto rappresenta la prima fase di una ricerca in corso di svolgimento, emergono le seguenti conclusioni principali:

F i *test respirometrici*, che sono ormai effettuati (almeno nelle versioni più semplificate) ad essere utilizzati presso gli impianti di depurazione più attrezzati e con personale qualificato, hanno evidenziato come essi possano in effetti risultare utili indicatori dell'attività della bio-

massa. Infatti si è potuto osservare che, mentre nei periodi di buon funzionamento dell'impianto essi hanno un andamento concorde (OUR) od opposto (AUR) al carico del fango, nei periodi in cui si evidenziano problemi di funzionamento dell'impianto essi evidenziano una scarsa attività della biomassa (rispettivamente eterotrofa e autotrofa). Questa correlazione è evidenziata dalle fasce di valori indicate nelle figure 6.4.4/3 e 4, ottenute considerando i dati di funzionamento dell'impianto per un periodo di 12 mesi. L'OUR, in particolare, durante il periodo di buon funzionamento dell'impianto è variato tra 24 e 45 mgO₂/gSSV*h in corrispondenza di oscillazioni del carico del fango tra 0,2 e 0,5 kgCOD/kgSS*d, mentre l'AUR è variato da 1,4 a 8,2 mgN/gSSV*h. Nel periodo di mal funzionamento, l'AUR è sceso al di sotto di 0,5 mgN/gSSV*h mentre l'OUR si è mantenuto nell'intervallo 26-36 mgO₂/gSSV*h non evidenziando uno scostamento significativo rispetto alla fase di buon funzionamento, in quanto i problemi sono sorti a livello del processo nitrificazione, quindi, ragionevolmente con scarso effetto sulla biomassa eterotrofa.

F L'*attività deidrogenasica* ha mostrato una marcata dipendenza dallo "stato di salute" della biomassa e dalle caratteristiche del substrato entrante. Infatti, sia durante il monitoraggio dell'impianto, sia nelle prove batch, si è evidenziato che:

- un maggior carico organico determina un aumento dell'attività deidrogenasica;
- una piena intossicazione determina un crollo di attività;
- una immissione di sostanza organica non prontamente degradabile determina un incremento dell'attività deidrogenasica.

7. VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ “NON CONVENZIONALI” APPLICATE AD IMPIANTI CHE TRATTANO RIFIUTI LIQUIDI

7.1 DETERMINAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRATTAMENTO DI RIFIUTI LIQUIDI DA PARTE DI UN IMPIANTO

Secondo il D.lgs. 152/06 (art. 110), gli impianti di depurazione municipali possono essere autorizzati a smaltire rifiuti liquidi (tra cui, in particolare, percolati di discarica e rifiuti provenienti da attività industriali trasportati su gomma presso l'impianto) a patto che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

- 1) sia garantita la compatibilità dei rifiuti con il processo di depurazione;
- 2) non sia oltrepassata la capacità residua di trattamento;
- 3) non sia compromesso il possibile riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi.

In aggiunta, il D.M. 367/03 (al di là della sua applicabilità effettiva, sia in riferimento al D.lgs. 152/99 (Albertazzi, 2005), sia nell'attuale panorama delineato dal D.lgs. 152/06) stabiliva, per circa 160 sostanze pericolose, le concentrazioni massime ammissibili nei rifiuti “all'ingresso dell'impianto di trattamento delle acque reflue urbane” (a valle, cioè, dei pre-trattamenti specifici). Ciò allo scopo di evitare che il rispetto dei limiti all'effluente venga conseguito grazie alla “diluizione” da parte della portata complessiva trattata nell'impianto, piuttosto che all'effettiva rimozione delle sostanze inquinanti.

Tuttavia, non sono disponibili criteri ufficiali per la quantificazione di questi vincoli; tale quantificazione coinvolge di fatto diversi aspetti (Bertanza e Collivignarelli, 2007):

- A. la valutazione della capacità di trattamento effettiva di un impianto (che è funzione della dimensione dell'impianto stesso e della tecnologia impiegata, dell'età della struttura, delle procedure gestionali adottate ecc.) riguarda non solo i parametri convenzionali (come BOD, COD, N ecc.) ma anche metalli pesanti, composti organici specifici (es: il dieldrin) o categorie di composti (es: i solventi clorurati), sostanze “conservative” (es: i cloruri) ecc. Ciò richiede il calcolo dei bilanci di massa (paragrafo 6.3) per diverse sostanze (attraverso la valutazione del livello di degradazione, volatilizzazione, ripartizione tra fase solida e liquida ecc.) al fine di stimare la concentrazione risultante di ogni contaminante in ogni flusso e verificare il non superamento di diversi limiti specifici (per esempio nell'effluente per lo scarico, nel fango per il suo riuso o smaltimento, nel reattore biologico per evitare l'inibizione della biomassa ecc.);
- B. la valutazione dei carichi influenti effettivi: vanno valutati la portata effettiva, i carichi in termini di massa e le loro variazioni nel breve, medio e lungo termine;
- C. l'analisi dei criteri gestionali adottati e della loro influenza sulla capacità di trattamento dell'impianto;
- D. con particolare riguardo al flusso dei rifiuti, aspetti importanti da considerare sono: le procedure di caratterizzazione, la definizione dei processi unitari e degli schemi di trattamento più idonei, i criteri di monitoraggio dei pretrattamenti, i criteri di alimentazione dei rifiuti pre-trattati all'impianto di depurazione, la compatibilità reciproca tra diverse tipologie di rifiuti (valutando possibili rischi derivanti dalla miscelazione).

Per definire la capacità, da parte di un impianto, di trattare un determinato rifiuto, è necessario conoscerne la composizione chimica, la quantità e, per ogni sostanza contenuta nel rifiuto stesso, occorre considerare due aspetti di primaria importanza:

-
- 1) la definizione del comportamento dell'inquinante all'interno dell'impianto e quindi il calcolo del bilancio di massa;
 - 2) la definizione di fattori limitanti (vincoli) sulla base dei quali calcolare la capacità di trattamento dell'impianto.

Inoltre, naturalmente, sono richieste una approfondita conoscenza delle caratteristiche del liquame fognario influente all'impianto e la valutazione della effettiva capacità di trattamento dell'impianto stesso.

Valutare l'effettiva capacità di trattamento dell'impianto significa conoscere il carico entrante (con il liquame fognario) effettivo. La valutazione del carico entrante richiede la determinazione delle caratteristiche del liquame, sia in termini qualitativi (si consideri in particolare il contributo degli scarichi industriali, con possibile presenza di sostanze poco o non biodegradabili, tossiche/inibenti per il processo biologico, accumulabili nei fanghi di supero, rimovibili o meno mediante gli eventuali trattamenti chimico-fisici previsti in impianto ecc.), sia in termini quantitativi (in particolare risulta rilevante il rapporto tra portata media in tempo asciutto e portata massima da trattare in tempo di pioggia; inoltre può essere elemento determinante la variazione di portata nell'arco della giornata). Al fine di ottenere dati affidabili per le successive valutazioni, l'analisi dei dati gestionali dell'impianto deve essere condotta molto attentamente (elementi critici sono, per esempio, la durata del periodo cui i dati si riferiscono e la sua significatività, i criteri di campionamento adottati e possibili problemi incontrati nel funzionamento dell'impianto durante il periodo di monitoraggio ecc.);

La capacità di trattamento di un impianto dipende da molti fattori tra cui:

- la dimensione dell'impianto e la tecnologia impiegata;
- le condizioni operative mantenute: concentrazione di ossigeno disciolto nei reattori di ossidazione, concentrazione di solidi sospesi nel mixed liquor, carico del fango ed età del fango, eventuale dosaggio di reattivi chimici in alcune sezioni dell'impianto ecc.;
- le caratteristiche quali-quantitative del liquame entrante e la loro variazione nel tempo a breve, medio e lungo termine, in condizioni di tempo asciutto e in tempo di pioggia;
- l'efficienza effettiva: l'efficienza di rimozione dei vari composti deve essere calcolata sotto diverse condizioni operative, calcolando i bilanci di massa sulla base dei dati gestionali;
- le condizioni delle strutture civili e delle apparecchiature elettro-meccaniche presenti: aderenza delle medesime alle previsioni progettuali (es. corrispondenza tra la capacità reale dei sistemi di fornitura dell'ossigeno e capacità nominale dichiarata dal fornitore/costruttore), possibile (naturale) riduzione delle prestazioni a seguito dell'invecchiamento delle apparecchiature e strutture.

Ovviamente, in caso l'impianto sia ancora da costruire, tutte le valutazioni devono essere svolte sulla base dei dati di progetto, piuttosto che dei dati gestionali.

Per i comparti di sedimentazione, la verifica della capacità di trattamento sarà incentrata sui parametri idraulici, comunque sempre tenendo conto della necessità di valutare i molti aspetti sopra menzionati. Infine, non va dimenticato che una verifica completa deve necessariamente riguardare anche la linea fanghi.

7.2 TEST IN BATCH PER IMPIANTI BIOLOGICI TERMOFILI: ALCUNE APPLICAZIONI

I sistemi di trattamento aerobici termofili (TAT) rappresentano un processo relativamente recente per il trattamento di reflui ad alto contenuto organico e/o reflui ad alta temperatura. Sebbene le ricerche inerenti a questo argomento risalgano ai primi anni '50, sono ancora pochi gli esempi operanti su scala reale, infatti le caratteristiche dei sistemi termofili evolvono in maniera complessa ed apparentemente casuale, e questo ne rende difficoltoso l'utilizzo.

I sistemi termofili riguardano processi con temperature superiori a 40°C; per raggiungere questa temperatura senza costi eccessivi è possibile ricorrere a due alternative:

1. utilizzo di acque già riscaldate, provenienti da particolari processi produttivi, come nel caso delle cartiere;
2. utilizzo di reflui aventi un elevato carico organico.

Il secondo caso è legato al fatto che le reazioni di degradazione della sostanza organica sono di tipo esotermico, quindi i valori di temperatura richiesti possono essere mantenuti senza la necessità di fornire calore, ma semplicemente adottando alcuni accorgimenti:

- una sufficiente concentrazione di sostanza organica biodegradabile;
- un buon isolamento termico del reattore.

I vantaggi (Lapara, Alleman, 1999) ottenibili dal trattamento di acque e fanghi con un elevato carico organico tramite processi termofili sono numerosi; i principali sono:

- elevata velocità di rimozione del substrato organico (fino a 3-10 volte superiore rispetto ai trattamenti mesofili): il primo passo del trattamento biologico è l'idrolisi della sostanza organica, questo permette di solubilizzare il substrato rendendolo disponibile per l'ossidazione biologica. Dagli studi condotti è emerso che le alte temperature alle quali operano i processi termofili, accelerano la fase di idrolisi; questo fa sì che a parità di sostanza organica rimossa si riducano i tempi di ritenzione idraulica nel refluo e di conseguenza anche le dimensioni del reattore rispetto ai convenzionali trattamenti in campo mesofilo;
- bassa produzione di fango: gli organismi attivi nei processi termofili presentano una velocità di riproduzione estremamente bassa, questo riduce la quantità di fango da smaltire, e, poiché questa fase rappresenta uno dei maggiori costi operativi per un impianto di depurazione, si ottiene un notevole risparmio in termini economici;
- stabilità del processo: vi è un rapido recupero qualora vi siano variazioni delle condizioni operative;
- inibizione degli agenti patogeni: la capacità di inibire i patogeni può essere un aspetto fondamentale nel trattamento di alcuni tipi di reflui, come quelli zootecnici.

I TAT appaiono quindi indicati per il trattamento di acque particolarmente concentrate a basso flusso, o con tossicità dovuta alla presenza di composti pericolosi.

Gli **svantaggi** sono:

- incremento dei costi di gestione rispetto ai sistemi mesofili: vi è un maggiore consumo di ossigeno in quanto il substrato viene convertito in gran parte in CO₂ e H₂O anziché essere utilizzato per accrescere la massa cellulare. La richiesta di ossigeno può aumentare anche del 14 % rispetto ai sistemi convenzionali (Surucu *et al.*, 1976) (Lapara, Alleman, 1999);
- scarse caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi: all'aumentare della temperatura diminuisce la velocità di sedimentazione (Eckenfelder, 2002).

La scarsa sedimentabilità del fango rende difficile la chiarificazione dell'effluente e limita l'efficienza del trattamento; l'incremento della temperatura porta ad un aumento della concentrazione sia del COD, che dei SST nell'effluente.

La causa del problema è da attribuirsi alla scarsa capacità della biomassa di formare fiocchi, a sua volta dovuta alla mancanza di batteri fiocco-formatori che faticano a svilupparsi in un ambiente a loro non ideale, quale può essere quello dei reattori biologici a temperatura elevata.

- **formazione di schiume:** per ragioni analoghe a quelle espresse nel punto precedente, vi è un'eccessiva presenza di batteri filamentosi (Eckenfelder, 2002).

Per valutare la trattabilità biologica in campo termofilo vengono di seguito riportati alcuni esempi di applicazioni di test respirometrici di tipo "non convenzionale" quali test di OUR in condizioni termofile/mesofile, con immissione di aria o ossigeno puro sugli effluenti di impianti (funzionanti rispettivamente in condizioni di temperatura mesofila e termofila) e misure di BOD₅ alle due diverse temperature.

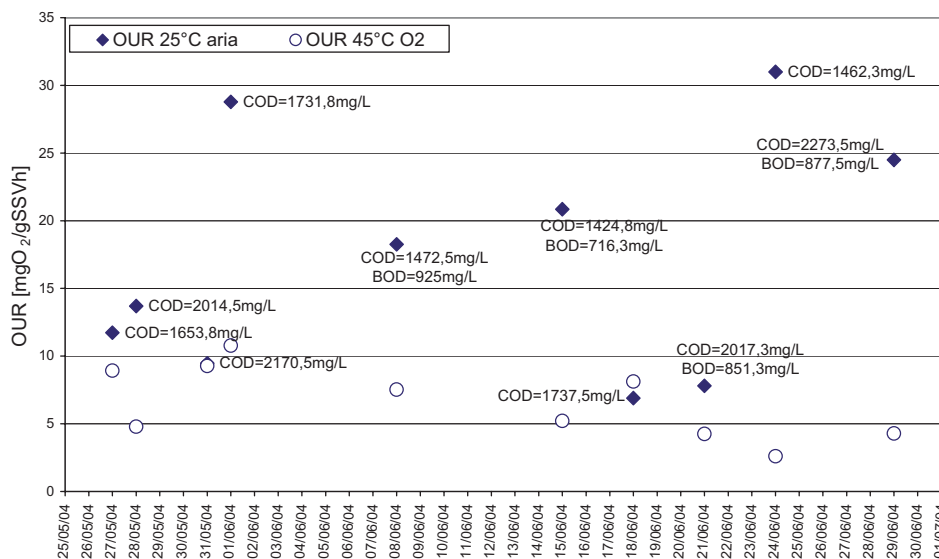
Esempi di applicazioni

Test di OUR effettuati sull'effluente di un comparto biologico termofilo

In Figura 7.2/1 è riportato il confronto fra gli OUR effettuati sull'effluente del comparto termofilo mediante ossigeno e aria (Bertanza *et al.*, 2006).

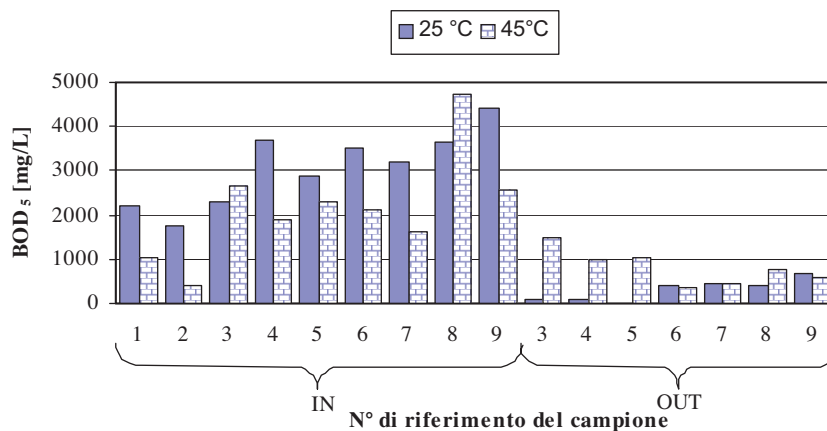
Dal confronto fra gli OUR a 25 °C e quelli a 45 °C è emerso che gli OUR a 25 °C con biomassa mesofila presentano valori superiori a quelli a 45 °C con biomassa termofila; questo risultato evidenzia come il liquame in uscita dal trattamento termofilo sia caratterizzato dalla presenza di sostanza organica residua che risulta ben biodegradabile da parte di una biomassa mesofila, essendo però refrattaria alla degradazione in campo termofilo.

Fig. 7.2/1 – Confronto fra gli OUR effettuati a 25°C (biomassa mesofila) e a 45 °C (biomassa termofila).



Le misure di BOD_5 a 25°C e a 45°C (Figura 7.2/2), hanno confermato i risultati delle prove di OUR (infatti i BOD_5 a 25°C sono risultati in generale maggiori di quelli a 45°C); questi risultati hanno fatto ipotizzare, da un lato, che nel trattamento termofilo è presente biomassa non solo termofila (dal momento che le misure di BOD_5 sono state effettuate senza inoculo di fango); dall'altro lato conferma i benefici ottenibili dall'impiego di un trattamento biologico mesofilo a valle.

Fig. 7.2/2 – Confronto tra i valori di BOD_5 misurati a 25°C e a 45°C su campioni prelevati sia in ingresso sia in uscita dall'impianto pilota mesofilo.



Test effettuati sull'effluente di un comparto biologico mesofilo

Anche in uscita dal trattamento mesofilo sono state effettuate misure di BOD_5 alle due diverse temperature (Figura 7.2/3): in questo caso, se si suppone che l'effetto della temperatura sia quello di incrementare la velocità di reazione (con questa ipotesi viene trascurato il possibile ruolo della biomassa termofila presente), le misure di BOD_5 a 45°C possono essere assunte come "indicatori" della sostanza organica che potrebbe essere degradata con un tempo di ritenzione idraulica maggiore.

Di conseguenza, nel caso in cui i BOD_5 a 25°C risultassero molto minori dei BOD_5 a 45°C (Figura 7.2/3) significherebbe che c'è ancora sostanza organica biodegradabile residua e si può supporre che un aumento del tempo di permanenza potrebbe avere effetti positivi, mentre se le due misure risultassero simili (Figura 7.2/4) significherebbe che, anche in condizioni più favorevoli (tempo di ritenzione idraulica o temperatura più elevati), non si potrebbe incrementare il rendimento di rimozione della sostanza organica.

Fig. 7.2/3 – Andamento del BOD_5 a 25 e a 45 °C (1° caso).

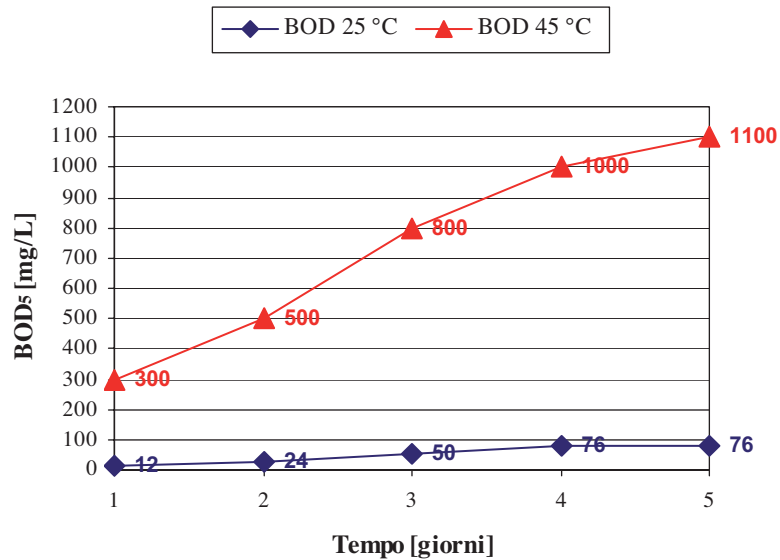
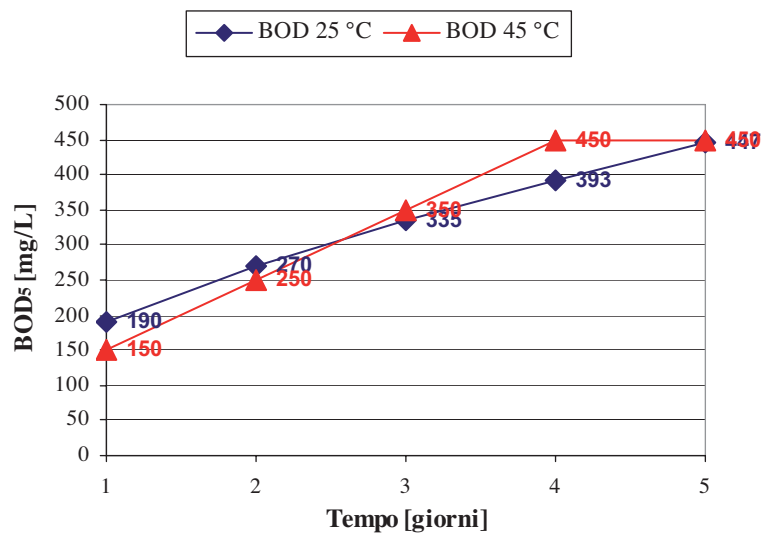


Fig. 7.2/4 – Andamento del BOD_5 a 25 e a 45 °C (2° caso).



7.3 TEST DI TRATTABILITÀ CHIMICA

La caratterizzazione del COD “non convenzionale” di reflui e rifiuti liquidi si pone come obiettivo l’individuazione delle frazioni di sostanza organica contraddistinte da una maggiore o da una minore degradabilità, al fine di ottimizzare i trattamenti depurativi. Si presuppone, infatti, che le varie sostanze organiche contenute nei rifiuti si degradino secondo cinetiche differenti, seguendo un processo di reazione articolato tramite stadi intermedi, in corrispondenza dei quali i substrati si presentano in condizioni sempre più ossidate con il procedere della reazione.

Nell'ambito dei processi di ossidazione di tipo chimico o biologico applicati a rifiuti liquidi, la sostanza organica presente subisce trasformazioni che difficilmente la portano ad uno stato di completa ossidazione (mineralizzazione); avendo unicamente la possibilità di attuare analisi mirate all'individuazione della presenza di determinati composti noti e non ad una caratterizzazione completa e globale della sostanza in esame, risulta quasi impossibile valutare la composizione del rifiuto a trattamento ultimato. Da qui discende l'importanza di avere un'idea, anche se approssimata, di come si trasforma la sostanza organica nel corso del trattamento, così da poter individuare i prodotti intermedi del processo, le condizioni (di temperatura e di tempo) che ne determinano la formazione e il livello di refrattarietà che essi presentano alla degradazione, al fine di stabilire l'utilità di realizzare una differenziazione nel trattamento fra gli intermedi facilmente ossidabili e quelli che lo sono difficilmente. Per molte sostanze organiche non biodegradabili è relativamente facile ossidarsi a sostanze intermedie tramite un processo di ossidazione chimica, mentre risultano necessarie condizioni molto spinte per passare dagli intermedi alla sostanza completamente ossidata; una volta che il processo è giunto alla sintesi dei prodotti intermedi, si può valutare il loro grado di biodegradabilità ed, eventualmente, optare per la sospensione del trattamento di ossidazione chimica in favore della ossidazione biologica.

La metodologia proposta mira a trovare tecniche rapide, basate su misure semplici da effettuare, che consentano di fornire un'interpretazione a livello macroscopico di ciò che avviene durante il processo di ossidazione. Più che all'individuazione e alla caratterizzazione chimica dei composti intermedi, viene posta l'attenzione sulla velocità con cui i substrati di partenza subiscono ossidazione, parametro indicatore della tendenza alla degradazione delle sostanze in esame. Da un punto di vista operativo, sono state prese in considerazione alcune tipologie di alcol allo stato puro, considerate come substrati di riferimento. Su queste sostanze sono state effettuate prove di digestione in forno a diversi tempi di permanenza e temperature al fine di valutare l'andamento del COD; sulla base dei risultati ottenuti è stato tarato un modello di comportamento cinetico. Gli stessi test possono essere effettuati su diversi tipi di reflui reali (la cui composizione specifica sia ignota) ricavandone l'attitudine all'ossidazione rispetto alle sostanze di riferimento.

A titolo di esempio, si riportano i risultati della caratterizzazione di un percolato di discarica. Il COD totale viene "suddiviso" in due frazioni (A e B); i substrati di tipo A sono composti relativamente instabili; quelli di tipo B sono composti intermedi parzialmente ossidati e di difficile ossidazione successiva.

L'ossidazione del percolato, con CrO_7^{2-} a 150°C , avviene con una cinetica le cui costanti sono riportate in Tabella 7.3/1.

Tab. 7.3/1 – Costanti cinetiche stimate a 150°C per il percolato (modello di classe III).

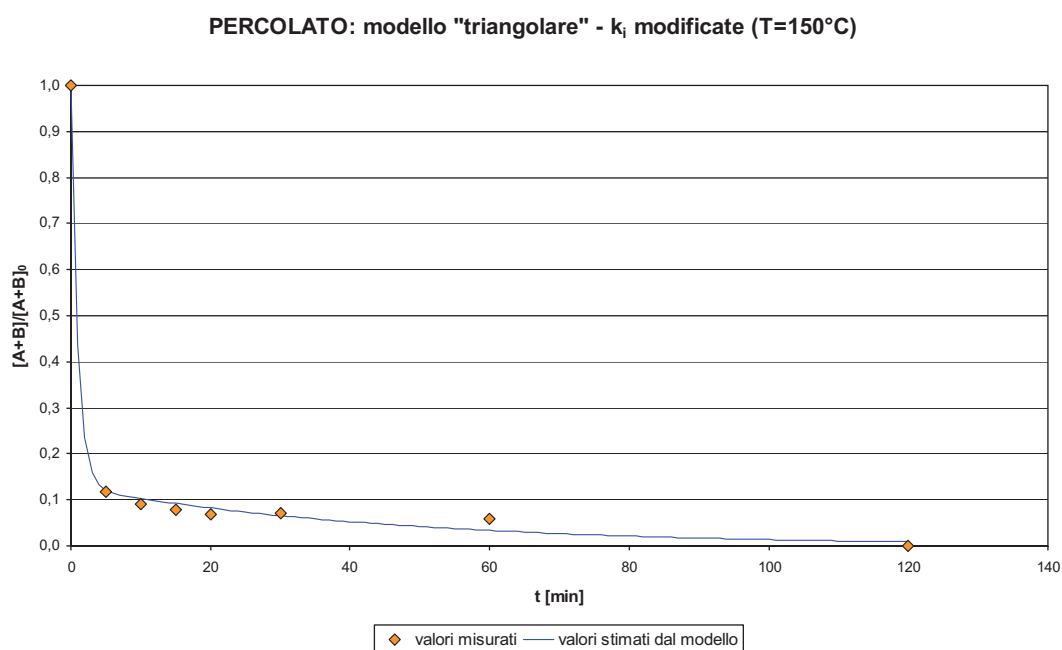
Percolato – k_i a 150°C (mod. "triangolare")			
unità di misura	k_1	k_2	k_3
$[\text{min}^{-1}]$	0,90	0,13	0,022
$[\text{h}^{-1}]$	54,0	7,8	1,34

I valori iniziali dei substrati *A* e *B* sono riportati in Tabella 7.3/2. Il confronto grafico fra l'andamento nel tempo di misure e il modello di simulazione è illustrato in Figura 7.3/1.

Tab. 7.3/2 – Substrati iniziali valutati a 150°C per il percolato (modello di classe III, k_i modificate).

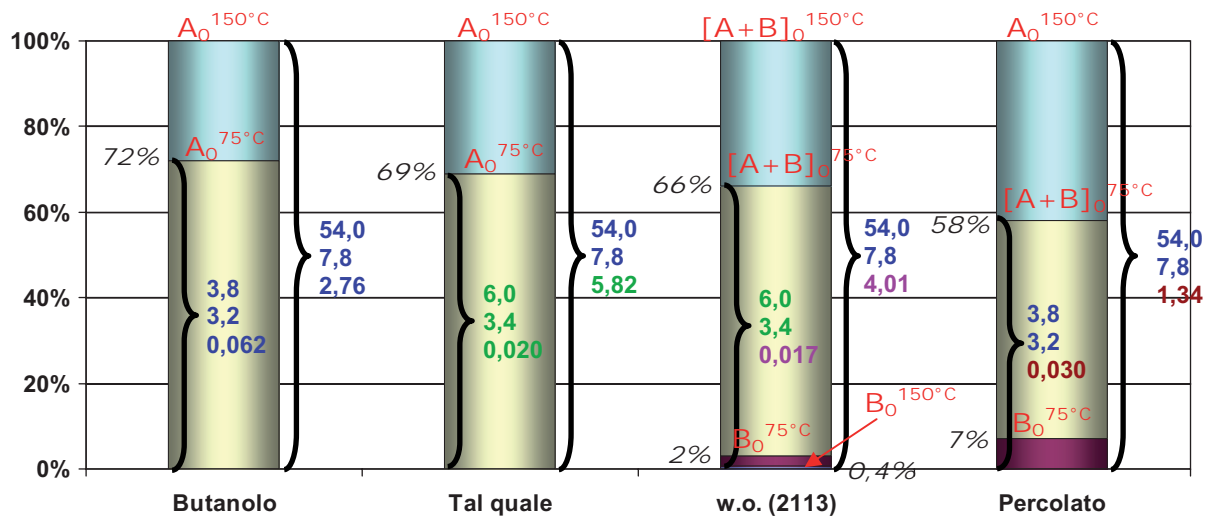
Percolato – A_0 e B_0 a 150°C (mod. “triangolare”, k_i modificate)		
unità di misura	A_0	B_0
[mg/L]	693,0	0,0
percentuale	100,0%	0,0%

Fig. 7.3/1 – Confronto fra misure e stime a 150°C per il percolato (modello di classe III, k_i modificate).



Sulla base di prove analoghe a quella sopra brevemente descritta, è possibile pervenire ad una “suddivisione” del COD del tipo di quella illustrata in Figura 7.3/2, dove, a titolo esemplificativo, sono riportati i risultati ottenuti per butanolo, un rifiuto liquido “tal quale” o sottoposto a trattamento di ossidazione a umido e un percolato.

Fig. 7.3/2 – Confronto grafico tra le principali caratteristiche dei campioni più rappresentativi analizzati.



Le colonnine degli istogrammi rappresentano la composizione percentuale dei campioni riferita alla materia organica totale presente (presa pari al valore massimo di COD rilevato nel corso delle misure a 150°C, ottenuto, in genere, dopo una permanenza in termostato di 2 o 1 ora); in particolare:

- $A_0^{150^\circ\text{C}}$: indica una presenza iniziale esclusiva di composti relativamente instabili, valutata tramite le prove a 150°C;
- $[A+B]_0^{150^\circ\text{C}}$: indica una presenza iniziale di composti sia relativamente instabili che difficilmente ossidabili (parzialmente ossidati), valutata tramite le prove a 150°C;
- $A_0^{75^\circ\text{C}}$: indica una presenza iniziale esclusiva di composti relativamente instabili, valutata tramite le prove a 75°C (e pari al valore di COD misurato dopo una permanenza in termostato di 8 ore);
- $[A+B]_0^{75^\circ\text{C}}$: indica una presenza iniziale di composti sia relativamente instabili che difficilmente ossidabili (parzialmente ossidati), valutata tramite le prove a 75°C (sempre pari al valore di COD misurato dopo una permanenza in termostato di 8 ore);
- $B_0^{150^\circ\text{C}}$: indica la presenza iniziale di composti difficilmente ossidabili, valutata tramite le prove a 150°C;
- $B_0^{75^\circ\text{C}}$: indica la presenza iniziale di composti difficilmente ossidabili, valutata tramite le prove a 75°C.

A lato delle colonnine, sono riportati i valori delle terne di costanti cinetiche (espresse in h⁻¹) valutate per i diversi campioni alla temperatura di 150°C (in corrispondenza della parentesi che comprende il 100% di materia organica) e di 75°C (in corrispondenza della parentesi che racchiude la materia organica rilevata a 75°C).

Se, ad esempio, si considerano le analisi e relative elaborazioni svolte a 150°C, queste mostrano una ottima coerenza tra il comportamento del refluo industriale e del percolato rispetto alla sostanza di riferimento butanolo:

$$B_0 \approx 0\%$$

La presenza iniziale di composti difficilmente ossidabili risulta pressoché nulla per entrambi i liquami reali; tra i campioni sottoposti ad ossidazione ad umido, il 2113 è l'unico a presentare una concentrazione di B_0 non nulla, ma il valore riscontrato è di entità decisamente trascurabile (0,4% sulla materia organica totale).

$$k_1/k_{1, \text{but}} = k_2/k_{2, \text{but}} = 1$$

La prima e la seconda costante cinetica assumono lo stesso valore di quelle stimate per il butanolo: refluo industriale e percolato presentano composti relativamente instabili che si ossidano rapidamente, alla stessa velocità di quelli del butanolo.

$$k_3$$

La terza costante cinetica, responsabile della degradazione dei composti difficilmente ossidabili, assume valore superiore alla corrispettiva del butanolo nel caso del refluo industriale (sia tal quale che trattato tramite *wet oxidation*) e inferiore nel caso del percolato. Il refluo industriale (a 150°C) si ossida più rapidamente del butanolo, pertanto risulta logico il fatto che abbiano questo comportamento anche i relativi substrati parzialmente ossidati, per di più a fronte di una identica velocità di ossidazione dei composti instabili tra butanolo e liquame. D'altra parte, il percolato (a 150°C) manifesta una velocità di ossidazione decisamente inferiore e pertanto, data anche l'enorme varietà di composti (e quindi di reazioni) che possono esistere al suo interno, è plausibile che sia caratterizzato da composti difficilmente ossidabili più refrattari alla degradazione di quelli del refluo industriale e del percolato stesso. Va infine fatto notare come la k_3 , nel caso dei liquami sottoposti a *wet oxidation*, risulti sempre inferiore rispetto a quella del tal quale, come è logico attendersi dal fatto che una sostanza facilmente ossidabile (come il tal quale), una volta ossidata tramite un procedimento spinto, ridimensioni la propria "attitudine" a degradarsi.

Il metodo, ancora in fase di messa a punto, dovrebbe consentire di fornire indicazioni operative utili al fine di valutare la trattabilità (chimica) di substrati organici e l'efficienza dei trattamenti ossidativi.

PARTE III

**DEFINIZIONE DI CRITERI PER LA
CARATTERIZZAZIONE DI UN IMPIANTO**

8. INDAGINE PRESSO GLI IMPIANTI “TIPO”

Nel corso del presente studio sono stati selezionati cinque impianti (vedi capitolo 4 - parte I) sui quali è stata condotta un'indagine più approfondita al fine di definire i criteri di caratterizzazione di un impianto.

In particolare ai gestori degli impianti oggetto di studio sono state richieste, come vedremo in seguito, informazioni riguardanti:

1. il piano di monitoraggio della linea acque;
2. il piano di monitoraggio dei fanghi;
3. il piano delle verifiche di funzionalità ed ulteriori rilevazioni.

Ciò al fine di valutare se i dati normalmente rilevati corrispondono, per tipologia e frequenza, con quelli proposti nell'ambito del presente lavoro (vedi parte II).

8.1 IMPOSTAZIONE E PROCEDURA DI LAVORO

Gli impianti di cui al capitolo 4 (parte I) sono stati contattati al fine di acquisire informazioni sui piani di monitoraggio e verifica in atto.

A tale scopo è stata elaborata una tabella (tabella 8.1/1) che riporta i parametri che in genere dovrebbero essere sottoposti a monitoraggio, i punti di campionamento e le possibili verifiche di funzionalità da attuare per una corretta gestione degli impianti.

Nel corso dell'indagine la tabella 8.1/1 è stata inviata ai gestori degli “impianti di depurazione tipo” per la compilazione.

Tab. 8.1/1 – Tabella riassuntiva delle informazioni richieste ai gestori degli “impianti di depurazione tipo”.

Nominativo impianto			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d			
	COD	mg/L			
	BOD ₅	mg/L			
	NH ₄ ⁺	mg/L			
	N-NO ₃ ⁻	mg/L			
	N-NO ₂ ⁻	mg/L			
	TKN	mg/L			
	P _{totale}	mg/L			
	SST	mg/L			
E. Coli	UFC/100mL				
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d			
	SST _{fanghi estratti}	g/L			
	SSV _{fanghi estratti}	g/L			
	Q _{supero}	m ³ /d			
	SST _{fango ricircolo}	g/L			
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L			
	SSV	g/L			
	Q _{fango estratto}	m ³ /d			
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C			
	O ₂ disciolto	mg/L			
	SST	g/L			
	SSV	g/L			
	SVI	mL/g			
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno				
	Idrodinamica reattori				
	Sedimentabilità dei fanghi				
	Consumo energia per fase				
	Consumo reagenti per fase				
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi				
	OUR (Oxygen Uptake Rate)				
	AUR (Ammonia Uptake Rate)				
NUR (Nitrogen Uptake Rate)					
Altri parametri					

8.2 RISULTATI

Di seguito vengono riportate le tabelle con le informazioni ricevute dai gestori degli impianti oggetto dell'indagine. Alcune informazioni sono state modificate al fine di rendere le schede omogenee tra di loro. Le tabelle "originali" vengono riportate nell'allegato 1.

Tab. 8.2/1 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto 1.

Impianto 1			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno		
	COD	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	BOD ₅	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	NH ₄ ⁺	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	TKN	mg/L	2/mese	2/mese	2/mese
	P _{totale}	mg/L	2/mese	2/mese	2/mese
	SST	mg/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
E. Coli	UFC/100mL			n.d.	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d		1/giorno	
	SST _{fanghi estratti}	g/L		1/settimana	
	SSV _{fanghi estratti}	g/L		1/settimana	
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			1/settimana
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	SSV	g/L	1/settimana	1/settimana	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1/giorno	1/giorno	1/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	continua		
	O ₂ disciolto	mg/L	continua		
	SST	g/L	1/settimana		
	SSV	g/L	1/settimana		
	SVI	mL/g	1/settimana		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		n.d.		
	Idrodinamica reattori		per collaudo nuove fasi		
	Sedimentabilità dei fanghi		1/settimana		
	Consumo energia per fase		1/mese per consumo energia totale		
	Consumo reagenti per fase		si utilizzano solo in disidratazione – 1/giorno		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		n.d.		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		n.d.		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		n.d.		
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)		n.d.		
Altri parametri					

Tab. 8.2/2 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto 2.

Impianto 2			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno		1/giorno
	COD	mg/L	1/giorno		1/giorno
	BOD ₅	mg/L	2/settimana		2/settimana
	NH ₄ ⁺	mg/L	3/settimana		1/giorno
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	3/settimana		1/giorno
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	3/settimana		1/giorno
	TKN	mg/L	3/settimana		1/giorno
	P _{totale}	mg/L	3/settimana		1/giorno
	SST	mg/L	1/giorno		1/giorno
E. Coli	UFC/100mL			2/settimana	
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fanghi estratti}	g/L			1/giorno
	SSV _{fanghi estratti}	g/L			2/settimana
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			1/giorno
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	1/giorno	continua	1/giorno
	SSV	g/L		2/settimana	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1/giorno	1/giorno	1/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	continua		
	O ₂ disciolto	mg/L	continua		
	SST	g/L	1/giorno		
	SSV	g/L	2/settimana		
	SVI	mL/g	1/giorno		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		1/mese su media settimanale		
	Idrodinamica reattori		livello fanghi in sedimentazione (1/settimana)		
	Sedimentabilità dei fanghi		1/giorno		
	Consumo energia per fase		1/mese a consuntivo		
	Consumo reagenti per fase		1/mese a consuntivo		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		non ancora attivata		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		n.d.		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		n.d.		
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)		n.d.		
Altri parametri					
Nota: non esiste sedimentazione primaria – i controlli sono fatti all'ingresso della sezione biologica, a valle del sollevamento intermedio. In ingresso e allo scarico vengono controllati inoltre: tensioattivi anionici e non ionici (1/settimana) – oli e grassi totali (1/settimana) – metalli pesanti (2/mese).					
Sul comp. biologico: analisi microfauna e indice biotico (2/mese). – Caratterizzazione e conta filamentosi (2/mese).					
Su ingresso e uscita di ciascuna delle due sezioni di filtrazione a sabbia : SST (1/giorno) – P totale (2/settimana). Sul fango disidratato: metalli pesanti (1/mese).					

Tab. 8.2/3 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto 3.

Impianto 3			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno	1/giorno	1/giorno
	COD	mg/L	1/giorno	1/giorno	1/giorno
	BOD ₅	mg/L	1/giorno	1/giorno	1/giorno
	NH ₄ ⁺	mg/L	2/giorno	1/giorno	3/giorno
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1/settimana		3/giorno
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1/settimana		3/giorno
	TKN	mg/L	3/settimana	3/settimana	3/settimana
	P _{totale}	mg/L	3/settimana	3/settimana	3/settimana
	SST	mg/L	3/settimana	3/settimana	3/settimana
E. Coli	UFC/100mL			1/mese	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d		1/giorno	
	SST _{fanghi estratti}	g/L		1/settimana	
	SSV _{fanghi estratti}	g/L		1/settimana	
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			1/settimana
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	SSV	g/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1/giorno	1/giorno	1/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	1/giorno		
	O ₂ disciolto	mg/L	1/giorno		
	SST	g/L	1/settimana		
	SSV	g/L	1/settimana		
	SVI	mL/g	1/settimana		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		2/anno		
	Idrodinamica reattori				
	Sedimentabilità dei fanghi		1/settimana		
	Consumo energia per fase		1/giorno		
	Consumo reagenti per fase		1/giorno		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		COD, NH ₄ ⁺ , SST, O ₂ disciolto, temperatura (1/giorno), metalli (2/settimana), solventi (2/mese)		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		su alcuni rifiuti		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)				
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)				
Altri parametri					
Verifica semestrale delle emissioni al camino sezione chimico fisico trattamento rifiuti.					
Verifica trimestrale sui fanghi biologici in uscita dal reattore biologico impianto trattamento rifiuti per verificare la compatibilità con lo smaltimento in agricoltura.					
Controllo Umidità relativa e temperatura del media filtrante dei biofiltri a servizio dei vari comparti.					
Controllo trimestrale sul fango disidr. in uscita impianto, con il controllo di PCB e Diossine (1/anno).					
Conducibilità Ingresso Uscita giornaliera.					
Streptococchi, Coliformi, Salmonelle (UFC/100mL): 6/anno					

Tab. 8.2/4 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto 4.

Impianto 4			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno		1/giorno
	COD	mg/L	1/settimana		1/settimana
	BOD ₅	mg/L	1/settimana		1/settimana
	NH ₄ ⁺	mg/L	1/settimana		1/settimana
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1/settimana		1/settimana
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1/settimana		1/settimana
	TKN	mg/L	1/settimana		1/settimana
	P _{totale}	mg/L	1/settimana		1/settimana
SST	mg/L	1/settimana		1/settimana	
E. Coli	UFC/100mL			1/mese	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d			
	SST _{fanghi estratti}	g/L			
	SSV _{fanghi estratti}	g/L			
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			1/settimana
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	1/settimana	1/settimana	1/settimana
	SSV	g/L	1/settimana	1/settimana	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1/giorno		1/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	continua		
	O ₂ disciolto	mg/L	continua		
	SST	g/L	1/settimana		
	SSV	g/L			
	SVI	mL/g	1/settimana		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno				
	Idrodinamica reattori				
	Sedimentabilità dei fanghi		1/settimana		
	Consumo energia per fase		in fase di studio		
	Consumo reagenti per fase		1/settimana		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		in fase di studio		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)				
	AUR (Ammonia Uptake Rate)				
NUR (Nitrogen Uptake Rate)					
Altri parametri					
1,1,1 Tricloroetano – 1,1,2 Tricloro – 2,2,1 Trifluoroetano – 1,2 Dicloroetano – 1,2 Dicloropropano – Aldrin – Alpha, Beta, Delta e Gamma BHC – Alluminio – Arsenico e suoi composti – Bario – Benzene – Benzo(a)pirene – Bromodichlorometano – Bromoformio – Cadmio e suoi composti – Carbonio tetracloruro – Clordano – Cloroformio – Cloruri – Composti organoalogenati – Cromo esavalente e suoi composti – Cromo totale – Desisopropilatazina – Dibromoclorometano – Diclorobromometano – Diclorometano – Dieldrin – Endosulfan I e II – Endrin – Eptacloro – Eptacloroepossido – Esaclorobenzene – Etilbenzene – Fenoli – Idrocarburi totali – Isodrin – Mercurio e suoi composti – Metossicloro – Nichel – Pentaclorofenolo - Pesticidi clorurati – Piombo e suoi composti – Rame e suoi composti – Solventi organici aromatici – Stagno – Stirene – Tensioattivi – Tetracloroetilene – Toluene – THM – Tricloroetilene – Xilene – Zinco.					

Tab. 8.2/5 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto 5.

Impianto 5			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno		1/giorno
	COD	mg/L	1/giorno		1/giorno
	BOD ₅	mg/L	2/settimana		2/settimana
	NH ₄ ⁺	mg/L	1/giorno		1/giorno
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1/giorno		1/giorno
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1/giorno		1/giorno
	TKN	mg/L	1/giorno		1/giorno
	P _{totale}	mg/L	1/giorno		1/giorno
	SST	mg/L	1/giorno		1/giorno
E. Coli	UFC/100mL	2/anno		2/anno	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fanghi estratti}	g/L			5/settimana
	SSV _{fanghi estratti}	g/L			1/settimana
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			5/settimana
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	5/settimana		5/settimana
	SSV	g/L			
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1/giorno		1/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	5/settimana		
	O ₂ disciolto	mg/L	continua		
	SST	g/L	5/settimana		
	SSV	g/L	1/settimana		
	SVI	mL/g	5/settimana		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno				
	Idrodinamica reattori				
	Sedimentabilità dei fanghi		5/settimana		
	Consumo energia per fase		1/giorno		
	Consumo reagenti per fase		continua		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi				
	OUR (Oxygen Uptake Rate)				
	AUR (Ammonia Uptake Rate)				
NUR (Nitrogen Uptake Rate)					
Altri parametri					

Una volta raccolte le informazioni relative ai programmi di monitoraggio attuati negli impianti oggetto di indagine, i medesimi sono stati confrontati con lo schema proposto dagli estensori (vedi parte II); tale schema, ritenuto idoneo per la conduzione “routinaria” di un impianto di depurazione di taglia 10.000 – 100.000 A.E., è riportato in tabella 8.2/6.

I risultati del confronto tra il piano di monitoraggio e verifica proposto e quelli effettivamente messi in atto sono riassunti nelle Tabelle 8.2/7 ÷ 8.2/11.

In particolare sono state evidenziate:

- in verde le caselle corrispondenti ai parametri per i quali la frequenza di monitoraggio nell’impianto considerato risulta superiore o uguale a quella consigliata;
- in rosso quelle corrispondenti ai parametri con frequenza di campionamento inferiore a quella consigliata;
- con una “X” le caselle corrispondenti ai parametri per i quali non è ritenuto indispensabile il monitoraggio;
- in bianco le caselle corrispondenti ai parametri non misurati per mancanza del trattamento (es: impianti non dotati di sedimentazione primaria).

Tab. 8.2/6 – Piano di monitoraggio e verifica proposto per la conduzione “routinaria” di impianti di taglia 10.000 – 100.000 A.E..

Impianto			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1/giorno		
	COD	mg/L	2/settimana	1/settimana	2/settimana
	BOD ₅	mg/L	2/mese	2/mese	2/mese
	NH ₄ ⁺	mg/L	2/settimana	2/mese	2/settimana
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	Qualora necessario	2/mese	2/settimana
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	Qualora necessario	2/mese	2/settimana
	TKN	mg/L	2/settimana	2/mese	2/settimana
	P _{totale}	mg/L	2/settimana	2/mese	2/settimana
	SST	mg/L	2/settimana		2/settimana
E. Coli	UFC/100mL			1/settimana	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d		1/giorno	
	SST _{fanghi estratti}	g/L		2/mese	
	SSV _{fanghi estratti}	g/L		2/mese	
	Q _{supero}	m ³ /d			1/giorno
	SST _{fango ricircolo}	g/L			2/settimana
Monitoraggi o fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	2/mese	2/mese	2/mese
	SSV	g/L		2/mese	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d		1/giorno	1/settimana
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	In continuo		
	O ₂ disciolto	mg/L	In continuo		
	SST	g/L	2/settimana		
	SSV	g/L	2/settimana		
	SVI	mL/g	2/settimana		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		1/anno		
	Idrodinamica reattori		1/biennio		
	Sedimentabilità dei fanghi		1/mese		
	Consumo energia per fase		1/mese		
	Consumo reagenti per fase		1/mese		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		ogni carico		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		1/settimana		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		1/settimana		
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)		1/settimana		
Altri parametri					
Specifici caso per caso					

Tab. 8.2/7 – Monitoraggio routinario (linea acque): risultati dell'indagine effettuata.

Monitoraggio	Parametri	u.m.	Ingresso impianto					Uscita sedimentazione primaria					Uscita impianto						
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Acque	Q	m ³ /d						X	X	X						X	X	X	X
	COD	mg/L																	
	BOD ₅	mg/L																	
	NH ₄ ⁺	mg/L																	
	N-NO ₃ ⁻	mg/L																	
	N-NO ₂ ⁻	mg/L																	
	TKN	mg/L																	
	P _{totale}	mg/L																	
	SST	mg/L							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	E. Coli	UFC/100 mL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 8.2/8 – Monitoraggio routinario dei fanghi (linea acque): risultati dell'indagine effettuata.

Monitoraggio	Parametri	u.m.	Uscita sedimentazione primaria					Uscita impianto						
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d						X	X	X	X	X	X	X
	SST _{fanghi estratti}	g/L						X	X	X	X	X	X	
	SSV _{fanghi estratti}	g/L						X	X	X	X	X	X	
	Q _{supero}	m ³ /d	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	SST _{fango ricircolo}	g/L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tab. 8.2/9 – Monitoraggio routinario dei fanghi (linea fanghi): risultati dell'indagine effettuata.

Monitoraggio	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento					Uscita digestione					Uscita disidratazione							
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
Fanghi (linea fanghi)	SST	g/L																		
	SSV	g/L	X	X	X	X	X											X	X	X
	Q _{fangio estratto}	m ³ /d	X	X	X	X	X													

Tab. 8.2/10 – Monitoraggio routinario del comparto biologico: risultati dell'indagine effettuata.

Monitoraggio	parametri	u.m.	Comparto biologico											
			1	2	3	4	5							
Processo	Temperatura	°C												
	O ₂ disciolto	mg/L												
	SST	g/L												
	SSV	g/L												
	SVI	mL/g												

Tab. 8.2/11 - Verifiche di funzionalità convenzionali/non convenzionali: risultati dell'indagine.

Ulteriori verifiche/rilevazioni	Impianti				
	1	2	3	4	5
Capacità di fornitura ossigeno					
Idrodinamica reattori					
Sedimentabilità dei fanghi					
Consumo energia per fase					
Consumo reagenti per fase					
Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi					
OUR (Oxygen Uptake Rate)					
AUR (Ammonia Uptake Rate)					
NUR (Nitrogen Uptake Rate)					

8.3 CONSIDERAZIONI

In generale, come si osserva dalle Tabelle 8.2/7 ÷ 8.2/11, si può notare che tutti gli impianti considerati applicano un monitoraggio routinario generalmente conforme a quello proposto dagli estensori (Tabella 8.2/6). Si possono, in aggiunta, fare le seguenti considerazioni:

- l'impianto 1 effettua un monitoraggio, soprattutto della linea acque, più carente rispetto agli altri impianti; va però considerato il fatto che questo impianto ha una potenzialità di progetto (77.000 A.E.) inferiore a tutti gli altri impianti oggetto dell'indagine.
- La frequenza di monitoraggio della concentrazione di *Escherichia coli* all'uscita dell'impianto è inferiore rispetto a quella indicata nel piano di monitoraggio proposto; solamente l'impianto 2, la cui potenzialità, tra tutti gli impianti considerati, è la maggiore, effettua un controllo di tale parametro superiore a quello consigliato.

Per quanto riguarda le verifiche di funzionalità più approfondite proposte, si può notare una carenza da parte di quasi tutti gli impianti presi in considerazione.

9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE

Di seguito verranno descritti i criteri utili per la classificazione e la caratterizzazione degli impianti di depurazione, distinguendo due casi, in funzione dell'obiettivo della caratterizzazione stessa: se finalizzata ad indagini di tipo statistico o piuttosto ad indagini più approfondite di verifica di funzionalità degli impianti.

9.1 INDAGINI “STATISTICHE”

Al fine della classificazione degli impianti di depurazione, come riportato nel § 3.4 (parte I), è necessario avere a disposizione le seguenti informazioni:

- classe dimensionale;
- stato di funzionamento;
- condizioni di carico;
- tipologia di trattamento;
- età media;
- produzione, trattamento e destinazione dei fanghi;
- tipologia di carico trattato (prevalentemente civile, civile/industriale).

Per la caratterizzazione servono, innanzitutto le informazioni utili per la classificazione con il seguente livello di dettaglio.

Classe dimensionale

Per suddividere gli impianti in funzione della potenzialità, espressa in abitanti equivalenti, è necessario conoscere il carico organico di progetto in termini di BOD e di COD ed il carico idraulico di progetto in termini di portata media giornaliera in tempo asciutto.

Stato di funzionamento

Questa informazione è facilmente reperibile. In particolare un impianto potrebbe risultare:

- in esercizio (anche solo parzialmente);
- non in esercizio;
- in corso di realizzazione.

Condizioni di carico

Al fine di definire le condizioni di carico di un impianto è necessario determinare gli abitanti equivalenti effettivamente serviti. A tale scopo è possibile utilizzare il carico organico (sia in termini di BOD, sia di COD) che è possibile calcolare in diversi modi; il criterio corretto consiste nell'effettuazione di bilanci di massa dei carichi inquinanti (ottenuti moltiplicando la portata per le concentrazioni) per un periodo sufficientemente lungo e omogeneo, ossia di funzionamento stabile dell'impianto.

Tipologia di trattamento

Per la corretta classificazione degli impianti in funzione della tipologia di trattamento, come peraltro indicato nel § 1.2.2 (parte I), è necessario innanzitutto conoscere se l'impianto presen-

ta una tecnologia a fanghi attivi tradizionale, oppure se sono presenti sistemi di trattamento “non convenzionali” (a biomassa adesa, tecnologia MBR, ecc.). Successivamente, per valutare l’efficienza di trattamento, occorre conoscere se l’impianto presenta i seguenti trattamenti:

- primario;
- secondario a medio carico;
- secondario a basso carico con rimozione dei nutrienti;
- terziario.

Età media

Per determinare l’età media di un impianto è necessario avere a disposizione almeno due informazioni:

- data di avviamento dell’impianto;
- data dell’ultimo intervento significativo di upgrading.

Produzione, trattamento e destinazione dei fanghi

Se si vogliono classificare gli impianti in funzione della produzione, del trattamento e della destinazione dei fanghi è utile conoscere dapprima le tipologie di trattamento presenti.

In particolare per la stima della produzione di fanghi occorre sapere se l’impianto è dotato di:

- sedimentazione primaria;
- ossidazione ad alto/basso carico;
- chiariflocculazione;
- filtrazione;

per il trattamento e la destinazione:

- stabilizzazione separata dei fanghi (aerobica/anaerobica);
- sistema di disidratazione;
- essiccamento termico;
- altri trattamenti (per esempio incenerimento, gassificazione, ecc.).

È inoltre necessario conoscere le destinazioni alternative dei fanghi: compostaggio, riutilizzo in agricoltura, discarica, incenerimento (dedicato o co-incenerimento), altre forme di recupero materiale/energetico (per esempio cementifici).

Tipologia di carico trattato (prevalentemente civile, civile/industriale)

Per stabilire la tipologia di carico è necessario conoscere il contributo industriale in fognatura in termini di carico di COD e la quantità (portata) di rifiuti liquidi specificando le tre principali tipologie (esempio: bottini, percolato, ecc.) conferiti all’impianto.

Oltre alle informazioni sopra riportate al fine della caratterizzazione degli impianti di depurazione sarebbe necessario avere a disposizione altri dati, tra i quali:

- valore medio, minimo e massimo (relativi all’ultimo anno di funzionamento dell’impianto) delle concentrazioni medie giornaliere in ingresso dei parametri “convenzionali” come ad esempio COD, BOD, SS, N_{tot} , P_{tot} , SS ecc. (specificando se il campione in ingresso include i ricircoli, e gli eventuali rifiuti liquidi, per esempio i bottini, ecc.);
- portata media giornaliera (in tempo asciutto e di pioggia);
- portata massima (in tempo asciutto e di pioggia);
- numero di giorni all’anno in cui è stata trattata la portata massima in tempo di pioggia;

-
- volume annuo trattato;
 - quantità (t/anno) di fango smaltito (cioè fango in uscita dall'impianto di depurazione dopo la fase di disidratazione) e tenore di secco ottenuto;
 - valore medio, minimo e massimo della concentrazione di SST e SSV;
 - consumi energetici annui (in particolare evidenziando il consumo di energia per la fornitura d'aria nel bacino ossidativo);
 - consumi annui di reagenti evidenziando i quantitativi riferiti alle due linee di trattamento (acque e fanghi) e alle diverse tipologie di reagenti.

Per effettuare una valutazione circa il grado di affidabilità dei dati, è possibile calcolare indici del tipo di quelli proposti dal Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche: lo stato dei servizi idrici (vedi § 1.1.2, parte I).

9.2 INDAGINI APPROFONDITE

Indagini più approfondite sugli impianti di depurazione comportano, oltre all'effettuazione delle cosiddette verifiche "consolidate" (monitoraggio della linea acque e fanghi, capacità dei sistemi di fornitura dell'ossigeno, comportamento idrodinamico dei bacini, ecc.), l'esecuzione di ulteriori verifiche di funzionalità "non convenzionali" (calcolo dei consumi energetici e dei reagenti, determinazione dei bilanci di massa sui parametri "non convenzionali", test respirometrici, ecc.). Chiaramente indagini di questo tipo non possono essere svolte a larga scala a meno di disporre grande disponibilità di risorse e/o di operare con un efficiente e intenso coinvolgimento dei gestori. Di fatto, i criteri di caratterizzazione, in questo caso, sono quelli ampiamente descritti nella parte II della presente sezione.

Tra le verifiche consolidate, come primo passo, si ritiene opportuno verificare le condizioni di funzionamento attraverso il monitoraggio e l'esecuzione di prove sperimentali.

Il monitoraggio, inteso nel senso più ampio del termine, è finalizzato a verificare, in particolare:

- il rispetto dei limiti di accettabilità dell'influenza;
- le rese depurative dei diversi comparti;
- il carico effettivo in ingresso all'impianto;
- le caratteristiche e lo "stato di salute" della biomassa;
- il mantenimento dei corretti valori dei "parametri di processo".

Il monitoraggio (come riportato nel § 5.1 – parte II) viene effettuato attraverso la rilevazione di una serie di parametri di tipo chimico-fisico e biologico e attraverso la determinazione di parametri "operativi". I dati sperimentali raccolti attraverso il monitoraggio dell'impianto vanno elaborati ed interpretati per poter pervenire ad un giudizio circa il grado di funzionalità di un impianto.

Il monitoraggio mostra una situazione di scarsa efficienza depurativa, occorre procedere per fasi successive attraverso verifiche di funzionalità che coinvolgano più aspetti, per poi integrare i risultati dei diversi test effettuati.

Innanzitutto bisognerà procedere ad un confronto tra la potenzialità nominale dell'impianto e il carico influente (verifica di dimensionamento). Ciò consente di verificare se i rendimenti ottenuti sono quelli che effettivamente ci si deve attendere sulla base delle caratteristiche dell'impianto e del tipo di carico inquinante da trattare.

Possono inoltre risultare di estrema utilità la verifica del comportamento idrodinamico dei bacini di trattamento, la quantificazione della capacità di ossidazione degli apparati di aerazione

in rapporto al fabbisogno della biomassa, la valutazione della potenzialità dei sedimentatori finali in funzione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango attivo, ecc..

In questo caso sono state proposte anche tecniche di funzionalità definite di tipo “non convenzionale” (in quanto generalmente meno o per nulla applicate nella gestione routinaria degli impianti). Esse sono utili per l’ottimizzazione (= riduzione) dei consumi energetici e di reagenti nonché per l’ottimizzazione dei criteri di dimensionamento e delle rese dei trattamenti di tipo biologico (attraverso test respirometrici).

I risultati emersi dall’analisi dei piani di monitoraggio degli impianti di depurazione “tipo” indicano che le verifiche di funzionalità più approfondite proposte vengono, in generale, effettuate con una frequenza inferiore a quella consigliata.

SEZIONE II

CRITERI E MODALITÀ DI INTERVENTO PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI RECUPERI DI RISORSA (ACQUE E FANGHI) E LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

PARTE I

**DEFINIZIONE DI INDICI DI FUNZIONALITÀ
DEGLI IMPIANTI**

1. CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI

In questo capitolo vengono riportati i criteri generali in base ai quali è possibile effettuare un'elaborazione dei dati gestionali relativi ad un impianto di depurazione al fine di determinarne l'efficienza globale.

1.1 CALCOLO DELLE PORTATE

La portata rappresenta uno dei parametri più significativi a livello gestionale, sia per ragioni di controllo fiscale (calcolo del carico inquinante sversato), sia dal punto di vista del controllo del processo.

Inoltre la portata è utile ai fini del calcolo dei parametri operativi e delle rese depurative, della determinazione del carico influente (sia idraulico, sia inquinante) e delle verifiche di funzionalità.

La determinazione della portata media giornaliera (Q_d) è indispensabile per analizzare, seppure in termini generali, lo stato di funzionamento di un impianto di depurazione. Qualora si debbano effettuare valutazioni più approfondite è invece necessario conoscere l'andamento della portata nelle 24 ore; tale informazione richiede però l'esecuzione di un'analisi statistica delle portate ed è necessaria quindi una maggiore disponibilità di dati, che, ad oggi, molti impianti non sono in grado di fornire.

La portata media giornaliera è calcolata effettuando una media aritmetica dei valori giornalieri di portata misurati in un periodo di sufficiente durata (ad esempio il doppio dell'età del fango) con funzionamento dell'impianto in condizioni ragionevolmente stabili (di seguito questo periodo verrà indicato come *periodo di riferimento*). Con tale termine si intende un intervallo di tempo nel quale le variabili prese in considerazione (ad esempio portata, concentrazione dei principali parametri inquinanti, parametri operativi, ecc.) non subiscano variazioni significative.

Per una stima più accurata della portata media giornaliera è necessario eseguire una preventiva "scrematura" dei dati, eliminando, ad esempio, i periodi piovosi, i giorni festivi e i dati relativi a periodi di funzionamento "anomalo" o comunque non significativi.

Laddove non disponibili informazioni dettagliate, la portata giornaliera può essere determinata dai volumi annui trattati, ovvero al netto della portata sfiorata in tempo di pioggia; questo criterio porta ad una leggera sovrastima della portata in tempo asciutto, dovuta al fatto che sono inclusi i giorni di pioggia con portata massima uguale a quella trattabile che ovviamente è superiore a quella in tempo asciutto.

Nel caso in cui non siano disponibili valori di portata per mancanza/malfunzionamento dei dispositivi di misura, la portata può essere stimata attraverso la seguente formula:

$$Q_d = \frac{D.I. \cdot P \cdot \varphi}{1.000}$$

dove:

- Q_d : portata media giornaliera [m^3/d];
- $D.I.$: dotazione idrica [$L/(ab \cdot d)$];
- P : popolazione servita [ab];
- φ : coefficiente di afflusso in fognatura (circa 0,8).

La stima della dotazione idrica media annua va basata sui dati di consumi reali del centro urbano; in assenza di tali dati va valutata sulla base della dotazione idrica di centri abitati limitrofi con analoghe caratteristiche. In assenza di qualsiasi informazione può essere stimata in funzione della popolazione del centro urbano con la seguente relazione empirica:

$$D.I. = 195 \cdot P^{0,144}$$

con P in migliaia di abitanti e assumendo come valore minimo 250 litri/(abitante · giorno). Per l'effettuazione di alcune elaborazioni (consumi energetici e di reagenti, costi di gestione, ecc.) è necessario prendere in considerazione il volume annuo trattato, che include anche le acque meteoriche addotte al trattamento.

1.2 CALCOLO DELLE CONCENTRAZIONI

Avendo a disposizione le concentrazioni giornaliere⁶ dei diversi parametri (dati gestionali) si può determinare la concentrazione media nel *periodo di riferimento* considerato con due criteri:

1. media di tutti i valori misurati nel *periodo di riferimento*:

$$C_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

dove:

- X_i : concentrazione rilevata nel giorno i -esimo per il parametro X [mg/L];
- n : numero di dati utilizzati.

Anche in questo caso, a seconda dello scopo della stima, potrebbe essere necessario eseguire una preventiva selezione dei dati, eliminando, ad esempio, le concentrazioni relative ai periodi piovosi ed ai periodi di funzionamento “anomalo” o comunque non significativi.

2. rapporto tra il carico medio giornaliero e la portata media giornaliera nel *periodo di riferimento* considerato:

$$C_{media} = \frac{Carico_{medio-giornaliero}}{Q_d}$$

dove:

- $Carico_{medio-giornaliero}$: media aritmetica dei carichi giornalieri relativi al *periodo di riferimento* [kg/d] (vedi § 1.3);
- Q_d : portata media giornaliera relativa al medesimo periodo di riferimento [m³/d].

⁶ È consigliabile misurare la concentrazione giornaliera su campioni medi ponderali (ad esempio su 3 e 24 ore, come indicato nel D. Lgs. 152/2006); in assenza di tale dato, si può effettuare la misura di concentrazione sul campione istantaneo. In effetti l'opportunità di ricorrere a campioni medi o istantanei dipende anche dal parametro che si considera; questo argomento è approfondito in Collivignarelli et al. (2000).

1.3 CALCOLO DEI CARICHI

La determinazione dei carichi inquinanti è utile sia per valutare il grado di sovraccarico dell'impianto (ad esempio confrontando i carichi in ingresso con la potenzialità di progetto), sia per la quantificazione dei rendimenti di rimozione degli inquinanti (differenza tra i carichi in ingresso e i carichi in uscita).

Per ogni parametro chimico-fisico, campionato nei diversi punti dell'impianto (ingresso, uscita sedimentazione primaria, uscita impianto, ecc.), è possibile calcolare il carico medio. Il calcolo del carico deve essere riferito ad un periodo ritenuto significativo (tale da rappresentare le condizioni tipiche di tempo asciutto) e nel quale le condizioni di funzionamento non subiscano variazioni sostanziali (*periodo di riferimento*). In genere il calcolo dei carichi viene effettuato su un periodo temporale di almeno un mese; in particolare l'elaborazione viene effettuata sulla base dei carichi giornalieri.

Il carico giornaliero (espresso in kg/d) è definito come prodotto tra la concentrazione del generico parametro X in un determinato giorno (vedi § 1.2) e la relativa portata giornaliera.

$$Carico_{\text{giornaliero}} = \frac{C \cdot Q_d}{1.000}$$

dove:

- C : concentrazione del generico parametro X [mg/L];
- Q_d : portata media giornaliera [m³/d];

Nel caso in cui l'impianto sia dotato di più linee, il carico medio delle singole vasche di ogni comparto va calcolato tenendo conto delle giuste proporzioni tra le portate di ciascuna, cosicché il carico totale risulta:

$$Carico_{\text{giornaliero}} = \sum_{i=1}^k \frac{C_i \cdot Q_{d,i}}{1.000}$$

dove:

- C_i : concentrazione vasca i -esima [mg/L];
- $Q_{d,i}$: portata media giornaliera vasca i -esima [m³/d];
- k : numero di linee.

Una volta ottenuti tutti i valori dei carichi per tutti i giorni di un *periodo di riferimento* si può calcolare il carico medio giornaliero riferito al periodo (espresso sempre in kg/d) eseguendo la media aritmetica dei carichi giornalieri calcolati come sopra:

$$Carico_{\text{medio-giornaliero}} = \frac{\sum_{i=1}^n Carico_i}{n}$$

dove:

- $Carico_i$: carico giornaliero i -esimo [kg/d];
- n : numero di dati utilizzati.

A seconda dello scopo per cui viene effettuato il calcolo del carico medio giornaliero, gli n giorni del *periodo di riferimento* possono essere selezionati eliminando, ad esempio, quelli relativi ai periodi piovosi ed ai periodi di funzionamento “anomalo” o comunque non significativi.

1.4 CALCOLO DEI RENDIMENTI DI RIMOZIONE

Una volta determinati i carichi medi relativi ad un determinato *periodo di riferimento*, si può calcolare il rendimento di rimozione per ciascun parametro.

Il rendimento può essere calcolato considerando l'intera linea di trattamento (rendimento globale), oppure facendo riferimento ad ogni singola fase.

Il rendimento (in termini percentuali) si determina in base alla seguente espressione:

$$\eta = \frac{X_{IN} - X_{OUT}}{X_{IN}} \cdot 100$$

dove:

- X_{IN} : carico medio giornaliero in ingresso all'impianto (o alla fase di trattamento considerata) relativo al parametro X [kg/d];
- X_{OUT} : carico medio giornaliero in uscita dall'impianto (o alla fase di trattamento considerata) relativo al parametro X [kg/d].

In particolare, per quanto riguarda l'azoto, il calcolo del rendimento di rimozione deve tener conto di tutte le forme (azoto organico + azoto inorganico) e viene calcolato nel seguente modo:

$$\eta_{N_{tot}} = \left(\frac{N_{TOT,IN} - N_{TOT,OUT}}{N_{TOT,IN}} \right) \cdot 100$$

dove:

- N_{TOT} : carico medio giornaliero di tutte le forme di azoto ($TKN + N - NO_2^- + N - NO_3^-$), rispettivamente in ingresso ($N_{TOT,IN}$) ed in uscita ($N_{TOT,OUT}$) [kg/d];

Qualora la linea di trattamento presenti una fase di nitrificazione e una di denitrificazione il rendimento dei singoli trattamenti può essere calcolato come segue.

a) Rendimento di nitrificazione

Il rendimento di nitrificazione è dato dal rapporto tra l'azoto nitrificato (ottenuto come differenza tra il TKN in ingresso, il TKN in uscita e l'azoto assimilato dalla biomassa) e l'azoto che può essere nitrificato (ottenuto come differenza tra il TKN in ingresso e l'azoto assimilato dalla biomassa):

$$\eta_{NIT} = \left(\frac{TKN_{IN} - TKN_{OUT} - N_{ass}}{TKN_{IN} - N_{ass}} \right) \cdot 100$$

dove:

- TKN_i : carico medio giornaliero dell'azoto totale Kjeldahl ($N - NH_4^+ + N_{organico}$) rispettivamente in ingresso (TKN_{IN}) ed in uscita (TKN_{OUT}) [kg/d];
- N_{ass} : carico medio giornaliero di azoto assimilato dalla biomassa, che può essere quantificato, in prima approssimazione, nel 5% del BOD abbattuto [kg/d].

b) Rendimento di denitrificazione

Il rendimento di denitrificazione è dato dal rapporto tra l'azoto denitrificato (ottenuto come differenza tra azoto totale in ingresso, azoto totale in uscita e azoto assimilato dalla biomassa) e l'azoto che può essere denitrificato (ottenuto come differenza tra azoto totale in ingresso, TKN in uscita e azoto assimilato dalla biomassa (N_{ass})):

$$\eta_{DEN} = \left(\frac{N_{TOT,IN} - N_{TOT,OUT} - N_{ass}}{N_{TOT,IN} - TKN_{OUT} - N_{ass}} \right) \cdot 100$$

dove:

- N_{TOT} : carico medio giornaliero di tutte le forme di azoto ($TKN + N - NO_2^- + N - NO_3^-$), rispettivamente in ingresso ($N_{TOT,IN}$) ed in uscita ($N_{TOT,OUT}$) [kg/d];
- TKN_{OUT} : carico medio giornaliero dell'azoto totale Kjeldahl ($N - NH_4^+ + N_{organico}$) in uscita [kg/d];
- N_{ass} : carico medio giornaliero di azoto assimilato dalla biomassa, che può essere quantificato, in prima approssimazione, nel 5% del BOD abbattuto [kg/d].

1.5 CALCOLO DEI PRINCIPALI PARAMETRI DI PROCESSO

Di seguito sono riportati i criteri per il calcolo dei parametri di processo sulla base dei dati gestionali.

1.5.1 Carico del fango

Il carico del fango è definito dal rapporto tra il carico di substrato alimentato al comparto biologico ed il quantitativo di biomassa presente nel reattore; il carico del fango riferito al generico giorno i -esimo si calcola nel seguente modo:

$$C_{Fi} = \frac{CaricoBOD_i}{V \cdot X_i}$$

dove:

- C_{Fi} : carico del fango relativo al giorno i -esimo $\left[\frac{kgBOD_5}{kgSST \cdot d} \right]$
- $CaricoBOD_i$: carico di BOD_5 in ingresso al comparto biologico⁷ nel giorno i -esimo [kgBOD₅/d];
- X_i : concentrazione della biomassa (solidi sospesi totali) in vasca di ossidazione nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- V : volume del reattore biologico aerobico [m³].

⁷ In presenza della sedimentazione primaria, il carico in ingresso al comparto biologico può essere determinato, in assenza di dati specifici, a partire dal carico influente all'impianto e applicando una riduzione del 30% circa. In mancanza di dati sul BOD può essere stimato pari a 0,5 volte il carico di COD (sia in riferimento al carico in ingresso, sia in riferimento al carico a valle della eventuale sedimentazione primaria).

Il carico del fango medio riferito ad un periodo di durata n giorni si determina eseguendo la media aritmetica dei valori giornalieri C_{Fi} .

$$C_{F\text{medio-periodo}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{Fi}}{n}$$

dove n rappresenta il numero di dati utilizzati.

1.5.2 Età del fango

L'età del fango, che rappresenta il tempo di ritenzione media del fango nel reattore biologico, è strettamente correlato al carico del fango; la definizione è la seguente:

$$\vartheta_c = \frac{V \cdot X}{W \cdot X_r + Q_d \cdot X_e}$$

dove:

- ϑ_c : età del fango [d];
- V : volume del reattore biologico [m³];
- X : concentrazione dei solidi sospesi totali in vasca di ossidazione [kgSST/m³];
- W : portata di fango di supero [m³/d];
- X_r : concentrazione dei solidi sospesi totali nel ricircolo [kgSST/m³];
- Q_d : portata media giornaliera [m³/d];
- X_e : concentrazione dei solidi sospesi totali nell'effluente [kgSST/m³].

L'età del fango riferita ad un periodo di durata n giorni si determina secondo la seguente formula:

$$\vartheta_{c\text{ medio-periodo}} = \frac{V \cdot \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}}{\sum_{i=1}^n \frac{W_i X_{ri}}{n} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_{di} X_{ei}}{n}}$$

dove:

- V : volume del reattore biologico [m³];
- X_i : concentrazione dei solidi sospesi totali in vasca di ossidazione relativa al giorno i -esimo [kgSST/m³];
- W_i : portata di fango di supero nel giorno i -esimo [m³/d];
- X_{ri} : concentrazione dei solidi sospesi totali nel ricircolo nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- Q_{di} : portata media giornaliera i -esima [m³/d];
- X_{ei} : concentrazione dei solidi sospesi totali nell'effluente nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- n : numero di dati utilizzati.

Qualora non fosse disponibile il quantitativo di fango estratto, è possibile stimare tale valore sulla base del quantitativo di fango smaltito, considerando il rendimento di stabilizzazione e il dosaggio (se significativo) di condizionanti.

1.5.3 Carico idraulico superficiale

Il carico idraulico (m/h), parametro di processo della sedimentazione, è dato dal rapporto fra la portata media oraria $Q_{24} \left(= \frac{Q_d}{24} \right)$, espressa in m³/h, e la superficie del decantatore (S_{sed}), espressa in m²:

$$c_i = \frac{Q_{24}}{S_{sed}}$$

Per la metodologia di calcolo della portata media giornaliera si rimanda al § 1.1.

Poiché il valore del carico idraulico influenza puntualmente le rese di sedimentazione, un'analisi di dettaglio su un *periodo di riferimento* dovrebbe prevedere la determinazione di questo parametro per tutti i giorni del periodo stesso.

In generale viene anche effettuata la verifica in tempo di pioggia, utilizzando il valore della portata massima trattata dall'impianto.

1.5.4 Tempo di permanenza

Il tempo medio di residenza idraulica (T_p), espresso in ore, in un determinato reattore è dato dal rapporto fra il volume del reattore stesso (V), espresso in m³ e la portata (espressa in m³/h) che vi transita (ad esempio $Q_{24} = \frac{Q_d}{24}$):

$$T_p = \frac{V}{Q_{24}}$$

Anche in questo caso si fa riferimento sia a valori di portata media (vedi § 1.1), sia alla portata massima in tempo di pioggia, ma può essere utile, almeno per alcuni comparti, un'analisi puntuale, ovvero per tutti i giorni di un determinato periodo, presi distintamente.

2. INDICI DI FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

In questo capitolo vengono proposti alcuni indici di funzionalità degli impianti, che, essendo calcolati in base ai dati gestionali, possono rappresentare in forma molto sintetica e immediata le condizioni di funzionamento e le prestazioni di un determinato impianto.

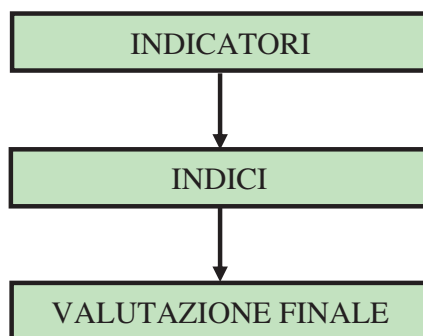
Nella prima parte del capitolo viene descritta la metodologia generale di approccio al problema e successivamente vengono descritti gli indici di funzionalità veri e propri.

Si precisa che gli indici e, più in generale, i criteri di valutazione sviluppati nel corso del presente lavoro sono stati “tarati” su un numero limitato di casi reali e, pertanto, ciò che si vuole evidenziare è l’approccio metodologico, più che l’applicazione numerica. In particolare, la procedura proposta potrebbe essere utilizzata anche da ogni singolo gestore, in questo caso utilizzando parametri numerici di riferimento più idonei per il caso specifico. D’altra parte, invece, un uso più generalizzato del modello richiederebbe la disponibilità di dati (opportunamente raccolti ed elaborati) per un numero ben più elevato di impianti.

2.1 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GENERALITÀ

Per la definizione di indicatori sintetici della funzionalità degli impianti di depurazione viene proposto un metodo, il cui schema concettuale è rappresentato nella Figura 2.1/1.

Fig. 2.1/1 – Schema concettuale del metodo per la definizione di indicatori sintetici della funzionalità degli impianti di depurazione



Gli indicatori sono parametri di dettaglio (ad esempio rendimenti di depurazione, concentrazioni, costi specifici, produzione di fanghi, ecc.) calcolati sulla base di dati gestionali, come descritto nel capitolo 1. Essi, come meglio precisato in seguito, concorrono alla definizione degli indici.

Gli indici di efficienza/efficacia proposti in questo lavoro riguardano i seguenti aspetti (è indicata anche la simbologia adottata per ciascun indice):

– l’efficienza depurativa dell’impianto (D);

-
- la gestione dei fanghi (F);
 - i consumi di energia (E);
 - i consumi di reagenti e combustibile (R);
 - i costi (C).

La valutazione finale (V) è un valore numerico riassuntivo di tutti gli aspetti tecnico-economici considerati e si determina calcolando una somma pesata di tutti gli indici.

$$V = D \cdot p_D + F \cdot p_F + E \cdot p_E + R \cdot p_R + C \cdot p_C$$

La somma di tutti i pesi considerati nella formula riportata in precedenza deve essere uguale ad 1. Per il calcolo di ciascun indice si devono dapprima individuare una serie di indicatori, che contribuiscono a caratterizzare il particolare indice considerato. Nel § 2.3 sono riportate le metodologie di calcolo proposte per ciascun indice.

2.2 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GLI INDICATORI

Nella Tabella 2.2/1 sono riassunti gli indicatori proposti e utilizzati nel presente lavoro per la definizione degli indici; in particolare, per ciascun indicatore sono riportati: la definizione, la simbologia adottata, gli indici calcolati utilizzando tale indicatore, il riferimento nel testo. Si precisa che tutti gli indicatori proposti possono essere ricavati dai dati gestionali che, come descritto nella sezione 1, sono ritenuti necessari per descrivere il grado di efficacia/efficienza di un impianto di depurazione.

Tab. 2.2/1 – Indicatori utilizzati per la determinazione degli indici.

Nome indicatore	U.M.	Simbologia adottata	Indici calcolati con l'indicatore	Riferimento nel testo
Rendimenti di rimozione degli inquinanti*	%	η_i	D	2.3.1
Concentrazioni in uscita degli inquinanti*	mg/L	C_i	D, F	
Produzione totale di fango	kgSS/d	P_{fango}	F	2.3.2
Rapporto tra SSV e SST nel fango	-	$\frac{SSV}{SST}$	F	
Umidità	%	u	F	
Quantitativo di fanghi destinato a recupero energetico	%	%recup energia	F	
Quantitativo di fanghi destinato a recupero di materia	%	%recup materia	F	
Energia elettrica per il sistema di fornitura dell'ossigeno	kWh/d	EE_{aria}	E	2.3.3
Energia elettrica per altri processi presenti nell'impianto	kWh/d	EE_{altro}	E	
Energia elettrica autoprodotta nell'impianto	kWh/d	$EE_{autoprodotta}$	E	
Energia termica autoprodotta nell'impianto	kWh/d	$ET_{autoprodotta}$	E	
Consumo di reagenti in linea acque	kg/d	R_{acque}	R	2.3.4
Consumo di reagenti in linea fanghi	kg/d	R_{fanghi}	R	
Costo relativo al personale	€/d	$C_{pers.}$	C	2.3.5
Costo relativo al consumo di energia elettrica	€/d	$C_{energia}$	C	
Costo relativo al consumo di reagenti	€/d	$C_{reag.}$	C	
Costo relativo allo smaltimento dei fanghi	€/d	C_{fanghi}	C	
Costo relativo alla manutenzione ordinaria	€/d	$C_{manut.}$	C	
Altri costi di gestione	€/d	C_{altro}	C	

* come inquinanti sono stati presi in considerazione: COD, SS, N, P, *E.Coli* ed "altro", per consentire, in quest'ultimo caso, di esaminare parametri di interesse caso per caso.

2.3 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: GLI INDICI

Nel presente paragrafo vengono analizzati nel dettaglio gli indici proposti per pervenire al calcolo della valutazione finale; in particolare vengono riportate le metodologie di calcolo di tali indici. In generale, le prestazioni di un impianto (esprese in termini di indici) vengono valu-

tate confrontando gli indicatori effettivi (cioè che risultano dall'elaborazione dei dati gestionali) con valori "attesi" degli indicatori stessi (valutati, per ogni caso specifico, in funzione delle condizioni di funzionamento).

2.3.1 Efficienza depurativa dell'impianto (D)

Ai fini della valutazione dell'efficienza depurativa, come inquinanti sono stati considerati i seguenti parametri: COD, SS, N, P ed *Escherichia Coli*; è stata inoltre indicata una voce "altro" per prendere in considerazione ulteriori parametri legati a situazioni particolari presenti nell'impianto.

Il BOD è stato escluso dall'elenco poiché non sempre è facile reperire tale informazione nella normale gestione di un impianto di depurazione. Nella voce "altro" si intende includere, qualora di interesse, sia ad esempio un parametro generico (come i tensioattivi o gli idrocarburi totali), sia sostanze specifiche (ad esempio cadmio, cloruri, ecc.).

L'efficienza depurativa si può in generale esprimere attraverso gli indicatori rendimento depurativo e concentrazione in uscita; entrambi i dati sono da intendersi come valori medi riferiti ad un *periodo di riferimento* (vedi § 1.1). Può essere considerato anche più di un periodo, per esempio nei casi in cui un impianto sia a servizio di centri a vocazione turistica; in questo caso si devono considerare più periodi omogenei associati a condizioni stabili di funzionamento e, in corrispondenza di questi periodi, saranno calcolati indici diversi.

Per ciascun parametro è possibile definire dei rendimenti depurativi e delle concentrazioni "attesi" in funzione dei seguenti aspetti:

- schema dell'impianto;
- età dell'impianto;
- caratteristiche dell'influente;
- classe dimensionale.

I valori attesi degli indicatori sono poi da confrontare con i corrispettivi dati reali ricavati (secondo i criteri di cui al capitolo 1) dai dati gestionali forniti dall'impianto. In particolare per valutare l'indice di efficienza di depurazione occorre determinare, per ogni singolo parametro *i*-esimo, un "indice parziale", calcolato con la seguente formula:

$$D_i = \left[\left(\frac{\eta_{reale,i}}{\eta_{atteso,i}} \right) \cdot p_{\eta,i} + \left(\frac{C_{atteso,i}}{C_{reale,i}} \right) \cdot p_{C,i} \right]$$

dove:

- D_i : efficienza di depurazione relativa all'*i*-esimo parametro;
- $\eta_{reale,i}$: rendimento depurativo reale dell'*i*-esimo parametro;
- $\eta_{atteso,i}$: rendimento depurativo atteso dell'*i*-esimo parametro;
- $C_{reale,i}$: concentrazione in uscita reale dell'*i*-esimo parametro;
- $C_{atteso,i}$: concentrazione in uscita attesa dell'*i*-esimo parametro;
- $p_{\eta,i}$: peso relativo al rendimento depurativo per l'*i*-esimo parametro;
- $p_{C,i}$: peso relativo alla concentrazione in uscita per l'*i*-esimo parametro.

In prima approssimazione il peso relativo al rendimento depurativo e quello legato alla concentrazione in uscita possono essere considerati entrambi pari a 0,5. Naturalmente possono anche

essere inseriti pesi diversi, a seconda del caso specifico, dovendo comunque valere la condizione $P_{\eta,i} + P_{C,i} = 1$.

I rendimenti η e le concentrazioni C in uscita dall'impianto, necessari al calcolo degli indici parziali sono riassunti nella Tabella 2.3.1/1.

Tab. 2.3.1/1 – Informazioni da acquisire per la determinazione dell'indice di efficienza depurativa.

	COD		SS*		N		P		E.Coli		Altro	
	Reale	Atteso	Reale	Atteso	Reale	Atteso	Reale	Atteso	Reale	Atteso	Reale	Atteso
η			X	X								
C												

* per i solidi sospesi non è stato preso in considerazione il rendimento, poiché, per un generico impianto con trattamento secondario, non vi è correlazione tra i solidi sospesi in uscita (rappresentati essenzialmente da biomassa sviluppatasi all'interno dell'impianto) e quelli in ingresso (contenuti nel liquame fognario).

I rendimenti depurativi attesi, per ciascun parametro e in funzione della tipologia impiantistica, sono riportati nel seguito (Tabella 2.3.1/2). Nella Tabella 2.3.1/2 sono indicati i singoli trattamenti che possono essere presenti in un impianto di depurazione; per ricavare il rendimento depurativo globale dell'impianto si applica la seguente formula:

$$\eta_{TOT} = 1 - \left[\prod_{i=1}^n (1 - \eta_i) \right]$$

dove:

- η_{TOT} : rendimento depurativo globale dell'impianto;
- η_i : rendimento depurativo relativo all'i-esimo trattamento;
- n : numero dei trattamenti presenti nell'impianto.

Naturalmente, sulla base delle tipologie di trattamento presenti nella Tabella 2.3.1/2, non è possibile scegliere qualsiasi combinazione possibile; in particolare non si potranno selezionare contemporaneamente le seguenti voci:

- processo a F.A. ad alto carico;
- processo a F.A. a basso carico;
- MBR (micro/ultra);
- biomassa adesa.

La formula sopra riportata è valida per tutte le combinazioni possibili dei vari trattamenti, ad eccezione di quelle riportate in seguito.

- “Nitrificazione + Denitrificazione” combinato a “Processo a F.A. a basso carico” oppure a “Biomassa adesa”: in questo caso, solamente per l'azoto, si prende in considerazione il rendimento di rimozione relativo al trattamento di “Nitrificazione + Denitrificazione”.
- “Defosfatazione” combinato a “Processo a F.A. ad alto carico” oppure a “Processo a F.A. a basso carico” oppure a “Nitrificazione + Denitrificazione” oppure a “Biomassa adesa”: in que-

sto caso, per quanto riguarda il fosforo, si considera solamente il rendimento di rimozione relativo alla voce “Defosfatazione”.

Gli intervalli di rendimento depurativo attesi, riportati in Tabella 2.3.1/2, sono desunti dalla letteratura scientifica e derivano in parte dall’esperienza acquisita dagli scriventi. Tra parentesi è comunque indicato un valore “tipico” da ritenere valido quando l’impianto non presenti particolari criticità e tutte le condizioni di funzionamento siano ottimali. È comunque possibile, in funzione dell’età dell’impianto, delle caratteristiche dell’influente e della classe dimensionale, variare il valore “tipico” all’interno dell’intervallo suggerito, oppure, in casi particolari, considerare un rendimento al di fuori dell’intervallo stesso.

Per quanto riguarda il parametro “altro”, data la notevole variabilità di valori associati alle possibili casistiche, non sono state riportate indicazioni, che dovranno viceversa essere acquisite di volta in volta a seconda dei parametri di interesse.

Nella Tabella 2.3.1/3 vengono invece riportati i valori delle concentrazioni in uscita attese, sempre desunti dalla letteratura scientifica e dall’esperienza acquisita dagli scriventi, in funzione della tipologia impiantistica. Solamente nel caso di COD ed *Escherichia Coli* è indicato un intervallo di concentrazioni in uscita; anche in questo caso è stato suggerito un valore “tipico”, sempre modificabile in base alle considerazioni effettuate in precedenza, da utilizzare in condizioni “normali”.

Tab. 2.3.1/2 – Rendimenti depurativi attesi in funzione della tipologia di trattamento (desunti da: Pasino, 1980; Canziani, 1990; Colombo, 1997-83° edizione; Vismara, 1998).

Tipologia di trattamento	COD	SS	N	P	E.Coli	Altro
Solo primario	20-35 (25)	40-70 (60)	5-10 (10)	5-10 (10)	30-50 (40)	
Processo a F.A. ad alto carico[^]	75-80 (80)	-	15-25 (20)	15-25 (20)	90	
Processo a F.A. a basso carico[^]	80-85 (85)	-	20-35 (30)	20-30 (25)	90	
Nitrificazione + Denitrificazione[^]	-	-	60-85 (70)	-	-	
Defosfatazione	-	-	-	70-95 (85)	-	
Filtofloculazione	40-70 (60)	-	-	-	40-80 (60)	
Disinfezione	-	-	-	-	98-99 (99)	
MBR (micro/ultra)[^]	90	-	-	-	99,99	
Biomassa adesa[^]	80-85 (85)	-	20-35 (30)	20-30 (25)	90	

[^] con o senza sedimentazione primaria.

Tab. 2.3.1/3 – Concentrazioni in uscita attese in funzione della tipologia di trattamento (desunti da: Pasino, 1980; Canziani, 1990; Colombo, 1997-83° edizione; Vismara, 1998).

Tipologia di trattamento	COD [mg/L]	SS [mg/L]	N [mg/L]	P [mg/L]	E.Coli [UFC/100mL]	Altro [mg/L]
Processo a F.A. ad alto carico	80-100 (80)	25	30	3	10^4 - 10^6 (10^5)	
Processo a F.A. a basso carico	60-80 (60)	20	30	3	10^4 - 10^6 (10^5)	
Nitrificazione + Denitrificazione	-	-	10-15	-	-	
Defosfatazione	-	-	-	1-2	-	
Filtofloculazione	40-60 (40)	15	10	1	10^4	
Disinfezione	-	-	-	-	10^1 - 10^3 (10^2)	
MBR (micro/ultra)	30-50 (30)	1	-	-	10^1 - 10^2 (10^1)	
Biomassa adesa	60-80 (60)	20	30	3	10^4 - 10^6 (10^5)	

Una volta calcolati gli indici parziali (cioè relativi ai singoli parametri) di efficienza depurativa, ai fini della determinazione dell'indice di efficienza depurativa D si applica la seguente formula:

$$D = p_{COD} \cdot D_{COD} + p_{SS} \cdot D_{SS} + p_N \cdot D_N + p_P \cdot D_P + p_{E.Coli} \cdot D_{E.Coli} + p_{altro} \cdot D_{altro}$$

dove:

- D_{COD} : efficienza depurativa relativa al COD;
- D_{SS} : efficienza depurativa relativa ai solidi sospesi;
- D_N : efficienza depurativa relativa all'azoto;
- D_P : efficienza depurativa relativa al fosforo;
- $D_{E.Coli}$: efficienza depurativa relativa agli *Escherichia Coli*;
- D_{altro} : indice di efficienza depurativa relativa al generico parametro;
- p_{COD} : peso dell'efficienza depurativa relativa al COD;
- p_{SS} : peso dell'efficienza depurativa relativa ai solidi sospesi;
- p_N : peso dell'efficienza depurativa relativa all'azoto;
- p_P : peso dell'efficienza depurativa relativa al fosforo;
- $p_{E.Coli}$: peso dell'efficienza depurativa relativa agli *Escherichia Coli*;
- p_{altro} : peso dell'efficienza depurativa relativa al generico parametro.

La somma dei pesi di tutti i parametri considerati deve essere uguale ad 1.

2.3.2 Gestione dei fanghi (F)

Per la valutazione della funzionalità di un impianto di depurazione un ulteriore indice da prendere in considerazione riguarda i fanghi, di cui valutare la produzione e le modalità di trattamento e smaltimento finale. Per ciascuno di questi tre fattori si può definire un “indice parziale”.

Gli indicatori utili al calcolo di detti indici sono i seguenti:

- quantitativo di fanghi prodotti (P_{fangho}), cioè la quantità di fanghi in uscita dall’impianto (dopo tutti i trattamenti: stabilizzazione, disidratazione, eventuale essiccamento ecc.);
- rapporto tra solidi sospesi volatili e solidi sospesi totali $\left(\frac{SSV}{SST}\right)$, che rappresenta il grado di stabilizzazione del fango;
- umidità (u), espressa in termini percentuali, dei fanghi smaltiti;
- percentuale di fango destinato a recupero energetico (*%recup energia*) e di materia (*%recup materia*);
- concentrazione di solidi sospesi in uscita dalla linea acque (C_{SS}).

Come per l’efficienza depurativa (D), ciascun indicatore preso in considerazione dipende da molti fattori (schema dell’impianto, età dell’impianto, caratteristiche dell’influente, classe dimensionale, ecc.).

Gli indicatori descritti in precedenza, sono utilizzati per calcolare, analogamente all’efficienza depurativa, tre “indici parziali”; in particolare è possibile definire un primo “indice parziale” denominato indice di produzione dei fanghi tramite la seguente formula:

$$F_{produzione} = \frac{P_{fangho,atteso} + C_{attesa,SS} \cdot \frac{Q}{1.000}}{P_{fangho,reale} + C_{reale,SS} \cdot \frac{Q}{1.000}}$$

dove:

- $F_{produzione}$: indice di produzione dei fanghi;
- $P_{fangho,atteso}$: quantitativo atteso di fanghi prodotti [kgSS/d];
- $P_{fangho,reale}$: quantitativo reale di fanghi prodotti [kgSS/d];
- $C_{attesa,SS}$: concentrazione in uscita attesa relativa ai solidi sospesi [mg/L];
- $C_{reale,SS}$: concentrazione in uscita reale (media del *periodo di riferimento*) relativa ai solidi sospesi [mg/L];
- Q : portata media giornaliera del *periodo di riferimento* [m³/d].

È inoltre possibile definire un secondo “indice parziale”, chiamato indice di trattamento dei fanghi e calcolabile con la seguente formula:

$$F_{trattamento} = p \cdot \frac{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}}{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}} + (1 - p) \cdot \frac{u_{attesa}}{u_{reale}}$$

dove:

-
- $F_{trattamento}$: indice di trattamento dei fanghi;
 - $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}$: rapporto atteso tra solidi sospesi volatili e totali del fango stabilizzato;
 - $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}$: rapporto reale tra solidi sospesi volatili e totali del fango stabilizzato, prima dell'aggiunta di condizionanti per la disidratazione meccanica;
 - u_{attesa} : umidità attesa del fango;
 - u_{reale} : umidità reale del fango;
 - P : peso relativo al rapporto tra solidi sospesi volatili e totali.

Infine è possibile definire un terzo “indice parziale” ($F_{destinazione}$) che prende in considerazione la destinazione finale dei fanghi; esso è calcolabile con la seguente formula:

$$F_{destinazione} = \%recup\ materia + \%recup\ energia$$

dove:

- $F_{destinazione}$: indice di destinazione dei fanghi;
- $\%recup\ energia$: quantitativo di fanghi destinato al recupero energetico;
- $\%recup\ materia$: quantitativo di fanghi destinato al recupero di materia.

Per determinare i valori attesi relativi al quantitativo di fanghi prodotti ($P_{fango,atteso}$) si moltiplica la produzione pro-capite attesa (i cui valori, in funzione dello schema impiantistico, sono riportati nella Tabella 2.3.2/1) per la potenzialità effettiva dell'impianto (ricavata dal carico influente giornaliero medio del *periodo di riferimento* considerato), dividendo poi per 1.000. È comunque possibile modificare i quantitativi pro-capite di fanghi prodotti, sulla base dei fattori prima elencati nonché di altre situazioni particolari (ad esempio, se il *periodo di riferimento* è collocato interamente in una stagione calda oppure fredda, sarà opportuno tener conto dell'effetto della temperatura sulla produzione di fanghi). Gli schemi impiantistici considerati sono suddivisi nelle seguenti categorie:

- A. ossidazione biologica senza sedimentazione primaria;
- B. ossidazione biologica con sedimentazione primaria;
- C. ossidazione biologica con filtrazione terziaria o chiariflocculazione (anche con sedimentazione primaria);
- D. impianti che non rientrano in nessuna delle categorie precedenti (in questo caso, in assenza di informazioni, si è assunta, come valore specifico di produzione, la media degli altri dati).

Tab. 2.3.2/1 – Valori attesi della produzione pro-capite di fanghi (IRER, 2007). (Questi valori apparentemente bassi tengono conto empiricamente della fluttuazione del carico trattato nel corso dell'anno).

Categoria schema impiantistico	Produzione pro-capite di fango [gSS/ab·d]
A	38
B	46
C	50
D	46

Per quanto riguarda invece l'umidità del fango i valori attesi considerati, in funzione della tipologia di disidratazione meccanica, sono i seguenti (tali valori sono comunque modificabili sulla base di ulteriori indicazioni):

- centrifuga $u_{attesa} = 85\%$
- nastropressa $u_{attesa} = 80\%$
- filtropressa $u_{attesa} = 70\%$

Si precisa che si tratta di valori riferiti ai macchinari di tipo “convenzionale”. In effetti, oggi sono disponibili dispositivi che presentano rendimenti anche sensibilmente più elevati, ma, allo stato attuale, la loro diffusione sugli impianti è ancora relativamente limitata.

Per quanto riguarda infine il rapporto tra solidi sospesi volatili e totali, il valore atteso, indipendentemente dallo schema dell'impianto, è pari a 0,60 – 0,65 (valore tipico 0,65).

Per il calcolo dell'indice relativo alla gestione dei fanghi si applica la seguente formula:

$$F = p_{produzione} \cdot F_{produzione} + p_{trattamento} \cdot F_{trattamento} + p_{destinazione} \cdot F_{destinazione}$$

dove:

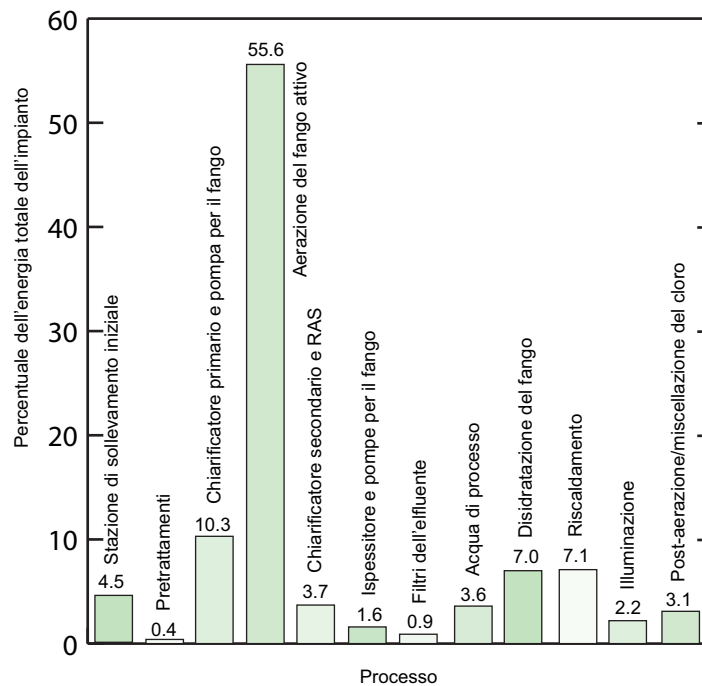
- F : indice relativo alla gestione dei fanghi;
- $F_{produzione}$: indice parziale di produzione dei fanghi;
- $F_{trattamento}$: indice parziale di trattamento dei fanghi;
- $F_{destinazione}$: indice parziale di destinazione dei fanghi;
- $p_{produzione}$: peso relativo all'indice di produzione dei fanghi;
- $p_{trattamento}$: peso relativo all'indice di trattamento dei fanghi;
- $p_{destinazione}$: peso relativo all'indice di destinazione dei fanghi.

2.3.3 Consumi di energia (E)

I consumi energetici sono una delle voci più importanti all'interno dei costi di gestione di un impianto di depurazione insieme ai costi del personale. In linea del tutto generale si può dire che la maggior parte dei consumi energetici debba essere addebitata ai trattamenti biologici per la rimozione della sostanza organica ed eventualmente per la nitrificazione.

Nella Figura 2.3.3/1 viene riportata una tipica distribuzione dei diversi impieghi dell'energia in un impianto di trattamento convenzionale a fanghi attivi.

Fig. 2.3.3/1 – Distribuzione dell'energia in un comune impianto a fanghi attivi (Metcalf & Eddy, 2006)



Nel presente lavoro, ai fini della valutazione dei consumi di energia, è stata presa in considerazione l'energia elettrica (EE).

I consumi di energia elettrica sono stati suddivisi in una prima voce riguardante il sistema di fornitura dell'ossigeno ed in un secondo contributo che comprende la restante parte di energia consumata all'interno dell'impianto.

Come per gli indici specifici discussi in precedenza, anche in questo caso, sono stati presi in considerazione alcuni "indici parziali".

Il primo, denominato indice di consumo di energia ($E_{consumo}$), è calcolabile con la seguente formula:

$$E_{consumo} = p_{aria} \cdot \frac{EE_{aria,attesa}}{EE_{aria,reale}} + (1 - p_{aria}) \cdot \frac{EE_{altro,attesa}}{EE_{altro,reale}}$$

dove:

- $E_{consumo}$: indice di consumo di energia;
- p_{aria} : peso relativo al consumo di energia elettrica per il sistema di fornitura dell'ossigeno;
- $EE_{aria,attesa}$: consumo atteso di energia elettrica per il sistema di fornitura dell'ossigeno [kWh/d];
- $EE_{aria,reale}$: consumo reale di energia elettrica per il sistema di fornitura dell'ossigeno [kWh/d];
- $EE_{altro,attesa}$: consumo atteso di energia elettrica per gli altri processi [kWh/d];
- $EE_{altro,reale}$: consumo reale di energia elettrica per gli altri processi [kWh/d].

Gli indicatori di cui sopra sono rappresentati come consumi giornalieri di energia. Essi vanno calcolati, nel limite del possibile, selezionando i giorni "significativi" di un determinato periodo di riferimento e calcolando, con questi valori, la media aritmetica.

Un ulteriore “indice parziale”, indicato con $E_{produzione}$, prende in considerazione la produzione di energia elettrica e termica ed è calcolabile con la seguente formula:

$$E_{produzione} = \alpha \cdot \frac{EE_{autoprodot\ ta, reale}}{EE_{autoprodot\ ta, attesa}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{ET_{autoprodot\ ta, reale}}{ET_{autoprodot\ ta, attesa}}$$

dove:

- $E_{produzione}$: indice di produzione di energia;
- α : peso relativo alla produzione di energia elettrica nell’impianto;
- $EE_{autoprodot\ ta, attesa}$: produzione attesa di energia elettrica [kWh/d];
- $EE_{autoprodot\ ta, reale}$: produzione reale di energia elettrica [kWh/d];
- $ET_{autoprodot\ ta, attesa}$: produzione attesa di energia termica [kWh/d];
- $ET_{autoprodot\ ta, reale}$: produzione reale di energia termica [kWh/d].

Anche in questo caso, le produzioni di energia giornaliere vanno calcolate con il medesimo criterio già esposto per i consumi.

Per quanto riguarda il consumo di energia, i valori attesi, in funzione dello schema impiantistico, sono riportati nella Tabella 2.3.3/1. È possibile comunque modificare tali dati, sempre in base a particolari situazioni presenti nell’impianto. Ad esempio, nel corso di un precedente lavoro eseguito dagli scriventi (APAT, 2005), è emerso che i consumi energetici specifici (determinati su un campione significativo di impianti) risulta mediamente compreso tra 80 e 110 Wh/(AE•d) per gli impianti con schema di trattamento convenzionale e mediamente intorno ai 220 Wh/(AE•d) per impianti dotati di trattamenti aggiuntivi.

Per determinare i valori dei consumi attesi da inserire nelle formule, i dati di Tabella 2.3.3/1 vanno moltiplicati per la potenzialità effettiva dell’impianto, ricavata dal carico influente giornaliero medio del *periodo di riferimento* considerato, dividendo poi per 1.000.

Fig. 2.3.3/1 – Valori attesi relativi all’indice parziale di consumo di energia elettrica.

Schema impiantistico	$EE_{aria, attesa}$ [Wh/(ab•d)]	$EE_{altro, attesa}$ [Wh/(ab•d)]
Convenzionale	40 – 55	40 – 55
Con trattamenti aggiuntivi [^]	40 – 55	150 – 200

[^] ad esempio: ozonazione dell’effluente, essiccamento termico dei fanghi ecc.

I valori attesi della produzione di energia, validi solo nel caso in cui sia presente la digestione anaerobica, sono riportati nella Tabella 2.3.3/2. Anche in questo caso è possibile modificare, laddove necessario e per particolari configurazioni dell’impianto, tali valori. Il calcolo dei valori giornalieri, riferiti all’abitante equivalente trattato, deve essere effettuato con i criteri sopra illustrati a proposito dei consumi energetici.

Tab. 2.3.3/2 – Valori attesi relativi all'indice parziale di produzione di energia mediante digestione anaerobica dei fanghi.

$EE_{\text{autoprodotta,attesa}}$ [Wh/(ab·d)]	$ET_{\text{autoprodotta,attesa}}$ [Wh/(ab·d)]
0 – 35	60 – 95

Infine, per il calcolo dell'indice relativo ai consumi di energia, si applica la seguente formula:

$$E = p_{\text{consumo}} \cdot E_{\text{consumo}} + (1 - p_{\text{consumo}}) \cdot E_{\text{produzione}}$$

dove:

- E : indice relativo ai consumi di energia;
- E_{consumo} : indice parziale del consumo di energia;
- $E_{\text{produzione}}$: indice parziale della produzione di energia;
- p_{consumo} : peso relativo all'indice parziale di consumo di energia.

2.3.4 Consumi di reagenti e combustibile (R)

Il consumo di reagenti varia notevolmente in funzione delle caratteristiche del liquame da trattare, dei requisiti di qualità richiesti all'effluente depurato, della tipologia delle unità operatrici impiegate e delle condizioni di esercizio.

Per gli scopi del presente lavoro il consumo di reagenti è stato suddiviso a seconda che essi siano utilizzati nei trattamenti presenti in linea acque oppure in linea fanghi.

Per quanto riguarda la linea acque, i reagenti possono ad esempio essere impiegati nelle seguenti fasi:

- disinfezione dell'effluente depurato: generalmente si utilizzano cloro e suoi composti (ipoclorito, biossido di cloro, ecc.), acido peracetico, ozono;
- trattamenti terziari: per esempio la defosfatizzazione chimica simultanea con sali di ferro, alluminio e calce, oppure la filtrflocculazione;
- processo biologico: uso di ossigeno puro;
- pretrattamenti chimico-fisici dei liquami industriali, a monte del comparto biologico.

In linea fanghi i reagenti sono generalmente utilizzati per la disidratazione meccanica dei fanghi (polielettroliti, sali di ferro e di alluminio e calce). Nel caso di presenza dell'essiccamento termico occorre però considerare anche, ad esempio, l'uso di metano.

Analogamente agli indici analizzati in precedenza, per il calcolo dell'indice relativo ai consumi di reagenti si utilizza la seguente formula:

$$R = \kappa \cdot \frac{R_{\text{acque,atteso}}}{R_{\text{acque,reale}}} + (1 - \kappa) \cdot \frac{R_{\text{fanghi,atteso}}}{R_{\text{fanghi,reale}}}$$

dove:

- $R_{\text{acque,atteso}}$: consumo atteso di reagenti in linea acque [kg/d];
- $R_{\text{acque,reale}}$: consumo reale di reagenti in linea acque [kg/d];
- $R_{\text{fanghi,atteso}}$: consumo atteso di reagenti in linea fanghi [kg/d];

- $R_{fanghi, reale}$: consumo reale di reagenti in linea fanghi [kg/d];
- κ : peso relativo al consumo di reagenti in linea acque.

Così come già evidenziato in precedenza per altri indici, in prima approssimazione, il peso relativo al consumo di reagenti in linea acque (κ) può essere assunto pari a 0,5; naturalmente può essere inserito anche un valore differente a seconda del caso specifico.

I valori attesi relativi al consumo di reagenti, sia in linea acque, sia in linea fanghi, sono notevolmente diversi in funzione della presenza dei trattamenti nei quali vengono impiegati e della tipologia di reagente utilizzato per lo scopo previsto. Nella Tabella 2.3.4/1 sono riportati alcuni valori indicativi che, proprio per l'estrema variabilità che caratterizza le diverse situazioni, devono essere verificati caso per caso e, ad esempio, confrontati con i dati di progetto. Chiaramente i valori specifici indicati nella Tabella 2.3.4/1 devono essere opportunamente moltiplicati per le rispettive grandezze (portate, contenuto di solidi nel fango, ecc. ognuno calcolato secondo i criteri già ampiamente illustrati per ottenere valori medi significativi di un determinato *periodo di riferimento*) al fine di ottenere il valore nell'unità di misura richiesta.

Tab. 2.3.4/1 – Valori attesi relativi ai consumi specifici di reagenti.

Tipologia di trattamento	Tipologia di reagente	Consumo specifico atteso	Unità di misura
Disinfezione	Reattivi a base di cloro	2 – 8	gCl ₂ /m ³
	Ozono	10 – 20	mg/L
	Acido peracetico	~ 10	mg/L
Defosfatazione	Fe(II)	3 – 6	mg/L
	Al(III)	2 – 4	mg/L
	Ca(II)	3 – 5	mg/L
Coagulazione	Al ₂ (SO ₄) ₃	75 – 250	mg/L
	FeCl ₃	35 – 150	mg/L
	FeSO ₄	70 – 200	mg/L
	Ca(OH) ₂	150 – 600	mg/L
	Polielettrolita	2 – 5	mg/L
Flocculazione	Polielettrolita	0,25 – 1	mg/L
	Silice attivata	5 – 20	mg/L
Disidratazione	Polielettroliti cationici	3 – 5	kg/tSS
	Calce	150	kg/tSS
	FeCl ₃	100	kg/tSS
	Policloruro di alluminio	25	kg/tSS
Essiccamento termico	Metano	300	Nm ³ /tSS

2.3.5 Costi (C)

Per quanto riguarda i costi è molto difficile parlare in modo organico di costi di gestione di un impianto di depurazione, sia per le numerose voci che essi comprendono (spesso diversamente aggregate da un impianto all'altro) sia per i fattori da cui sono influenzati, sia per la loro variabilità nel tempo. I costi di gestione risultano infatti notevolmente influenzati dal costo della manodopera, dal grado di depurazione da raggiungere, dalla accuratezza della gestione, dal costo dei reattivi chimici, dell'energia elettrica, dello smaltimento dei fanghi, dal tipo di organizzazione adottato ecc..

Le voci che concorrono alla definizione dei costi di gestione sono quelle di seguito elencate:

- Personale: è una delle voci più importanti e dipende da numerosi fattori quali la potenzialità, la complessità impiantistica, dal livello di automazione, ecc..
- Materie prime: suddivise in energia elettrica, acqua potabile e combustibili. In particolare i costi relativi all'energia elettrica rappresentano la voce principale dopo quella del personale; la quantità consumata dipende notevolmente dal tipo di impianto, dalla sua potenzialità e dai macchinari adottati.
- Reattivi chimici: tali costi variano notevolmente in funzione delle caratteristiche del liquame da trattare, dei requisiti di qualità richiesti all'effluente depurato, dalla tipologia delle unità operatrici impiegate e dalle condizioni di esercizio.
- Materiali: sono compresi in questa voce i costi per l'acquisto di pezzi di ricambio e materiali di consumo necessari per il normale funzionamento dell'impianto (lubrificanti, minuterie, materiali d'uso meccanico, materiali d'uso elettrico).
- Prestazioni di servizi: le attività generalmente comprese in questa voce si suddividono in manutenzione ordinaria (azioni finalizzate a contenere l'usura e l'invecchiamento) e manutenzione straordinaria (interventi finalizzati a ripristinare il funzionamento di unità in avaria).
- Smaltimento fanghi, sabbie e grigliati: costi fortemente dipendenti dalla quantità di fango prodotto (legata alle caratteristiche dell'impianto e del liquame trattato) e dal costo unitario di trasporto e smaltimento (legato alla destinazione finale del fango: agricoltura, compostaggio, discarica controllata e incenerimento).
- Laboratorio: le spese indicate in questa voce comprendono il costo dell'esecuzione delle analisi (compresa la raccolta e conservazione dei campioni), dei reagenti, della manutenzione della strumentazione, della vetreria e di altri materiali di laboratorio. Nel caso in cui non esista un laboratorio adeguatamente attrezzato, con questa voce di costo vengono indicate le spese per le analisi effettuate presso laboratori esterni.
- Spese generali: questa voce comprende tutte le spese, non considerate in precedenza, i cui oneri consentono una maggiore sicurezza di esercizio, oltreché un'adeguata efficienza gestionale. Si tratta di una voce di costo molto variabile, in relazione al diverso grado di accuratezza con cui viene gestito l'impianto.

Per lo scopo del presente lavoro sono state considerate le principali voci di costo indicate in Tabella 2.3.5/1, dove sono riportati anche i valori indicativi, espressi in percentuale rispetto al costo totale di esercizio (in genere variabile da 0,04 a 0,1 €/ab•d), che, proprio per l'estrema variabilità che caratterizza le diverse situazioni, devono essere verificati caso per caso.

Tab. 2.3.5/1 – Incidenza delle diverse voci sui costi di gestione.

Voce di costo	Costo [% rispetto al costo totale di gestione]
Personale	25-35
Energia elettrica	20-30
Reattivi chimici	2-15
Manutenzione ordinaria	5-10
Smaltimento fanghi	30-50
Altro	1-5

Analogamente agli indici analizzati in precedenza, per il calcolo dell'indice relativo ai costi si utilizza la seguente formula:

$$C = \alpha \cdot \frac{C_{pers.,atteso}}{C_{pers.,reale}} + \beta \cdot \frac{C_{energia,atteso}}{C_{energia,reale}} + \gamma \cdot \frac{C_{reag.,atteso}}{C_{reag.,reale}} + \delta \cdot \frac{C_{fanghi,atteso}}{C_{fanghi,reale}} + \varepsilon \cdot \frac{C_{manut.,atteso}}{C_{manut.,reale}} + \varphi \cdot \frac{C_{altro,atteso}}{C_{altro,reale}}$$

dove:

- C : indice relativo ai costi;
- $C_{pers.,atteso}$: costo atteso relativo al personale [€/d];
- $C_{pers.,reale}$: costo reale relativo al personale [€/d];
- $C_{energia,atteso}$: costo atteso relativo al consumo di energia elettrica [€/d];
- $C_{energia,reale}$: costo reale relativo al consumo di energia elettrica [€/d];
- $C_{reag.,atteso}$: costo atteso relativo al consumo di reagenti [€/d];
- $C_{reag.,reale}$: costo reale relativo al consumo di reagenti [€/d];
- $C_{fanghi,atteso}$: costo atteso relativo allo smaltimento dei fanghi [€/d];
- $C_{fanghi,reale}$: costo reale relativo allo smaltimento dei fanghi [€/d];
- $C_{manut.,atteso}$: costo atteso relativo alla manutenzione ordinaria [€/d];
- $C_{manut.,reale}$: costo reale relativo alla manutenzione ordinaria [€/d];
- $C_{altro,atteso}$: altri costi di gestione attesi [€/d];
- $C_{altro,reale}$: altri costi di gestione reali [€/d];
- α : peso relativo al costo del personale;
- β : peso relativo al costo del consumo di energia elettrica ;
- γ : peso relativo al costo del consumo di reagenti;
- δ : peso relativo al costo di smaltimento dei fanghi;
- ε : peso relativo al costo di manutenzione ordinaria;
- φ : peso relativo agli altri costi di gestione.

Per il calcolo dei valori attesi relativi ai diversi indicatori, si devono prendere in considerazione le percentuali riportate in Tabella 2.3.5/1 moltiplicandole per il costo totale di esercizio (ottenuto come prodotto tra il costo specifico, espresso in €/ab•d), e la potenzialità effettiva dell'impianto).

3. APPLICAZIONE DEGLI INDICI DI FUNZIONALITÀ AGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE “TIPO”

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'applicazione degli indici di funzionalità descritti precedentemente agli impianti di depurazione “tipo”, individuati nel capitolo 4 della sezione 1.

A questi sono stati aggiunti altri due impianti di depurazione dei quali si dispone di sufficienti ed aggiornate informazioni. In definitiva gli impianti presi in considerazione in questo capitolo sono sette. Essi, per motivi di riservatezza, verranno di seguito identificati con un numero. Per il calcolo degli indici di funzionalità sono stati utilizzati i dati forniti dai gestori degli impianti stessi.

Nella prima parte del capitolo vengono sintetizzati i risultati ottenuti; in particolare, per ogni impianto, è stata riportata una scheda riassuntiva con i relativi valori degli indici di funzionalità. Successivamente vengono analizzati i risultati nel dettaglio per poter confrontare la funzionalità dei diversi impianti.

Nella parte II verranno poi descritti in dettaglio i risultati del calcolo degli indici di funzionalità relativi all'efficienza depurativa, ottenuti applicando un modello, costruito sulla base delle informazioni descritte nel capitolo 2, a tutti gli impianti di depurazione considerati. Si potranno quindi individuare i “punti deboli” e proporre alcune soluzioni applicabili, al fine di migliorare l'efficienza depurativa degli impianti.

Analogamente a quanto descritto in precedenza, nelle parti III e IV, si analizzeranno, rispettivamente, i risultati relativi ai consumi energetici ed alla gestione dei fanghi; in particolare, in quest'ultimo caso, si prenderanno in considerazione alcune soluzioni che consentono di ridurre i quantitativi di fanghi prodotti e permettono un recupero energetico/materiale dagli stessi. Infine, nella parte V, verranno ancora analizzati i risultati inerenti l'efficienza depurativa, prendendo in considerazione solamente le concentrazioni in uscita dei principali inquinanti dagli impianti di depurazione; lo scopo di questa analisi è quello di valutare, dal punto di vista tecnico ed economico, la possibilità di ottenere acque reflue depurate in vista di un successivo riutilizzo.

In seguito, per completezza, vengono riportati i dati di progetto e lo schema a blocchi degli ulteriori due impianti presi in considerazione nello studio (per i primi cinque si rimanda alla sezione 1, parte I, capitolo 4).

Impianto 6

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **43.000 A.E.**
- Carico di BOD: **2.580 kg/d**
- Carico di COD: **5.160 kg/d**
- Carico di Azoto (TKN): **645 kg/d**
- Carico di Fosforo: **86 kg/d**
- Portata media: **8.000 m³/d**
- Portata di punta: -
- Portata massima: **625 m³/h**

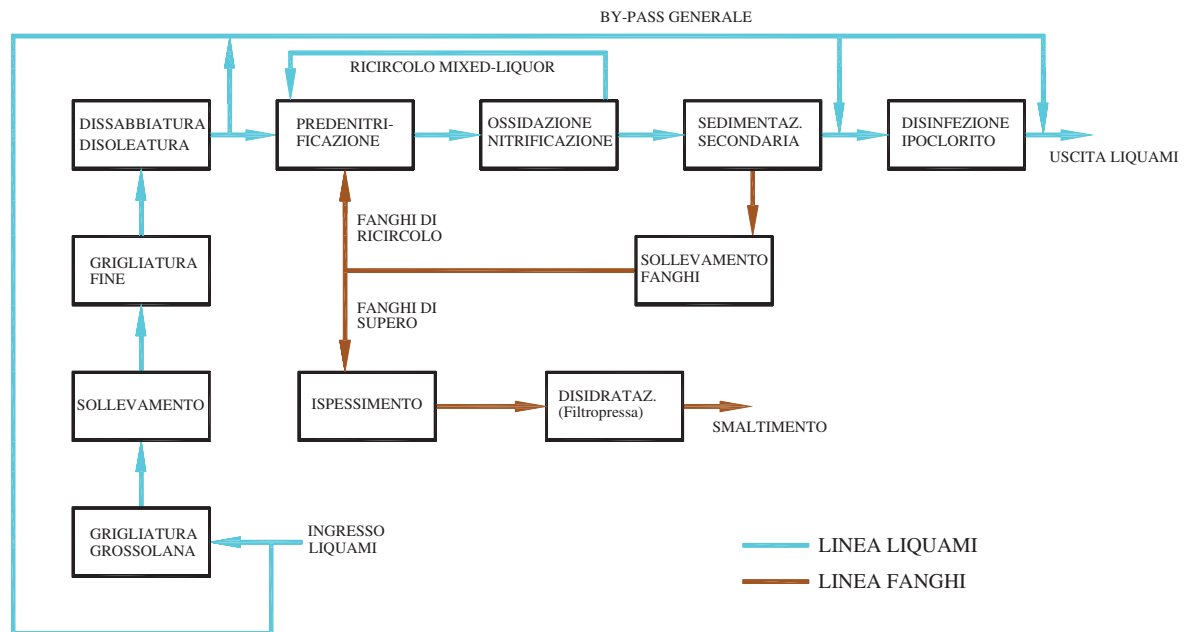
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

L'impianto riceve un significativo contributo industriale.

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto non risulta sovraccaricato né dal punto di vista idraulico, né da quello organico.

SCHEMA A BLOCCHI



Impianto 7

DATI DI PROGETTO

- Potenzialità nominale: **70.000 A.E.**
- Carico di BOD: **4.200 kg/d**
- Carico di COD: **9.240 kg/d**
- Carico di Azoto: **735 kg/d**
- Carico di Fosforo: **120 kg/d**
- Portata media: **15.000 m³/d**
- Portata di punta: **1.030 m³/h**
- Portata massima: **1.500 m³/h**

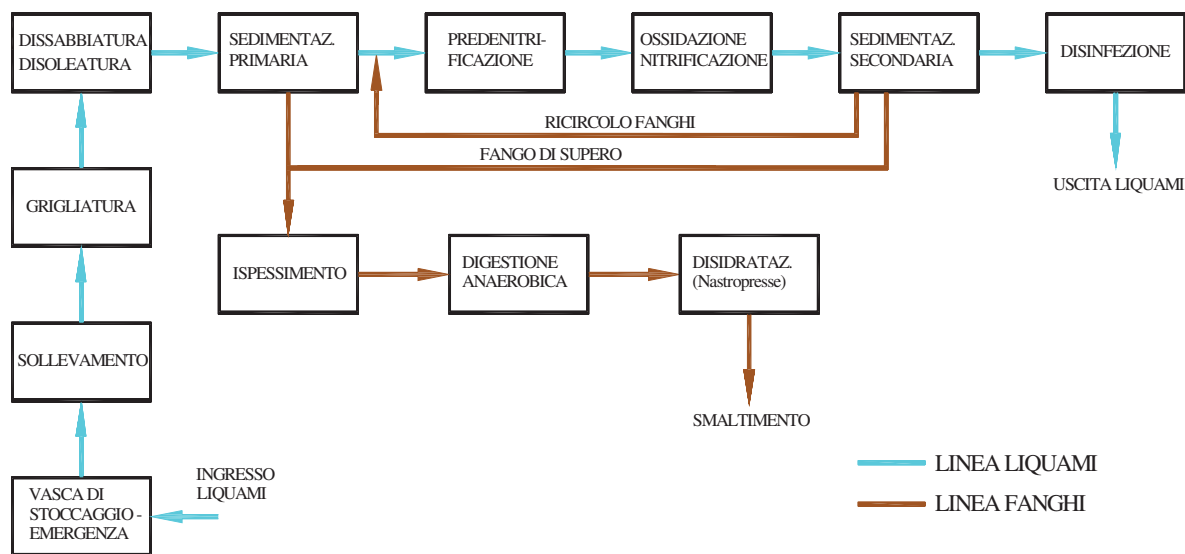
TIPOLOGIA DI CARICO TRATTATO

L'impianto tratta prevalentemente liquami di origine civile (70%) con una percentuale di scarichi industriali pari a circa il 30% (soprattutto agroalimentari).

CONDIZIONI DI CARICO

L'impianto non risulta sovraccaricato né dal punto di vista idraulico, né da quello organico.

SCHEMA A BLOCCHI



3.1 VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

Nelle Tabelle 3.1/1 – 3.1/7 sono riportati i dati riassuntivi (indici parziali, pesi dei parametri, indici di funzionalità e valutazione finale) relativi all'applicazione degli indici di funzionalità ai sette impianti presi in considerazione. Tali risultati sono stati calcolati mediante l'applicazione di un modello (sulla base dei criteri descritti nel capitolo 2) inserendo tutti i dati disponibili per gli impianti in oggetto.

Nella Tabella 3.1/8 sono inoltre riportati i risultati relativi all'impianto 1, ottenuti inserendo nel modello i dati gestionali ricalcolati nell'ambito di questo lavoro in accordo con i criteri descritti nel capitolo 1. Lo scopo di questa elaborazione è quello di verificare le eventuali differenze tra i risultati ottenuti inserendo nel modello sia i dati gestionali elaborati come descritto nel capitolo 1, sia le informazioni così come fornite dai gestori degli impianti.

In generale si possono fare le seguenti considerazioni.

- l'indice di valutazione finale V varia da 0,91 a 1,20. Per tutti gli impianti presi in considerazione, ad eccezione dell'impianto 1, l'indice di valutazione finale è sempre superiore ad 1, denotando quindi una buona funzionalità tecnico-economica. Bisogna però evidenziare che non sono disponibili i dati completi per tutti gli impianti, soprattutto per quanto riguarda le informazioni relative ai costi.
- Alcuni indici sono di molto superiori ad 1, per esempio gli indici di efficienza depurativa relativi all'impianto 2 e 6, rispettivamente pari a 1,98 e 2,06, oppure l'indice relativo ai costi per l'impianto 3, che si attesta ad 1,58. Viceversa altri indici sono sensibilmente inferiori ad 1 (ad esempio l'indice relativo al consumo di reagenti e combustibile per l'impianto 1); ciò permette di evidenziare immediatamente i "punti deboli" relativi ad ogni singolo impianto.
- Generalmente l'indice più elevato è quello relativo all'efficienza depurativa, mentre quello più basso è riferito al consumo di reagenti e combustibile.
- Considerando l'impianto 1, come si può osservare dalle Tabelle 3.1/1 e 3.1/8, il valore numerico della valutazione finale (V) non subisce variazioni significative nel caso in cui si utilizzino i dati gestionali forniti dal gestore, anziché effettuare un'elaborazione, sulla base dei criteri esposti nel capitolo 1, di questi ultimi. Va tuttavia rilevato che l'indice legato all'efficienza depurativa (D) varia in modo apprezzabile. Ciò mostra l'importanza di un corretto approccio nel calcolo dei parametri di efficienza.

Tab. 3.1/1 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 1 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,25	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	2,17	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	1,11	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,36		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,20	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,13	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	SI
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,16		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	0,77	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	0,65	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	SI
				ET _{autoprodotta}	SI
		E	0,71		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,18	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,18		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	0,64	C _{personale}	0,2	C _{personale}	SI
C _{energia}	0,67	C _{energia}	0,2	C _{energia}	SI
C _{reagenti}	0,22	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	SI
C _{fanghi}	2,76	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	SI
C _{manutenzione}	2,37	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	SI
C _{altro}	0,22	C _{altro}	0,1	C _{altro}	SI
		C	1,12		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI		PESI INDICI			
D	1,36	D	0,2		
F	1,16	F	0,2		
E	0,71	E	0,2		
R	0,18	R	0,2		
C	1,12	C	0,2		
		V	0,91		

Tab. 3.1/2 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 2 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	2,18	COD	0,35	[COD]	SI
D _{SS}	3,75	SS	0,15	[SS]	SI
D _N	1,41	N	0,35	[N]	SI
D _P	0,99	P	0,10	[P]	SI
D _{E.Coli}	1,21	E.Coli	0,05	[E.Coli]	SI
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,98		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,57	F _{produzione}	0,40	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	0,94	F _{trattamento}	0,40	SSV/SST	SI
F _{destinazione}	1,00	F _{destinazione}	0,20	Umidità	SI
				% rec. materia	SI
				% rec. energia	NO
		F	1,20		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	1,05	E _{consumo}	1,00	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,00	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	1,05		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	0,70	R _{acque}	0,50	R _{acque}	SI
R _{fanghi}	0,42	R _{fanghi}	0,50	R _{fanghi}	SI
		R	0,56		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI		PESI INDICI			
D	1,98	D	0,25		
F	1,20	F	0,25		
E	1,05	E	0,25		
R	0,56	R	0,25		
C	---	C	0		
		V	1,20		

Tab. 3.1/3 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 3 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,04	COD	0,36	[COD]	SI
D _{SS}	0,78	SS	0,16	[SS]	SI
D _N	0,79	N	0,36	[N]	SI
D _P	1,85	P	0,12	[P]	SI
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,01		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,01	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,02	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,02		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	1,28	E _{consumo}	1,00	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,00	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	1,28		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,69	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,69		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	1,38	C _{personale}	0,2	C _{personale}	SI
C _{energia}	1,25	C _{energia}	0,2	C _{energia}	SI
C _{reagenti}	3,03	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	SI
C _{fanghi}	1,49	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	SI
C _{manutenzione}	1,23	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	SI
C _{altro}	0,25	C _{altro}	0,1	C _{altro}	SI
		C	1,58		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI		PESI INDICI			
D	1,01	D	0,2		
F	1,02	F	0,2		
E	1,28	E	0,2		
R	0,69	R	0,2		
C	1,58	C	0,2		
		V	1,11		

Tab. 3.1/4 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 4 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,27	COD	0,36	[COD]	SI
D _{SS}	2,10	SS	0,16	[SS]	SI
D _N	0,90	N	0,36	[N]	SI
D _P	1,92	P	0,12	[P]	SI
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,35		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,23	F _{produzione}	0,40	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,02	F _{trattamento}	0,40	SSV/SST	SI
F _{destinazione}	0,81	F _{destinazione}	0,20	Umidità	SI
				% rec. materia	SI
				% rec. energia	SI
		F	1,06		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	1,09	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	0,45	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	SI
		E	0,77		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,82	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,82		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI		PESI INDICI			
D	1,35	D	0,25		
F	1,06	F	0,25		
E	0,77	E	0,25		
R	0,82	R	0,25		
C	---	C	0		
		V	1,00		

Tab. 3.1/5 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 5 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	0,86	COD	0,36	[COD]	SI
D _{SS}	1,15	SS	0,16	[SS]	SI
D _N	0,88	N	0,36	[N]	SI
D _P	3,05	P	0,12	[P]	SI
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,18		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,14	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,07	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,11		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	0,97	E _{consumo}	1,00	EE _{aria}	SI
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,00	EE _{altro}	SI
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	0,97		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	1,06	R _{acque}	0,50	R _{acque}	SI
R _{fanghi}	0,12	R _{fanghi}	0,50	R _{fanghi}	SI
		R	0,59		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	1,01	C _{personale}	0,2	C _{personale}	SI
C _{energia}	0,65	C _{energia}	0,2	C _{energia}	SI
C _{reagenti}	0,28	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	SI
C _{fanghi}	2,55	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	SI
C _{manutenzione}	0,47	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	SI
C _{altro}	2,37	C _{altro}	0,1	C _{altro}	SI
		C	1,18		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	1,18			D	0,2
F	1,11			F	0,2
E	0,97			E	0,2
R	0,59			R	0,2
C	1,18			C	0,2
		V	1,01		

Tab. 3.1/6 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 6 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	0,73	COD	0,36	[COD]	SI
D _{SS}	4,94	SS	0,16	[SS]	SI
D _N	1,12	N	0,36	[N]	SI
D _P	5,00	P	0,12	[P]	SI
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	2,06		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	0,57	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	0,88	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	0,72		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,58	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,58		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	2,06			D	0,34
F	0,72			F	0,33
E	---			E	0
R	0,58			R	0,33
C	---			C	0
		V	1,13		

Tab. 3.1/7 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 7 (dati completi).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,12	COD	0,35	[COD]	SI
D _{SS}	4,00	SS	0,15	[SS]	SI
D _N	0,91	N	0,35	[N]	SI
D _P	1,86	P	0,10	[P]	SI
D _{E.Coli}	1,06	E.Coli	0,05	[E.Coli]	SI
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,55		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,09	F _{produzione}	0,40	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	0,88	F _{trattamento}	0,40	SSV/SST	SI
F _{destinazione}	1,00	F _{destinazione}	0,20	Umidità	SI
				% rec. materia	SI
				% rec. energia	SI
		F	0,99		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	1,07	E _{consumo}	1,00	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,00	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	1,07		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,59	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,59		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI		PESI INDICI			
D	1,55	D	0,25		
F	0,99	F	0,25		
E	1,07	E	0,25		
R	0,59	R	0,25		
C	---	C	0		
		V	1,05		

Tab. 3.1/8 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 1 (dati completi – informazioni elaborate come descritto nel capitolo 1).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,21	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	1,97	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	1,08	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,29		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,19	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,13	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	SI
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,16		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	0,78	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	0,64	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	SI
				ET _{autoprodotta}	SI
		E	0,71		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,18	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,18		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	0,64	C _{personale}	0,2	C _{personale}	SI
C _{energia}	0,68	C _{energia}	0,2	C _{energia}	SI
C _{reagenti}	0,23	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	SI
C _{fanghi}	2,79	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	SI
C _{manutenzione}	2,39	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	SI
C _{altro}	0,23	C _{altro}	0,1	C _{altro}	SI
		C	1,13		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI			PESI INDICI		
D	1,29		D	0,2	
F	1,16		F	0,2	
E	0,71		E	0,2	
R	0,18		R	0,2	
C	1,13		C	0,2	
			V	0,89	

3.2 CONFRONTO TRA I DIVERSI IMPIANTI

Per poter effettuare un confronto oggettivo tra i diversi impianti, verranno in seguito (Tabelle 3.2/1 – 3.2/7) presentati i risultati del modello ottenuti inserendo le stesse informazioni (dati minimi disponibili) per tutti gli impianti, attribuendo ovviamente alle stesse voci i medesimi pesi.

I dati minimi disponibili presi in considerazione per effettuare l'elaborazione sono di seguito elencati.

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO

- schema dell'impianto;
- portata media giornaliera.

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)

- concentrazione in ingresso e in uscita di COD, SS e N_{tot} .

GESTIONE DEI FANGHI (F)

- produzione di fanghi;
- umidità del fango prodotto.

CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)

- consumi in linea acque e/o linea fanghi.

In questo modo, per alcuni impianti, ad esempio l'impianto 5, vengono trascurati alcuni dati disponibili (ad esempio i consumi di energia ed i costi di gestione) utilizzati invece per le elaborazioni complete riportate in precedenza (Tabelle 3.1/1 – 3.1/7).

Tab. 3.2/1 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 1 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,25	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	2,17	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	1,11	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,36		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,20	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,07	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,13		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,18	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,18		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	1,36			D	0,34
F	1,13			F	0,33
E	---			E	0
R	0,18			R	0,33
C	---			C	0
		V	0,89		

Tab. 3.2/2 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 2 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	2,18	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	3,75	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	1,41	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	2,15		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,57	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,00	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,28		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	0,70	R _{acque}	0,50	R _{acque}	SI
R _{fanghi}	0,42	R _{fanghi}	0,50	R _{fanghi}	SI
		R	0,56		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	2,15			D	0,34
F	1,28			F	0,33
E	---			E	0
R	0,56			R	0,33
C	---			C	0
		V	1,34		

Tab. 3.2/3 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 3 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,04	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	0,78	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	0,79	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	0,89		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,01	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,02	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,02		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,69	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,69		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	0,89			D	0,34
F	1,02			F	0,33
E	---			E	0
R	0,69			R	0,33
C	---			C	0
		V	0,86		

Tab. 3.2/4 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 4 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,27	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	2,10	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	0,90	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,27		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,23	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,02	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,12		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,82	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,82		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	1,27			D	0,34
F	1,12			F	0,33
E	---			E	0
R	0,82			R	0,33
C	---			C	0
		V	1,07		

Tab. 3.2/5 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 5 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	0,86	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	1,15	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	0,88	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	0,92		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,14	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	1,07	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,11		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	1,06	R _{acque}	0,50	R _{acque}	SI
R _{fanghi}	0,12	R _{fanghi}	0,50	R _{fanghi}	SI
		R	0,59		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	0,92			D	0,34
F	1,11			F	0,33
E	---			E	0
R	0,59			R	0,33
C	---			C	0
		V	0,87		

Tab. 3.2/6 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 6 (dati omogenei).

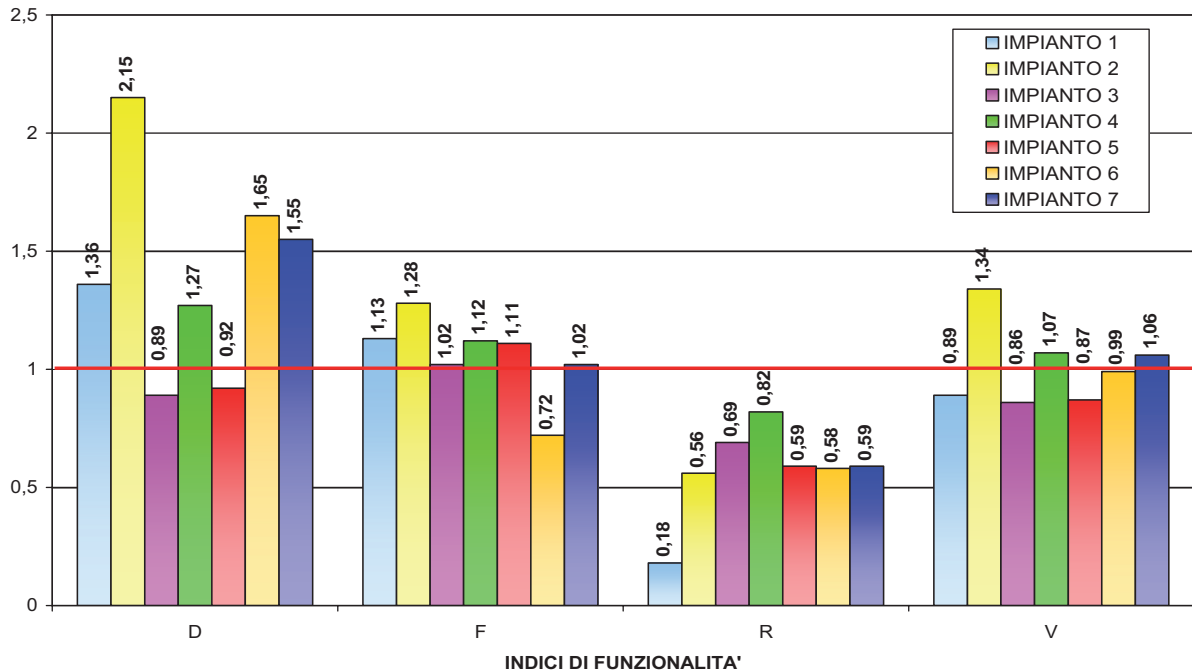
EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	0,73	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	4,94	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	1,12	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,65		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	0,57	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	0,88	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	0,72		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,58	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,58		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	1,65			D	0,34
F	0,72			F	0,33
E	---			E	0
R	0,58			R	0,33
C	---			C	0
		V	0,99		

Tab. 3.2/7 – Scheda riassuntiva relativa all'impianto 7 (dati omogenei).

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
D _{COD}	1,12	COD	0,41	[COD]	SI
D _{SS}	4,00	SS	0,18	[SS]	SI
D _N	0,91	N	0,41	[N]	SI
D _P	---	P	0,00	[P]	NO
D _{E.Coli}	---	E.Coli	0,00	[E.Coli]	NO
D _{Altro}	---	Altro	0,00	[Altro]	NO
		D	1,55		
GESTIONE DEI FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione}	1,09	F _{produzione}	0,50	P _{fango}	SI
F _{trattamento}	0,95	F _{trattamento}	0,50	SSV/SST	NO
F _{destinazione}	---	F _{destinazione}	0,00	Umidità	SI
				% rec. materia	NO
				% rec. energia	NO
		F	1,02		
CONSUMO DI ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo}	---	E _{consumo}	0,50	EE _{aria}	NO
E _{produzione}	---	E _{produzione}	0,50	EE _{altro}	NO
				EE _{autoprodotta}	NO
				ET _{autoprodotta}	NO
		E	---		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R _{acque}	---	R _{acque}	0,00	R _{acque}	NO
R _{fanghi}	0,59	R _{fanghi}	1,00	R _{fanghi}	SI
		R	0,59		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C _{personale}	---	C _{personale}	0,2	C _{personale}	NO
C _{energia}	---	C _{energia}	0,2	C _{energia}	NO
C _{reagenti}	---	C _{reagenti}	0,2	C _{reagenti}	NO
C _{fanghi}	---	C _{fanghi}	0,2	C _{fanghi}	NO
C _{manutenzione}	---	C _{manutenzione}	0,1	C _{manutenzione}	NO
C _{altro}	---	C _{altro}	0,1	C _{altro}	NO
		C	---		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI				PESI INDICI	
D	1,55			D	0,34
F	1,02			F	0,33
E	---			E	0
R	0,59			R	0,33
C	---			C	0
		V	1,06		

Nella Figura 3.2/1 sono riportati i valori degli indici di funzionalità (esclusi, come già detto in precedenza, l'indice relativo al consumo di energia e quello riferito ai costi) e della valutazione finale per i sette impianti di depurazione considerati.

Fig. 3.2/1 – Valori degli indici di funzionalità e della valutazione finale relativi agli impianti di depurazione presi in considerazione.



Si può osservare che l'indice di funzionalità relativo all'efficienza depurativa (D) è tendenzialmente superiore rispetto agli altri due indici.

Per quanto riguarda l'impianto 2 il valore dell'indice di efficienza depurativa è il più elevato (pari a 2,15); tale risultato è influenzato dalle concentrazioni medie in uscita estremamente basse, soprattutto per quanto riguarda il COD (12 mg/L) ed i SST (4 mg/L).

L'indice di funzionalità relativo alla gestione dei fanghi (F) è meno variabile rispetto agli altri indici e, ad eccezione dell'impianto 6 (dove assume un valore pari a 0,72), è sempre superiore ad 1; questo significa che, dal punto di vista della produzione, del trattamento e della destinazione dei fanghi, la funzionalità degli impianti è buona.

Per quanto riguarda invece l'indice di funzionalità relativo al consumo di reagenti e combustibile (R), si osserva che i valori sono inferiori ad 1; in particolare, per l'impianto 1 che presenta un valore pari a 0,18, il consumo di reagenti è notevolmente superiore rispetto al consumo atteso (calcolato con i criteri indicati nel capitolo 2).

Analizzando infine i risultati relativi alla valutazione finale (V), si può notare che l'impianto 2 presenta il valore massimo tra quelli presi in considerazione; viceversa per l'impianto 3 è risultato il valore minimo pari a 0,86.

Nelle successive parti della presente sezione verranno ripresi i risultati esposti in precedenza, andando ad approfondire, di volta in volta, ciascun indice di funzionalità.

PARTE II

DEFINIZIONE DI CRITERI DI OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA DEPURATIVA

4. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D)

Una precedente indagine relativa agli impianti di depurazione di acque reflue urbane, effettuata dagli scriventi per conto di APAT (Collivignarelli e Bertanza, 2005), ha permesso di concludere che sembrano esistere notevoli margini di miglioramento delle prestazioni degli impianti, se si tiene conto dei seguenti fattori:

- i malfunzionamenti si verificano spesso in assenza di sovraccarico (idraulico e/o organico);
- spesso esistono margini di potenzialità residua;
- molti impianti sono di medie o grandi dimensioni (con tutti i vantaggi che ciò comporta, a livello di disponibilità di mezzi e risorse, rispetto agli impianti di piccola taglia), per di più spesso dotati di trattamenti terziari;
- l'età media degli impianti suggerisce la possibilità di intervenire con una azione di “ammmodernamento/ristrutturazione”.

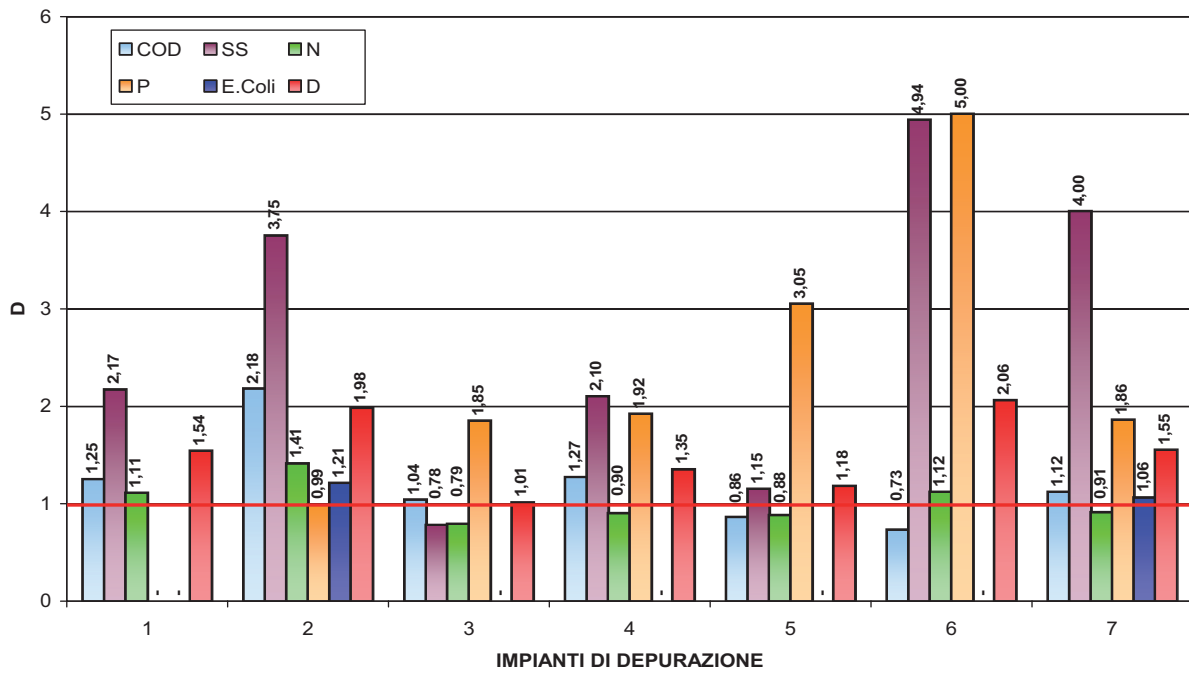
Si ritiene dunque che l'upgrading gestionale, ancora prima di quello strutturale, debba e possa rappresentare un obiettivo concretamente raggiungibile con investimenti minimi o addirittura trascurabili.

Nel presente capitolo verranno analizzati nel dettaglio gli indici di funzionalità relativi all'efficienza depurativa, confrontando i valori ottenuti per ciascun impianto preso in considerazione in questo studio.

Nella Figura 4/1 sono riportati, per ciascun impianto, i valori degli indici parziali e dell'indice di funzionalità relativo all'efficienza depurativa. Il valore di quest'ultimo è stato calcolato, come già accennato in precedenza, utilizzando solamente gli indici parziali relativi al COD, ai solidi sospesi e all'azoto. Nel grafico, per completezza, sono stati comunque inseriti gli indici parziali riferiti a tutti gli inquinanti considerati.

Come già detto in precedenza, prendendo in considerazione gli stessi parametri ed attribuendo loro il medesimo peso, l'impianto 2 presenta un indice di efficienza depurativa superiore rispetto agli altri impianti. Considerando invece le informazioni relative a tutti i parametri inquinanti fornite da ciascun gestore, l'impianto che presenta un indice di efficienza depurativa superiore agli altri è il numero 6.

Fig. 4/1 – Valori degli indici parziali e di funzionalità relativi all'efficienza depurativa.



5. CONFRONTO DEGLI INDICI PARZIALI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D_i) E POSSIBILI INTERVENTI

Nella Tabella 5/1 sono riportati i valori relativi agli indici parziali che concorrono alla valutazione dell'indice di funzionalità relativo all'efficienza depurativa.

Tab. 5/1 – Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa.

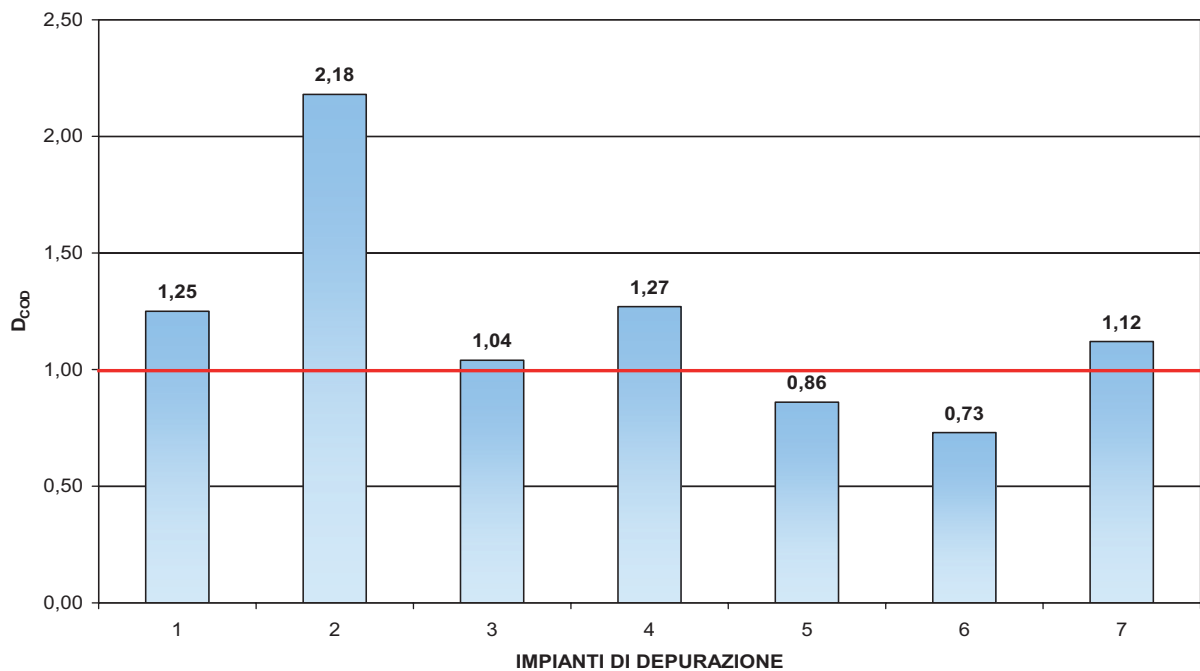
INDICI PARZIALI	NUMERAZIONE IMPIANTO						
	1	2	3	4	5	6	7
D _{COD}	1,25	2,18	1,04	1,27	0,86	0,73	1,12
D _{SS}	2,17	3,75	0,78	2,10	1,15	4,94	4,00
D _N	1,11	1,41	0,79	0,90	0,88	1,12	0,91
D _P	---	0,99	1,85	1,92	3,05	5,00	1,86
D _{E.Coli}	---	1,21	---	---	---	---	1,06

Nei paragrafi che seguono verranno analizzati, per ciascun parametro inquinante considerato, gli indici parziali.

5.1 INDICE PARZIALE RELATIVO AL COD

Nella Figura 5.1/1 sono riportati i valori dell'indice parziale di efficienza depurativa relativo al COD. Si può osservare che gli impianti 5 e 6 presentano i valori più bassi, rispettivamente pari a 0,86 e 0,73. Le cause di tale problema potrebbero, in prima battuta, essere riconducibili sia alla fuoriuscita dall'impianto di quantitativi elevati di solidi sospesi, sia alla presenza di una componente del COD refrattaria al trattamento biologico. Tuttavia, come si può osservare in seguito (Figura 5.2/1) gli indici parziali relativi ai solidi sospesi presentano, per entrambi gli impianti, valori superiori ad 1 (nel caso dell'impianto 6 il valore si attesta addirittura a 4,94). Molto probabilmente, visto che gli impianti ricevono reflui industriali o rifiuti liquidi, la problematica è dovuta proprio alla presenza di COD refrattario. Le soluzioni a questo problema potrebbero essere, in primis, un maggior controllo degli ingressi, per esempio mediante tecniche di valutazione della trattabilità biologica dei reflui, e successivamente il potenziamento dei trattamenti terziari, al fine di ottenere concentrazioni di COD inferiori a quelle attuali.

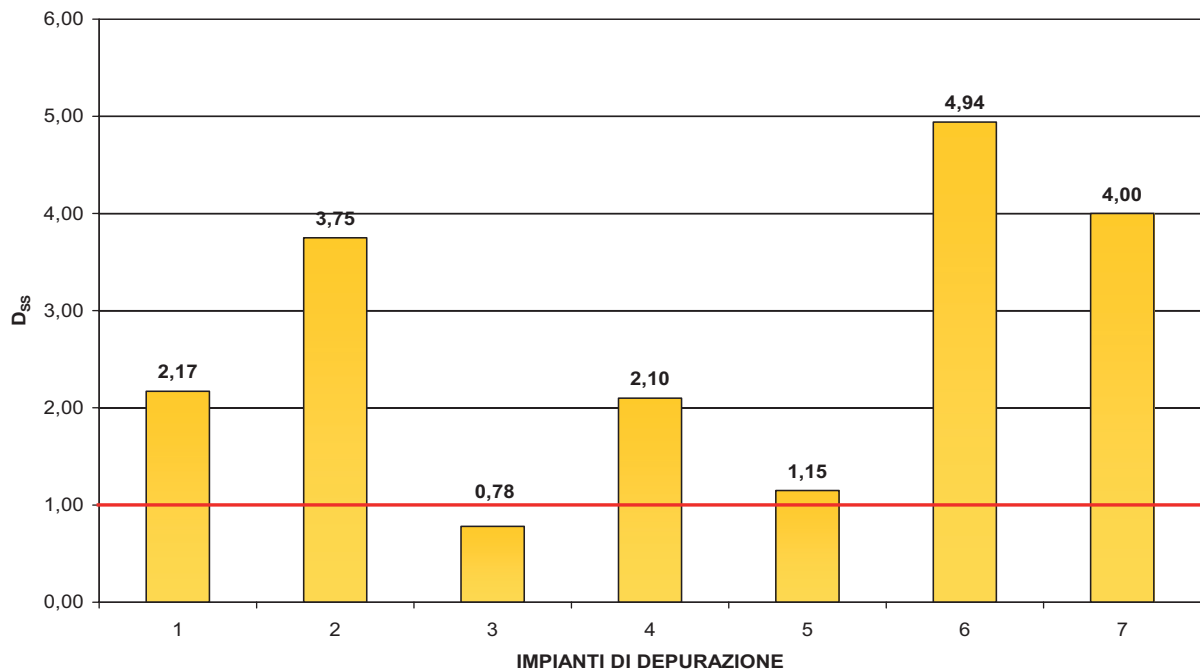
Fig. 5.1/1 – Valori degli indici parziali relativi al COD.



5.2 INDICE PARZIALE RELATIVO AI SOLIDI SOSPEI

Come si può osservare dalla Figura 5.2/1 l'indice parziale di efficienza depurativa relativo ai solidi sospesi è elevato per tutti gli impianti, ad eccezione dell'impianto 3, dove si attesta a 0,78. Poiché, per questo impianto, il valore dell'indice parziale relativo al COD è pari circa ad 1, probabilmente si verifica una fuoriuscita sensibile di solidi sospesi con l'effluente. Per individuare le cause di tale problema si potrebbero prevedere, per la fase di sedimentazione secondaria, una verifica di dimensionamento, una prova di sedimentabilità del fango (determinazione del flusso solido) ed una verifica delle condizioni idrodinamiche. Si potrebbe in aggiunta effettuare una mappatura dell'ossigeno nel comparto di ossidazione biologica. Una buona ossigenazione in tale comparto garantisce la formazione di un fiocco completamente ossigenato, dove la disponibilità di ossigeno è garantita fino "al cuore", consentendo così la formazione di una struttura più compatta e resistente; ciò permette ai sedimentatori di aumentare le loro capacità di trattamento (Fumagalli e Porro, 2004).

Fig. 5.2/1 – Valori degli indici parziali relativi ai solidi sospesi.

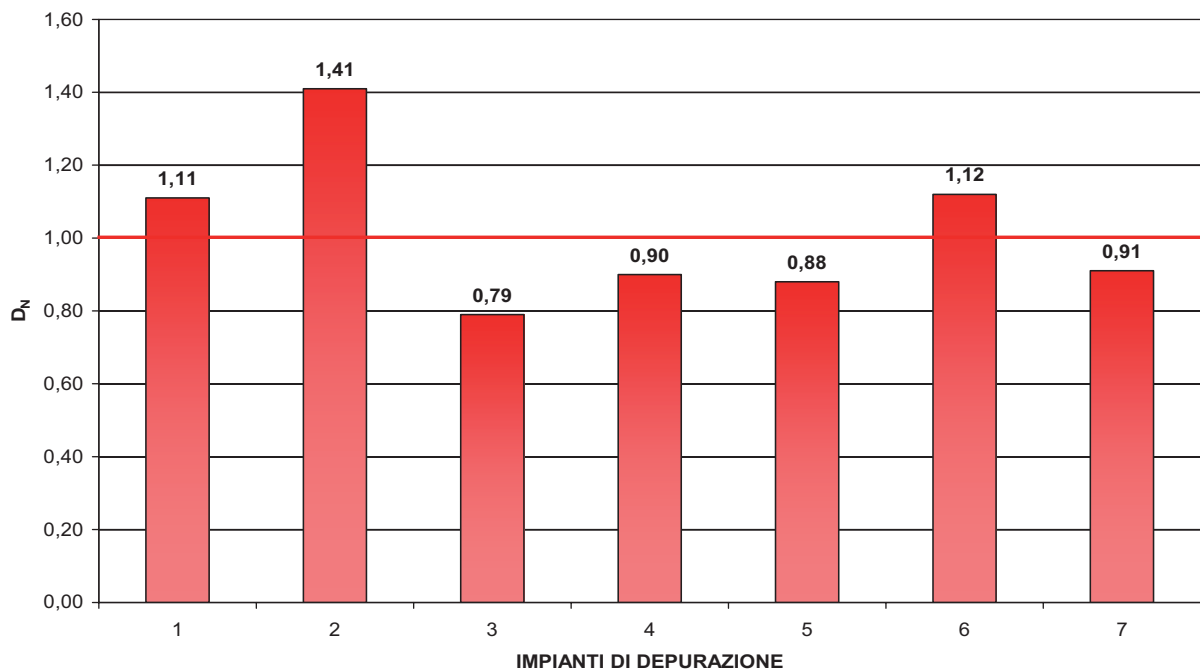


5.3 INDICE PARZIALE RELATIVO ALL'AZOTO

Nel caso dell'indice parziale di efficienza depurativa relativo all'azoto i valori non sono elevati come per i precedenti parametri (vedi Figura 5.3/1). Tale inquinante è effettivamente problematico e lo dimostra il fatto che, rispetto ai sette impianti presi in considerazione, quattro presentano un indice inferiore ad 1. Le possibili cause sono innumerevoli; per esempio potrebbe verificarsi un sovraccarico o potrebbero segnalarsi problemi connessi alla fornitura di ossigeno nella fase biologica, all'eventuale tossicità del fango attivo generata da alcuni reflui (soprattutto nel caso di impianti che ricevono rifiuti liquidi), oppure alla fuoriuscita del fango dall'impianto (ad esempio per quanto riguarda l'impianto 3).

Per determinare le cause si potrebbero eseguire: verifiche di dimensionamento, verifiche idrodinamiche del comparto di ossidazione biologica e del comparto di denitrificazione; prove di sedimentabilità del fango attivo; mappatura dell'ossigeno disciolto nella vasca di ossidazione, test di AUR (*Ammonia Uptake Rate*) e NUR (*Nitrogen Uptake Rate*), ecc..

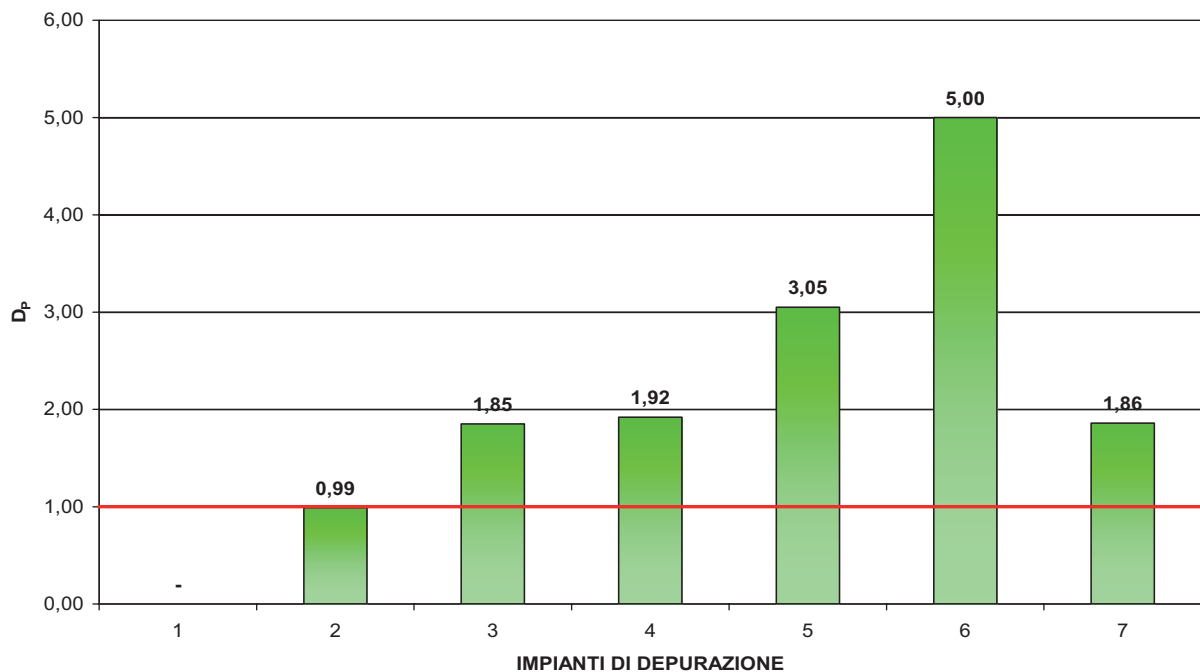
Fig. 5.3/1 – Valori degli indici parziali relativi all'azoto.



5.4 INDICE PARZIALE RELATIVO AL FOSFORO

Per quanto riguarda il fosforo non si osservano particolari problemi (Figura 5.4/1). Ciò deriva dalla relativa “facilità” di abbattimento di questo nutriente. L’unico impianto che presenta un indice parziale di pochissimo inferiore ad 1 è il numero 2, poiché pur essendo presente una fase di defosfatazione il rendimento di rimozione reale è di poco inferiore alle attese. Ciò può tuttavia essere dovuto semplicemente alle basse concentrazioni rilevate in ingresso.

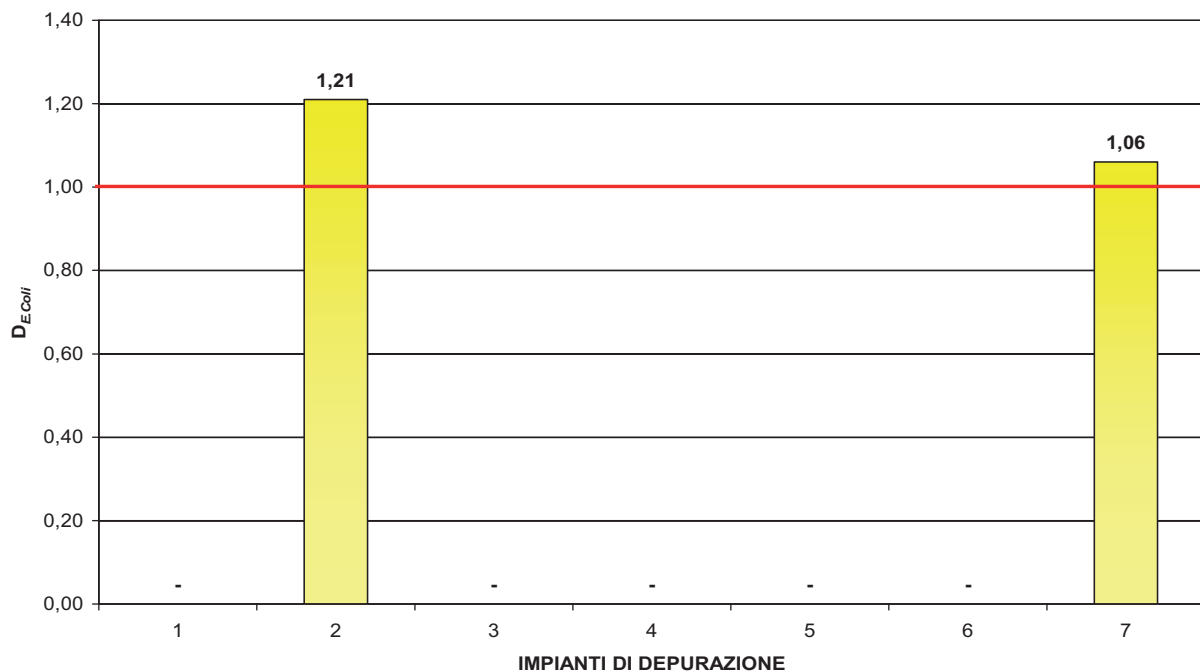
Fig. 5.4/1 – Valori degli indici parziali relativi al fosforo.



5.5 INDICE PARZIALE RELATIVO AD *ESCHERICHIA COLI*

Come si può osservare dalla Figura 5.5/1 i dati relativi a *Escherichia Coli* sono disponibili solamente per due impianti (gli impianti 2 e 7). Si può pertanto notare che laddove è presente una fase di disinfezione (come nell'impianto 7) eventualmente preceduta dalla filtrazione terziaria (come nel caso dell'impianto 2) per tale parametro non si evidenziano particolari problematiche.

Fig. 5.5/1 – Valori degli indici parziali relativi agli *Escherichia Coli*.



PARTE III

**MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA
ENERGETICA NEGLI IMPIANTI
DI DEPURAZIONE**

6. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Nel presente capitolo verrà analizzata la funzionalità degli impianti presi in considerazione dal punto di vista energetico. Dapprima si confronteranno, laddove disponibili le informazioni, i valori degli indici di funzionalità relativi sia al consumo di energia elettrica, sia alla produzione di energia elettrica e termica. Successivamente verranno messi a confronto anche gli indici di funzionalità parziali relativi al costo dell'energia elettrica.

Nella Figura 6/1 sono riportati, per tutti gli impianti presi in considerazione nello studio, ad eccezione dell'impianto 6 dove non sono disponibili i dati, i valori degli indici parziali relativi al consumo di energia ($E_{consumo}$). Si può osservare che tali indici sono generalmente bassi, anche se solamente gli impianti 1 e 5 presentano valori inferiori ad 1 e, rispettivamente, pari a 0,77 e 0,97.

Solamente per l'impianto 5 è stato possibile suddividere il consumo di energia elettrica in un primo contributo riguardante il sistema di fornitura dell'ossigeno in vasca biologica ed in un secondo apporto che comprende la restante parte dell'energia consumata all'interno dell'impianto stesso (vedi § 2.3.3 – parte I). Si può osservare che l'indice parziale relativo all'energia consumata per il sistema di aerazione è decisamente basso (0,39) evidenziando quindi, da questo punto di vista, un'elevata inefficienza energetica. Per quanto riguarda invece gli ulteriori consumi all'interno dell'impianto non si osservano particolari problematiche: il valore dell'indice del consumo energetico è infatti pari ad 1,55.

Nella Figura 6/2 sono riassunti i valori degli indici parziali relativi alla produzione di energia (elettrica e termica). Si può notare che gli impianti 1 e 4 sono gli unici per cui sono disponibili i dati; peraltro per l'impianto 4 è disponibile solamente l'informazione relativa all'energia termica prodotta. Entrambi gli impianti presentano un valore dell'indice parziale relativo alla produzione di energia basso e, per quanto riguarda l'impianto 1, non si osservano sostanziali differenze per quanto riguarda la produzione di energia elettrica e per quella termica.

Per quanto riguarda il costo dell'energia elettrica (Figura 6/3) si può osservare che, contrariamente all'impianto 3, gli altri due impianti che hanno fornito le informazioni in tal senso presentano un indice inferiore ad 1. Questo fatto conferma le osservazioni fatte in precedenza, per quanto riguarda i consumi di energia. Inoltre, in tutti e tre i casi, si osserva un abbassamento degli indici parziali relativi al costo rispetto a quelli inerenti il consumo (l'impianto 5 è il peggiore da questo punto di vista).

Fig. 6/1 – Valori degli indici parziali relativi all'energia consumata.

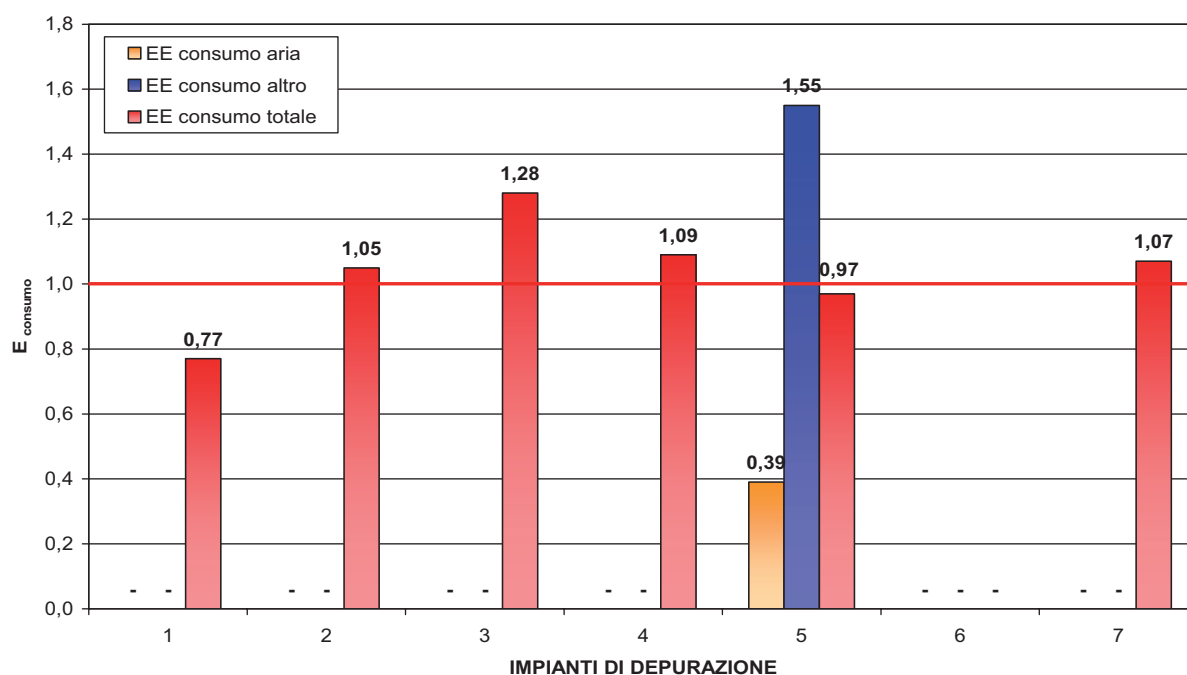


Fig. 6/2 – Valori degli indici parziali relativi all'energia prodotta.

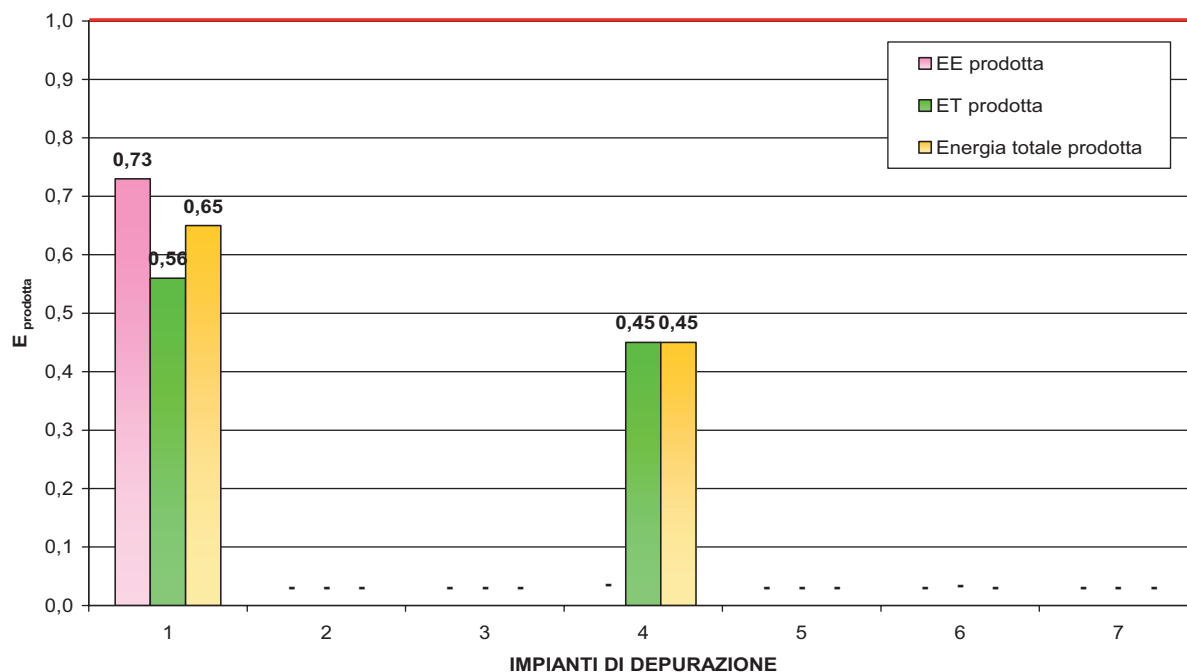
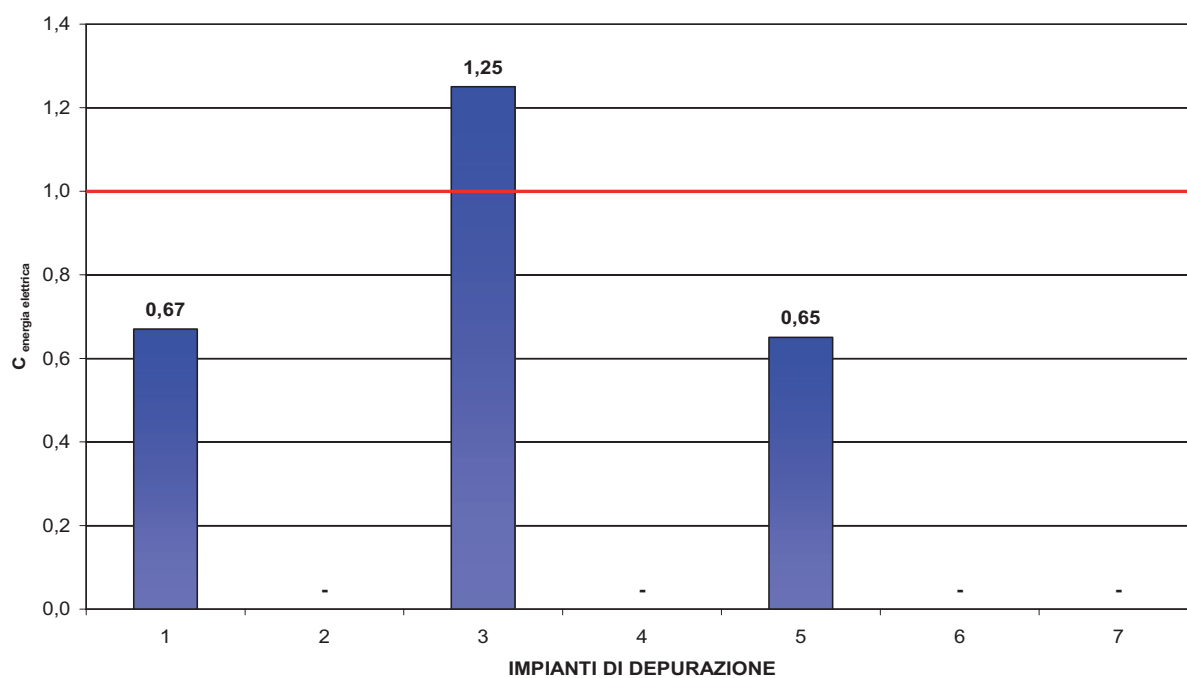


Fig. 6/3 – Valori degli indici parziali relativi al costo dell'energia elettrica.



7. POSSIBILI INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

Per il miglioramento dell'efficienza energetica negli impianti si può operare in diverse direzioni, ma principalmente i risparmi energetici possono derivare dall'ottimizzazione dei recuperi (vedi capitolo 10 – Parte IV) e della fornitura di ossigeno.

Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto occorre innanzitutto prevedere una serie di verifiche di funzionalità quali la verifica della capacità dei sistemi di fornitura dell'ossigeno (vedi § 5.2 – Parte II – SEZIONE 1) e la verifica idrodinamica dei bacini di aerazione (vedi § 5.3 – Parte II – SEZIONE 1). Una volta individuate le anomalie, possono essere adottati sistemi di diffusione a maggiore rendimento, oppure si può agire, come vedremo nell'esempio di seguito descritto, sul controllo della fornitura di aria.

In generale, la fornitura di aria gioca un ruolo chiave nella gestione di un impianto di depurazione; infatti:

- è strettamente legata all'efficienza dei processi di rimozione dell'azoto, alla sedimentazione del fango, alla crescita dei microrganismi fiocco formatori e filamentosi;
- è una delle principali voci di spesa.

Ottimizzare la fornitura di aria significa:

- mantenere un'adeguata efficienza di depurazione in relazione ai limiti di legge per l'effluente;
- assicurare la stabilità di processo, nonostante la variabilità delle caratteristiche dell'influenza e degli altri parametri operativi;
- evitare una fornitura eccessiva di aria e il conseguente spreco di energia.

Normalmente la regolazione della fornitura di aria viene effettuata sulla base dell'ossigeno disciolto misurato nella vasca di aerazione. Laddove i sistemi di fornitura dell'aria consentano regolazioni fini, vengono adottati in genere i controllori PID; questi però sono controllori lineari, mentre il processo biologico di depurazione si basa su dinamiche non lineari.

Un esempio di soluzione innovativa per il controllo della fornitura di aria in impianti a fanghi attivi è rappresentato dal sistema OxyFuzzy, messo a punto dall'Università di Brescia (Dipartimento di Ingegneria Civile, Territorio, Architettura e Ambiente), che ne detiene il brevetto, la cui licenza di sfruttamento commerciale è detenuta da una Società privata. Il sistema di controllo, messo a punto attraverso una ricerca sperimentale a scala reale, è di tipo non convenzionale, basato su logica fuzzy (che consente di sfruttare la conoscenza pratica degli addetti ai lavori ed è svincolata da una rappresentazione lineare dei fenomeni), con misurazione on-line della concentrazione di ammoniacale in vasca di ossidazione.

7.1 DESCRIZIONE DEL SISTEMA OXYFUZZY E RISULTATI CONSEGUIBILI

La sperimentazione per la messa a punto del sistema di controllo OxyFuzzy è stata svolta su un impianto di depurazione a fanghi attivi da 370.000 AE, con sedimentazione primaria e schema di pre-denitrificazione.

Il sistema di fornitura dell'aria dell'impianto è composto da 3 compressori centrifughi, ciascuno avente una portata d'aria massima pari a 12.100 Nm³/h. Il sistema di controllo convenzionale prevede di effettuare le regolazioni fini dell'erogazione d'aria mediante un controllore PID incaricato di mantenere costante la pressione di aria nel collettore principale. La concentrazione di ossigeno è con-

trollata separatamente in ciascuna vasca (l'impianto è suddiviso su 5 linee) da un controllore PID dedicato a mantenere l'ossigeno in vasca vicino ad un valore di set point impostato manualmente. Il PID agisce su una valvola motorizzata posta sulla tubazione di adduzione dell'aria ai diffusori. Elementi essenziali del sistema OxyFuzzy messo a punto nel corso della sperimentazione (che è stato applicato ad una delle quattro linee dell'impianto) sono: un sensore per la misura on-line dell'ammoniaca, un ossimetro, un PC sul quale implementare il sistema di controllo basato su logica fuzzy e uno SCADA.

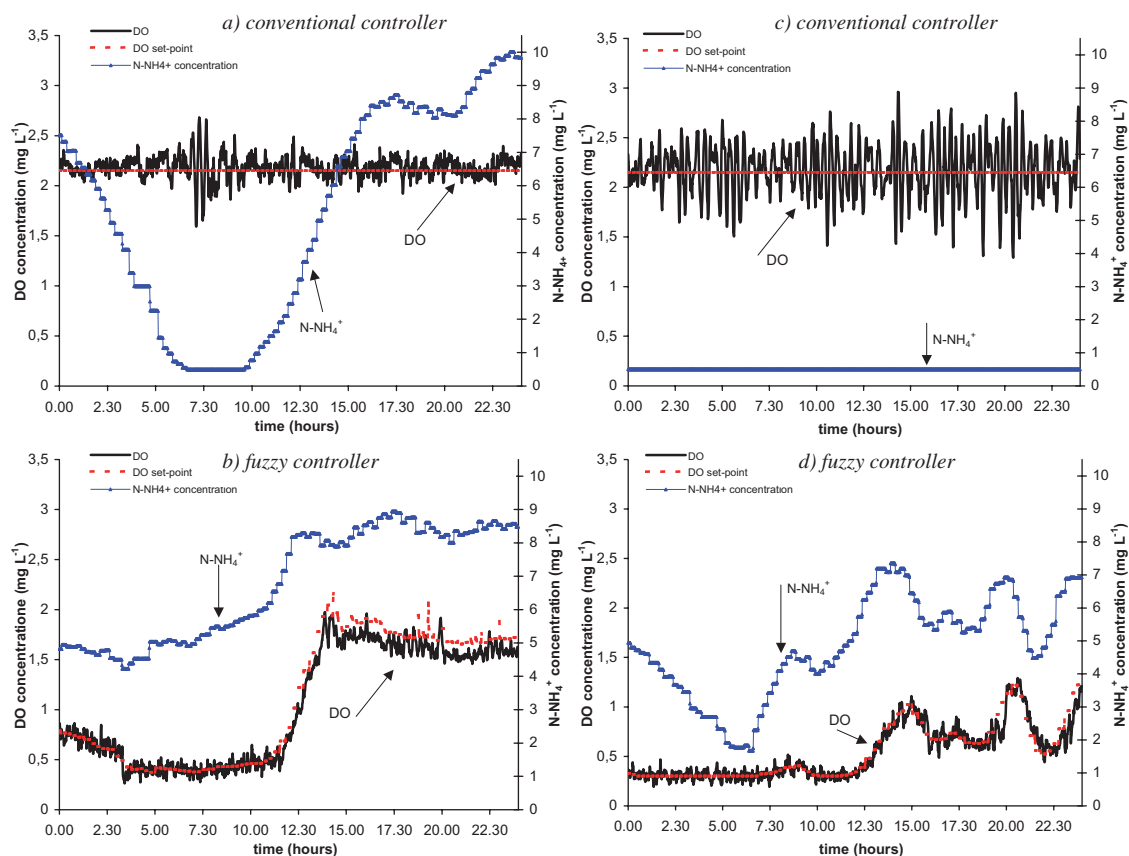
Il sistema di controllo è composto da 2 moduli principali: un modulo è incaricato di calcolare il set point "ottimale" dell'ossigeno disciolto, in base alla concentrazione di ammoniaca rilevata. Il set point dell'ossigeno è dato in input al secondo modulo fuzzy, dedicato a regolare la portata di aria al fine di mantenere l'ossigeno in vasca il più vicino possibile al set point.

Il sistema di controllo, dopo una lunga fase di progettazione, sviluppo e realizzazione, è stato messo e mantenuto in funzione per un periodo di circa 12 mesi. I risultati sono stati valutati in termini di stabilità del processo e risparmio energetico.

7.2 STABILITÀ DEL PROCESSO

I dati riportati in Figura 7.2/1 evidenziano, innanzitutto, la maggior stabilità di processo conseguibile con l'adozione del sistema OxyFuzzy. Questo aspetto è stato valutato in due diverse condizioni di funzionamento: alto carico e basso carico.

Fig. 7.2/1 – Profili delle concentrazioni di ossigeno e ammoniaca durante giorni di alto carico (a e b) e basso carico (c e d): confronto tra il controllore convenzionale (a e c) e il controllore fuzzy (b e d).



Condizioni di Alto carico

Le figure 7.2/1(a) e 7.2/1(b) mostrano la concentrazione di ammoniaca durante due giorni tipici: il controllore fuzzy è operativo l'8 gennaio (figura 7.2/1(b)) e il controllore convenzionale è operativo il 14 gennaio (figura 7.2/1(a)). Questi due giorni sono tra loro confrontabili in termini di condizioni di processo, carico influente, temperatura, ecc. Vengono mostrati l'andamento dell'ammoniaca, dell'ossigeno disciolto e del set point dell'ossigeno disciolto.

Si può osservare che con il controllore tradizionale la concentrazione di ammoniaca varia da 0,5 mg N/L (limite inferiore di rilevabilità dello strumento) a 10 mg N/L durante il giorno, mentre con il controllore fuzzy la concentrazione di ammoniaca varia da circa 4,3 a 8,9. Questo comportamento è stato ottenuto sotto simili condizioni (carico influente, temperatura, ecc.).

I vantaggi ottenuti dal controllore fuzzy in termini di stabilità di funzionamento del processo sono evidenti: la variabilità della concentrazione di ammoniaca nel tempo è molto ridotta.

Condizioni di Basso carico

Le figure 7.2/1(c) e 7.2/1(d) mostrano i profili della concentrazione di ammoniaca durante due giorni tipici rispettivamente con il controllore convenzionale (7.2/1(c) – 3 dicembre) e con il controllore fuzzy (7.2/1(d) – 29 novembre).

Con il controllore convenzionale l'ammoniaca si mantiene al di sotto 0,5 mg N/L (limite di rilevabilità dello strumento) per tutto il giorno, mentre con il controllore fuzzy la concentrazione di ammoniaca varia da 1,7 a circa 7,3 mg N/L.

Questi dati mostrano che il set point fisso determina un eccesso di fornitura di aria, mentre il controllore fuzzy mantiene la concentrazione di ammoniaca media attorno a 4 mg N/L variando opportunamente il set point del DO.

Stabilità a breve termine

La figura 7.2/1 mostra anche una significativa differenza nel comportamento a breve termine. Il controllore fuzzy segue regolarmente con piccole differenze il set point che varia, mentre il controllore convenzionale oscilla ampiamente attorno al set point fisso.

7.3 RISPARMIO ENERGETICO

La possibilità di regolare il set point dell'ossigeno in funzione dell'effettivo fabbisogno della biomassa conduce ad un diverso consumo energetico rispetto al caso in cui il set point sia fisso.

È stato misurato il consumo energetico relativo alla fornitura di aria per tutto l'impianto a seconda del tipo di controllore utilizzato: nel primo caso tutte le 4 vasche operano con il controllore convenzionale, nel secondo caso una delle 4 vasche opera con il controllore fuzzy.

Il consumo energetico medio giornaliero di tutto il periodo della sperimentazione è risultato pari a 16.506 kWh/d nel primo caso e 15.841 kWh/d nel secondo caso, con un risparmio pari a circa il 4% ottenuto applicando il controllore fuzzy ad una sola delle 4 vasche.

Una stima economica (condotta ipotizzando di estendere il sistema di controllo fuzzy a tutte le 4 vasche e assumendo costi di mercato per la progettazione, realizzazione, e implementazione del sistema) fornisce un tempo di ritorno dell'investimento inferiore a 3 anni.

Sono state poi effettuate anche valutazioni più di carattere generale, anche relativamente ad altri impianti. E' risultato che, mediamente, si può ipotizzare un risparmio energetico variabile tra il 10 e il 20% in funzione delle caratteristiche dell'impianto stesso (tipologia del sistema di fornitura dell'aria, tipi di attuatori, resa di trasferimento dell'ossigeno, schema impiantistico ecc.) e delle condizioni di funzionamento (carichi trattati e loro variabilità, limiti allo scarico ecc.).

PARTE IV

**RIDUZIONE DEI QUANTITATIVI DI FANGHI
PRODOTTI E RECUPERO DI
MATERIA ED ENERGIA**

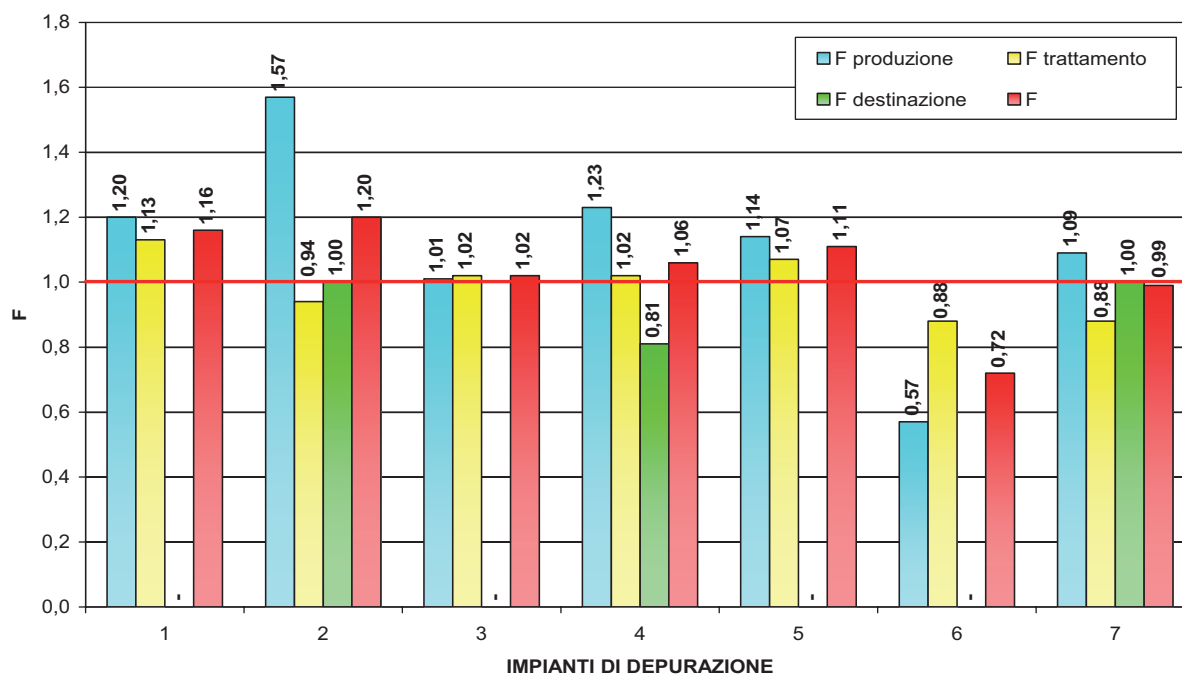
8. VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI DAL PUNTO DI VISTA DELLA GESTIONE DEI FANGHI

Analogamente ai consumi energetici (vedi Parte III), in questo capitolo vengono riportati i risultati, per la parte riguardante la gestione dei fanghi, ottenuti dall'applicazione degli indici di funzionalità (vedi Parte I) agli impianti presi in considerazione nello studio. In particolare vengono analizzati sia gli indici di funzionalità relativi alla gestione dei fanghi vera e propria, suddivisa negli aspetti di produzione, trattamento e destinazione, sia gli indici relativi al costo di smaltimento.

Analizzando la Figura 8/1, nella quale sono riassunti gli indici parziali e gli indici di funzionalità globali relativi alla gestione fanghi, si può osservare che i valori ottenuti sono generalmente in linea con le attese (indici pari circa ad 1). L'impianto che presenta particolari problematiche da questo punto di vista è il numero 6, dove sia l'indice parziale relativo alla produzione dei fanghi, sia quello inerente il trattamento sono nettamente inferiori ad 1 e, rispettivamente, pari a 0,57 e 0,88.

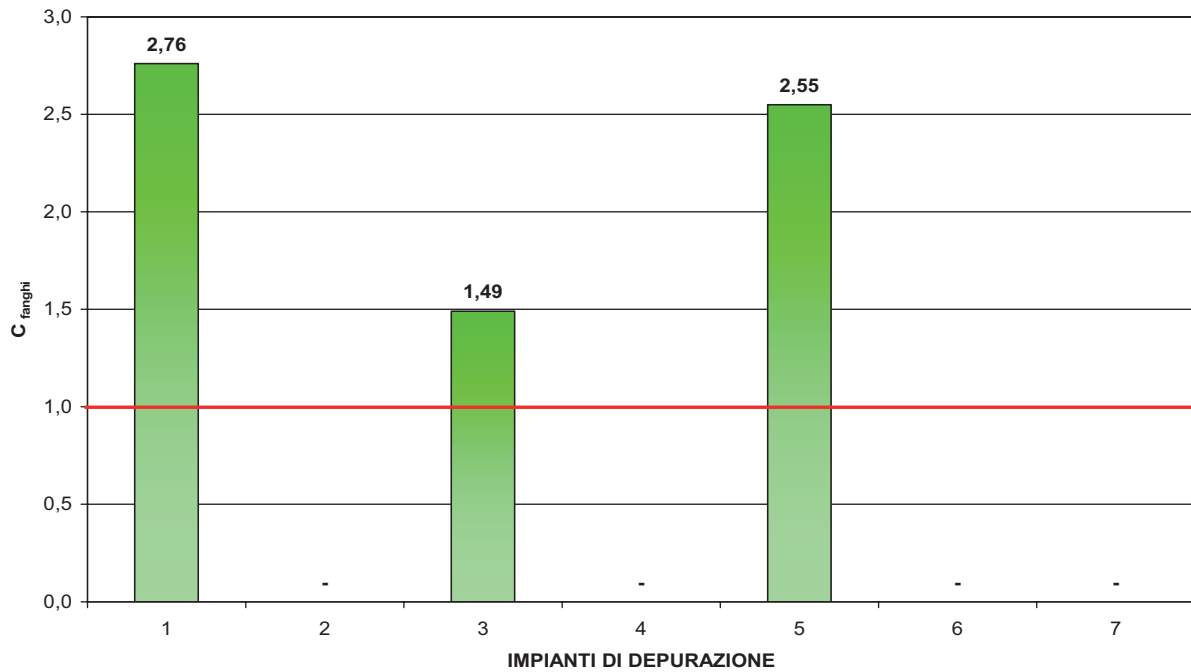
L'impianto 2 produce invece un quantitativo di fanghi sensibilmente inferiore ai valori attesi, anche se dal punto di vista del trattamento (che considera sia l'umidità, sia il rapporto SSV/SST dei fanghi prodotti) presenta un indice parziale pari a 0,94.

Fig. 8/1 – Valori degli indici parziali e di funzionalità relativi alla gestione dei fanghi.



Per quanto riguarda il costo di smaltimento dei fanghi di depurazione, si può osservare (Figura 8/2) che tutti gli indici parziali di costo sono superiori ad 1, con un valore massimo per l'impianto 1; solamente tre impianti hanno però fornito il dato di costo.

Fig. 8/2 – Valori degli indici parziali relativi al costo per lo smaltimento dei fanghi.



Al di là dei risultati specifici di questo studio è noto che il problema della gestione dei fanghi di depurazione rappresenta, oggi, uno degli aspetti più critici per i gestori degli impianti. È parso quindi utile riportare, di seguito, un esame piuttosto approfondito della tematica. Dapprima viene trattato il problema della minimizzazione dei fanghi analizzando i possibili interventi; successivamente vengono indicate alcune alternative per il recupero di energia e di materia dai fanghi ed infine sono analizzati, dal punto di vista tecnico-economico, le diverse alternative di gestione dei fanghi, con un esempio applicativo a livello di pianificazione regionale.

9. LA MINIMIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE DI FANGHI

Le tecniche di riduzione della produzione dei fanghi possono essere considerate un intervento “preventivo” nell’ottica di contenere i costi di smaltimento.

Più in generale, in questo contesto possono essere prese in considerazione anche quelle tecniche che permettono di migliorare la qualità dei fanghi (es. riduzione del contenuto di metalli pesanti), con ciò consentendo ad esempio il riutilizzo agronomico.

Esistono sistemi consolidati e sistemi non convenzionali, ovvero ancora in fase di studio, che possono essere applicati alla linea acque o alla linea fanghi. Tali tecniche possono interessare i comparti biologici o chimico/fisici ed essere esse stesse di tipo biologico o chimico/fisico.

La scelta della tecnologia più appropriata deve essere effettuata tenendo conto di numerosi fattori, di tipo prettamente tecnico e di carattere economico, valutando attentamente vantaggi e svantaggi che possono derivare dalla loro applicazione, sia diretti (ovvero relativi alla produzione dei fanghi) sia indiretti (ovvero che vanno ad interessare altri aspetti e/o altre fasi dell’impianto).

Di seguito si sono suddivisi gli interventi adottabili sulla linea acque da quelli applicabili alla linea fanghi.

9.1 INTERVENTI SULLA LINEA ACQUE

9.1.1 Interventi sui trattamenti chimico-fisici e meccanici

Fra le fasi di trattamento chimico-fisico/meccanico di un impianto di depurazione che maggiormente possono influire sulla produzione di fango, si è ritenuto rilevante focalizzare l’attenzione sul dosaggio di reattivi chimici flocculanti (con vari obiettivi) o carbone attivo e sul comparto di microgrigliatura.

I reattivi chimici con funzione coagulante/flocculante possono essere utilizzati per diverse ragioni, ad esempio per far fronte a sovraccarichi (dosaggio in fase primaria), per migliorare la sedimentabilità del fango secondario, per rimuovere il fosforo.

La scelta dei reattivi e la definizione delle condizioni di trattamento vanno condotte attentamente, considerando la consistenza (peso e volume) dei fiocchi che si formano, da valutare in funzione delle condizioni idrauliche (velocità ascensionali) effettive.

Il dosaggio dei reattivi, pur determinando i vantaggi descritti in precedenza, determina un aumento della produzione di fango non indifferente. In generale le produzioni di fango “chimico” variano dal 20% del totale al 120% in funzione non solo del dosaggio dei reagenti ma anche dell’alcalinità dell’acqua (Nuovo Colombo, 2003).

Anche nel caso di dosaggio di carbone attivo in polvere (direttamente nella fase biologica ed eventualmente anche a livello dei pre-trattamenti) è opportuno tenere conto dei riflessi sulla produzione dei fanghi (incremento per effetto della presenza del carbone stesso, diminuzione per effetto dell’adsorbimento di composti organici biodegradabili, aumento per effetto dell’incremento dell’attività biologica a seguito dell’eliminazione di sostanze inibenti, ecc.)

Con l’adozione di microgriglie finissime la capacità di rimozione dei solidi sospesi può raggiungere il 5-15% in funzione delle caratteristiche del liquame. Ciò può portare a una propor-

zionale riduzione della produzione di fango, con un incremento, però, del materiale grigliato fino al 60% (2-11 kg grigliato/ab anno) rispetto all'utilizzo di griglie fini (2-4 kg grigliato/ab anno) (Masotti, 1996).

9.1.2 Interventi sul comparto biologico

Tra i principali fattori che, notoriamente, influenzano la produzione del fango biologico vanno citati l'età del fango e la disponibilità di ossigeno disciolto. Chiaramente, la definizione dei valori "corretti" di questi parametri nella progettazione degli impianti deve tener conto in primis delle esigenze di processo (es. nitrificazione) e degli aspetti economici. D'altro canto, gli impianti ad aerazione estesa trovano la loro origine proprio nella necessità di semplificare la linea fanghi (per quanto concerne il comparto di stabilizzazione). Nella gestione, invece, i vincoli principali sono costituiti dai limiti strutturali dell'impianto (volumi dei reattori, potenzialità del sistema di fornitura dell'ossigeno, ecc.).

Le tecnologie non convenzionali proposte per ridurre la produzione di fango di supero in un impianto di depurazione possono essere classificate in due principali categorie:

- metodi fisico/chimici;
- metodi biologici.

All'interno di questi due raggruppamenti esistono sia metodi che, per quanto innovativi, contano già alcune applicazioni a scala reale, sia metodi di recente introduzione che sono stati studiati finora solo a scala di laboratorio o pilota.

Generalmente i metodi di tipo chimico risultano più efficienti nella riduzione del fango di supero rispetto ai metodi di tipo biologico, dal momento che questi ultimi, indirizzati ad agire sul metabolismo batterico e sulla lisi cellulare, presentano aspetti gestionali più complessi. I trattamenti chimici offrono invece diversi vantaggi, tra cui una facile impostazione del processo, una stabile efficienza, parametri gestionali flessibili e facilmente modificabili in funzione delle esigenze. Tra gli aspetti che ne limitano l'applicabilità a grande scala una delle voci principali è costituita dai costi operativi per l'acquisto delle apparecchiature e soprattutto dei reattivi chimici che possono essere elevati. Tali costi di investimento e di gestione devono essere valutati in funzione del risparmio ottenibile in seguito alla riduzione della quantità di fanghi da trattare e da avviare allo smaltimento finale. Diverse tecnologie infatti presentano un aumento dei costi compensabile, e spesso superabile, dal risparmio nel costo del trattamento/smaltimento del fango. I metodi chimici sono da questo punto di vista promettenti e si può ritenere che lo saranno ancor più nel prossimo futuro, a patto che vengano ulteriormente ottimizzati economicamente. Alcuni trattamenti sono applicati direttamente nel reattore a fanghi attivi, altri vengono invece applicati sulla linea di ricircolo dei fanghi o su un'aliquota di questa.

I metodi di tipo biologico sono applicati allo scopo di intervenire sul metabolismo cellulare di mantenimento e sui meccanismi di respirazione endogena e di lisi cellulare. Esiste un consumo di substrato relativo al solo metabolismo di mantenimento, cioè che non si traduce in sintesi di nuova biomassa, ma solo in produzione di energia. Il metabolismo di mantenimento risulta legato ai meccanismi di lisi cellulare, e la produzione di fango è inversamente correlata a questo tipo di attività. Per ridurre i volumi di fango di supero si cerca quindi di disturbare l'equilibrio fra anabolismo, cioè sintesi cellulare, e catabolismo o produzione di energia, a favore del-

le reazioni cataboliche. La riduzione di fango attraverso i processi biologici presenta però aspetti operativi e gestionali più complessi rispetto a quelli richiesti per l'applicazione dei trattamenti di tipo chimico/fisico, soprattutto nel trasferimento dei metodi non convenzionali alla scala reale.

Ossidazione chimica del fango di ricircolo. Tale processo prevede il trattamento del fango di ricircolo con un ossidante (es. ozono o cloro) (Kamiya e Hirotsuji, 1998). Mediante ossidazione chimica una parte del fango attivo viene mineralizzata, mentre un'altra parte viene solubilizzata in composti organici biodegradabili che possono essere ossidati nel reattore a fanghi attivi, infatti l'utilizzo di ozono o di cloro (due forti ossidanti chimici) induce una significativa lisi cellulare.

Alcuni aspetti problematici associati al trattamento di ozonizzazione ancora oggetto di approfondimento sono legati al notevole consumo di ozono nella fase iniziale del trattamento (Deleris *et al.*, 2000) e al fatto che l'ozono può reagire con altre sostanze riducendo l'efficienza di ossidazione nei confronti del fango attivo; una certa quantità di carbonio organico refrattario può essere così rilasciata nell'effluente nonostante l'ozonizzazione, con possibili problemi di tossicità per il corpo idrico ricettore. Tuttavia, in generale, nonostante si abbia un elevato rilascio di componenti solubili in seguito ad ozonizzazione, negli impianti che implementano tale trattamento le concentrazioni di composti carboniosi nell'effluente risultano solo di poco superiori rispetto ai valori di impianti convenzionali a fanghi attivi. Il motivo risiede nell'elevata biodegradabilità dei composti prodotti, il 50% dei quali è di tipo rapidamente biodegradabile (Deleris *et al.*, 2000). Sembra inoltre che i fanghi sottoposti ad ozonizzazione siano caratterizzati da una migliore sedimentabilità (Kamiya e Hirotsuji, 1998).

Trattamento termo-chimico del fango di ricircolo. Il trattamento termico abbinato a quello chimico permette di ottenere l'idrolisi dei componenti del fango, sia per quanto riguarda la lisi cellulare che per la degradazione di sostanze organiche. Quando si desidera agire sulla linea liquami tale trattamento si applica in un reattore di limitate dimensioni disposto sulla linea di ricircolo dei fanghi dal sedimentatore finale. Può essere applicato anche sui fanghi di supero estratti dal sedimentatore finale, come pretrattamento prima della digestione anaerobica.

Per effettuare l'idrolisi termo-chimica, l'idrossido di sodio risulta il reattivo chimico più utilizzato e più efficiente nella lisi cellulare (Rocher *et al.*, 2001).

Per la verifica dell'applicabilità a scala reale è necessario considerare gli aspetti energetici e la richiesta di reagenti alcalini. Vanno considerate anche le limitazioni nella scelta dei materiali costruttivi nel circuito di ricircolo al fine di evitare problemi di corrosione (Liu, 2003).

Trattamento anaerobico/anossico del fango di ricircolo. Il trattamento "oxic-settling-anaerobic" è una variante della tecnologia convenzionale del processo a fanghi attivi, ottenuta inserendo nel ricircolo un reattore anaerobico. Tale processo è costituito da fasi di aerobiosi intervallate a fasi di anaerobiosi corrispondenti ad un'alternanza rispettivamente, di fasi di "feasting" (ricca di nutrienti) e di "fasting" (povera di substrato). Quando i microorganismi ritornano nel reattore aerobico a fanghi attivi ricco di substrato organico, devono necessariamente ricostruire le loro riserve di energia prima di sintetizzare nuova biomassa, in quanto la sintesi cellulare non può procedere senza un minimo quantitativo di ATP. Il consumo di substrato si traduce perciò in metabolismo catabolico per soddisfare la richiesta di energia da parte dei microorganismi. L'alternarsi di condizioni aerobiche e anaerobiche tende quindi a dissociare catabolismo da ana-

bolismo e stimola l'attività catabolica. La produzione di fango risulta quindi minimizzata (Liu e Tay, 2001).

In alternativa al processo anaerobico si può inserire un reattore anossico; tale trattamento viene definito come "oxic-settling-anoxic" (Saby *et al.*, 2003).

Idrolisi Enzimatica. Questo sistema consiste nel trattare un flusso di fango prelevato dal reattore biologico mediante processo aerobico termofilo per poi reimmetterlo nella vasca a fanghi attivi. Il fango prelevato dal bacino viene staccato, ispessito e portato alla temperatura di processo (50-80 °C) mediante uno scambiatore fango /fango. Il reattore termofilo aerobico è dotato di miscelatore. L'alternanza delle condizioni mesofile e termofile favorirebbe processi di lisi della sostanza organica e un aumento dei fabbisogni energetici dei batteri mesofili per il loro mantenimento e la loro ricostituzione.

Processo mediante "metabolic uncoupler". Il metabolismo cellulare è la somma di trasformazioni biochimiche che coinvolgono reazioni accoppiate cataboliche (reazioni a funzione energetica) ed anaboliche (reazioni di sintesi). La produzione di nuovo materiale cellulare, e quindi il coefficiente di crescita, è direttamente proporzionale alla quantità di energia prodotta nella fase catabolica. In presenza di determinate sostanze, dette "disaccoppianti metabolici" (metabolic uncoupler), l'energia ricavata dall'ossidazione della sostanza organica viene dissipata sotto forma di calore anziché venire immagazzinata come ATP. In base a questo meccanismo, quindi, in colture microbiche contenenti disaccoppianti metabolici (Zubay, 1998) la crescita viene inibita senza che venga inibita la respirazione. In pratica si osserva un netto aumento di consumo di substrato che non corrisponde ad un aumento proporzionale di biomassa. Tra i composti utilizzati per ridurre la produzione di fango possiamo citare i seguenti: paranitrofenolo (pNP); clorofenolo; 3,3',4',5-tetraclorosalicilanilide; 2,4,5-triclorofenolo, aminofenolo, etc. (Okei e Stensel, 1993; Low e Chase, 1998; Mayhew e Stephenson, 1998; Chen *et al.*, 1999; Liu, 2000; Low *et al.*, 2000; Xie, 2002).

Questa recente tecnica è stata sperimentata fino ad ora solo a scala di laboratorio e spesso solo su colture pure.

Sviluppo di protozoi/metazoi per la predazione batterica. Il sistema "fango attivo" è costituito principalmente da batteri, protozoi e da metazoi. I protozoi possono essere suddivisi in: natanti, liberi di fondo e sessili. I metazoi normalmente sono costituiti da rotiferi e nematodi.

È noto come il ruolo dei protozoi e metazoi all'interno dell'ecosistema fanghi attivi sia quello di predatori dei batteri e come essi assolvano ad una funzione di controllo della crescita batterica stessa. Lo sviluppo di predatori (protozoi e metazoi) nei processi a fanghi attivi riduce la presenza di batteri dispersi e quindi la produzione di fango.

Questo processo necessita di ulteriori approfondimenti vista la difficile applicabilità in grande scala (Liu, 2003).

Utilizzo di altri accettori di elettroni come sostituti dell'ossigeno. Questa tecnica si basa sul principio di diminuire la resa di crescita cellulare, per esempio mediante sostituti dell'ossigeno, quali i nitrati, che forniscono un coefficiente di crescita cellulare eterotrofo specifico più basso rispetto a quello ottenibile in presenza di ossigeno.

Ultrasonificazione. Gli ultrasuoni sono in grado di disgregare i fiocchi di fango favorendo la lisi del materiale particolato, per effetto di meccanismi di tipo sia meccanico sia dinamico. Un effetto apprezzabile si raggiunge però con input di energia significativi. Ulteriori dettagli sono riportati nella successiva sezione relativa agli interventi sulla linea fanghi.

Altre tecniche. Tra gli altri sistemi proposti per la riduzione della produzione di fanghi si citano: la disgregazione meccanica e l'idrolisi termica (a temperature superiori a 150 °C).

9.2 INTERVENTI SULLA LINEA FANGHI

9.2.1 Interventi di tipo chimico-fisico

Per quanto riguarda le tecniche convenzionali (ispessimento, disidratazione meccanica ed essiccamento termico), si riportano di seguito alcune considerazioni in merito ai recenti sviluppi tecnologici.

Ispessimento. Le più recenti innovazioni tecnologiche riguardano l'impiego dell'ispessimento dinamico, adottando macchine derivate da quelle originariamente progettate per la disidratazione meccanica. Tra gli esempi che possono essere citati si riportano i seguenti (Lotito, 2000): centrifuga decantatrice, tavola gravitazionale, setacci cilindrici.

Disidratazione meccanica. Gli sviluppi tecnologici che hanno interessato, negli ultimi anni, i sistemi di disidratazione meccanica dei fanghi sono stati rivolti al conseguimento dei seguenti obiettivi (Lotito, 2000):

- lo sviluppo di apparecchiature funzionanti in continuo e capaci di ottenere livelli di disidratazione caratteristici delle filtropresse a camere;
- il miglioramento dei rendimenti di disidratazione raggiungibili con macchine centrifughe: le centrifughe ad alta concentrazione consentono un incremento del tenore di secco rispetto a queste ultime di 5-8 punti percentuali;
- la messa a punto di apparecchiature in grado di ottenere elevate percentuali di secco grazie ad una particolare efficienza della fase di compressione finale.

Essiccamento termico. L'indirizzo generale sembra essere quello di apportare migliorie, intervenendo su specifiche fasi del trattamento, senza comunque discostarsi dagli schemi convenzionali. In particolare, vengono adottati nuovi accorgimenti per migliorare il sistema di movimentazione dei fanghi e si diffondono sempre più i sistemi che prevedono il ricircolo dei gas esausti e il recupero energetico, con il vantaggio di semplificare la linea di depurazione dell'aria (almeno per la fase di deodorizzazione) e ridurre i consumi di energia. Un altro obiettivo perseguito dai costruttori di impianti è quello di migliorare il contatto fango-mezzo riscaldante all'interno degli essiccatori (in particolare in quelli indiretti), attraverso particolari conformazioni degli organi interni.

Per quanto riguarda interventi di tipo non convenzionale sulla linea fanghi, si riporta di seguito un elenco, con breve descrizione, di quelli recentemente proposti/applicati (a diversa scala).

Idrolisi termica. L'idrolisi termica rappresenta una tecnica di riduzione dei fanghi conosciuta da tempo. Spesso è associata all'utilizzo di reattivi acidi che comportano però alcuni inconvenienti tra i quali problemi di corrosione, necessità di una post-neutralizzazione, solubilizzazione di metalli pesanti e fosfati. Il trattamento termico-alcalino può costituire un'alternativa al trattamento termo-acido permettendo di superare alcune limitazioni nell'applicazione di quest'ultimo.

Il trattamento termico in ambiente alcalino può essere applicato come pretrattamento prima della digestione anaerobica o integrata alla stessa (Saiki *et al.*, 1999) o con unico trattamento sul fango ispessito, a monte della disidratazione meccanica (Neyens *et al.*, 2003). L'azione combinata dei reattivi alcalini e della temperatura comporta una maggiore idrolisi con conseguente riduzione dei solidi sospesi durante la digestione.

Il processo termocatalitico (sviluppato dall'Università di Giessen, Germania, e per ora ancora in fase di studio), condotto in condizioni anaerobiche ad una temperatura di 400°C e a pressione atmosferica, permette la conversione della frazione organica del fango principalmente in un residuo liquido-pecioso (ricco di idrocarburi), un residuo solido carbonioso, gas non condensabili e acqua di reazione.

Sono disponibili sistemi di idrolisi termica che non fanno uso di reattivi chimici e che operano in condizioni non particolarmente drastiche (160÷170 °C, 8÷10 bar). Di questi processi esistono soluzioni commerciali che, recentemente, sembrano interessare una significativa quota di mercato.

Ultrasonificazione. L'applicazione della sonicazione per la riduzione dei fanghi è stata testata su diversi impianti a scala pilota ma anche a scala reale per il trattamento di fanghi primari e secondari. Uno dei principali obiettivi dell'applicazione dei sistemi di sonicazione consiste nella possibilità di migliorare le rese della digestione anaerobica e quindi aumentare la produzione di biogas e diminuire il contenuto secco dei fanghi da smaltire.

L'applicazione degli ultrasuoni genera forze meccaniche che provocano una riduzione della dimensione degli aggregati presenti nel fango: si ottiene così la conversione di sostanze organiche dalla forma particolata a quella solubile o colloidale. Si verifica quindi un aumento di COD rapidamente biodegradabile o rapidamente idrolizzabile a spese dei solidi sospesi. La maggiore disponibilità di sostanze rapidamente biodegradabili permette di ottenere una maggiore produzione di biogas e un migliore grado di stabilizzazione del fango.

Disgregazione meccanica. La disintegrazione meccanica del fango comporta un rilascio di sostanze organiche che possono essere facilmente biodegradate. Il fango trattato meccanicamente può quindi costituire un valido substrato per il processo di denitrificazione, migliorare la resa della digestione anaerobica o consentire il recupero di prodotti quali azoto e fosforo.

Ad oggi, sono disponibili pochi dati derivanti da esperienze su scala industriale. Le diverse tecniche per la disgregazione del fango sono ancora oggetto di ricerche e sperimentazioni e quindi ulteriori risultati sono attesi nel prossimo futuro.

Ossidazione a umido (wet oxidation). Il fango liquido è messo in contatto con un gas ossidante (ossigeno), ad una temperatura di circa 230÷250°C e ad alta pressione (circa 60 bar), in condizioni di processo continue (tempo di residenza 15÷120 min).

Il fango si trasforma in tre prodotti principali: una parte liquida (con presenza di sostanza organica facilmente biodegradabile, che può essere inviata per il trattamento in testa all'impianto di depurazione), gas di combustione (che possono essere immessi in atmosfera senza alcun trattamento in quanto esenti da polveri e perché, date le basse temperature di processo, non si ha la produzione di composti pericolosi), residui minerali inerti in fase solida (che possono essere trattati e smaltiti in discarica). Di questa tecnologia esistono più brevetti sul mercato; in particolare, va segnalata, in Lombardia (in provincia di Bergamo) una piattaforma che opera già da molti anni, dove è interessante la sinergia tra wet oxidation e trattamento biologico sia in linea acque che in linea fanghi (Mazzoleni, 2006).

9.2.2 Verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione delle fasi di trattamento esistenti

L'ottimizzazione della gestione dei comparti esistenti della linea fanghi può essere ritenuta senz'altro un intervento volto alla minimizzazione della produzione, anzi il primo da mettere in preventivo da parte dei gestori. È peraltro da ritenere che, normalmente, esistano ampi margini in tal senso. Le verifiche sperimentali di funzionalità, a partire dal monitoraggio dell'impianto, rappresentano un utile strumento in questa direzione.

Monitoraggio e bilanci di massa. L'effettuazione di un monitoraggio a livello delle diverse sezioni dello schema di trattamento consente di calcolare l'efficienza del processo. I punti di campionamento e le relative frequenze devono essere scelti in funzione del comparto in esame (per esempio, l'ispessimento o la digestione) e della dimensione dell'impianto. I parametri da considerare sono, nella maggior parte dei casi, la portata e la concentrazione dei solidi sospesi volatili e totali (SST), poiché il rendimento viene calcolato in termini di perdita di sostanza organica e/o di umidità (bilancio di massa).

I parametri di processo devono essere parimenti misurati (per esempio, la temperatura, l'ossigeno disciolto, il pH, la produzione di biogas ecc.) o calcolati (per esempio, il tempo di ritenzione idraulica e l'età del fango), a seconda del comparto considerato, al fine di correlare l'efficienza dell'impianto alle condizioni di funzionamento.

Infine, l'analisi dei dati relativi al surnatante può fornire importanti informazioni circa l'efficienza del trattamento dei fanghi e il carico ricircolato in testa all'impianto.

Il calcolo del bilancio di massa è necessario anche ai fini di una verifica dei parametri di progetto, così da valutare eventuali sovraccarichi dell'impianto.

Accanto al monitoraggio e all'analisi dei dati, si rivela talvolta necessaria l'effettuazione di prove sperimentali specifiche: per esempio qualora i dati non siano sufficienti a spiegare i fenomeni osservati o le condizioni operative debbano essere modificate (per esempio, in conseguenza a variazioni delle caratteristiche del liquame influente o a causa del cambiamento dei reagenti dosati).

Verifiche sperimentali. Numerose prove possono essere effettuate in funzione della specifica fase del processo e degli obiettivi di volta in volta prefissati. Si elencano, di seguito, a titolo puramente indicativo, alcuni esempi al proposito.

- Caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi.
- Caratteristiche di ispessimento dei fanghi.
- Stabilizzazione biologica dei fanghi.
- Comportamento idrodinamico dei reattori.
- Disidratabilità dei fanghi.

10. ALTERNATIVE IMPIANTISTICHE PER LA VALORIZZAZIONE ENERGETICA/MATERIALE

Nel corso degli ultimi anni è cresciuta l'attenzione verso l'applicazione, ai fanghi di depurazione, di trattamenti termici, associati a sistemi di recupero energetico. Tale soluzione può rivelarsi tra le più razionali nel campo del trattamento dei fanghi di depurazione, purché accompagnata da tecnologie affidabili anche nelle sezioni del recupero energetico e del contenimento dell'inquinamento atmosferico. In questo modo possono essere sfruttati i vantaggi, prodotti da tali impianti, riconducibili in particolare al modesto fabbisogno di area, all'assenza di maleodorazioni e alla riduzione della massa e del volume dei fanghi.

Ad alcuni di questi sistemi può anche essere associata una forma di recupero della risorsa materiale. Salvo dove diversamente specificato, quanto segue è stato desunto da AA.VV., 2004.

10.1 ESSICCAMENTO TERMICO

Indipendentemente dalla forma di smaltimento/riutilizzo finale prevista per i fanghi di depurazione, l'inserimento di una fase di essiccamento risulta in linea di principio opportuna soprattutto nell'ottica di ridurre drasticamente peso e volume del materiale da smaltire, permettendone peraltro lo stoccaggio ed una corretta manipolazione.

Nella progettazione dei sistemi di essiccamento fanghi si dovrebbero adottare i seguenti criteri:

- A. ottimizzazione del risparmio energetico, con possibilità di realizzare un sistema energeticamente autarchico;
- B. controllo dell'inquinamento ambientale tramite la riduzione e/o l'eliminazione di:
 - polveri ed emissioni in genere;
 - odori molesti;
 - acque di scarico e di processo;
- C. ottenimento di un prodotto intermedio (fango essiccato) igienicamente stabile e comunque adatto allo smaltimento in discarica, alla utilizzazione come ammendante agricolo o all'inserimento in cicli produttivi per mattoni, asfalto, argille espanse e calcestruzzi;
- D. applicazione di soluzioni impiantistiche semplici e di provata efficienza con riferimento ai dati dimensionali previsti.

Nel caso sia previsto l'incenerimento dei fanghi essiccati, si ricorre all'essiccamento parziale, ovvero fino al raggiungimento di un livello di umidità che permette, nel successivo stadio di trattamento, una combustione energeticamente autarchica. Questo tipo di applicazione è particolarmente interessante qualora sia prevista una co-combustione, che prevede l'alimentazione del prodotto in sistemi per la combustione di polveri (per esempio progettate per la combustione di carbone), oppure l'adozione di sistemi di termovalorizzazione dotati di forni a piani o forni rotativi.

L'essiccamento totale, che porta all'ottenimento di un prodotto granulato o in polvere, viene genericamente applicato quando il prodotto ottenuto deve essere sottoposto a processi di desorbimento e gassificazione.

In ogni caso la combinazione della fase di essiccamento con lo stadio di termovalorizzazione è interessante, in quanto permette di realizzare il recupero dell'energia termica prodotta in fase di combustione.

Per l'essiccamento dei fanghi si hanno a disposizione varie tecnologie ormai consolidate, che possono essere genericamente suddivise in sistemi di essiccamento diretto e sistemi di essiccamento indiretto.

10.2 COMBUSTIONE

Le tecniche attualmente disponibili per il trattamento mediante termoconversione dei fanghi di risulta da trattamento delle acque di rifiuto prevedono l'uso dei seguenti tipi di forno:

- forni rotanti;
- forni a letto fluido;
- forni a piani.

Le varie tecniche si distinguono fra loro a seconda dei campi di temperatura di esercizio, dei tempi di permanenza e in base ai sistemi di alimentazione.

Poiché i rendimenti di processo e la scelta delle tecnologie sono fortemente influenzati dallo stato fisico del fango, dalla sua composizione chimica e dalle sue proprietà termodinamiche, è necessario identificare e classificare i diversi tipi di fango sulla base di appropriati criteri. Le caratteristiche del fango condizionano, oltre che la scelta del reattore, anche quella del sistema di controllo delle emissioni gassose. Alcuni fra i più importanti fattori da considerare per determinare l'idoneità o meno di un determinato tipo di reattore per la termoconversione sono:

- il contenuto d'acqua;
- i potenziali inquinanti presenti negli effluenti;
- il contenuto di inerti;
- il potere calorifico e le richieste di combustibili ausiliari;
- la forma fisica;
- la corrosività.

Infine, si deve tenere conto della destinazione cui saranno indirizzate le ceneri e le scorie prodotte dalla reazione di combustione (che possono presentarsi sotto forma di polveri o granulati e che possono essere formate semplicemente da prodotti degassificati, oppure da prodotti ceramizzati e/o vetrificati).

Lo stato specifico in cui detti prodotti si presentano in uscita dal trattamento influisce sul livello di inertizzazione termica del prodotto, ma anche sulla qualità delle emissioni gassose prodotte e quindi sull'impostazione dei sistemi di trattamento e abbattimento dei gas di combustione.

10.3 PIROLISI/GASSIFICAZIONE

Se superata la fase di essiccamento le sostanze organiche vengono sottoposte a ulteriore e progressivo riscaldamento, in assenza o carenza di ossigeno, queste perdono la loro stabilità e si scindono in prodotti volatili e carbon coke.

Le reazioni chimiche indotte dipendono dal materiale trattato, in particolare i parametri più significativi risultano essere:

- composizione chimica;
- percentuale di inerti;
- contenuto di acqua.

Dipendono inoltre dal tipo di reattore impiegato, a seconda che questo sia un:

- reattore statico verticale o orizzontale;
- reattore a tamburo rotante;
- reattore a letto fluido.

E dipendono infine dalle condizioni in cui si svolge la reazione, ovvero:

- temperatura;
- tempo di permanenza nel reattore;
- carenza o assenza di ossigeno.

Con l'aumentare del tempo di reazione e della temperatura la stabilità dei prodotti diventa sempre maggiore.

Le reazioni di pirolisi/gassificazione possono essere svolte in totale assenza di ossigeno (impiegando reattori riscaldati indirettamente) oppure in carenza di ossigeno (inducendo cioè una reazione di combustione parziale del materiale organico presente allo scopo di raggiungere le temperature di reazione sfruttando il contenuto energetico del materiale stesso).

L'impiego di questo tipo di reazione ha due motivazioni principali:

- la possibilità di svolgere un trattamento termico a media o alta temperatura in ambiente riducente, quando si ha la presenza di sostanze (per esempio sali e metalli) che diventano problematiche allorquando se ne modifica il livello di ossidazione (per esempio cromo trivalente).
- la possibilità di ridurre la produzione di gas di combustione in tutti quei casi in cui (data la presenza di certe sostanze) il trattamento dei fumi diventa particolarmente difficile e costoso.

Soprattutto in riferimento alla pirolisi e alla gassificazione gestite a temperature intermedie, queste tecnologie richiedono la massima attenzione per la composizione dei prodotti solidi residuali e per la combustione dei “combustibili” liquidi e gassosi risultanti. Particolare interesse rivestono, invece, i processi di gassificazione ad alta temperatura, che permettono di ottenere prodotti solidi residuali (scorie) in forma sinterizzata – ceramizzata o vetrificata. Le applicazioni mirate alla produzione di combustibili destinati all'impiego nell'ambito di sistemi per la produzione di energia diversi da sistemi di termoutilizzazione di rifiuti residuali gassosi, liquidi, pastosi e solidi non hanno dato risultati riproducibili.

10.4 COMBUSTIONE INDIRETTA E RECUPERO DI MATERIA

10.4.1 Co-combustione con i rifiuti urbani

Il co-incenerimento con rifiuti solidi urbani ha come obiettivo principale la riduzione dei costi di incenerimento. Il processo può generare una energia termica sufficiente per essiccare il fango, sostenendo il processo senza l'ausilio di altri combustibili.

I vantaggi legati alla co-combustione dei fanghi insieme ai rifiuti solidi urbani sono sostanzialmente riassumibili in quattro punti (Werther e Ogada, 1999):

1. recupero di calore dalla combustione degli RSU per pre-essiccamento del fango;
2. sfruttamento di impianti esistenti per incenerimento RSU;
3. utilizzo di impianti dotati di sistemi sicuri per il controllo delle emissioni gassose;
4. nessun peggioramento delle caratteristiche delle emissioni sia gassose che solide rispetto a quelle prodotte con RSU.

La statistica mostra però che la percentuale di rifiuti inceneriti è ancora bassa in molti Paesi; solo in Danimarca, Giappone, Svezia e Svizzera più del 50 % dei rifiuti viene incenerito.

10.4.2 Produzione di cemento

In questo paragrafo si fa riferimento al possibile utilizzo dei fanghi essiccati come combustibili per la produzione di calore nei forni di produzione del cemento.

Tra i molti fattori che devono essere valutati in sede di un possibile smaltimento dei fanghi nei cementifici, se ne possono evidenziare quattro (Ragazzi *et al.*, 2006):

- contenuto di P_2O_5 nel fango: per la produzione di clinker, il contenuto di P_2O_5 non deve superare lo 0,5% poiché ad elevate concentrazioni di tale composto si riduce il contenuto di C_3S nel clinker;
- contenuto di cloro: il contenuto di cloro nella miscela grezza dovrebbe essere inferiore allo 0,015%; per valori più elevati il ciclo del cloro all'interno del tamburo nella produzione di cemento, può causare pesanti problemi per la stabilità delle operazioni;
- quantitativo di azoto: il contenuto totale di azoto nel fango essiccato può raggiungere livelli pari all'8% (in riferimento al peso secco); questo quantitativo potrebbe dare un contributo significativo alle emissioni di NO_x ;
- dimensioni delle particelle di fango essiccato: per la produzione di clinker è determinante non solo la dimensione della particella di fango (2-10 mm), ma anche la forma delle stesse. Sostanzialmente risulta essere migliore il fango costituito da particelle allungate e piatte; particelle "cubiche" e "sferiche" presentano una combustione più difficile.

Nel caso di co-incenerimento di fanghi di depurazione in un forno da cemento il tenore di secco deve essere molto alto (almeno l'80%). Questo perché con contenuti d'acqua maggiori, la temperatura del forno scenderebbe sotto il limite minimo per la creazione di clinker e quindi potrebbero insorgere problemi di qualità del prodotto.

10.4.3 Produzione di asfalto

Per questo scopo il fango essiccato granulato dovrà essere ridotto a polvere tramite l'impiego di mulini. In base ad esperienze pratiche sono necessari circa 22,5 kg di fango granulato (con un tenore di secco del 95%) per tonnellata di asfalto caldo per riscaldare il tamburo di essiccaamento, oltre a 0,6 kg di combustibile convenzionale al bruciatore di supporto. Usando gasolio si ha un consumo di 6,4 kg/t di asfalto per il riscaldamento del tamburo; considerando pertanto una produzione di 1.000 t/anno di asfalto si ottiene:

- consumo di fango granulato: circa 2.250 t (corrispondenti a 83.000 m³ di fango tal quale);
- risparmio in gasolio: circa 580 t.

L'accensione e l'innesco della reazione di combustione si effettua con combustibile ausiliario (gasolio, olio combustibile o metano) in ragione del 10% della copertura calorica totale erogata. Questa fiamma di supporto (modulata indirettamente) evita lo spegnimento della fiamma principale in caso di irregolare alimentazione, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. I residui della combustione ammontano a circa il 50% del fango essiccato. Parte di questo materiale viene direttamente recuperato nell'asfalto. La maggior parte viene invece separata nell'ambito del sistema di depolverazione e quindi stoccata in silo con la parte fine delle polveri minerali (quindi reimmessa nella miscela per l'asfalto).

Una caratteristica qualificante per la combustione di fanghi nell'ambito di impianti di produzione di asfalto è rappresentata dal fatto che non vi sono residui della combustione (cenere e scorie) che debbano essere inviati in discarica o comunque che debbano essere sottoposti ad ulteriori fasi di trattamento.

10.4.4 Produzione di laterizi

In letteratura sono riportate diverse esperienze (Werther e Ogada, 1999) di utilizzo dei fanghi di depurazione per la produzione di laterizi.

Il processo si svolge secondo le seguenti fasi principali:

- miscelazione del fango con argilla (in percentuale variabile tra il 5 e il 30%);
- essiccazione in forno;
- cottura in forno a 800 °C (con recupero di calore dovuto alla combustione della frazione organica del fango);
- cottura in forno a 960 °C (con l'utilizzo di un combustibile ausiliario).

I mattoni ottenuti utilizzando argilla miscelata a fango presentano, secondo quanto riportato in letteratura, caratteristiche fisico-meccaniche conformi ai laterizi tradizionali.

10.4.5 Inertizzazione termica/ceramizzazione

Il processo si basa sulla proprietà che ha l'argilla, miscelata con calcari e/o caoliti particolari, di creare, ad alta temperatura, una struttura reticolare, capace di bloccare la migrazione di metalli pesanti eventualmente presenti. Questo ha consentito di condurre una sperimentazione su fanghi di risulta contenenti metalli pesanti. L'alto contenuto organico di questi fanghi è favorevole per la produzione di materiali espansi granulati artificiali da utilizzare quali inerti da costruzione. Il processo si svolge secondo le seguenti fasi principali:

- miscelazione del fango con argilla e calcare e/o caolino in rapporto 1-1/1-3 sulla sostanza secca presente nel fango stesso;
- essiccazione dell'impasto e successiva macinazione;
- granulazione;
- cottura dei granuli in forno rotante a 1.000-1.200 °C.

Per quanto riguarda gli aspetti impiantistici, il fango viene miscelato con argilla in uno speciale vaglio miscelatore. La miscela prodotta sotto forma di agglomerato pastoso viene dapprima essiccata, onde ottenere un'umidità residua del 15%; segue una fase di macinazione con un mulino a dischi piani; il materiale è quindi inviato ad un silo di stoccaggio e alimentazione. Da questo viene ripreso ed alimentato ad un granulatore dove è pellettizzato fino a raggiungere le dimensioni volute.

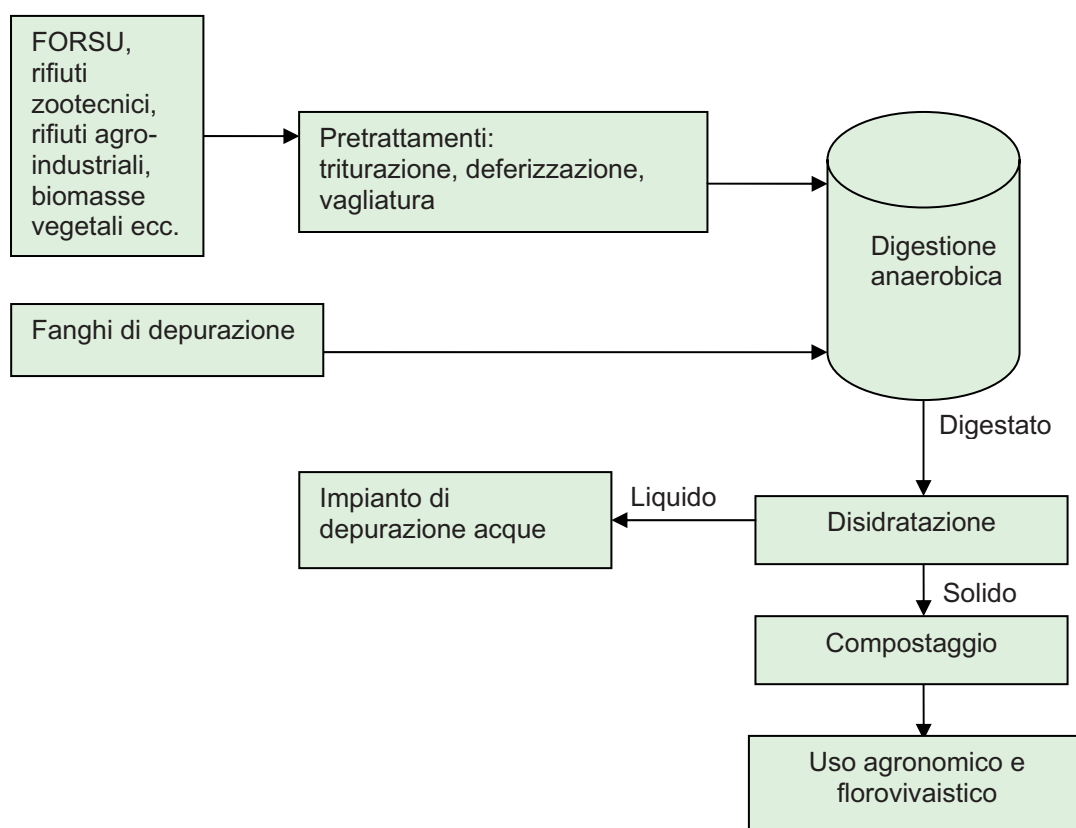
10.5 CO-DIGESTIONE DI FANGHI E ALTRI SUBSTRATI ORGANICI

Un'altra forma di recupero energetico che vale la pena citare consiste nella co-digestione anaerobica dei fanghi insieme ad altri substrati organici (es. frazione organica dei rifiuti urbani, residui dell'industria agro-alimentare, scarti zootecnici ecc.) per produrre biogas da sfruttare a fini energetici.

L'integrazione dei cicli di trattamento delle acque reflue e della frazione organica dei rifiuti (sia urbani che agro-industriali) consente di sfruttare sinergie in merito a (Pavan *et al.*, 2007; Cecchi, 2007; Piccinini e Centemero, 2007):

- aumento delle rese di produzione di biogas, rispetto ad una digestione anaerobica effettuata unicamente con fanghi di supero biologico;
- utilizzazione del COD presente nella frazione liquida del digestato come possibile fonte di carbonio per la denitrificazione biologica;
- produzione di un digestato che, dopo disidratazione, può essere inviato a compostaggio per la produzione di ammendante compostato di qualità con significativa riduzione dei costi di smaltimento dei fanghi.

Uno schema di un impianto di questo tipo prevede la seguente configurazione:



Dalla frazione liquida in uscita dal digestore, in linea di principio, è anche possibile recuperare il fosforo sotto forma di struvite e l'ammoniaca sotto forma di solfato d'ammonio.

In Italia sono già presenti esempi a scala reale: l'impianto di depurazione di Treviso (potenzialità di progetto di 50.000 A.E.), gli impianti di Bassano del Grappa e Camposampiero (PD) (quest'ultimo con una potenzialità di 35.000 A.E.) e l'impianto di Voghera (PV) (potenzialità di progetto pari a 80.000 A.E.), tutt'ora in fase di avviamento.

11. FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELLE DIVERSE ALTERNATIVE DI GESTIONE DEI FANGHI

Per valutare la fattibilità tecnico-economica delle diverse alternative di gestione dei fanghi, con particolare riferimento a quelle che consentono innanzitutto di minimizzarne la produzione e, in secondo luogo, di massimizzarne il recupero materiale o energetico, è necessario effettuare considerazioni riferite ad una realtà territoriale specifica. In questo caso, infatti, è possibile fare riferimento a vincoli di natura tecnico-economica reali, ipotizzando diversi scenari e simulando i relativi costi e benefici. Di seguito quindi si riportano i risultati di uno studio dal titolo “Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione”⁸ affidata all’Istituto Regionale di Ricerca (IReR) nell’ambito del Piano di ricerche strategiche 2006 dalla Regione Lombardia - Direzioni Generali Reti, Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile e Agricoltura.

Questo studio, in cui la parte di competenza dell’Ingegneria Sanitaria-Ambientale, è stata curata e sviluppata dagli estensori del presente rapporto, rappresenta un interessante esempio di pianificazione a scala regionale e contiene considerazioni che possono essere (sia a livello metodologico, sia a livello tecnico-operativo) trasferite ad altre realtà territoriali.

La documentazione integrale relativa alla ricerca è disponibile sul sito Internet:
<http://www.irer.it/ricerche/territoriale/ambiente/2006B039>

11.1 PREMESSA

La problematica del trattamento e smaltimento dei fanghi prodotti dai processi di depurazione delle acque reflue urbane assume sempre più importanza sia a livello nazionale che internazionale. In Lombardia questa problematica trova un forte riscontro, sia per il notevole quantitativo di fanghi di depurazione prodotti, sia per il loro considerevole utilizzo in agricoltura, specie in provincia di Pavia. I trattamenti più avanzati e spinti previsti, per le acque reflue, dal PTUA (in particolare defosfatazione e filtrazione) per conseguire i restrittivi limiti agli scarichi in corpo idrico imposti dalla legge indurranno peraltro un consistente aumento dei quantitativi prodotti.

IReR ha promosso una ricerca su questo tema, con l’obiettivo finale di fornire alla Committenza regionale indicazioni di policy per il trattamento, la gestione e il riutilizzo razionale e sostenibile dei fanghi di depurazione.

La base conoscitiva è stata costituita attraverso l’acquisizione e l’analisi dei riferimenti di letteratura più recenti a livello internazionale. Sono stati inoltre individuati casi specifici nella realtà italiana con i quali sono stati avviati contatti in modo da acquisire informazioni e dati di-

⁸ “Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione” (cod. IReR 2006B039), parte B.

Responsabile di progetto IReR: Alessandro Colombo

Gruppo di ricerca: Carlo Collivignarelli, Sergio Papiri, Giorgio Bertanza, Cristina Collivignarelli, Sabrina Zanaboni (Studio Ecotecno di Pavia, Università di Brescia, Università di Pavia); Pierluigi Genevini, Fulvia Tambone, Giorgio Provolo (Università degli Studi di Milano); Marina Riva (Referente di ricerca IReR).

rettamente presso impianti che già svolgono trattamenti “innovativi” e/o inviano i propri fanghi al riutilizzo agricolo e/o utilizzano i fanghi a fini energetici. Inoltre sono stati presi contatti con impianti centralizzati di trattamento fanghi al fine di acquisire direttamente informazioni circa i criteri gestionali adottati e le problematiche tecnico-economiche. L’analisi dei dati gestionali di questi impianti, unitamente alla discussione delle problematiche applicative ed economiche ha costituito la base per delineare il quadro dei fattori tecnico-economici e sociali coinvolti. Nell’ambito della ricerca è stata anche condotta una campagna analitica *ad hoc* finalizzata alla caratterizzazione quali-quantitativa dei fanghi prodotti in alcuni impianti lombardi.

11.2 INQUADRAMENTO DELLA PROBLEMATICATA

Il problema della gestione dei fanghi può essere inquadrato, a livello generale, evidenziando i seguenti punti:

- per affrontare il problema dello smaltimento/recupero dei fanghi, che sta assumendo un peso sempre maggiore, è necessario agire simultaneamente in più direzioni, tutte ugualmente importanti ed efficaci;
- seguendo i principi alla base della normativa europea sui rifiuti, tali direzioni si possono identificare, in una scala prioritaria, in interventi volti alla minimizzazione della produzione del fango, interventi volti al recupero (prima di materia, poi di energia) e infine nello smaltimento in sicurezza;
- per quanto riguarda la minimizzazione della produzione, vi sono interessanti prospettive in campo tecnologico: alcuni processi sono già disponibili a livello commerciale e molti sistemi promettenti sono in fase di sperimentazione. L’affidabilità, la convenienza economica, gli svantaggi indiretti derivanti dall’applicazione di questi processi (es. modificazioni nelle caratteristiche qualitative dell’effluente, effetti indesiderati sulla biomassa ecc.) vanno valutati molto attentamente caso per caso. In particolare, appaiono interessanti e destinati ad essere applicati convenientemente nel prossimo futuro (ci sono già segnali in tal senso attraverso le prime applicazioni) alcune delle tecnologie (es.: termolisi, wet oxidation, etc...) che operano in “linea fanghi” in quanto appaiono più “sicure” (in quanto prive di rischi per il processo depurativo) di quelle che operano in “linea liquami”. Va peraltro segnalato che anche nell’ambito dei trattamenti già presenti sugli impianti esiste senz’altro un margine di miglioramento che può essere conseguito attraverso una attenta conduzione, che porterebbe ad una riduzione della produzione di fango;
- per quanto riguarda il recupero di materia si fa essenzialmente riferimento all’impiego dei fanghi in agricoltura (eventualmente previo compostaggio). In questo caso sono molte le iniziative, avviate principalmente da parte di Enti di Controllo o normazione, volte a verificare gli effetti di questa pratica e a “rinnovare” le norme esistenti, per far sì che il recupero della risorsa materiale possa essere condotto riducendo al minimo i rischi potenziali per l’uomo e per l’ambiente;
- in tema di trattamenti termici, interessanti sembrano le alternative che consentono un recupero energetico, in quanto da una parte assicurano il controllo delle emissioni nocive, dall’altro permettono lo sfruttamento della risorsa. Anche in questo settore, accanto ai processi convenzionali di incenerimento ed alle applicazioni che vedono l’uso dei fanghi essiccati come combustibile alternativo in forni industriali (ad es. i cementifici), continua lo studio di sistemi alternativi (gassificazione, pirolisi, termocatalisi ecc.) per alcuni dei quali esistono anche importanti applicazioni industriali;

– per quanto riguarda infine lo smaltimento in discarica, in questo scenario e anche nell’ottica delle recenti norme, esso sarà necessariamente limitato ai residui dal trattamento.

11.3 PRODUZIONE DI FANGHI IN LOMBARDIA

11.3.1 Situazione attuale

L’analisi dell’archivio depuratori fornito dalla Regione (aggiornamento gennaio 2007) ha permesso di stabilire numero e consistenza degli impianti di depurazione in Lombardia. La potenzialità complessiva nominale dei 410 impianti (sopra i 2.000 A.E.) di cui sono disponibili i dati risulta pari a 14.132.820 A.E., a fronte di una potenzialità effettiva di 11.725.410 A.E.. L’86 % degli impianti ha una potenzialità inferiore ai 50.000 A.E. Viceversa per quanto riguarda la potenzialità complessiva della Lombardia il 76% circa è attribuibile agli impianti con potenzialità maggiore di 50.000 A.E..

La produzione di fango degli impianti lombardi, in termini di sostanza secca, è stata stimata (mediante una procedura di calcolo che prende in considerazione la tipologia di trattamento adottato) in poco più di 200.000 tSS/anno.

Per quanto concerne le caratteristiche qualitative dei fanghi, si è svolta una campagna analitica *ad hoc*, con la possibilità di ricercare, seppur su un numero limitato di impianti, un notevole numero di parametri, che sono stati analizzati nei fanghi freschi, in quelli digeriti/disidratati e nelle acque di scarico. Sono stati considerati 3 impianti ubicati in Lombardia. Le analisi hanno evidenziato che i fanghi dei tre impianti rispettano i vincoli normativi per il riuso diretto in agricoltura (ex D.lgs 99/92) per quanto riguarda il contenuto di carbonio organico, nutrienti e salmonella. Essi rispettano inoltre tutti i limiti vigenti a livello nazionale e i limiti proposti nella bozza di direttiva comunitaria (DRAFT, 2000), anche per gli inquinanti organici. C’è solo da segnalare che il nichel supera, in due casi, il limite proposto a lungo termine a livello europeo (bozza di direttiva), così come il rame, anche se di molto poco, in un unico impianto. È stato anche condotto, presso il Di.Pro.Ve. dell’Università degli Studi di Milano, un *test di fitotossicità* sui tre differenti campioni di fango. I fanghi esaminati non hanno indotto, alle dosi testate, effetti avversi sulla crescita delle piante e si ritengono quindi idonei all’utilizzo agricolo.

11.3.2 Situazione al 2016

Dall’archivio depuratori della Regione è stato inoltre possibile ricavare il quadro del numero e potenzialità degli impianti di depurazione previsti al 2016 (in totale 448, sopra i 2.000 A.E., per una potenzialità complessiva di circa 20.000.000 A.E.).

Per la stima del quantitativo di fango prodotto, sono stati considerati i seguenti elementi: potenzialità; limiti allo scarico (ai sensi del Regolamento regionale n. 3 del 24 marzo 2006); schema impiantistico, in relazione ai limiti da rispettare allo scarico; presenza o meno della fase di sedimentazione primaria.

Nel caso di impianti dotati di sedimentazione primaria, sono state individuate due possibili alternative: fanghi primari e secondari trattati insieme (alternativa A) oppure separatamente (alternativa B), tenendoli, in quest’ultimo caso, distinti per consentirne uno smaltimento differenziato. Nella tabella 11.3.2/1 è riportata, per ogni ATO, la produzione complessiva di sostanza secca così calcolata.

Tab. 11.3.2/1 – *Produzione complessiva di fango (sostanza secca) degli impianti di depurazione appartenenti ai diversi ATO della Lombardia (stima al 2016).*

ATO	N° impianti	A.E. TOT	Impianti senza sedimentaz. primaria	kgSS/anno		
				Impianti con sedimentazione primaria		
				Alternativa A	Alternativa B	
			Primario+Secondario	Primario	Secondario	
BG	65	2.400.282	20.746.744	21.948.161	16.089.212	6.242.745
BS	81	2.333.732	29.928.754	11.268.113	8.265.859	3.188.299
CO	23	1.386.757	11.285.921	13.719.860	10.068.702	3.881.773
CR	30	623.503	7.458.701	3.445.056	2.523.887	972.678
LC	21	610.600	6.040.404	4.616.501	3.385.631	1.334.947
LO	28	305.808	5.016.317	78.840	55.203	23.637
MN	46	724.747	9.381.892	2.764.484	2.019.909	816.757
MI-pro	42	5.457.210	14.589.958	84.351.503	62.275.757	23.375.378
PV	58	1.222.825	11.068.911	10.152.752	7.441.047	2.886.793
SO	19	489.491	6.291.851	2.240.838	1.642.836	658.512
VA	33	2.152.456	12.011.844	26.997.545	19.804.048	7.623.348
MI	2	2.300.000	41.545.176	-	-	-
TOT	448	20.007.411	175.366.373	181.583.653	133.572.096	51.004.798

11.4 ALTERNATIVE DI GESTIONE DEI FANGHI E POSSIBILI SCENARI DI INTERVENTO

11.4.1 Applicabilità delle diverse strategie di intervento

La fase successiva del lavoro ha riguardato una serie di valutazioni (discusse anche con vari soggetti coinvolti nella gestione dei fanghi) per individuare l'applicabilità, in Lombardia, delle diverse possibili strategie di intervento. Sono stati presi in considerazione tre ambiti di azione: la minimizzazione della produzione di fanghi; il riutilizzo in agricoltura; il recupero energetico in varie forme. Altri importanti aspetti considerati sono la gestione dei fanghi prodotti dagli impianti di medio-piccola taglia e il ruolo della discarica. È importante precisare che le valutazioni svolte si basano sul principio dell'autosufficienza del bacino lombardo. In altre parole, sono state valutate le alternative di gestione dei fanghi nell'ipotesi che la produzione lombarda trovi "collocazione" in ambito regionale e che, in analogia, non si verifichi "importazione" di fanghi dall'esterno.

Per quanto riguarda le tecniche di minimizzazione della produzione di fanghi, si possono effettuare alcune ipotesi (cautelative) sul possibile grado di applicazione di sistemi di minimizzazione della produzione di fanghi sulla base delle seguenti considerazioni: taglia minima di applicazione: 100.000 A.E.; percentuale di impianti che adotteranno queste tecniche: 5 – 10%; riduzione percentuale della produzione di fanghi: 40 – 50%.

In merito al riutilizzo dei fanghi in agricoltura, questa possibilità deriva essenzialmente dalla combinazione di due informazioni: la ricettività dei suoli e le caratteristiche dei fanghi.

In relazione al primo aspetto, un particolare rilevante è la recente ridefinizione delle zone vulnerabili ai sensi del d.lgs. 152/2006 da parte della Regione Lombardia (D.G.R. VIII/003297 dell'11 ottobre 2006). Per approfondire questo aspetto, sono state raccolte le informazioni di-

sponibili relative alle caratteristiche dei suoli dal punto di vista pedologico (dati ERSAF). Inoltre sono stati utilizzati i dati presenti nell'archivio del Sistema Informativo Agricolo della Regione Lombardia (SIARL) dal quale è possibile individuare le colture che vengono praticate sul territorio (aggiornamento 2006). Al fine di avere un elemento di confronto, sono state utilizzate anche le informazioni derivate dal V censimento dell'agricoltura effettuato dall'ISTAT nel 2000. Infine, è stata considerata la situazione esistente in termini di apporti di fertilizzanti organici derivanti dagli allevamenti zootecnici. Infatti, nell'ambito dell'attività agricola dell'allevamento zootecnico, la distribuzione degli effluenti prodotti risulta dal punto di vista sia tecnico-agronomico, sia normativo, prioritario rispetto a quello di altre forme di fertilizzazione. Al fine di effettuare questa valutazione, sono stati utilizzati i dati dei due archivi citati (SIARL e ISTAT) e utilizzando i parametri di produzione e caratterizzazione degli effluenti previsti dalle normative vigenti. L'integrazione delle elaborazioni ottenute ha consentito quindi di ottenere la compatibilità ambientale dell'utilizzo dei fanghi su base comunale. Per tener conto di una serie di fattori difficilmente quantificabili alla scala utilizzata per questo tipo di valutazione, la superficie realmente disponibile per la distribuzione dei fanghi è stata ridotta del 30%.

Per integrare le informazioni di cui sopra con i vincoli relativi alle caratteristiche qualitative dei fanghi, sono state effettuate ulteriori elaborazioni, che tengono conto delle limitazioni attuali e di quelle prevedibili nel medio termine, introducendo vincoli via via più restrittivi: secondo un primo criterio, si può prendere in considerazione l'applicazione della attuale normativa sui fanghi (d.lgs. 99/92 e D.G.R. 7/15944); è poi possibile ipotizzare l'introduzione dei vincoli posti dal Draft europeo n. 3 "Working document on sludge" dell'aprile del 2000; una terza situazione è quella che corrisponde all'applicazione delle indicazioni contenute nel citato Draft 3 per la predisposizione di piani di prevenzione dell'inquinamento per il medio e lungo termine; infine, è possibile introdurre l'ipotesi di incremento dei metalli pesanti nei suoli legato alla distribuzione pluriennale di fanghi sul terreno.

In sintesi, dai risultati ottenuti si può concludere che nel breve e medio termine potrebbero essere destinati all'agricoltura fanghi per un quantitativo pari a 215.000-250.000 t di SS.anno⁻¹. Tali quantitativi potrebbero però non essere garantiti nel lungo termine in quanto il potenziale accumulo di metalli pesanti potrebbe limitarne l'utilizzo in alcuni terreni riducendo così la ricettività a 120.000-150.000 t di SS.anno⁻¹.

In termini di recupero energetico, sono state considerate le seguenti alternative:

1. Combustione in forni industriali: si fa essenzialmente riferimento all'uso di fanghi essiccati come fonte energetica alternativa nei cementifici. In Lombardia sono attivi 7 impianti, che avrebbero una capacità ricettiva complessiva pari a circa 90.000 t/a di sostanza secca.
2. Co-incenerimento in impianti di termodistruzione dei rifiuti urbani: analogamente a quanto fatto per i cementifici, è stata preliminarmente ricostruita la situazione attuale per quanto riguarda gli inceneritori di rifiuti urbani. In prima istanza, e comunque in favore di sicurezza, non sono stati presi in esame gli impianti di incenerimento di rifiuti speciali. Gli impianti censiti sono in tutto 13 che, complessivamente, hanno una capacità residua teorica che potrebbe essere saturata con un quantitativo di fanghi essiccati pari a 195.000 t/anno di sostanza secca.
3. Trattamento dei fanghi in impianti dedicati: in linea "tecnica", gran parte del fango prodotto potrebbe essere destinata a impianti di incenerimento dedicati esclusivamente ai fanghi oppure sistemi che operino trasformazioni termiche più "raffinate", come la pirolisi o la gassificazione, o ancora da impianti di riduzione spinta della frazione organica (ossidazione ad

umido), eventualmente con soluzioni centralizzate. Se si considera una taglia minima di applicabilità pari a 500.000 A.E., e non prendendo in considerazione la centralizzazione degli impianti, i depuratori che potrebbero dotarsi di sistemi di questo tipo sono caratterizzati da una produzione di fango pari a 65.044 t SS/anno.

La gestione dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione di taglia medio-piccola risulta nella pratica comune molto semplificata, per ovvie ragioni di carattere tecnico-economico. La forma di smaltimento più comune è il conferimento a ditte che operano poi il riutilizzo in agricoltura. Non si ritiene opportuno, almeno in prima analisi, “forzare” i piccoli impianti verso procedure gestionali differenti da quelle attuali. Da un’indagine svolta, nell’ambito di questo lavoro, presso alcune società di gestione di impianti di depurazione, è emerso che queste considerazioni possono essere ritenute applicabili ad impianti di taglia indicativamente fino a 20.000 A.E.. La produzione complessiva di fanghi stimata per questi impianti al 2016 risulta di 33.270 t SS/anno.

Infine, per quanto riguarda il ruolo della discarica, questa non dovrà ricevere fanghi disidratati o essiccati ma solo residui di altri trattamenti. Ci si riferisce in particolare ai residui da termodistruzione. In realtà anche per questi ultimi residui possono essere proposte forme di ulteriore recupero materiale. In via cautelativa, si è ritenuto, in questa sede, di non prenderle in considerazione.

11.4.2 Scenari per la gestione dei fanghi

L’analisi delle possibili alternative di intervento in ordine alla minimizzazione, al recupero di materia, al recupero energetico, ha consentito la formulazione di due scenari per la gestione dei fanghi a livello regionale, con alcuni “sottocasi”.

I due scenari sono stati costruiti adottando come punto di partenza un diverso grado di ricorso alla pratica del riutilizzo agricolo dei fanghi. In ogni caso, si è implicitamente ipotizzato che gli impianti mettano in atto tutti i possibili sforzi per ottimizzare le strutture esistenti, inoltre si è ritenuto di considerare un’aliquota (prudenzialmente modesta) di riduzione della produzione di fanghi grazie all’adozione delle tecniche di minimizzazione oggi disponibili sul mercato.

Per i fanghi che non troverebbero collocazione in agricoltura, si è ritenuto di prendere in considerazione, in questa sede, le forme di recupero/smaltimento che possono offrire sbocchi importanti dal punto di vista quantitativo. In altre parole si è preferito, in favore di sicurezza, non fare riferimento a tecniche più “di nicchia”, che ad oggi non trovano significativa diffusione, ma che potrebbero essere incentivate e assumere un ruolo più importante nel futuro. In sostanza, le alternative prese in esame sono le seguenti: essiccamento + combustione in cementifici; essiccamento + co-incenerimento con rifiuti urbani; essiccamento + incenerimento/gassificazione in impianti dedicati.

Per effettuare queste elaborazioni, la capacità residua “massima teorica” degli impianti di recupero energetico stimata a livello regionale, è stata cautelativamente ridotta adottando un margine di sicurezza del 30%.

Scenario 1

Si prevede di inviare a riutilizzo agricolo solo una minima parte dei fanghi prodotti a livello regionale. Per stimare il quantitativo minimo di fanghi da destinare all’agricoltura, si può fare riferimento ai due criteri di seguito illustrati.

Secondo un criterio tecnico-operativo, sembra ragionevole considerare in quest'ottica i fanghi prodotti dagli impianti di taglia medio-piccola (fino ai 20.000 A.E., indicativamente). Per tenere conto di una serie di fattori (non ultimo la possibile non idoneità dal punto di vista qualitativo), si può cautelativamente adottare un coefficiente riduttivo pari a 0,8.

Secondo un criterio qualitativo, è ragionevole ritenere che i fanghi secondari presentino un minor grado di contaminazione rispetto a quelli primari e che, quindi, in prima approssimazione, si possano ritenere più idonei al riuso agricolo. Si è quindi previsto, laddove gli impianti siano previsti di sedimentazione primaria, di destinare al riutilizzo i soli fanghi secondari (adottando anche in questo caso, in favore di sicurezza, un coefficiente riduttivo pari a 0,8).

Sono stati quindi individuati 3 “sottocasi”, corrispondenti alle seguenti situazioni:

A: recupero in agricoltura del solo fango proveniente dai depuratori di taglia fino a 20.000 A.E.;

B: recupero in agricoltura dei soli fanghi secondari provenienti da tutti i depuratori dotati di sedimentazione primaria;

C: recupero in agricoltura del fango proveniente dai depuratori di taglia fino a 20.000 A.E. e dei fanghi secondari prodotti dagli impianti di taglia superiore ai 20.000 A.E..

Nelle tabelle 11.4.2/1, 11.4.2/2 e 11.4.2/3 si riporta un quadro riassuntivo dei flussi di massa e delle destinazioni dei fanghi, come risultato dalle elaborazioni svolte, per i tre sottocasi.

Tab. 11.4.2/1 – Scenario 1, sottocaso A (2016): flussi di massa (kgSS/a) e destinazioni dei fanghi.

Classi di potenzialità	Numero impianti	A.E.	Agricoltura	Altre forme di recupero/smaltimento così suddivise:		
2.000 – 19.999	299	2.145.413	26.618.065	6.654.516	Cementifici:	63.000.000
20.000 – 99.999	103	4.448.528	-	78.745.883	Inceneritori RU:	137.000.000
100.000-499.999	39	7.547.210	-	132.807.948	Impianti dedicati:	120.534.697
≥500.000	7	5.866.260	-	102.326.349		
Tot.	448	20.007.411	26.618.065	320.534.697		

Tab. 11.4.2/2 – Scenario 1, sottocaso B (2016): flussi di massa (kgSS/a) e destinazioni dei fanghi.

Classi di potenzialità	Numero impianti	A.E.	Agricoltura	Altre forme di recupero/smaltimento così suddivise:		
2.000 – 19.999	299	2.145.413	734.270	32.563.882	Cementifici:	63.000.000
20.000 – 99.999	103	4.448.528	5.586.026	73.686.985	Inceneritori RU:	137.000.000
100.000-499.999	39	7.547.210	21.750.328	112.257.500	Impianti dedicati:	110.049.182
≥500.000	7	5.866.260	11.353.874	91.540.814		
Tot.	448	20.007.411	39.424.497	310.049.182		

Tab. 11.4.2/3 – Scenario 1, sottocaso C (2016): flussi di massa (kgSS/a) e destinazioni dei fanghi.

Classi di potenzialità	Numero impianti	A.E.	Agricoltura	Altre forme di recupero/smaltimento così suddivise:		
2.000 – 19.999	299	2.145.413	26.618.065	6.654.516	Cementifici:	63.000.000
20.000 – 99.999	103	4.448.528	5.586.026	73.686.985	Inceneritori RU:	137.000.000
100.000-499.999	39	7.547.210	21.750.328	112.257.500	Impianti dedicati:	84.139.816
≥500.000	7	5.866.260	11.353.874	91.540.814		
Tot.	448	20.007.411	65.308.292	284.139.816		

In tutti i sottocasi vi è poi da considerare una produzione di residui, derivanti da tutte le forme di recupero energetico (con l'unica eccezione dei cementifici). I valori calcolati risultano, rispettivamente per i sottocasi A, B e C, rispettivamente: 64.384 t/a, 61.762 t/a, 55.285 t/a.

Scenario 2

In questo scenario si prevede di massimizzare il ricorso allo spandimento agricolo dei fanghi, compatibilmente con i numerosi vincoli di natura tecnica (agronomica) e normativa già oggi in vigore o di prevedibile futura emanazione.

Si sono individuati due “sottocasi”:

A: come visto sopra, nel breve e medio termine si potrebbero utilizzare in agricoltura fanghi pari a un quantitativo di 215.000-250.000 t di SS.anno⁻¹. Per tener conto di diversi fattori di incertezza è stato preso come riferimento l'estremo inferiore dell'intervallo di variabilità della stima: 215.000 tSS/anno.

B: nel lungo termine il potenziale accumulo di metalli pesanti potrebbe limitare l'utilizzo di fanghi in alcuni terreni, riducendo la ricettività a 120.000-150.000 t di SS.anno⁻¹. Anche in questo in caso, in via cautelativa viene considerato il valore inferiore: 120.000 t SS/anno.

I quantitativi di fanghi destinati alle diverse forme di recupero, in funzione delle classi di potenzialità degli impianti, sono riportati nelle tabelle 11.4.2/4 e 11.4.2/5. La produzione di residui solidi derivanti dall'incenerimento dei fanghi risulta pari a 22.631 t/anno per il sottocaso A e 41.038 t/anno per il sottocaso B.

Tab. 11.4.2/4 – Scenario 2, sottocaso A (2016): flussi di massa (kgSS/a) e destinazioni dei fanghi.

Classi di potenzialità	Numero impianti	A.E.	Agricoltura	Altre forme di recupero/smaltimento così suddivise:		
2.000 – 19.999	299	2.145.413	26.618.065	6.654.516	Cementifici:	41.628.120
20.000 – 99.999	103	4.448.528	47.261.034	31.484.849	Inceneritori RU:	90.524.641
100.000-499.999	39	7.547.210	79.707.544	53.100.404	Impianti dedicati:	-
≥500.000	7	5.866.260	61.413.357	40.912.992		
Tot.	448	20.007.411	215.000.000	132.152.761		

Tab. 11.4.2/5 – Scenario 2, sottocaso B (2016): flussi di massa (kgSS/a) e destinazioni dei fanghi.

Classi di potenzialità	Numero impianti	A.E.	Agricoltura	Altre forme di recupero/smaltimento così suddivise:		
2.000 – 19.999	299	2.145.413	26.618.065	6.654.516	Cementifici:	63.000.000
20.000 – 99.999	103	4.448.528	23.427.548	55.318.335	Inceneritori RU:	137.000.000
100.000-499.999	39	7.547.210	39.511.457	93.296.491	Impianti dedicati:	27.152.761
≥500.000	7	5.866.260	30.442.930	71.883.419		
Tot.	448	20.007.411	120.000.000	227.152.761		

Per un confronto tra i diversi scenari, elementi di valutazione possono essere i seguenti:

- recupero di materia: chiaramente, relativamente a questo aspetto, è da preferire lo scenario 2;
- recupero energetico: in tutte le soluzioni prospettate, a questa forma di recupero viene destinato tutto il fango non riutilizzato in agricoltura. Va segnalata la necessità di realizzare impianti *ex novo*, dedicati al trattamento dei fanghi, per garantire una capacità complessiva sufficiente, in aggiunta ai cementifici e agli inceneritori di RU;
- residui da smaltire in discarica: secondo le stime svolte, si va da 22.600 t/anno (scenario 2, sottocaso A) a 64.400 t/anno (scenario 1, sottocaso A);

- strutture già esistenti;
- necessità di realizzazione di piattaforme centralizzate di trattamento: saranno da prevedere piattaforme centralizzate capaci di coprire un fabbisogno che va dalle 38.139 t/anno dello scenario 2 (sottocaso A) alle 106.251 t/anno dello scenario 1 (sottocaso B).

Per quanto concerne gli aspetti economici, le voci di costo che, in questa sede, possono essere considerate sono le seguenti: realizzazione di impianti di essiccamento termico dei fanghi; installazione di sistemi per la minimizzazione della produzione di fango; realizzazione di impianti di incenerimento dei fanghi.

Nelle tabelle 11.4.2/6 e 11.4.2/7 è riportato un quadro riepilogativo delle principali voci di costo stimate per le diverse ipotesi. Si ricorda che si tratta di valori di larga massima, da utilizzarsi solo per un orientamento preliminare. Alcune voci sono peraltro solo indicate, senza una quantificazione dei relativi oneri, la cui definizione non è possibile in questa sede essendo molti e non prevedibili i fattori che li influenzano.

Tab. 11.4.2/6 - Investimenti (valori indicativi) e voci di costo principali da considerare per i diversi scenari.

Scenario	Sottocaso	Sistemi di minimizzazione della produzione di fanghi (M€)	Impianti di essiccamento (esclusi quelli già esistenti) (M€)	Impianti di termodistribuzione e dedicati (M€)	Fanghi da conferire a co-incenerimento (tSS/a)	Fanghi da conferire a cementifici (tSS/a)	Residui da smaltire in discarica (tSS/a)
1	A	4-10	255	132	Nessun investimento	Nessun investimento	Nessun investimento
	B	4-10	246	121	Nessun investimento	Nessun investimento	Nessun investimento
	C	4-10	224	92	Nessun investimento	Nessun investimento	Nessun investimento
2	A	4-10	98	-	Nessun investimento	Nessun investimento	Nessun investimento
	B	4-10	177	30	Nessun investimento	Nessun investimento	Nessun investimento

Si può osservare che, come atteso, le soluzioni che massimizzano il ricorso all'agricoltura (scenario 2) comportano i minori investimenti.

Per effettuare una stima più generale dei costi annui, volendo avere un termine indicativo di paragone, si devono ipotizzare i costi di smaltimento dei residui in discarica (es. 120 €/t), i costi di conferimento in agricoltura (es. 450 €/tSS), i costi di conferimento a cementificio o co-incenerimento (es. 40 €/tSS). Con queste ipotesi, risulta un costo annuo intorno a 130-140 M€ per le alternative sia dello scenario 1 sia dello scenario 2, da confrontare con circa 160 M€/anno, che andrebbero sostenuti nella ipotesi di conferire tutti i fanghi in agricoltura. Sono stati trascurati i costi di trasporto, ritenuti in prima approssimazione equivalenti nelle diverse situazioni.

Tab. 11.4.2/7 - Costi annui totali (ammortamento + esercizio) e voci di costo principali da considerare per i diversi scenari.

Scenario	Sottocaso	Sistemi di minimizzazione della produzione di fanghi (M€/a)	Impianti di essiccamento (esclusi quelli già esistenti) (M€/a)	Impianti di termodistribuzione dedicati (M€/a)	Fanghi da conferire a co-incenerimento (tSS/a)	Fanghi da conferire a cementifici (tSS/a)	Residui da smaltire in discarica (tSS/a)
1	A	3-4	80	24	137.000	63.000	64.384
	B	3-4	78	22	137.000	63.000	61.762
	C	3-4	71	17	137.000	63.000	55.285
2	A	3-4	33	-	90.525	41.628	22.631
	B	3-4	57	5	137.000	63.000	41.038

11.4.3 Ulteriori aspetti da approfondire

Di seguito si riporta un elenco di problematiche/aspetti che a nostro giudizio necessitano di un eventuale approfondimento per la definizione, da parte della Regione, di una strategia regionale ottimale di intervento in tema di fanghi. Per alcuni aspetti vengono forniti suggerimenti operativi, in altri casi si rimanda necessariamente ad approfondimenti successivi (che vanno oltre gli obiettivi del presente lavoro).

- In generale, si ritiene che la strategia “ottimale” debba prevedere la possibilità di differenziare al massimo le alternative di recupero/smaltimento, lasciando aperte molte strade alternative. Ciò consentirebbe, in relazione all’evoluzione di tutti quei fattori di difficile previsione, di adeguare il sistema alle condizioni tecniche, ambientali, economiche e sociali del momento.
- L’adozione di adeguati protocolli di verifica di funzionalità dei vari comparti della linea fanghi degli impianti di depurazione consentirebbe di ottimizzare il funzionamento delle strutture esistenti, con ciò conseguendo, già in impianto, il massimo sfruttamento energetico (in caso di presenza di digestione anaerobica) e una diminuzione della produzione di fango da smaltire. A livello qualitativo, miglioramenti potrebbero essere conseguiti con un più attento controllo degli scarichi industriali in fognatura.
- Probabilmente andrebbe incentivato il ricorso a tecnologie poco diffuse (come l’essiccamento termico e la termovalorizzazione) o non convenzionali (come i sistemi di minimizzazione della produzione di fanghi), almeno laddove siano state verificate le condizioni di fattibilità tecnico-economica.
- Nell’ottica di rendere più sicura la pratica del riutilizzo agricolo, potrebbero essere messi in atto provvedimenti a vari livelli: protocolli di monitoraggio per la caratterizzazione dei fanghi a monte del loro conferimento a piattaforme centralizzate di trattamento; interventi di adeguamento dei centri di conferimento e trattamento dei fanghi finalizzati al riutilizzo in agricoltura; definizione di criteri per attuare un monitoraggio dei suoli e delle colture; predisposizione di manuali di buona pratica per il riuso della biomassa, ecc..
- Dovendosi realizzare nuove opere/impianti, è necessario partire da una ricognizione dello stato di fatto. Inoltre, è necessario considerare le iniziative già in corso e consolidate, in alcune realtà, per il recupero/smaltimento dei fanghi.
- L’analisi della distribuzione sul territorio e della dimensione degli impianti di depurazione, dei centri di recupero, dei terreni idonei al riutilizzo agricolo ecc. rappresenta un importante elemento di valutazione. È infatti necessario tener conto dei flussi di massa e quindi dell’incidenza del trasporto nelle diverse alternative.
- Molti ambiti socio-economici sono coinvolti nel problema della gestione dei fanghi e ne possono influenzare pesantemente le modalità. L’evoluzione che nel prossimo futuro caratterizzerà questi ambiti potrà quindi determinare gli indirizzi da prendere. Tra i fattori più direttamente coinvolti si possono ricordare i seguenti: l’agricoltura in senso lato, la normativa (non solo in campo ambientale), il settore dei rifiuti, il mercato dei recuperi e dei sistemi di smaltimento, ecc.. Si pensi anche solo agli effetti della applicazione della direttiva nitrati, che determina, in molte zone lombarde, una eccedenza di effluenti di allevamento rispetto alla ricettività dei suoli.
- Le problematiche di carattere sociale non sono state prese in considerazione in questo studio. È noto però che esse possono rappresentare un vincolo serio alla realizzazione di interventi in campo ambientale.

-
- Una campagna intensiva di caratterizzazione dei fanghi di depurazione degli impianti lombardi per poterne definire la qualità in relazione ai processi depurativi, alle caratteristiche dei liquami trattati, alle configurazioni impiantistiche ecc., potrebbe rappresentare un'utilissima base di conoscenza per indirizzare le scelte dei pianificatori.

I risultati di questa ricerca sono quindi da intendersi, in ultima analisi, come “propedeutici” ad uno studio di fattibilità nell'ambito del quale, definito lo scenario di intervento, effettuare i necessari approfondimenti a livello territoriale e dettagliare i costi di intervento.

PARTE V

**RIUTILIZZO DELLE ACQUE
REFLUE DEPURATE**

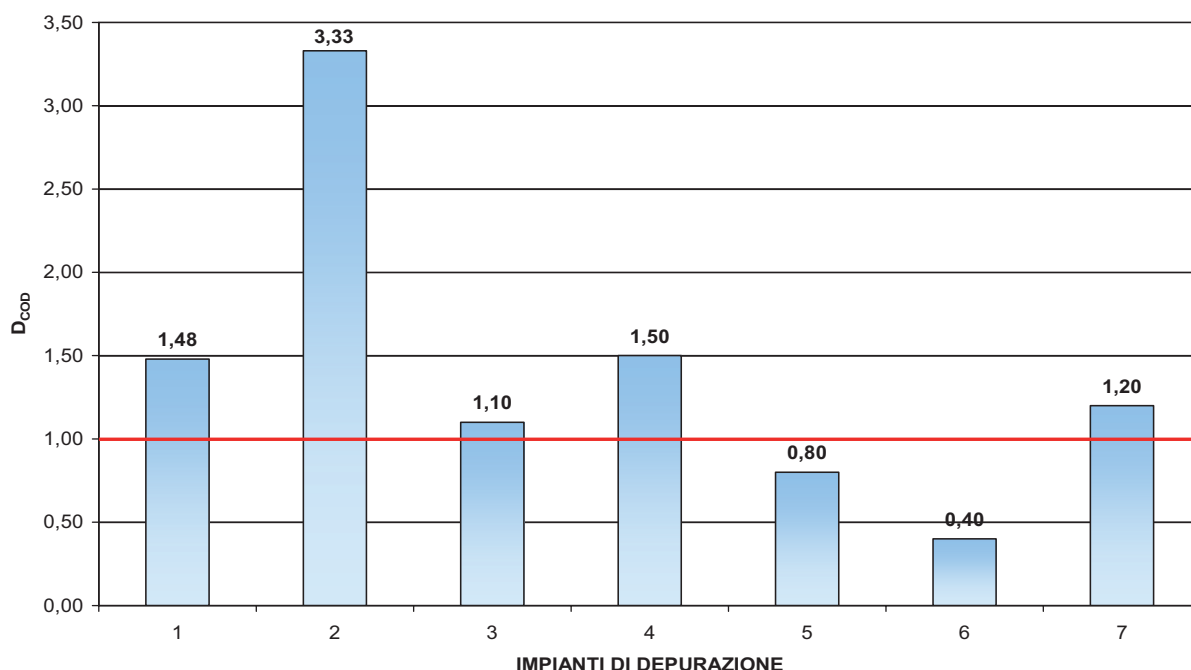
12. CONFRONTO DEGLI INDICI DI EFFICIENZA DEPURATIVA (D_i)

Nel presente capitolo verrà analizzata, dal punto di vista dei limiti allo scarico, la funzionalità degli impianti presi in considerazione nello studio. Dapprima si confronteranno i valori degli indici parziali di efficienza depurativa calcolati considerando solamente le concentrazioni in uscita dei principali parametri (nel modello in questione si è assunto peso pari a zero per quanto riguarda il rendimento di rimozione e peso unitario per le concentrazioni in uscita).

Per quanto riguarda il COD, così come nel § 5.1 relativo alla Parte II, gli impianti 5 e 6 presentano valori dell'indice parziale inferiori ad 1 (vedi Figura 12/1). Si può inoltre osservare che, considerando solamente le concentrazioni in uscita, gli indici parziali relativi ai due impianti sopra citati diminuiscono rispetto al caso in cui si prenda in esame anche il rendimento di rimozione.

Gli altri impianti non presentano particolari problematiche da questo punto di vista; anzi tutti i valori degli indici parziali aumentano, soprattutto nel caso dell'impianto 2, rispetto alla metodologia di calcolo "standard" (così come indicato nel § 5.1 – Parte II).

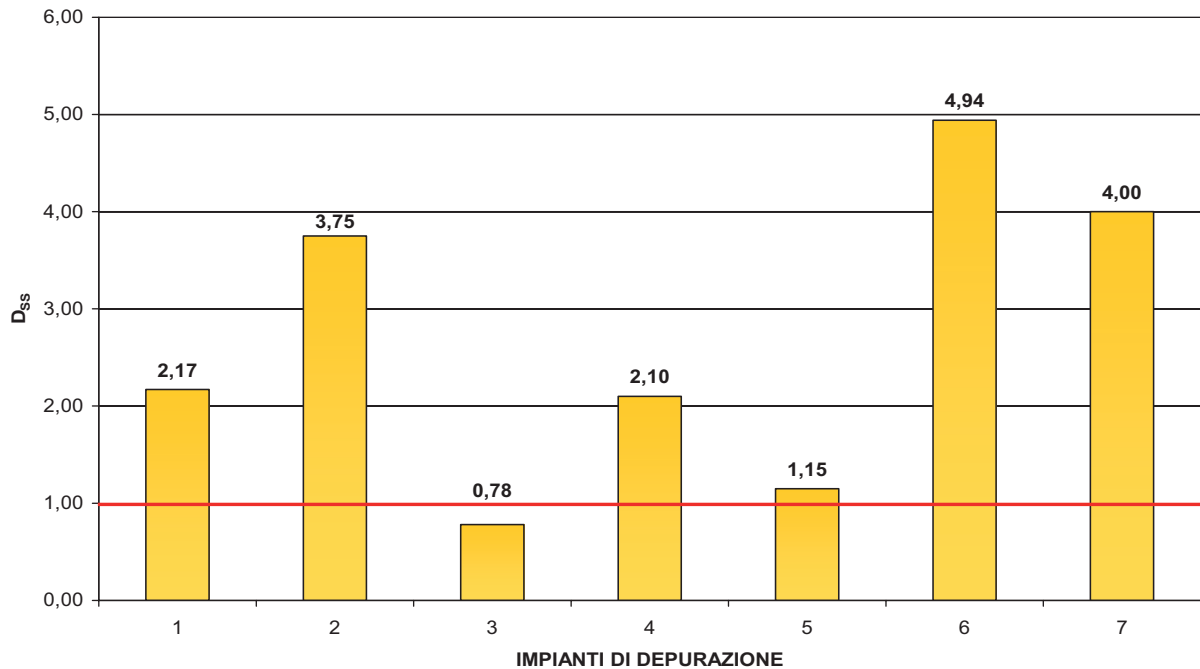
Fig. 12/1 – Valori degli indici parziali (calcolati utilizzando solamente le concentrazioni in uscita) relativi al COD.



Gli indici parziali riferiti ai solidi sospesi, calcolati solamente con le concentrazioni in uscita, rimangono invariati rispetto al caso in cui si considera anche il rendimento.

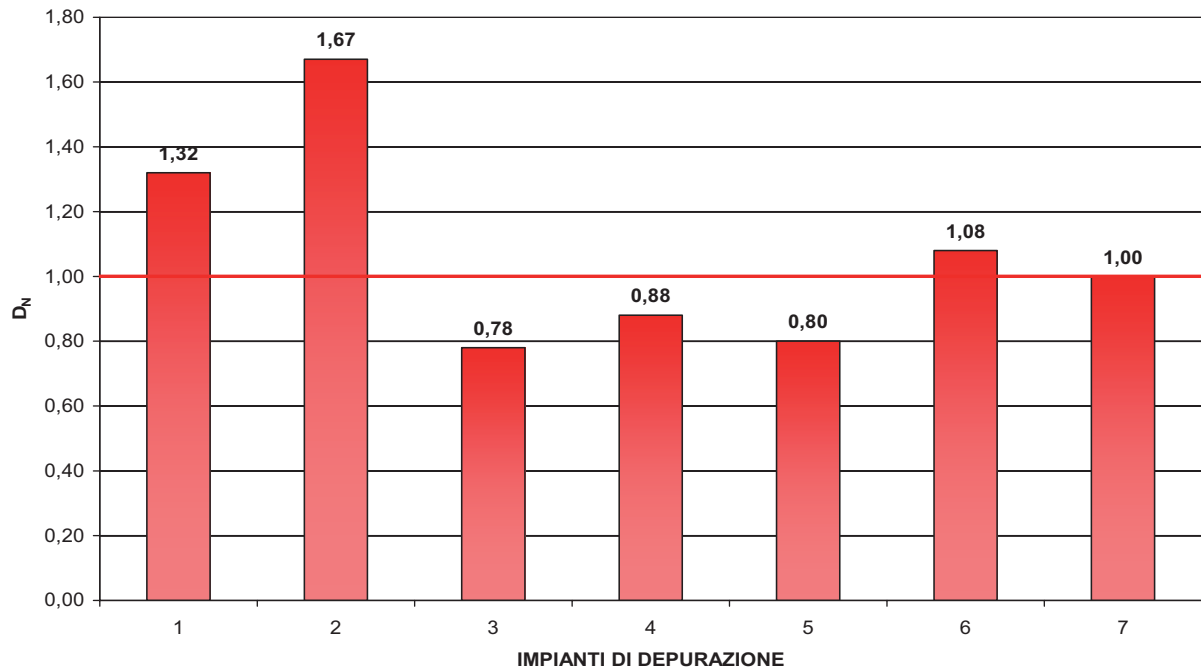
Infatti per i solidi sospesi (Figura 12/2) non è stato preso in considerazione il rendimento, poiché, per un generico impianto con trattamento secondario, non vi è correlazione tra i solidi sospesi in uscita (rappresentati essenzialmente da biomassa sviluppata all'interno dell'impianto) e quelli in ingresso (contenuti nel liquame fognario) (vedi § 2.3.1 relativo alla Parte I).

Fig. 12/2 – Valori degli indici parziali (calcolati utilizzando solamente le concentrazioni in uscita) relativi ai solidi sospesi.



Per quanto riguarda l'azoto, come si osserva dalla Figura 12/3, i valori degli indici parziali sono generalmente più bassi rispetto agli altri parametri. Gli impianti 3, 4 e 5 presentano particolari problematiche per quanto riguarda la concentrazione in uscita dell'azoto. I valori degli indici parziali per gli impianti 6 e 7 sono invece vicini ad 1; nel caso dell'impianto 7 si evidenzia un leggero aumento dell'indice parziale calcolato solamente con le concentrazioni in uscita, rispetto al calcolo del medesimo indice considerando anche il rendimento di rimozione. Per quanto riguarda gli impianti 1 e 2 non si osservano particolari problematiche; gli indici parziali sono infatti nettamente superiori ad 1.

Fig. 12/3 – Valori degli indici parziali (calcolati utilizzando solamente le concentrazioni in uscita) relativi all'azoto.



Analizzando la Figura 12/4, si può osservare che, come nel § 5.4 relativo alla Parte II, tutti gli indici parziali sono superiori ad 1; rispetto al calcolo degli indici con entrambi gli indicatori (rendimento di rimozione e concentrazioni in uscita) si nota che tutti gli impianti che hanno fornito il dato, ad eccezione degli impianti 2 e 6, presentano un valore sensibilmente inferiore. In particolare nel caso dell'impianto 5 si passa da 3,05 a 2,50; il valore dell'indice è comunque ampiamente superiore ad 1.

Per quanto riguarda il parametro *Escherichia Coli*, non si osservano sostanziali differenze con la Figura 12.5/1 del § 5.5 (Parte II). Solamente nel caso dell'impianto 7 si osserva una leggera diminuzione del valore dell'indice, che si mantiene comunque pari ad 1.

Per tutti i parametri presi in considerazione in questo capitolo le eventuali problematiche presenti possono essere risolte con gli interventi già descritti nella Parte II.

Nei capitoli che seguono verranno analizzate alcune soluzioni impiantistiche che possono essere utilizzate per il raggiungimento degli obiettivi minimi ai fini del riutilizzo delle acque reflue depurate, con illustrazione di numerosi esempi applicativi.

In particolare verrà discussa anche la fattibilità tecnica-economica del riutilizzo nei principali impianti del bacino relativo all'area Lambro-Seveso-Olona, preso come esempio, per illustrare le problematiche applicative.

Fig. 12/4 – Valori degli indici parziali (calcolati utilizzando solamente le concentrazioni in uscita) relativi al fosforo.

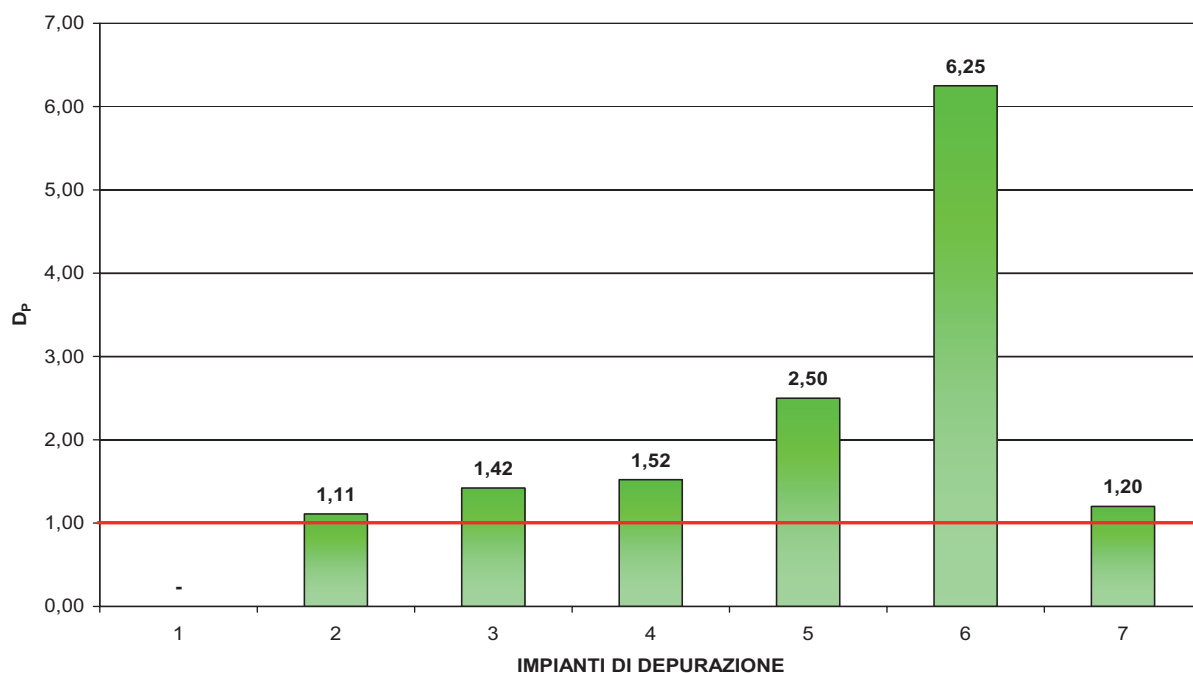
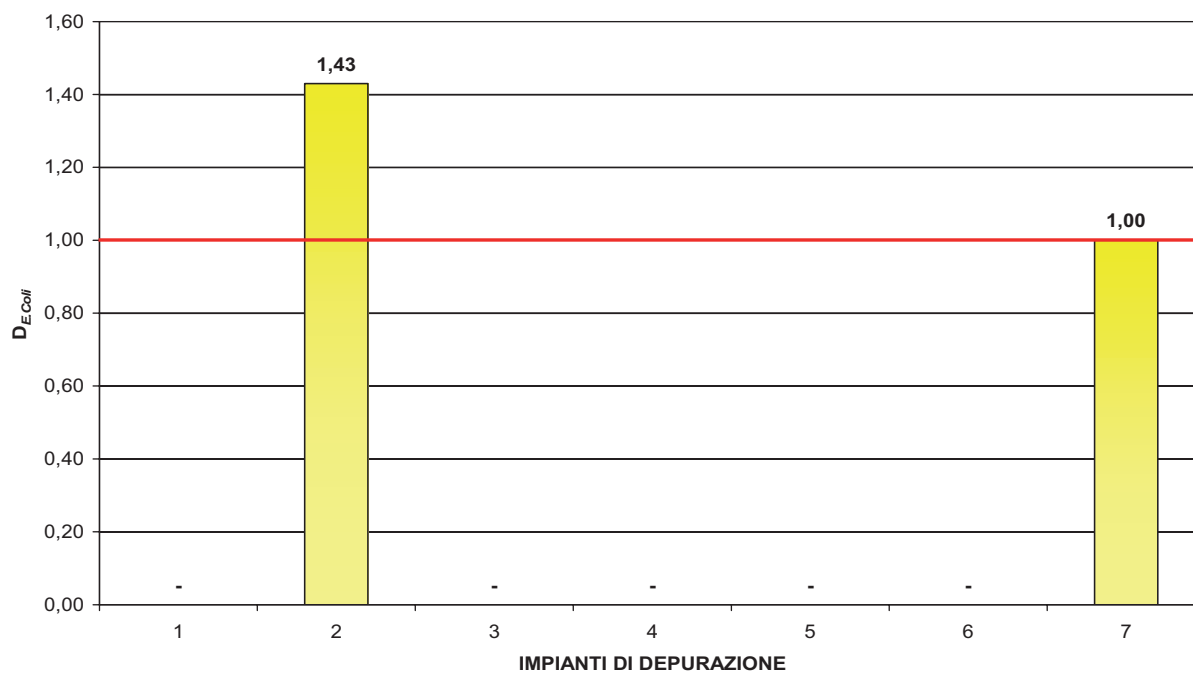


Fig. 12/5 – Valori degli indici parziali (calcolati utilizzando solamente le concentrazioni in uscita) relativi agli Escherichia Coli.



13. POSSIBILI INTERVENTI PER IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE DEPURATE

13.1 RISPETTO DEI LIMITI TABELLARI E TECNOLOGIE DI AFFINAMENTO

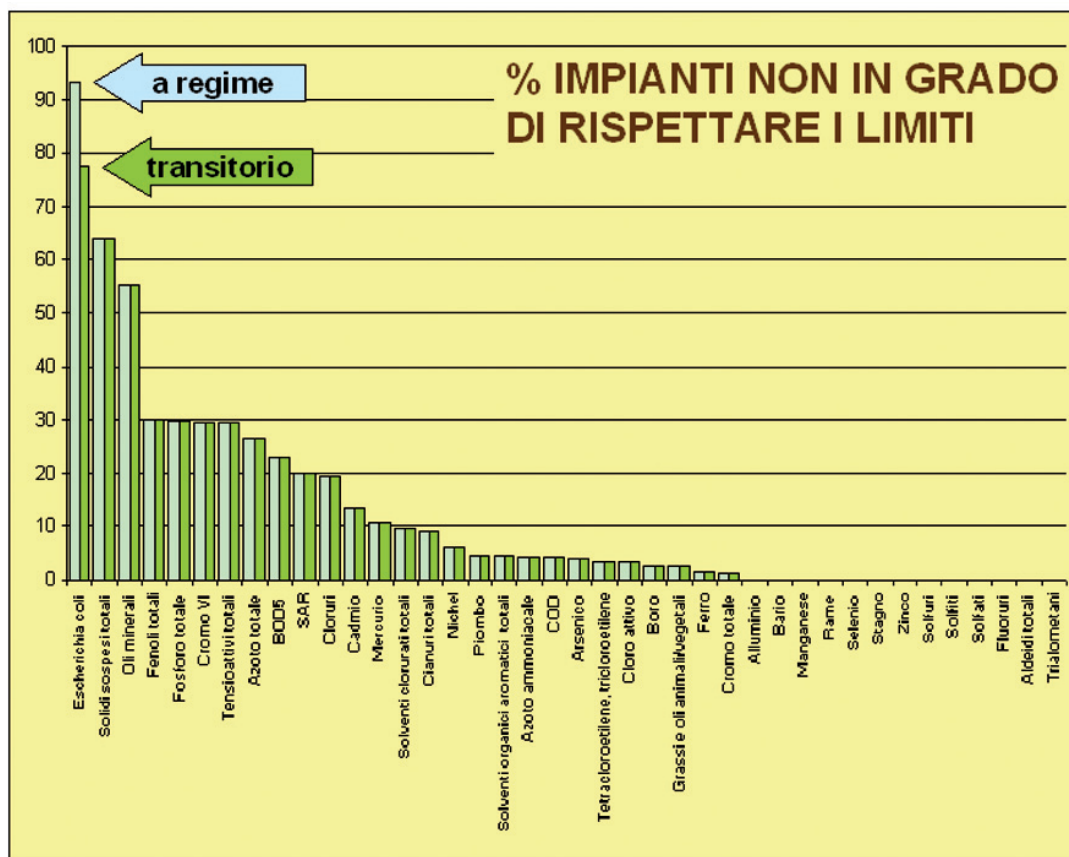
13.1.1 Parametri “critici” per il riutilizzo delle acque reflue

Federgasacqua ha condotto una indagine (Drusiani, 2003; AA.VV.a., 2003) acquisendo dati gestionali da 94 impianti di depurazione italiani. Lo scopo dell'indagine era quello di valutare la compatibilità dei reflui prodotti con i limiti previsti dal D.M. 185/03, nonché la compatibilità economica associata. In Figura 13.1.1/1 è indicata la percentuale degli impianti che non è attualmente in grado di garantire il rispetto dei limiti indicati nel D.M. 185/03.

Per i parametri non indicati non sono stati raccolti dati in numero statisticamente significativo. Come si può osservare, i parametri più “critici” sono i seguenti:

1. *E. Coli*, con differenze anche superiori in alcuni casi a due ordini di grandezza, con difficoltà anche da parte di impianti (che pur presentano performance migliori rispetto alla media) dotati di stadio terziario e disinfezione finale;
2. solidi sospesi;
3. oli minerali;
4. fenoli, fosforo, cromo, tensioattivi, azoto.

Fig. 13.1.1/1 – Percentuale di impianti non in grado di garantire il rispetto dei limiti indicati nel D.M. 185/03.



13.1.2 Verifica di efficienza degli impianti ed esempi di calcolo

Il quadro sopra delineato induce una serie di riflessioni.

Innanzitutto, anche se non è questa la sede più opportuna, si vuole segnalare che in diverse occasioni (AA.VV.b, 2003, AA.VV., 2004, AA.VV., 2006) sono stati messi in discussione i limiti di alcuni parametri (anche in relazione ai valori riportati in altre norme di settore, segnalando peraltro che alcuni parametri, come tallio e boro, non sono nemmeno presenti in altre normative), si è discusso sui limiti che sono indicati soltanto come “valori guida” (cloruri, solfati ecc.), si è obiettato sul fatto che gli impianti di lagunaggio o fitodepurazione non siano tenuti al rispetto dello stesso limite su *E. Coli* imposto per tutti gli altri tipi di impianti.

Nonostante queste oggettive perplessità, si deve comunque tenere presente che il quadro normativo tracciato dai più recenti regolamenti imporrà un nuovo approccio alla progettazione degli impianti e degli interventi di adeguamento. Tale approccio non potrà più limitarsi alla valutazione degli effetti di rimozione dei parametri “convenzionali” (essenzialmente BOD, COD, N, P, SS, *E. Coli*) ma dovrà necessariamente prendere in considerazione anche il destino di tutte le altre sostanze inquinanti (compresi specifici microinquinanti) di cui si richiede il rispetto di uno standard nell’effluente (rispetto che, in generale, per un impianto convenzionale che tratti acque reflue di natura prevalentemente domestica, viene dato per scontato, almeno per quanto riguarda i parametri della Tab. 3 dell’all. 5 del d.lgs. 152/2006, Parte III).

Ciò diviene indispensabile se si vuole valutare la necessità di adottare trattamenti integrativi, la scelta e il dimensionamento dei quali sono influenzati naturalmente dalle caratteristiche dei liquami in ingresso all’impianto (si pensi, in particolare, ai contributi degli scarichi industriali in fognatura) e dalle rese di rimozione che il processo garantisce per le diverse sostanze inquinanti.

Le caratteristiche qualitative del liquame influente all’impianto possono essere note se è attivo un programma di monitoraggio che includa la rilevazione degli specifici parametri normati. Tuttavia, anche in questo caso, la definizione delle rese di trattamento non è sempre facilmente ricavabile (in modo significativo), in quanto servirebbe un numero elevato di analisi (e taluni parametri non vengono monitorati con elevata frequenza), possibilmente relative ai diversi flussi (liquame, fanghi ecc.). Inoltre, rimane comunque da valutare l’effetto di un’eventuale variazione della concentrazione in ingresso o delle condizioni di funzionamento dell’impianto.

D’altro canto, la valutazione quantitativa di questi aspetti è resa difficile da due ordini di problemi: innanzitutto i processi che si verificano in un impianto (es. bioflocculazione, degradazione, ossidazione, strippaggio ecc.) dipendono, per una determinata sostanza, dalle condizioni ambientali (es. temperatura, pH, concentrazione influente ecc.) e di processo (es. età del fango, aria insufflata ecc.). Inoltre, molti dei parametri indicati nella normativa rappresentano una classe di composti (es. fenoli totali), piuttosto che una sostanza specifica (es. 2-clorofenolo).

Di seguito si riportano alcuni esempi di calcolo, secondo una metodologia proposta da Bertanza e Collivignarelli (2004) e (2007-in corso di pubblicazione), messa a punto proprio nell’intento di tener conto di tutti i fattori sopra richiamati.

Per valutare le rese di rimozione dei diversi inquinanti da parte di un impianto di depurazione e quindi verificare a priori quali potrebbero essere i parametri critici in termini di rispetto dei limiti all’effluente, è innanzitutto necessario considerare il diverso comportamento degli stessi nel sistema. Ad esempio, prendendo in esame i parametri riportati nella Tab. 3 del d.lgs. 152/06 (Parte III), si possono individuare le seguenti categorie:

A. **parametri “convenzionali”** per il dimensionamento di un processo biologico: solidi sospesi totali, BOD, COD, fosforo, azoto nelle diverse forme, *E. Coli*;

- B. **metalli pesanti**, ed elementi con comportamento simile: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame, selenio, stagno, zinco, cianuri;
- C. **parametri “conservativi”**: boro, solfati, cloruri, fluoruri;
- D. **solfuri e solfiti**;
- E. **grassi e oli animali/vegetali**;
- F. **sostanze organiche**: idrocarburi totali, fenoli, aldeidi, solventi organici aromatici, solventi organici azotati, tensioattivi totali, pesticidi fosforati, pesticidi totali (esclusi i fosforati), aldrin, dieldrin, endrin, isodrin, solventi clorurati.

Come sopra accennato, il bilancio di massa di queste sostanze richiede di conoscere il loro destino all'interno dell'impianto. Così, ad esempio, se per i parametri “conservativi” si dovrà tener conto solamente della diluizione, per le sostanze organiche si dovranno considerare la volatilizzazione, la tendenza all'accumulo nel fango (primario e biologico), la biodegradabilità. Inoltre, proprio per le sostanze organiche, si rende necessaria una specifica analisi per individuare, per ogni classe di composti, un numero limitato di sostanze che siano al meglio rappresentative dell'intero gruppo. La determinazione delle caratteristiche di queste singole sostanze permette infine di ricavare un comportamento “medio” attribuibile all'intero gruppo.

Delle sostanze “critiche” evidenziate nell'indagine Federgasacqua, si sono considerate, per svolgere un esempio di calcolo, gli oli minerali e i tensioattivi (come esempi di “categorie” di sostanze organiche), il cromo (come rappresentativo dei metalli pesanti), i cloruri (come esempio di inquinante “conservativo”). Non sono stati viceversa presi in esame i parametri “convenzionali” che, pur rappresentando elemento di criticità, hanno un comportamento più facilmente prevedibile essendo peraltro ben note le tecniche per poterli controllare. Lo schema impiantistico considerato prevede i pretrattamenti meccanici, la sedimentazione primaria, il processo biologico a fanghi attivi a basso carico. Non sono stati invece considerati trattamenti terziari a valle della sedimentazione finale.

Oli minerali

Per stimare il bilancio di massa degli oli minerali si può fare riferimento, in prima approssimazione, ai seguenti coefficienti.

	% trasferita al fango primario	% strippata	% biodegradata	% residua nell'effluente
Oli minerali	0	0	60	40

Sulla base di questi valori, il rispetto del limite del D.M. 185/03 (pari a 0,05 mg/L) può essere garantito da un impianto di tipo convenzionale solo se la concentrazione in ingresso non supera gli 0,125 mg/L. Questo valore è estremamente basso, soprattutto se confrontato con il limite della Tab. 3 del d.lgs. 152/06 (Parte III) relativo agli idrocarburi totali per scarico in fognatura (10 mg/L) che, in quanto tale, teoricamente potrebbe presentarsi anche in ingresso all'impianto. Va detto, però, che il valore di 0,125 mg/L è da considerarsi come concentrazione a valle della disoleatura, comparto che può avere una influenza significativa sulla rimozione degli idrocarburi a basso peso specifico.

Tensioattivi

Il bilancio di massa dei tensioattivi può, in prima approssimazione, essere calcolato sulla base dei seguenti coefficienti.

	% trasferita al fango primario	% strippata	% biodegradata	% residua nell'effluente
Tensioattivi totali	50	0	30	20

Il limite per il riutilizzo è pari a 0,5 mg/L. Il rispetto di questo valore richiede che in ingresso non sia superata una concentrazione pari a 2,5 mg/L, inferiore anche in questo caso al limite per scarico in fognatura (4 mg/L).

Cromo

Per il cromo, la rimozione avviene (così come per tutti i metalli pesanti) essenzialmente per bioassorbimento sul fango. Nel caso di presenza della sedimentazione primaria, si può ipotizzare una uguale ripartizione tra fango primario e secondario, a meno che in sedimentazione primaria o nel comparto biologico si faccia uso di reattivi chimici (es. per la defosfatazione), nel qual caso la percentuale di rimozione potrebbe variare. Per il cromo, dai dati di letteratura, può essere assunta, con ragionevole margine di sicurezza, una percentuale complessiva di rimozione del 60%. Questo porta a definire un limite in ingresso pari a 0,25 mg/L per il cromo totale (il limite è 0,1) e 0,0125 mg/L per il cromo VI (il limite è 0,005). Ancora una volta si tratta di valori nettamente inferiori a quelli ammessi per lo scarico in fognatura: rispettivamente 4 e 0,2 mg/L.

Cloruri

Per definizione di parametro “conservativo”, si è assunta l’ipotesi cautelativa che non vi sia rimozione in nessuna fase dell’impianto. Ciò significa che la concentrazione ammessa in uscita deve essere già garantita in ingresso all’impianto. Si tratta in questo caso di un limite pari a 250 mg/L, contro una concentrazione ammessa per lo scarico in fognatura di 1.200 mg/L. Va peraltro ricordato che la concentrazione dei cloruri è indicata come “valore guida” nel D.M. 185/03 e non già come concentrazione massima ammissibile.

Dagli esempi sopra riportati emerge la necessità di adottare trattamenti specifici aggiuntivi per il raggiungimento dei limiti per il riutilizzo delle acque depurate. A questo proposito vanno però svolte due considerazioni.

1. Non sempre le acque di scarico in ingresso ad un impianto di depurazione presentano concentrazioni di inquinanti (eccetto quelli che possono essere eventualmente ammessi, in deroga, in concentrazioni superiori ai valori di Tab. 3) uguali (o vicine) a quelle ammesse per lo scarico in fognatura, che, almeno per determinate sostanze, sono state probabilmente definite dal legislatore pensando ad una certa “diluizione” ad opera del liquame fognario, ritenendo che esse siano presenti solo in alcuni particolari scarichi industriali. Ad esempio esaminando i dati di funzionamento di un impianto di depurazione a servizio di alcuni centri abitati e di un’area industriale (portata civile = 7.000 m³/d; portata industriale 25.000 m³/d) le concentrazioni medie in ingresso (relative a un anno di funzionamento) dei parametri di

cui agli esempi risultavano pari a: oli minerali = 1,0 mg/L, tensioattivi totali = 3,1 mg/L, cromo tot. = 0,78 mg/L, cromo VI = 0,05 mg/L, cloruri = 185 mg/L. Confrontando questi dati con i limiti in ingresso calcolati negli esempi di cui sopra emerge che per questo impianto potrebbero risultare critici i parametri oli minerali (sarebbe però da verificare l'efficienza di rimozione nel comparto di disoleatura) e cromo, mentre per i tensioattivi (per cui la differenza è molto contenuta) e ancor più per i cloruri non dovrebbero sussistere problemi.

2. Una limitazione delle concentrazioni in ingresso a un impianto può rendersi necessaria non solo per evitare il superamento dei limiti all'effluente ma anche, per esempio, per evitare l'intossicazione della biomassa (in particolare quella nitrificante) o per evitare un accumulo nei fanghi tale da impedire il riutilizzo in agricoltura di questi ultimi (è il caso ad esempio dei metalli pesanti). Sulla base di questa considerazione e svolgendo opportune stime si vede ad esempio che per evitare l'inibizione della nitrificazione la concentrazione di cromo totale in ingresso (all'ipotetico impianto al quale si riferiscono gli esempi di cui sopra) non dovrebbe superare gli 0,3 mg/L, valore molto vicino a quello precedentemente calcolato. Ad esempio, invece, per il nichel la condizione più restrittiva risulta (nelle ipotesi di calcolo adottate) il limite di concentrazione nei fanghi per il riutilizzo in agricoltura (ex d.lgs. 99/92).

13.1.3 Integrazioni impiantistiche richieste

Dagli esempi riportati nel punto precedente, risulta chiaro come la valutazione della "raggiungibilità" degli standard per il riutilizzo sia complessa, dovendosi tenere conto di numerosi fattori. Per giunta, caso per caso, si dovrà procedere alla individuazione degli interventi più opportuni, tenendo conto, oltre che della efficacia di un determinato trattamento nella rimozione dell'inquinante in questione, anche di diversi altri aspetti quali (Collivignarelli *et al.* 2000):

- la configurazione impiantistica pre-esistente (schema di processo, fasi specifiche di trattamento, vasche esistenti, ecc.), tenendo anche presenti i possibili problemi che possono presentarsi, per il personale gestore, quando l'impianto esistente venga sostituito o integrato con sistemi sensibilmente diversi (ad es. a biomassa adesa anziché a fanghi attivi, di tipo SBR anziché a flusso continuo, ecc.);
- la tipologia del liquame da trattare (urbano o con significativa componente industriale, eventuali rifiuti liquidi conferiti con autobotte, ecc.);
- la disponibilità di spazi e la localizzazione dell'impianto (e quindi la possibilità di realizzare nuovi comparti, le necessità di contenere impatto visivo, rumore e odori, ecc.);
- la flessibilità e modularità delle soluzioni da adottare (in funzione della periodicità del carico influente o del suo prevedibile trend evolutivo);
- la semplicità di costruzione e gestione (requisito essenziale specie nel caso di piccoli impianti, dove la complicazione gestionale deve essere ridotta al minimo);
- i costi di investimento ed esercizio (installazioni, consumi di reagenti, smaltimento fanghi, fornitura d'aria, ecc.).

Fra tutti i tipi di integrazioni teoricamente adottabili per un impianto di tipo convenzionale (non considerando cioè sistemi come i bioreattori a membrana che hanno già di per sé prestazioni "di partenza" molto elevate), quelle che potrebbero essere considerate in prima istanza per una valutazione di fattibilità, potendosi considerare tecnologie affidabili e possibilmente mature con costi di investimento e gestione sostenibili, sono le seguenti:

-
- **coagulazione-flocculazione**, in fase primaria come potenziamento della eventuale sedimentazione o in fase terziaria; come noto, lo “spettro” di azione di questo trattamento va dal controllo dei solidi sospesi, alla rimozione del fosforo, all’abbattimento dei metalli pesanti (con eventuale opportuna regolazione del pH) ecc.;
 - **filtrazione su sabbia** in fase terziaria per la riduzione della concentrazione di solidi sospesi (e conseguentemente azoto e fosforo per la frazione sospesa) eventualmente coadiuvata dall’aggiunta di reattivi flocculanti;
 - adsorbimento su **carbone attivo** da dosare in vasca di ossidazione o da prevedere a valle della sedimentazione finale in appositi filtri (eventualmente in combinazione con i filtri a sabbia) per la rimozione di inquinanti disciolti presenti in bassissime concentrazioni (organici e metalli pesanti);
 - **ossidazione chimica** in fase terziaria per la rimozione degli organici bioresistenti (es. tensioattivi non ionici); tra i diversi processi disponibili, quelli ad oggi applicabili risultano l’ozonazione, il processo UV/H₂O₂ e il processo Fenton (quest’ultimo convenientemente adottabile in combinazione con la coagulazione-flocculazione), i primi due efficaci anche in termini di rimozione della carica microbiologica;
 - **disinfezione finale**: le varie tecniche oggi disponibili (ipocloriti, biossido di cloro, ozono, acido peracetico, raggi UV), soprattutto se abbinate alla filtrazione, garantiscono limiti anche molto severi per i parametri microbiologici, non essendo peraltro possibile stabilire a priori il trattamento ottimale, che va viceversa identificato caso per caso.

Più problematica è la rimozione, a condizioni sostenibili, delle sostanze “conservative” (es. cloruri, il cui riferimento è peraltro un valore guida) per le quali le alternative di intervento (es. osmosi inversa) sono pressoché improponibili per impianti di trattamento di acque reflue urbane, date le notevoli portate in gioco.

Un ultimo accenno meritano i nutrienti. Si ricorda che “nel caso di riutilizzo irriguo i limiti per fosforo e azoto totale possono essere elevati rispettivamente a 10 e 35 mg/L” (p.to 4 dell’allegato al D.M. 185/03), ciò che rende di fatto inutile (soprattutto per il fosforo ma anche per l’azoto in molte situazioni) l’adozione di trattamenti specifici di rimozione.

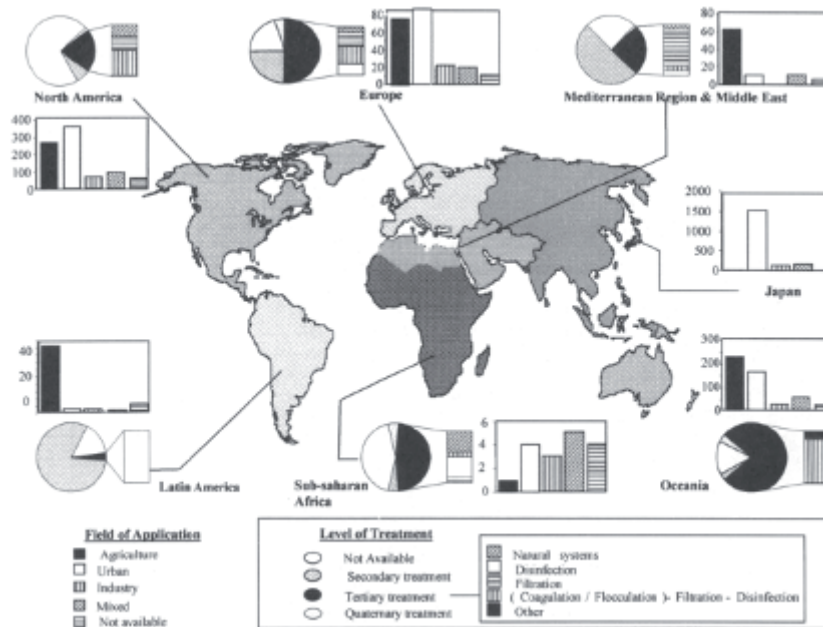
In Figura 13.1.3/1 sono riportate le modalità di riutilizzo e le tecnologie di trattamento più comunemente adottate a livello mondiale.

Si può vedere che il trattamento secondario viene utilizzato solo nel caso in cui l’acqua sia utilizzata per l’irrigazione di alcuni tipi di colture (ad esempio per colture i cui prodotti sono da consumare esclusivamente cotti) e per alcune applicazioni industriali (ad esclusione delle industrie alimentari) come refrigerante industriale.

I trattamenti secondari con l’aggiunta di una fase di filtrazione/disinfezione sono invece applicati nel caso in cui l’acqua sia destinata all’irrigazione di colture e prati, o come acqua di processo in alcune applicazioni industriali.

Il trattamento quaternario, infine, che produce un’acqua comparabile qualitativamente a quella destinata ad uso potabile e che spesso implica l’utilizzo di membrane, viene utilizzato solo per usi residenziali ed in applicazioni industriali che richiedono l’utilizzo di acqua ultrapura.

Fig. 13.1.3/1 – *Ambiti di riutilizzo delle acque di scarico e livello di trattamento in differenti zone del mondo.*



Fonte: Wintgens et al., 2005.

13.2 ESEMPI APPLICATIVI ITALIANI

Le finalità di risparmio della risorsa acqua possono essere perseguite con l'uso razionale della stessa. Tale razionalizzazione presuppone certamente la riduzione dei consumi, soprattutto se ingiustificati, ma anche l'uso di acque (diverse per qualità) secondo le destinazioni d'uso. Il riutilizzo delle acque reflue si pone come utile strumento nell'intento di perseguire tali scopi.

In realtà, il riutilizzo diretto delle acque reflue (principalmente in ambito industriale e agricolo) non è una pratica diffusa, in Italia, per una serie di ragioni di tipo tecnico, economico, normativo e sociale. L'entrata in vigore del D.M. 185/03 (che, al momento della stesura del presente rapporto, è ancora il riferimento attuale, nonostante l'uscita del d.lgs. 152/2006, in quanto il decreto attuativo sul riutilizzo – D.M. 93 del 2 maggio 2006 – è stato sospeso) e l'elaborazione dei PTA regionali ha reso di particolare attualità la tematica.

Per cercare di esaminare i vari aspetti tecnici, economici e sociali legati al riutilizzo, sono stati acquisiti ed elaborati i dati relativi ad alcuni impianti di depurazione che attuano (o hanno in programma di attuare) il riutilizzo delle acque reflue.

I casi reali in cui già oggi viene praticato il riutilizzo sono stati raggruppati in tre distinte categorie in funzione della tipologia di riutilizzo:

- 1. riutilizzo industriale di acque reflue** (paragrafo 13.2.1);
- 2. riutilizzo indiretto di acque reflue a scopo irriguo** (paragrafo 13.2.2);
- 3. riutilizzo diretto di acque reflue a scopo irriguo (le acque sono distribuite con apposite rete)** (paragrafo 13.2.3).

Nel paragrafo 13.2.4 vengono invece descritti alcuni casi significativi di impianti dove sono in corso di valutazioni di fattibilità del riutilizzo.

Come specificato caso per caso, alcuni impianti sono stati oggetto di sopralluogo e/o contatto diretto con i gestori nell'ambito del presente lavoro; per i rimanenti impianti i dati erano stati acquisiti con le medesime procedure nel corso di una precedente ricerca degli estensori (Colli-vignarelli *et al.*: “Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane”, APAT-Università degli Studi di Brescia, 2005).

Si sono acquisiti, per ciascuna delle realtà individuate, alcuni dati costruttivi e gestionali (laddove disponibili), la destinazione d'uso e la quantità di acqua riutilizzata, le eventuali problematiche incontrate ed i costi del trattamento. In alcuni casi sono state anche effettuate visite, sopralluoghi, prendendo contatti direttamente con i responsabili della gestione.

In generale, i dati acquisiti si presentavano naturalmente molto disomogenei tra loro, per cui è stato innanzitutto necessario procedere ad una omogeneizzazione degli stessi. Sono stati quindi prodotti elaborati che raccolgono le seguenti informazioni:

- carichi e portate di progetto;
- dimensioni dei comparti principali;
- schema di flusso semplificato;
- caratteristiche di funzionamento (carichi trattati e prestazioni);
- tipologia, quantità ed eventuali problematiche legate al riutilizzo delle acque reflue depurate;
- costo del trattamento.

Dalla documentazione esaminata non è sempre stato possibile reperire le informazioni necessarie ad un completo esame di tutti gli aspetti considerati. Di norma si è sempre potuto riprodurre uno schema di processo semplificato dell'impianto (almeno per la sezione di affinamento), mentre non sempre si è riusciti a reperire i dati di funzionamento.

Si precisa che le elaborazioni sono state effettuate sui dati così come riportati nelle fonti consultate.

Si ritiene comunque che, per gli scopi di questo lavoro, il livello di dettaglio raggiunto sia sufficiente per dedurre importanti considerazioni di carattere generale. Viceversa, per studiare più approfonditamente ciascun impianto, sarebbe richiesto un più stretto confronto con i gestori (ciò che, per esigenze di tempo, si è potuto fare solo in alcuni casi).

L'elenco degli impianti presi in considerazione in questo studio, che già oggi effettuano il riutilizzo dell'effluente, è riportato in Tabella 13.2/1. Come sopra accennato, informazioni dettagliate sui singoli casi sono riportate nei successivi paragrafi 13.2.1, 13.2.2 e 13.2.3.

Tab. 13.2/1 – *Elenco degli impianti dove già oggi viene effettuato il riutilizzo delle acque depurate.*

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO	IMPIANTI
INDUSTRIALE	A
	B
	C
	D
	E
	F
AGRICOLO INDIRETTO	G
	H
	I
AGRICOLO DIRETTO	L
	M

Per avere un quadro di sintesi dei risultati dell'indagine sugli impianti che già effettuano il riutilizzo delle acque reflue è stata creata la seguente Tabella 13.2/2 nella quale sono state raccolte le informazioni essenziali.

Dall'esame della tabella possono essere dedotte le seguenti considerazioni generali:

- il riutilizzo delle acque reflue avviene sia in ambito industriale sia in ambito agricolo e in genere riguarda solo una aliquota delle acque di scarico. Nel caso del riutilizzo in agricoltura, la risorsa viene utilizzata con una limitazione del periodo temporale e il riutilizzo può essere del tipo “diretto” o “indiretto” (essendo quest'ultimo il caso più frequente).
- Il costo del riutilizzo comprende una serie di oneri che vanno dall'affinamento dell'acqua depurata alla gestione della rete di distribuzione. Chiaramente sono influenzati da molti fattori (tipi di trattamenti, requisiti di qualità per il riutilizzo, dimensione dell'impianto ecc.) ed è assai difficile indicare dei valori significativi che abbiano una validità generale. I valori riportati sono comunque in linea con quelli desunti da altre indagini.
- E' interessante notare che gli impianti hanno una potenzialità medio-grande: l'impianto più piccolo ha infatti potenzialità di 40.000 A.E., i più grandi superano il milione di abitanti equivalenti. Questo può già suggerire che gli investimenti tecnico-economici necessari per avviare iniziative di recupero sono giustificabili per taglie di impianto significative.
- Tra i maggiori ostacoli al riutilizzo viene segnalato il costo dell'acqua trattata (rispetto a quello dell'acqua prelevata dalla falda o da corpi idrici superficiali). Ciò comporta una serie di conseguenze: difficoltà di reperimento di utenze (probabilmente incidono anche fattori di carattere psicologico-sociale) da un lato e impossibilità di adottare trattamenti troppo complessi dall'altro (ciò che invece favorirebbe l'accettazione da parte dei potenziali utilizzatori).

Tab. 13.2/2 – Riepilogo delle informazioni essenziali sugli impianti oggetto di indagine per i quali già oggi è in atto il riutilizzo delle acque di scarico.

Impianto	Riuso		Costo (Euro/m ³)	Liquame trattato (componente prevalente)	Carico in ingresso di progetto (kgBOD/d)	Problematiche operative principali
	Ambito	Limitazioni d'uso				
A	I	Occasionale	0,16 ¹	Civile	6.000	Reperimento utenze (costo della risorsa non competitivo con quello dell'acqua di falda).
B	I	Parziale	0,11 ¹	Civile	6.000	Reperimento utenze, elevate concentrazioni di cloruri.
C	I	Parziale	0,19 ²	Industriale	4.000	E' richiesta una concentrazione di cloruri bassa già in ingresso al trattamento, ciò che risulta difficile in presenza di infiltrazioni di acque saline nelle condotte fognarie
D	I	Parziale	0,27 ³	Industriale	45.000	La necessità di ridurre la salinità dell'acqua richiede la miscelazione dell'effluente trattato con acque di superficie. Il costo risulta comunque elevato.
E	I	Parziale	-	Industriale	9.000	Presenza di colore , tensioattivi, solfati e sali.
F	A (indiretto)	parziale e solo estate	-	Civile	60.480	Nessuna problematica particolare segnalata.
G	A (indiretto)	parziale e solo estate	-	Civile	48.384	Regolazione della portata destinata al riutilizzo per mancanza di accordi chiari tra i Consorzi irrigui interessati.
H	A (indiretto)	-	0,08 – 0,13 ⁵	Civile	32.190	Elevata concentrazione di cloruri probabilmente dovuta a infiltrazione di acqua salmastra.
I	A (indiretto)	solo estate	-	-	15.700	Nessuna problematica particolare segnalata.
L	A (diretto)	solo estate	0,48 ⁴	Civile	10.800	Nessuna problematica particolare segnalata.
M	A (+ C) (diretto)	-	0,13 – 0,30 ²	Civile	2.400	Prestazioni influenzate dalla fluttuazione stagionale del carico. Impossibilità di garantire standard qualitativi particolarmente elevati.

Ambito riuso: I = Industriale; C = civile; A = agricolo

¹ costo del solo affinamento, compresi ammortamenti

² tariffe pratiche

³ costo di produzione e distribuzione a fronte di un prezzo "politico" di 0,13 Euro/m³.

⁴ tariffa depurazione + tariffa fognatura

⁵ costi di esercizio di tutto l'impianto (esclusi ammortamenti)

13.2.1 Il riutilizzo industriale: casi reali

13.2.1.1 L'impianto A

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti terziari di affinamento e i dati di funzionamento.

Dati di progetto

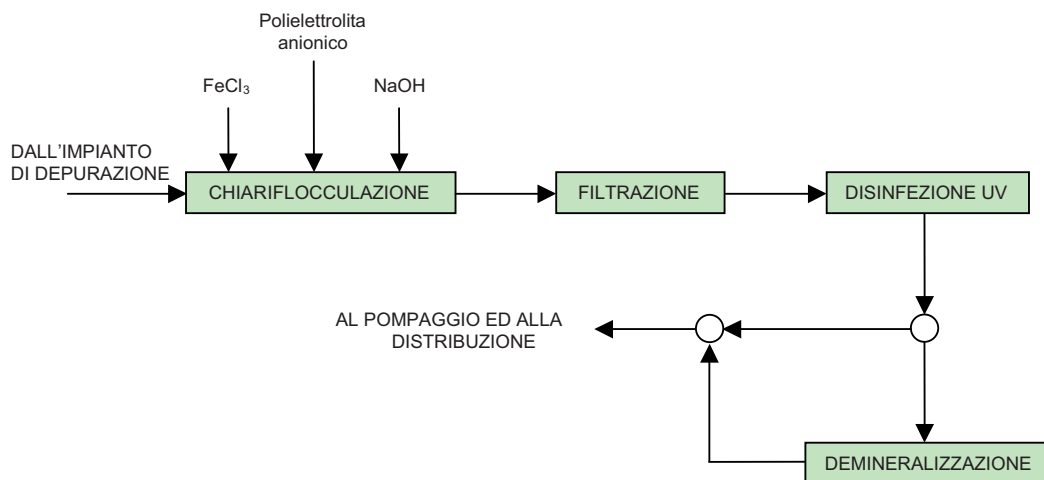
Dati relativi all' impianto di depurazione:

- Abitanti equivalenti: 90.000
- Portata media in tempo secco: 20.000 m³/d
- Carico di BOD: 5.000 kg/d
- Carico di COD: 10.000 kg/d
- Carico di Azoto: 800 kg/d
- Carico di Fosforo: 165 kg/d

Dati relativi alla sezione di affinamento:

- Portata massima di progetto: 9.600 m³/d

Schema a blocchi affinamento



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2006)

L'impianto tratta un liquame di natura mista civile/industriale.

Di seguito si riportano i principali dati gestionali.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	3.600	[kg/d]
A.E. (COD)	32.728	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	2.150	[kg/d]
A.E. (BOD)	35.840	[ab]
[COD]/[N-NH₄⁺] (valor medio)	13,5	
[COD]/[N-NH₄⁺] (minimo)	6,9	
[COD]/[N-NH₄⁺] (massimo)	19,5	
[COD]/[P] (valor medio)	223	
[COD]/[P] (minimo)	109	
[COD]/[P] (massimo)	428	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	12.100	[m ³ /d]
D.I.	462	[L/(ab d)]
CARICO DI N-NH₄⁺ IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	272	[kg/d]
CARICO DI N-NH₄⁺ IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	120	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	18	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	12	[kg/d]
[N- NH₄⁺] out (valor medio)	10,1	[mg/L]
[N- NH₄⁺] out (minimo)	4,7	[mg/L]
[N- NH₄⁺] out (massimo)	15,9	[mg/L]
[P]out (valor medio)	1,02	[mg/L]
[P]out (minimo)	0,51	[mg/L]
[P]out (massimo)	2,01	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO

L'impianto di affinamento è attualmente in funzione. Il riutilizzo delle acque depurate dovrebbe, a regime, interessare in particolare due aziende, con uso predominante come acqua di raffreddamento. Attualmente solo una piccola quantità d'acqua viene fornita ad un'azienda, mentre la seconda ditta, che da sola assorbirebbe la maggior parte dell'acqua, non si è ancora allacciata.

Attualmente, di fatto, l'impianto viene utilizzato quasi esclusivamente per migliorare la qualità dell'effluente finale.

QUANTITA' RIUTILIZZATA

Attualmente la sezione di affinamento tratta il 25 % della portata totale dell'impianto. Nel 2005 il volume totale di acqua trattata è stato di circa 975.000 m³ di cui il 1,5 % c.a. fornito all'azienda il 10 % c.a. per riutilizzo interno mentre il restante 98,5 % c.a. per miglioramento della qualità dello scarico.

PROBLEMATICHE RISCONTRATE

Il problema principale è quello di reperire utenze interessate all'utilizzo di acqua depurata. Soprattutto perché il costo della risorsa non è competitivo con quello dell'acqua prelevata dai pozzi.

COSTI

Il costo di gestione dell'impianto di affinamento, comprensivo di spese gestionali e ammortamenti, è pari a 0,16 €/m³.

SINTESI

- L'impianto di riutilizzo è attualmente in funzione;
- il riuso delle acque è destinato ad alcune aziende della zona soprattutto come acqua di raffreddamento, ma allo stato attuale è molto ridotto rispetto alle potenzialità.
- l'impianto di trattamento è dimensionato per una portata di 400 m³/h;

SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - l'affinamento delle acque reflue depurate avviene attraverso una fase di chiariflocculazione, una sezione di filtrazione mediante filtri a disco rotante, seguita da una fase di disinfezione tramite raggi U.V. ed infine un comparto di demineralizzazione (sul 50% della portata totale); - la problematica maggiore è rappresentata dal difficile reperimento di utenze; - il costo di gestione dell'impianto di affinamento è pari a 0,16 €/m³.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - Genon, M. C. Zanetti, S. Fiore (2002) – <i>“Problemi e prospettive di riuso di acque reflue depurate in aree metropolitane”</i>. Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino. - Atti della 23^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – <i>“LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE RISPARMIO IDRICO E RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE”</i>. Cremona, 20 novembre 2003. - Contatti con i gestori dell'impianto.

13.2.1.2 L'impianto B

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti terziari di affinamento e i dati di funzionamento.

Dati di progetto

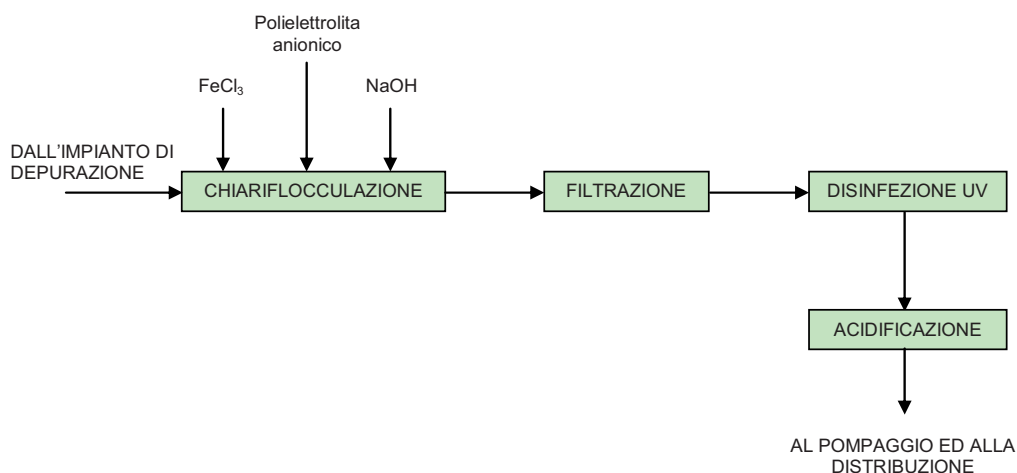
Dati relativi all'impianto di depurazione:

- Abitanti equivalenti: 105.000
- Portata media in tempo secco: 23.000 m³/d
- Carico di BOD: 6.000 kg/d
- Carico di COD: 12.000 kg/d
- Carico di Azoto: 900 kg/d
- Carico di Fosforo: 160 kg/d

Dati relativi alla sezione di affinamento:

- Portata massima di progetto: 9.600 m³/d

Schema a blocchi affinamento



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2006)

L'impianto tratta un liquame di natura mista civile/industriale.

Di seguito si riportano i principali dati gestionali.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	6.850	[kg/d]
A.E. (COD)	62.273	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	3.950	[kg/d]
A.E. (BOD)	65.834	[ab]
[COD]/[N-NH ₄ ⁺] (valor medio)	23	
[COD]/[N-NH ₄ ⁺] (minimo)	10,7	
[COD]/[N-NH ₄ ⁺] (massimo)	42,4	
[COD]/[P] (valor medio)	264	
[COD]/[P] (minimo)	79	
[COD]/[P] (massimo)	555	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	16.500	[m ³ /d]
D.I.	331	[L/(ab d)]
CARICO DI N-NH₄⁺ IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	341	[kg/d]
CARICO DI N-NH₄⁺ IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	147	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	29	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	23	[kg/d]
[N-NH ₄ ⁺] out (valor medio)	8,5	[mg/L]
[N-NH ₄ ⁺] out (minimo)	1,8	[mg/L]
[N-NH ₄ ⁺] out (massimo)	18,5	[mg/L]
[P] out (valor medio)	1,31	[mg/L]
[P] out (minimo)	0,56	[mg/L]
[P] out (Massimo)	2,97	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO

L'impianto è attualmente in funzione. L'acqua di recupero viene in parte fornita ad un'azienda della zona che utilizza l'acqua come fluido refrigerante in uno scambiatore di calore.

Una parte dell' acqua trattata nella sezione di affinamento, viene utilizzata per usi interni (forno essiccazione termico fanghi) e per migliorare la qualità dello scarico finale dell' impianto.

QUANTITA' RIUTILIZZATA

Attualmente la sezione di affinamento tratta il 60 % della portata totale dell' impianto. Nel 2005 il volume totale di acqua trattata è stato di circa 3.500.000 mc di cui il 35 % c.a. fornito alla Ditta, il 10 % c.a. per riutilizzo interno mentre il restante 55 % c.a. per miglioramento della qualità dello scarico

PROBLEMATICHE RISCONTRATE

Il principale problema riguarda il reperimento di utenze. Inoltre la concentrazione di cloruri in uscita dall'impianto di affinamento risulta più elevata rispetto al previsto limite di 100 mg/L.

COSTI

Il costo di gestione del trattamento di affinamento, comprensivo di spese gestionali ed ammortamenti, è pari a 0,11 €/m³.

SINTESI

- L'impianto, per ciò che riguarda il riutilizzo delle acque reflue, è in funzione; la risorsa è oggi utilizzata da un'Azienda come fluido refrigerante in uno scambiatore di calore, in parte per riutilizzi interni al depuratore ed in parte per migliorare la qualità dello scarico del depuratore stesso.
- potenzialmente si potrebbe pensare di estendere il riutilizzo dell'acqua depurata ad altre aziende della zona, come acqua di raffreddamento;
- il problema principale è il reperimento di utenze;
- il trattamento di affinamento avviene attraverso una fase di chiariflocculazione avente l'obiettivo di rimuovere l'inquinamento organico residuo (30-50% del COD) seguita da una sedimentazione su pacchi lamellari. Segue una sezione di filtrazione mediante filtri a disco rotante funzionanti a gravità per la rimozione dei solidi sospesi ancora presenti, una fase di disinfezione tramite raggi U.V. per il controllo della carica batterica ed infine un comparto di acidificazione per il controllo del potere incrostante dell'effluente;
- il costo del trattamento di affinamento è pari a circa 0,11 €/m³.

FONTI

- Genon, M. C. Zanetti, S. Fiore (2002) – “*Problemi e prospettive di riuso di acque reflue depurate in aree metropolitane*”. Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino.
- Atti della 23^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – “LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE RISPARMIO IDRICO E RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE”. Cremona, 20 novembre 2003.
- Sopralluogo in data 3 Novembre 2006

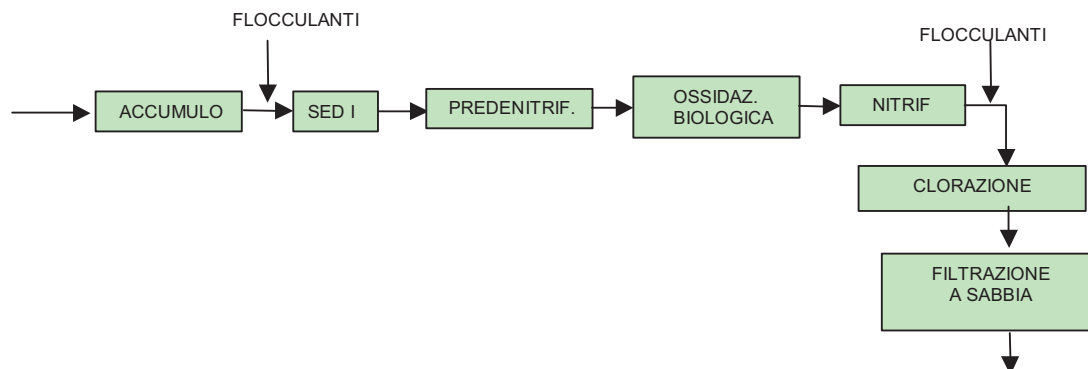
13.2.1.3 L'impianto C

Di seguito vengono riportati i dati di progetto e lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque dell'impianto di depurazione.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 4.000 kg/d
- Carico di COD: 7.983 kg/d
- Portata media: 28.560 m³/d
- Portata di punta: 2.376 m³/h
- Portata massima: 3.500 m³/h

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Il riuso delle acque reflue è destinato a grandi utenti, serviti mediante un acquedotto industriale.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
L'impianto terziario consente la produzione a regime di 5.000.000 di m³/a di acqua industriale con una portata giornaliera massima di 220 L/s . I volumi di acqua erogati ad un'utenza sono stati 1.085.000 m³/a nel 2002 e 1.385.000 m³/a nel 2003.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
La possibilità di riuso dei reflui è vincolata dal mantenimento, nei liquami in arrivo, di una concentrazione di cloruri al di sotto dei valori richiesti dall'utenza. Si pone quindi il problema delle infiltrazioni continue di acque saline nelle condotte fognarie collocate sotto il battente di acqua marina. La parziale sostituzione dell'approvvigionamento dall'acquedotto comunale con acque reflue di ricircolo, comporta un incremento dei quantitativi di fosforo direttamente scaricati sottocosta da un'azienda. Per ridurre tale incremento è necessario procedere al trattamento di defosfatazione.
COSTI
Tariffa media di vendita per l'acqua industriale (variabile da 0,12 a 0,28 a seconda dei consumi): 0,19 €/m ³ .
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - Il riuso delle acque è destinato all'industria; - l'impianto di trattamento ha erogato ad un'utenza, nell'anno 2003, 1.385.000 m³/a di acqua recuperata, pari al 28% del fabbisogno del comparto industriale di destinazione; - l'affinamento delle acque depurate avviene tramite filtrazione su sabbia e disinfezione; - la possibilità di riuso dei reflui è vincolata dal mantenimento, nei liquami in arrivo, di una concentrazione di cloruri al di sotto dei valori richiesti dall'utenza. Si pone quindi il problema delle infiltrazioni continue di acque saline nelle condotte fognarie collocate sotto il battente di acqua marina; - la tariffa media di vendita per l'acqua industriale è 0,19 €/m³.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - Atti della 23^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – "LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE RISPARMIO IDRICO E RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE". Cremona, 20 novembre 2003.

13.2.1.4 L'impianto D

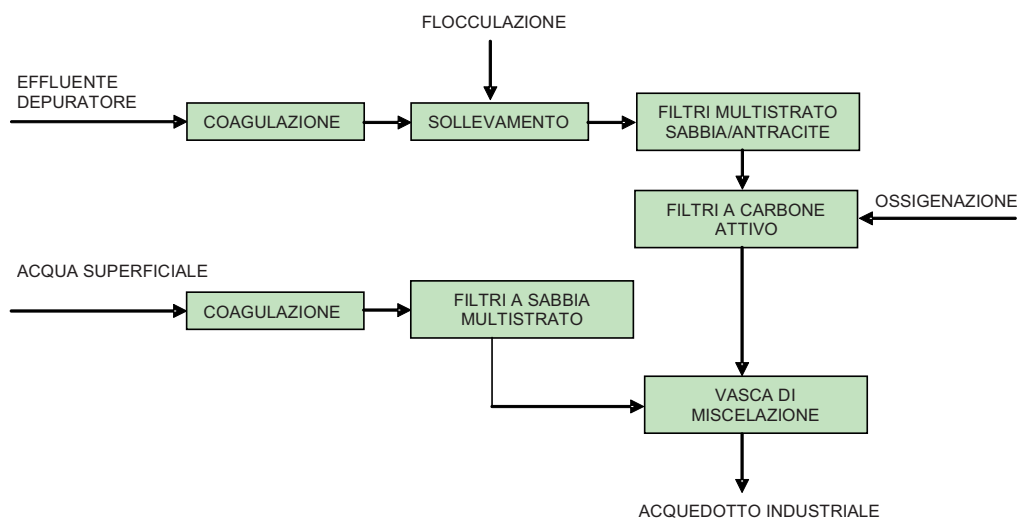
L'impianto di depurazione si estende su una superficie di circa 24 ettari ed ha una capacità depurativa di circa 750.000 A.E.. I liquami che confluiscono all'impianto derivano in larga parte dalle lavorazioni industriali, in particolar modo da quelle tessili. Infatti solo il 20% del volume totale dei liquami è di provenienza civile.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti terziari di affinamento e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 45.000 kg/d
- Carico di Azoto (TKN): 9.000 kg/d
- Carico di Fosforo: 1.350 kg/d

Schema a blocchi affinamento



Caratteristiche di funzionamento

L'impianto tratta reflui di natura mista civile/industriale, con netta prevalenza della componente industriale, per una portata media pari a 132.000 m³/d.

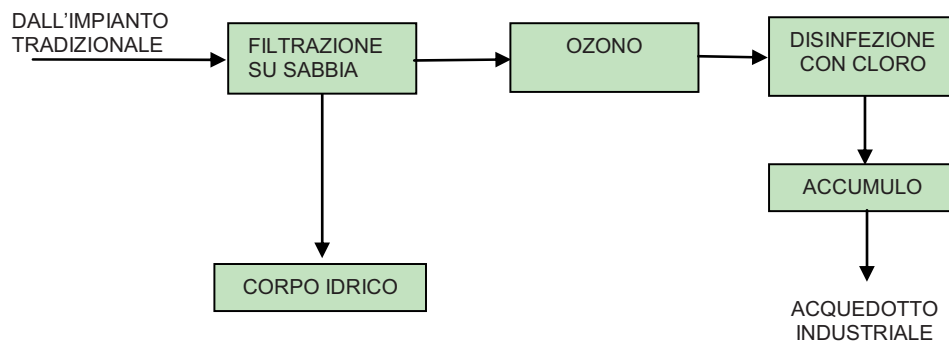
TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO	
<p>L'impianto di post-trattamento a valle del depuratore è stato costruito al fine produrre acqua idonea al riutilizzo in campo industriale.</p> <p>L'acqua recuperata viene distribuita alle aziende di due macrolotti, per mezzo di una rete acquedottistica riservata allo scopo. La medesima acqua alimenta anche la rete antincendio del 1° Macrolotto Industriale.</p>	
QUANTITA' RIUTILIZZATA	
<p>I fabbisogni idrici del comparto industriale ammontano attualmente a 14 + 18.000.000 m³/a.</p> <p>L'acquedotto industriale eroga circa 5.000.000 m³/a di acqua, di cui circa 3.500.000 m³/a effettivamente recuperata dallo scarico del depuratore e circa 1.500.000 m³/a derivata da un corso d'acqua.</p>	
PROBLEMATICHE RISCONTRATE	
<p>L'utilizzo di acqua superficiale al momento è ritenuto indispensabile sia per limitare la salinità dell'acqua riciclata sia per contenere i costi.</p> <p>Il fattore costo è di fondamentale importanza: l'unica possibilità di rendere competitiva un'acqua ancora troppo costosa rispetto a quella a buon mercato della falda è di abbassarne il costo di produzione.</p>	
COSTI	
<p>L'acquedotto industriale è finanziato con un meccanismo che prevede incentivi per gli utilizzatori finanziati da risorse economiche prelevate all'interno del sistema.</p> <p>Gli utenti dell'acquedotto industriale pagano un prezzo "politico" per ogni m³ di acqua prelevata.</p>	
<p>Tariffa di depurazione</p> <p>Prezzo al rubinetto</p> <p>Rimborso per incentivo</p> <p>Prezzo effettivo</p> <p>Costo di produzione e distribuzione</p>	<p>+ 0,0620 €/m³</p> <p>+ 0,1340 €/m³</p> <p>- 0,0614 €/m³</p> <p>= 0,1346 €/m³</p> <p>0,272 €/m³</p>
SINTESI	
<ul style="list-style-type: none"> - Il riuso delle acque è destinato all'industria; l'acqua recuperata viene distribuita alle aziende di due macrolotti, per mezzo di una rete acquedottistica riservata allo scopo; - l'impianto di trattamento è in grado di rigenerare 3.500.000 m³/a di acque depurate, pari al 20% circa del fabbisogno idrico del comparto industriale di destinazione; - l'affinamento delle acque depurate avviene mediante filtrazione su sabbia/antracite e filtrazione su carbone attivo; - la miscelazione con acqua superficiale, al momento, è ritenuta indispensabile sia per limitare la salinità dell'acqua riciclata sia per contenere i costi; - l'acquedotto industriale è finanziato con un meccanismo che prevede incentivi per gli utilizzatori finanziati da risorse economiche prelevate all'interno del sistema; gli utenti dell'acquedotto industriale pagano un prezzo "politico" per ogni m³ di acqua prelevata; - il fattore costo è di fondamentale importanza: l'unica possibilità di rendere competitiva un'acqua ancora troppo costosa rispetto a quella a buon mercato della falda è di abbassarne il costo di produzione. 	
FONTI	
<ul style="list-style-type: none"> - Atti della 26^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – "LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE ASPETTI IMPIANTISTICI E GESTIONALI". Verona, 16 aprile 2004. 	

13.2.1.5 L'impianto E

L'impianto di depurazione ha una potenzialità pari a 150.000 A.E..

Di seguito viene riportato lo schema a blocchi riguardante i trattamenti terziari di affinamento. L'impianto tratta un liquame di natura civile/industriale.

Schema a blocchi affinamento



TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
L'impianto è attualmente in funzione anche se non a pieno regime (vengono sottoposti a trattamento terziario solo 2.500 m ³ /d). L'acqua depurata viene distribuita attualmente a quattro aziende del settore tessile.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
La quantità di acqua reflua depurata destinata al riutilizzo è attualmente pari a 2.500 m ³ /d.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
Una delle principali problematiche è la depurazione delle acque utilizzate dalle tinto-lavanderie, che arrivano attraverso la fognatura insieme agli scarichi civili in un unico impianto centralizzato. Gli scarichi di queste lavorazioni rappresentano il 90% delle acque reflue di provenienza industriale e sono caratterizzate dalla presenza di colore, tensioattivi, solfati e sali.
COSTI
-
SINTESI
<ul style="list-style-type: none">- La risorsa è attualmente utilizzata principalmente nelle lavorazioni delle tintorie;- la risorsa può essere impiegata anche per il lavaggio, l'antincendio, la produzione di vapore e in genere tutti gli usi industriali che non richiedono acqua potabile. L'acqua depurata è compatibile anche con un uso a scopo civile non potabile;- la quantità di acqua riutilizzata è pari a 2.500 m³/d;- la difficoltà di trattamento delle acque reflue per la presenza di colore, tensioattivi, sali e solfati;- il trattamento di affinamento avviene attraverso una fase di filtrazione su sabbia, cui segue l'ossidazione con ozono per l'abbattimento del colore e dei tensioattivi. Successivamente si ha una fase di disinfezione con cloro per l'abbattimento della carica batterica ed il passaggio ad una vasca di accumulo da cui l'acqua viene pompata in rete.

13.2.2 Il riutilizzo indiretto per scopo irriguo: casi reali

13.2.2.1 L'impianto F

L'impianto rappresenta la fase finale di un sistema di raccolta e collettamento delle acque reflue urbane.

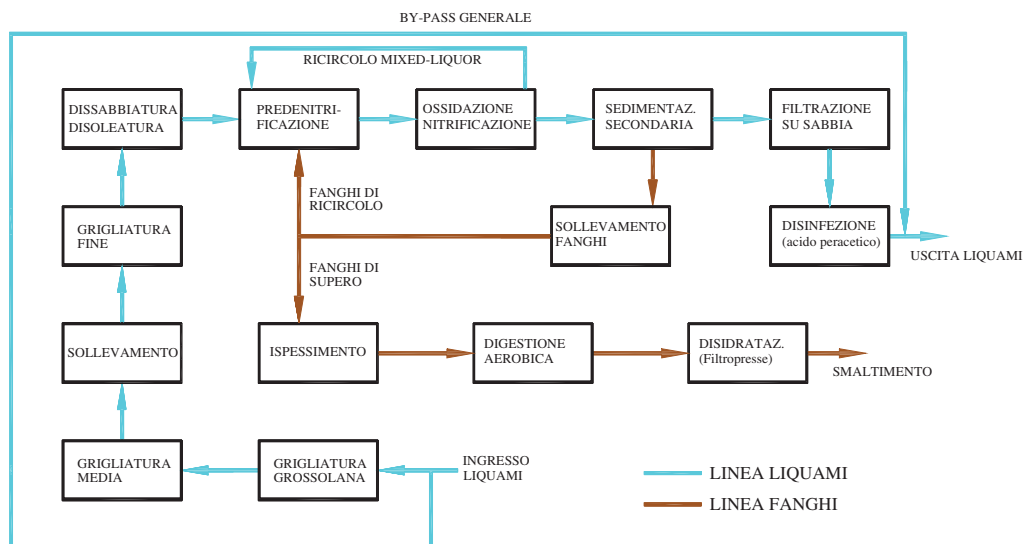
I liquami da trattare sono conferiti all'impianto attraverso collettori separati che costituiscono i due flussi da sottoporre a trattamento, derivanti da sei opere di presa.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

– Carico di COD:	101.520 kg/d
– Carico di BOD:	60.480 kg/d
– Carico di Azoto:	9.720 kg/d
– Carico di Fosforo:	1.512 kg/d
– Carico di SST:	58.320 kg/d
– Portata media:	432.000 m ³ /d
– Portata di punta:	18.000 m ³ /h
– Portata massima:	54.000 m ³ /h

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi ai primi sei mesi del 2006)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	129.000	[kg/d]
A.E. (COD)	1.290.000	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	83.000	[kg/d]
A.E. (BOD)	1.380.000	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	11,6	-
[COD]/[P] (valor medio)	89	-
PORTATA MEDIA GIORNALIERA TRATTATA	403.000	[m ³ /d]
D.I.	310	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	11.123	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	2.900	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	1.450	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	363	[kg/d]
[Ntot] out (valor medio)	7,2	[mg/L]
[P] out (valor medio)	0,9	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
<p>Le acque reflue depurate sono destinate all'irrigazione con modalità indiretta, anche se la roggia che riceve lo scarico è di fatto priva d'acqua nella stagione irrigua.</p> <p>I limiti che l'effluente scaricato dall'impianto deve rispettare per l'intera portata trattata (compresa cioè l'aliquota non destinata a recupero) e per tutto l'anno (compreso cioè il periodo non irriguo) risultano pari a quelli imposti dal D.M. 185/2003 per COD, solidi sospesi ed <i>E.Coli</i> (rispettivamente pari a 100 mg/L, 10 mg/L, 10 UFC/100 mL); più restrittivi dei limiti imposti dal D.M. 185/2003 per BOD (10 anziché 20 mg/L), azoto totale (10 anziché 15 mg/L) e fosforo totale (1 anziché 2 mg/L). Per tutti gli altri parametri vale quanto indicato nella tabella 3, allegato 5 parte terza d.lgs. 152/2006.</p>
QUANTITA' RIUTILIZZATA
<p>Dai dati gestionali relativi all'anno 2005 risulta che nel periodo irriguo parte dell'acqua in uscita dal depuratore (fino ad un massimo di circa 3,5 m³/s) è stata inviata ad una roggia per il riutilizzo in agricoltura, la restante aliquota è stata inviata ad un canale. È in progetto di scaricare l'intera portata in una rete irrigua.</p>
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
<p>Nessuna problematica particolare segnalata.</p>
COSTI
-
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - Il riutilizzo delle acque depurate è destinato all'irrigazione con modalità indiretta. - Attualmente il depuratore, indipendentemente dal recapito dello scarico, è soggetto ai limiti fissati dal D.M. 185/03 per COD, solidi sospesi ed <i>E.Coli</i>; limiti più restrittivi per BOD, azoto e fosforo totale. Per tutti gli altri parametri vale quanto indicato nella tabella 3, allegato 5 alla parte terza del d.lgs. 152/2006. - L'acqua in uscita dal depuratore, nella stagione irrigua, viene in parte (fino a circa 3,5 m³/s nel corso del 2005) immessa in una roggia per il riutilizzo in agricoltura, e in parte inviata ad un canale. - Il trattamento di affinamento, che permette il rispetto dei limiti sopra riportati, consiste in una filtrazione su sabbia seguita da una disinfezione con acido per acetico.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - Sopralluogo all'impianto in data 3 Ottobre 2006.

13.2.2.2 L'impianto G

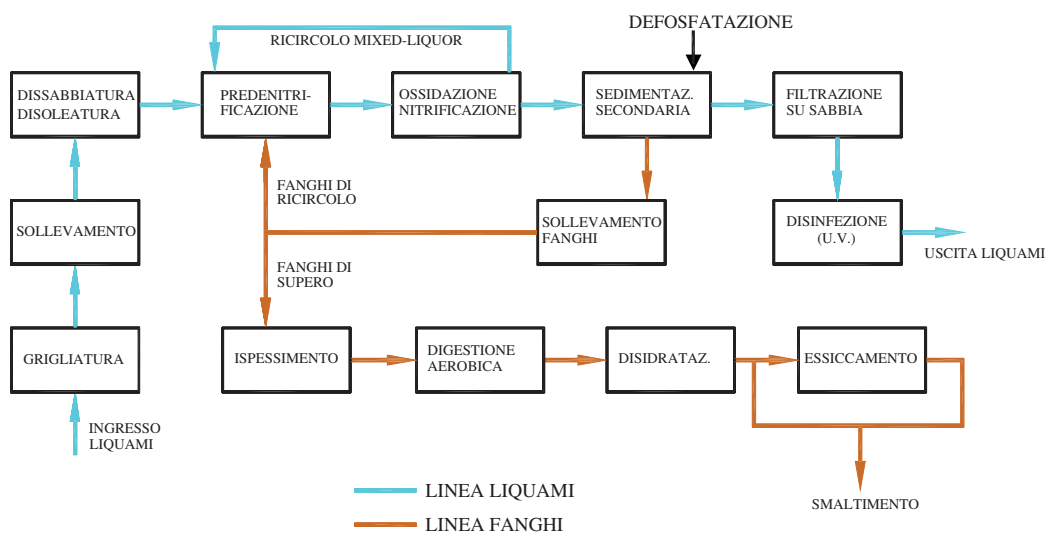
L'impianto è dimensionato per 1.050.000 A.E..

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto (riferiti al periodo invernale, che presenta carico più elevato)

– Carico di BOD:	48.384 kg/d
– Carico di COD:	81.216 kg/d
– Carico di Azoto (TKN):	6.912 kg/d
– Carico di Fosforo:	1.210 kg/d
– Portata media:	345.600 m ³ /d
– Portata massima:	43.200 m ³ /h
– Portata massima ai pretrattamenti:	43.200 m ³ /h
– Portata massima ammissibile alla fase biologica:	32.400 m ³ /h

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2005)

L'impianto tratta un liquame di natura prevalentemente civile.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	72.657	[kg/d]
A.E. (COD)	605.475	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	32.102	[kg/d]
A.E. (BOD)	535.034	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	11,53	-
[COD]/[Ntot] (valor minimo)	10,11	-
[COD]/[Ntot] (valor massimo)	20,50	-
[COD]/[P] (valor medio)	92,56	-
[COD]/[P] (valor minimo)	89,22	-
[COD]/[P] (valor massimo)	113,75	-
PORTATA MEDIA GIORNALIERA TRATTATA	246.712	[m ³ /d]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)*	6.340	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)*	1.998	[kg/d]
CARICO DI TKN IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	6.139	[kg/d]
CARICO DI TKN IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	428	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	779	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	144	[kg/d]
[Ntot] out (valor medio)	8,1	[mg/L]
[Ntot] out (valor minimo)	3,5	[mg/L]
[Ntot] out (valor massimo)**	20,9	[mg/L]
[P] out (valor medio)	0,6	[mg/L]
[P] out (valor minimo)	0,1	[mg/L]
[P] out (valor massimo)	1,7	[mg/L]

* calcolato sulla portata media annua giornaliera per concentrazione media annua giornaliera

** valore riferito ad un periodo (inizio maggio 2005) in cui l'impianto era stato sottoposto a scarico anomalo dovuto ad una eccessiva quantità di cromo con conseguente inibizione del processo di nitrificazione/denitrificazione.

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Riutilizzo in agricoltura per via indiretta, mediante convogliamento dell'effluente in due rogge.
QUANTITÀ RIUTILIZZATA
Il riutilizzo irriguo potrebbe riguardare una portata pari a quella di tempo asciutto (4 m ³ /s), destinata ad alimentare due rogge (rispettivamente 3 ed 1 m ³ /s). Oggi il riutilizzo è parziale; solo per un brevissimo periodo nel corso del 2006 si è effettuato il recupero totale: 2,4 m ³ /s nella prima roggia e 0,6 m ³ /s nella seconda per una portata totale pari a circa 3 m ³ /s. L'acqua non riutilizzata viene scaricata in un fiume. Le acque destinate all'agricoltura devono rispettare, solo nel periodo irriguo, i limiti imposti per il riutilizzo diretto ex D.M. 185/2003 (per vincolo ministeriale) nonostante il riutilizzo sia di tipo indiretto e le rogge possiedano una portata propria.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
Problematiche riguardanti la regolazione della portata d'acqua da riutilizzare per mancanza di accordi chiari fra i consorzi. Inviando l'intera portata trattata alle rogge si crea una situazione di carenza idrica, nel periodo irriguo, per quei consorzi che attingono dal fiume. Ciò potrebbe rappresentare un vincolo al riutilizzo di tutta la portata nominale di tempo asciutto (4 m ³ /s). Peraltro l'impianto potrebbe non essere in grado di trattare questa portata (4 m ³ /s) per limiti strutturali, dal momento che già oggi l'impianto riceve un carico di azoto molto elevato (prossimo al valore nominale).

COSTI
-
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - Il riutilizzo irriguo potrebbe teoricamente riguardare una portata pari a quella nominale di tempo asciutto (4 m³/s), destinata ad alimentare due rogge (rispettivamente 3 ed 1 m³/s). Oggi il riutilizzo è parziale; solo per un brevissimo periodo nel corso del 2006 sono stati inviati 2,4 m³/s nella prima roggia e 0,6 m³/s nella seconda per una portata totale trattata pari a circa 3 m³/s. Il riutilizzo dell'intera portata nominale è vincolato da due importanti aspetti: <ol style="list-style-type: none"> 1. necessità di garantire una portata minima al fiume (considerando il deflusso minimo vitale e i prelievi diretti dal fiume); 2. probabile impossibilità dell'impianto a trattare una portata più elevata per effetto del carico di azoto già oggi prossimo al valore nominale. - Le acque reflue depurate sono destinate all'agricoltura con modalità indiretta. - I trattamenti terziari di affinamento comprendono una fase di defosfatazione per mantenere il fosforo totale al di sotto di 1 mg/L, una filtrazione a sabbia ed una disinfezione finale mediante raggi UV. - Il sistema di disinfezione è stato articolato in modo da consentire livelli differenziati di igienizzazione in funzione della destinazione finale dei reflui trattati e delle condizioni di alimentazione dell'impianto. - È previsto un livello di disinfezione entro i limiti di qualità delle acque prescritti dal D.M. 185/2003 (<i>E.Coli</i> ≤ 10 UFC/100 mL) nel caso di scarico alle due rogge. È previsto un livello di disinfezione valutato sul parametro <i>E.Coli</i> ≤ 5.000 UFC/100 mL nel caso di scarico al fiume.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - Sopralluogo in data 14 Dicembre 2006.

13.2.2.3 L'impianto H

Il comprensorio servito dall'impianto di depurazione comprende 8 comuni, per una potenzialità complessiva pari a 380.000 abitanti.

L'impianto terziario prevede due differenti sequenze di trattamento a seconda che le acque reflue depurate siano destinate all'immissione in un serbatoio (riutilizzo indiretto) o in futuro all'utilizzo irriguo diretto (nella stagione estiva):

1. utilizzo indiretto: rimozione chimico-fisica del fosforo, filtrazione, disinfezione (mediante UV e/o ClO₂);
2. utilizzo diretto: filtrazione, disinfezione con UV, disinfezione con biossido di cloro.

L'impianto terziario si innesta immediatamente a valle del depuratore comunale anche se ne è totalmente indipendente sia dal punto di vista energetico che da quello dei servizi generale.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto

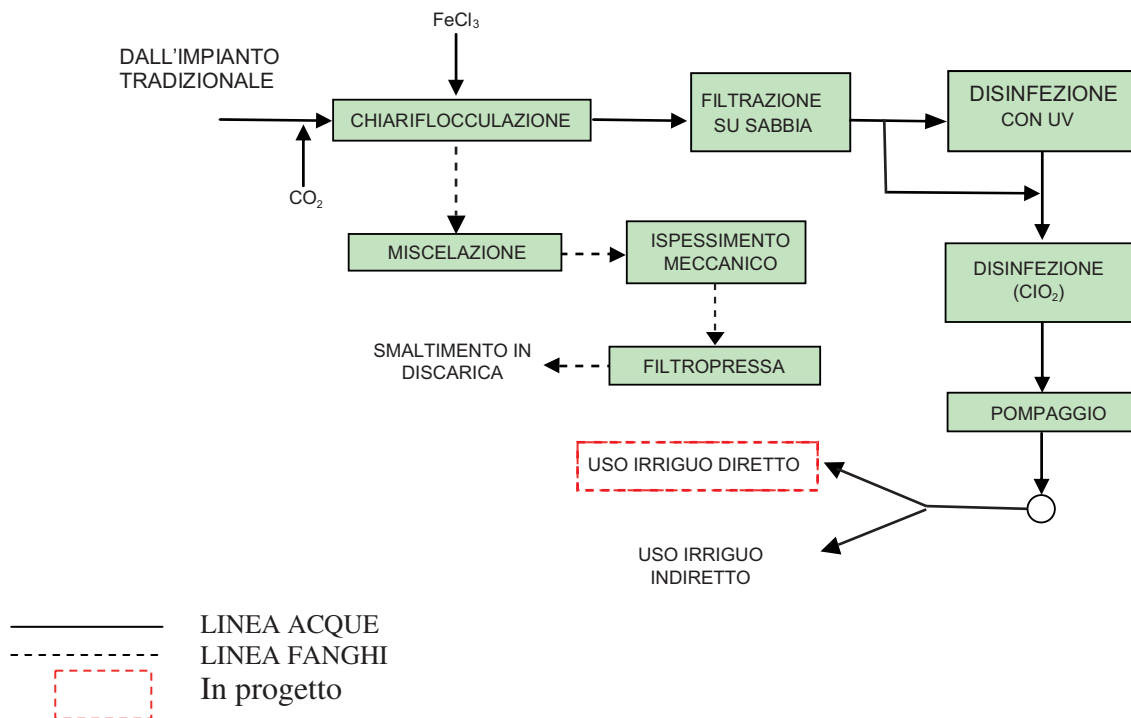
Dati relativi all'impianto di depurazione:

- Carico di BOD: 32.190 kg/d
- Portata media: 174.000 m³/d
- Portata massima: 10.800 m³/h

Dati relativi alla sezione di affinamento:

– Portata media: 115.000 m³/d

Schema a blocchi affinamento



[Ptot]out (valor medio)	0,20	[mg/L]
[Ptot]out (minimo)	0,15	[mg/L]
[Ptot]out (massimo)	0,25	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Attualmente la principale modalità di utilizzazione delle acque reflue è la cosiddetta “modalità indiretta” secondo la quale le acque vengono immesse in un lago assieme a quelle provenienti da un canale e successivamente utilizzate per soddisfare il fabbisogno irriguo.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
Oggi giorno la portata di acque resa disponibile dall'impianto è di 28,5 Mm ³ /anno. Il massimo afflusso nel bacino di irrigazione è pari a 63,5 Mm ³ /anno.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
Il contenuto di cloruri e azoto, nelle varie forme, non è, ovviamente, influenzato dal trattamento di affinamento praticato. I cloruri, in particolare, presentano concentrazioni elevate (400 – 500 mg/L); questo fatto può essere dovuto all'intrusione di acqua marina e/o fortemente salmastra nel sistema fognario, problema la cui risoluzione richiederebbe interventi sulla rete fognaria.
COSTI
Non sono disponibili dati di consuntivo. Tuttavia, secondo le previsioni progettuali i costi di esercizio delle opere realizzate, senza tener conto degli ammortamenti e dei costi del piano di monitoraggio iniziale, si possono così riassumere:

COSTI
<ul style="list-style-type: none"> - ipotesi di trasferimento di 10 Mm³: 0,133 €/m³; - ipotesi di trasferimento di 20 Mm³: 0,095 €/m³; - ipotesi di trasferimento di 30 Mm³: 0,083 €/m³. <p>Si consideri che il volume massimo trattabile dal depuratore, in assenza totale di restrizioni sull'erogazione idropotabile, è di circa 30 Mm³/anno.</p>
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - La risorsa è utilizzata per scopi irrigui; - l'acqua reflua depurata è utilizzata con modalità indiretta, attraverso lo scarico in un lago, per l'irrigazione. Per il futuro è previsto anche l'utilizzo diretto in agricoltura, attraverso lo scarico nella condotta di by-pass del bacino; - nella modalità indiretta si necessita una riduzione della concentrazione di fosforo, per preservare lo stato del bacino di irrigazione; - il trattamento di affinamento avviene attraverso una fase di chiariflocculazione, seguita da una sezione di filtrazione su sabbia, dalla disinfezione mediante raggi U.V. e mediante ipoclorito di sodio (peraltro già esistente); - il problema principale è l'elevata concentrazione di cloruri, non compatibile con i limiti di legge; si pensa che questo valore di concentrazione sia da attribuire ad un'infiltrazione di acqua salmastra;
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - G.L. Bragadin, D. Franco, M.L. Mancini (2006)-"Trattamento e riutilizzo a fini irrigui, delle acque reflue urbane nella città di Cagliari"- IA-Ingegneria Ambientale vol. 35, n. 1-2, pp. 26-39.

13.2.2.4 L'impianto I

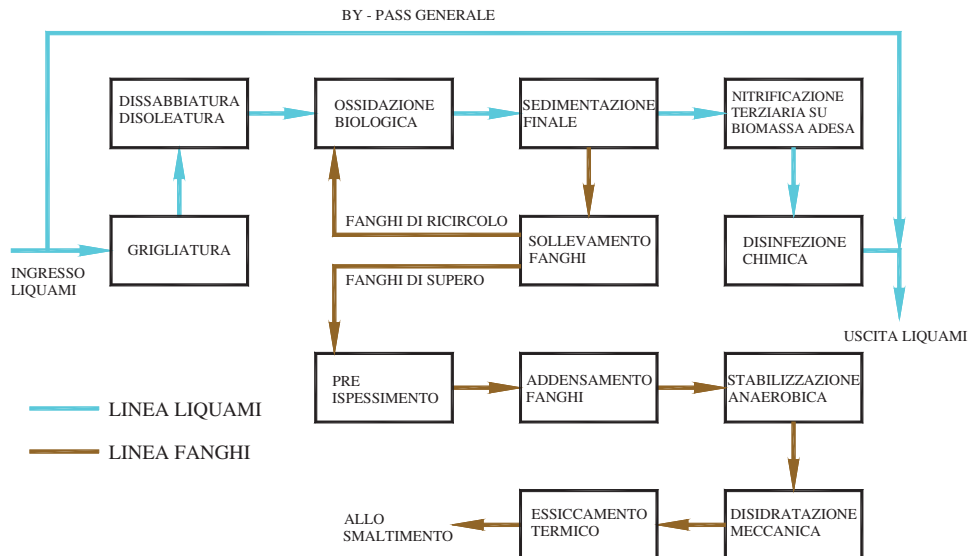
L'impianto di depurazione tratta in media circa 24-26 milioni di m³ all'anno.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto

– Carico di BOD:	15.700 kg/d
– Carico di COD:	26.880 kg/d
– Concentrazione di Azoto:	40 mg/L
– Concentrazione di Fosforo:	4 mg/L
– Portata media:	76.800 m ³ /d
– Portata di punta:	4.480 m ³ /h
– Portata massima:	9.600 m ³ /h

Schema a blocchi dell'impianto



NB.

Il sistema di essiccamento termico è attualmente non utilizzato.

Caratteristiche di funzionamento (dati relativi agli anni 2005-2006)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	18.500	[kg/d]
A.E. (COD)	168.182	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	9.900	[kg/d]
A.E. (BOD)	165.000	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	12	
[COD]/[Ntot] (minimo)	10	
[COD]/[Ntot] (massimo)	16	
[COD]/[Ptot] (valor medio)	100	
[COD]/[Ptot] (minimo)	85	
[COD]/[Ptot] (massimo)	115	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	55.000	[m ³ /d]
D.I.	409	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	1.450	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	1.350	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	173	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	80	[kg/d]
[Ntot]out (valor medio)	21,2	[mg/L]
[Ntot]out (minimo)	9,3	[mg/L]
[Ntot]out (massimo)	33,2	[mg/L]
[Ptot]out (valor medio)	1,42	[mg/L]
[Ptot]out (minimo)	0,8	[mg/L]
[Ptot]out (massimo)	1,98	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Riutilizzo agricolo di tipo indiretto.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
Tutta l'acqua viene scaricata nel reticolo irriguo.
PROBLEMATICHE RISCOSE
L'impianto, nella configurazione attuale, rispetta i limiti di tabella 1 e 3, allegato 5 del d.lgs. 152/2006; non è in grado attualmente di rispettare i limiti per il riutilizzo "diretto" imposti dal D.M. 185/2003. Verrà realizzato a breve, un comparto biologico di denitrificazione.
COSTI
-
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - Il riutilizzo delle acque reflue viene attualmente praticato per via "indiretta"; - verrà prossimamente realizzato un comparto di denitrificazione biologica; - attualmente l'impianto non è in grado di rispettare i limiti dettati dal D.M. 185/2003.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Criteria per l'utilizzo delle acque depurate</i>-Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate) - Contatti con i gestori dell'impianto.

13.2.3 Il riutilizzo diretto per scopo irriguo: casi reali

13.2.3.1 L'impianto L

L'impianto di depurazione ha una potenzialità pari a 180.000 A.E..

L'impianto tratta circa 41.000 m³ di acqua al giorno, provenienti dalle attività civili per circa il 60% ed industriali per il rimanente 40%; si tratta di acque il cui carico inquinante è dato da sostanze di natura organica, la componente industriale è infatti costituita quasi esclusivamente da scarichi provenienti da attività alimentari.

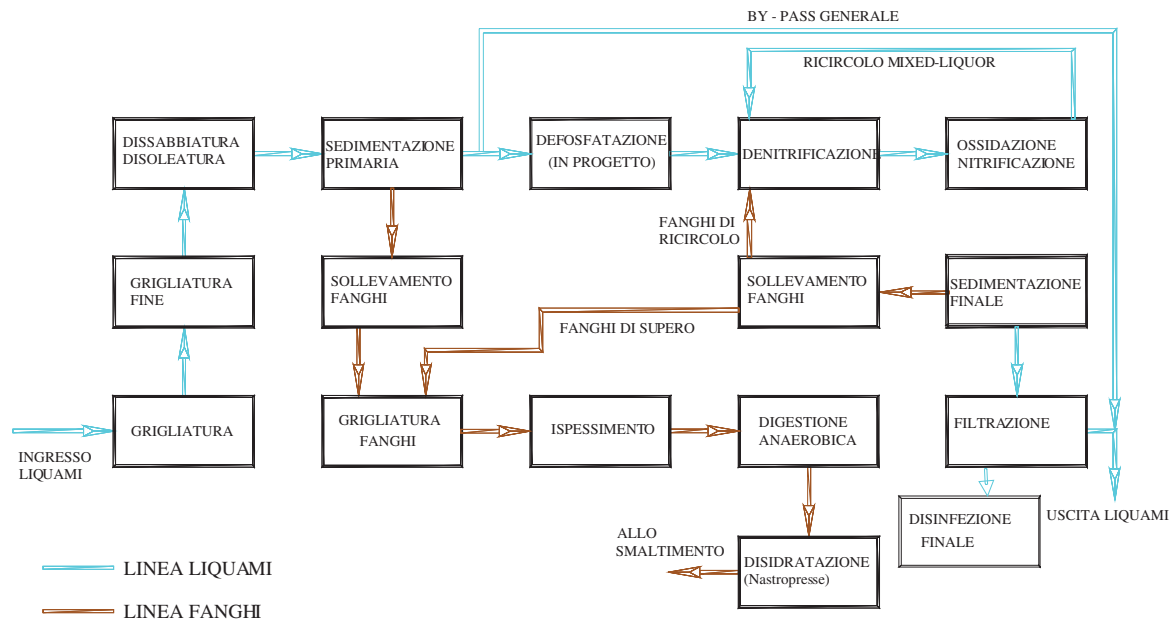
Oggi il riutilizzo in agricoltura è di tipo indiretto anche se nel prossimo futuro diventerà diretto avendo già realizzato una condotta tubata dedicata.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 10.800 kg/d
- Carico di Azoto: 2.100 kg/d
- Carico di Fosforo: 475 kg/d
- Portata media: 51.000 m³/d
- Portata massima: 8.400 m³/h

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2003)

L'impianto tratta reflui di natura mista civile/industriale, con prevalenza della componente civile.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	11.553	[kg/d]
A.E. (COD)	105.028	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	7.099	[kg/d]
A.E. (BOD)	118.317	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	13	
[COD]/[Ntot] (minimo)	11	
[COD]/[Ntot] (massimo)	16	
[COD]/[Ptot] (valor medio)	60	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA TRATTATA	38.716	[m ³ /d]
D.I.	461	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	901	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	430	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	203	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	43	[kg/d]
[Ntot]out (valor medio)	15,4	[mg/L]
[Ntot]out (minimo)	12,9	[mg/L]
[Ntot]out (massimo)	18,0	[mg/L]
[Ptot]out (valor medio)	1,2	[mg/L]
[Ptot]out (minimo)	0,5	[mg/L]
[Ptot]out (massimo)	1,9	[mg/L]

NOTA: per Ntot si intende l'azoto totale inorganico ottenuto come somma di N-ammoniacale, N-nitrico e N-nitroso.

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Il riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura avviene sia in modalità diretta (nel periodo estivo - da aprile a settembre) che indiretta (nel periodo invernale).
QUANTITA' RIUTILIZZATA
Tutta l'acqua in uscita dal depuratore, pari a 41.000 m ³ /d, viene immessa in un canale di irrigazione oppure in una condotta in pressione dedicata direttamente in agricoltura.
PROBLEMATICHE RISCOSE
<p>Durante i periodi più critici (aprile-settembre), l'intera portata di acqua trattata (circa 600 L/sec) viene utilizzata per scopi irrigui; l'effluente viene scaricato attraverso una condotta tubata sotterranea in cls del diametro di 100 cm e della lunghezza di 3.800 m, preceduta da un sollevamento meccanico, direttamente in agricoltura per l'irrigazione. La superficie irrigata è pari a circa 1.200 ha; le colture prevalenti sono mais, soia e colza.</p> <p>Durante gli altri periodi dell'anno, l'effluente dell'impianto viene scaricato in due colatori, e, mediante uno scarico parallelo in un canale, in un terzo colatore. In questi periodi l'effluente viene riutilizzato per mantenere il deflusso minimo vitale di tali colatori e per ricaricare la falda superficiale.</p> <p>Il riutilizzo diretto in agricoltura comporta il rispetto del Decreto 185/03 il quale impone limiti molto più restrittivi e conseguenti maggiori difficoltà tecniche, impiantistiche ed economiche (a tal proposito sono stati realizzati trattamenti terziari di affinamento mediante filtrazione e disinfezione UV).</p> <p>Il riutilizzo indiretto, si configura come uno scarico in corsi d'acqua superficiali, con un rapporto fra acque scaricate ed acque proprie del canale di 1:8.</p> <p>Pertanto il depuratore è soggetto al rispetto dei limiti allo scarico fissati dal d.lgs. 152/2006 tabelle 1 e 3 nel <u>periodo invernale</u>, in cui l'effluente viene scaricato in tre colatori e nel canale parallelo al canale di irrigazione recapitante in un ulteriore colatore (l'effluente è riutilizzato per mantenere il deflusso minimo vitale e per ricaricare la falda superficiale).</p> <p>Durante il <u>periodo estivo</u>, l'impianto rispetta i limiti del D.M. 185/2003, e scarica l'effluente depurato in una condotta in pressione per l'irrigazione in agricoltura.</p>
COSTI
<p>Tariffa di depurazione e scarico in fognatura</p> <p>USO DOMESTICO:</p> <p>Tariffa di depurazione: 0,35 €/m³</p> <p>Tariffa fognatura: 0,13 €/m³</p>
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - Il riuso delle acque destinato all'irrigazione è diretto (periodo estivo) e indiretto (periodo invernale). - l'acqua riutilizzata subisce oltre ai tradizionali trattamenti di depurazione (dissabbiatura/disoleatura, sedimentazione, nitrificazione-denitrificazione ecc.) trattamenti di filtrazione su tele filtranti e disinfezione. - tutta l'acqua in uscita dal depuratore, pari a 41.000 m³/d, viene immessa in un canale di irrigazione oppure in una condotta dedicata; - attualmente il depuratore, con l'introduzione dei trattamenti terziari di affinamento è in grado di rispettare i limiti fissati dal D.M. 185/03 per il riutilizzo diretto delle acque depurate in agricoltura.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Riutilizzo delle acque reflue a destinazione d'uso industriale</i>- Gruppo di lavoro "Gestione impianti di depurazione" in corso di stampa - Sopralluogo all'impianto in data 5 Ottobre 2006.

13.2.3.2 L'impianto M

L'impianto di depurazione comunale raccoglie e tratta le acque reflue civili provenienti dal centro abitato a cui si aggiungono nel periodo novembre - agosto i reflui di un'azienda casearia. La fluttuazione stagionale degli utenti civili si ripercuote direttamente sulla quantità di reflui trattati dall'impianto con punte di 6.000 m³/d e minimi di 800 m³/d.

Le acque in uscita dall'impianto comunale possono essere inviate al trattamento terziario di affinamento (per il riutilizzo in agricoltura, per il verde turistico e per complessi alberghieri) oppure scaricate in un corso d'acqua a regime torrentizio. Il punto di scarico è posto ad una distanza di 1,5 km dalla foce del rio.

Dati di progetto

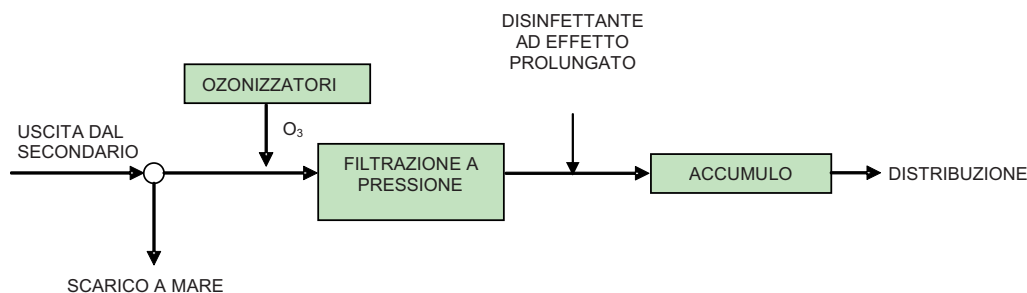
Carichi in ingresso all'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 2.400 kg/d
- Carico di Azoto: 480 kg/d
- Carico di Fosforo: 72 kg/d

Dati relativi alla sezione di affinamento

- Portata media nel periodo di massimo afflusso turistico: 250 m³/h

Schema a blocchi affinamento



TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
L'impianto di rigenerazione e di trattamento terziario/affinamento delle acque reflue è stato realizzato al fine di ottenere una nuova risorsa da utilizzare per il potenziamento delle attività agricole e superare la carenza idrica che caratterizza la regione. L'acqua recuperata viene distribuita per usi agricoli e di giardinaggio , per l'irrigazione del verde pubblico, di parchi naturali e di strutture sportive di ampio respiro (campo da golf). Tale acqua viene inoltre utilizzata per servire idranti antincendio dislocati nelle zone a maggior rischio.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
L'impianto di trattamento è in grado di rigenerare 6.000 m³/d di acque depurate. È capace di servire circa 300 ettari agricoli e 150 ettari di verde turistico.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
La fluttuazione stagionale degli utenti civili si ripercuote direttamente sulla quantità dei reflui trattati dall'impianto. La disinfezione finale avviene tramite immissione di ipoclorito di sodio. In fase

sperimentale è stato utilizzato acido peracetico che pur garantendo ottimi risultati incideva in maniera eccessiva sui costi di gestione.

Il progetto originario prevedeva in testa al trattamento terziario una sezione di chiariflocculazione e flottazione che non è stata poi realizzata.

L'utilizzo delle acque rigenerate esclude l'uso agli utenti agricoli in caso di raccolti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo; ciò imporrebbe limiti troppo restrittivi per poter essere costantemente garantiti dall'impianto.

COSTI

Sono disponibili le tariffe praticate.

Utilizzo agricolo: 0,13 €/m³

Irrigazione aree verdi: 0,30 €/m³

Si ritiene che entrambe le tariffe, con l'aumento dei consumi, siano suscettibili di riduzione.

SINTESI

- Il riuso delle acque è destinato all'agricoltura ed alle aree verdi; è escluso l'uso da parte degli utenti agricoli in caso di raccolti destinati ad essere consumati crudi dall'uomo; ciò imporrebbe limiti troppo restrittivi per essere costantemente garantiti dall'impianto;
- l'impianto di trattamento è in grado di rigenerare 6.000 m³/d di acque depurate;
- il trattamento terziario delle acque depurate è costituito da una fase di ozonizzazione (finalizzata non solo alla rimozione della carica batterica, ma anche alla rimozione di alcune sostanze disciolte come gli idrocarburi ed infine a mineralizzare sostanze organiche residue), una filtrazione a pressione ed una disinfezione finale;
- le acque affinate vengono successivamente immagazzinate in un serbatoio da dove vengono inviate per gravità nella rete di distribuzione irrigua.
- la fluttuazione stagionale degli utenti civili si ripercuote direttamente sulla quantità di reflui trattati dall'impianto;
- l'autorizzazione al riutilizzo, rilasciata dal settore ambiente della Provincia competente, prevede il rispetto dei limiti previsti dalla tabella 4, allegato 5 parte terza del d.lgs. 152/2006. Il limite fissato per il parametro *E. Coli* è di 5.000 UFC/100 mL;
- si ritiene che le tariffe dell'acqua recuperata all'utenza, con l'aumento dei consumi, siano suscettibili di riduzione.

FONTI

- Atti della 23^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – “LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE RISPARMIO IDRICO E RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE”. Cremona, 20 novembre 2003.
- *Riutilizzo delle acque reflue a destinazione d'uso industriale*- Gruppo di lavoro “Gestione impianti di depurazione” Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Brescia, in corso di stampa

13.2.4 Ipotesi di riutilizzo delle acque reflue

13.2.4.1 Il caso della Lombardia

Le Regioni, ai sensi del D.M. 185/03, art. 5, devono definire “un primo elenco degli impianti di depurazione di acque reflue urbane il cui scarico deve conformarsi ai limiti di cui all’articolo 4” e, in particolare, “gli impianti di depurazione, la tipologia delle reti di distribuzione da impiegare per il riutilizzo e le infrastrutture di connessione con le reti di distribuzione”.

La Regione Lombardia, nella relazione generale del Programma di Tutela ed Uso delle Acque al capitolo 8 elenca i depuratori (41 in tutto) per i quali favorire il riuso dei reflui in agricoltura, avviando valutazioni puntuali sulla fattibilità tecnica ed economica degli interventi.

In particolare, gli impianti dell’area Lambro-Seveso-Olona individuati dalla Regione sono riportati in Tabella 13.2.4.1/1.

Di seguito si propone l’estratto degli impianti afferenti all’area Lambro-Seveso-Olona; di questi, alcuni stanno già riutilizzando l’effluente (vedi par. 14.2, 14.3), per altri sono in corso studi di fattibilità che di seguito verranno illustrati.

Tab. 13.2.4.1/1 – *Impianti di depurazione afferenti all’area idrografica Lambro-Seveso-Olona per i quali il PTUA prevede di favorire il riuso dei reflui in agricoltura.*

Denominazione	ATO	Comune	A.E. 2016	Corpo Idrico Ricettore	A.E. 2003	Portata (m ³ /s) - REA
Bulgarograsso (Intercom.)	03	013034	212.598	Torrente Lura	64.500	0,26
Carimate (Intercom.)	03	013046	131.736	Fiume Seveso	64.300	0,33
Como - Como Sud (Intercom.)	03	013075	345.830	Fiume Seveso		0,57
Fino Mornasco (Intercom.)	03	013102	186.167	Fiume Seveso	67.500	0,28
Nibionno (Intercom.)	05	097056	60.000	Fiume Lambro	13.500	
Assago (Intercom.)	08	015011	140.000	C. Borromeo	77.000	0,56
Canegrate (Intercom.)	08	015046	270.000	Fiume Olona	120.000	0,44
Peschiera Borr. (Intercom.)	08	015171	900.000	Fiume Lambro	295.000	
Milano San Rocco (Intercom.)	12	015146	1.050.000	Fiume Lambro Meridionale	1.050.000	4
Milano Nosedo	12	015146	1.250.000	Cavo Redefossi	1.250.000	5
Monza San Rocco (Intercom.)	08	015149	700.000	Fiume Lambro	700.000	2,22
Pero (Intercom.)	08	015170	820.000	Canale Deviatore Olona	250.000	0,63
Rozzano	08	015189	115.000	Fiume Lambro Meridionale	64.185	0,25
San Giuliano M.se (Intercom.)	08	015195	130.000	Fiume Lambro	65.000	0,21
Caronno Pertusella (Intercom.)	11	012034	320.000	Torrente Lura	160.000	0,48
Origgio (Intercom.)	11	012109	119.507	Torrente Bozzente	64.000	0,21

Fonte: Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), Regione Lombardia 2006.

Nel “Piano nazionale delle infrastrutture idriche” previsto dall’art.4 c. 35 e 36 della legge n.350/2004 sono stati compresi anche alcuni impianti di questo bacino per i quali è previsto un riuso industriale delle acque reflue depurate, specificati nella Tabella 13.2.4.1/2 di seguito riportata.

Tab. 13.2.4.1/2 – Impianti area LSO compresi nel “Piano nazionale delle infrastrutture idriche” destinate al riuso industriale.

Denominazione	ATO	Comune	A.E. 2016	Corpo Idrico Ricettore	A.E. 2003	Portata (m ³ /s) - REA
Limido Comasco (Intercom.)	03	013128	36.228	Torrente Antiga	20.000	
Merone (Intercom.)	03	013147	187.302	Fiume Lambro	121.812	0,48
Varedo (Intercom.)	08	015231	260.000	Torrente Seveso	140.000	0,29

Fonte: Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), Regione Lombardia 2006.

Di seguito vengono sinteticamente illustrati alcuni esempi significativi in Lombardia.

13.2.4.1.1 L'impianto N

L'impianto è costituito da due linee, di cui una tradizionale a fanghi attivi e una, di recente costruzione, con sistema di biofiltrazione.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto

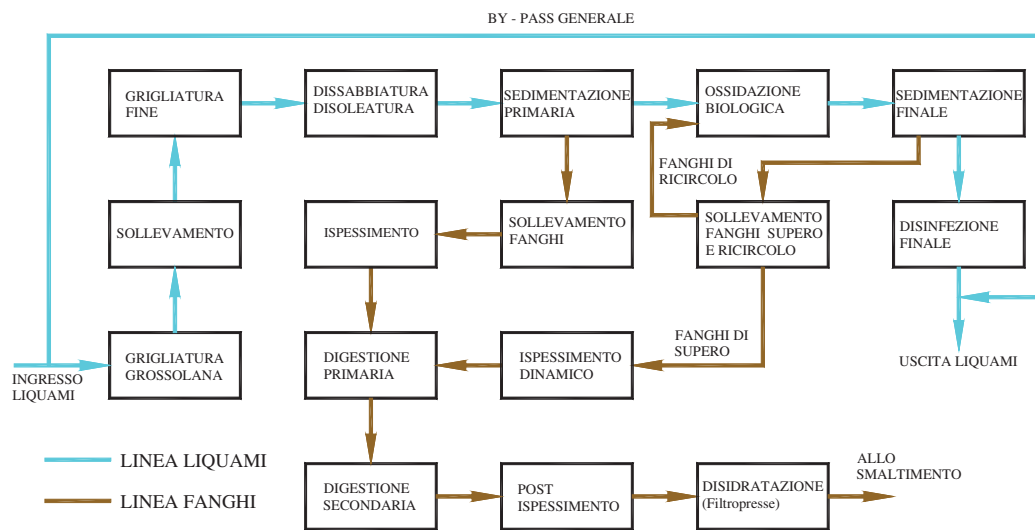
Linea a fanghi attivi:

- Potenzialità nominale: 316.000 A.E.
- Portata media: 120.000 m³/d

Linea con biofiltrazione:

- Potenzialità nominale: 250.000 A.E.
- Portata media: 96.000 m³/d

Schema a blocchi linea a fanghi attivi*



* L'impianto è suddiviso su due linee parallele: quella a fanghi attivi è affiancata da una seconda linea, di recente costruzione, con sistema di biofiltrazione.

Caratteristiche di funzionamento (dati relativi alla linea a fanghi attivi: 2004)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	31.487	[kg/d]
A.E. (COD)	286.246	[ab]
[COD]/[P] (valor medio)	127	
[COD]/[P] (minimo)	279	
[COD]/[P] (massimo)	72	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	122.000	[m ³ /d]
D.I.	533	[L/(ab d)]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	258	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	73	[kg/d]
[P]out (valor medio)	0,6	[mg/L]
[P]out (minimo)	0,2	[mg/L]
[P]out (massimo)	1,2	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Riutilizzo in agricoltura di tipo indiretto per una portata limitata (massimo 1 m ³ /s) per garantire una portata minima al fiume. E' in corso la stipula di accordi con Consorzi di irrigazione.
SINTESI
Il depuratore nella sua attuale configurazione dovrebbe consentire il rispetto dei limiti previsti dal D.M. 185 (almeno per la linea di biofiltrazione).
FONTI
- <i>Criteria per l'utilizzo delle acque depurate</i> -Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate);
- Colloquio con i responsabili della gestione in data 6/02/2007.

13.2.4.1.2 L'impianto O

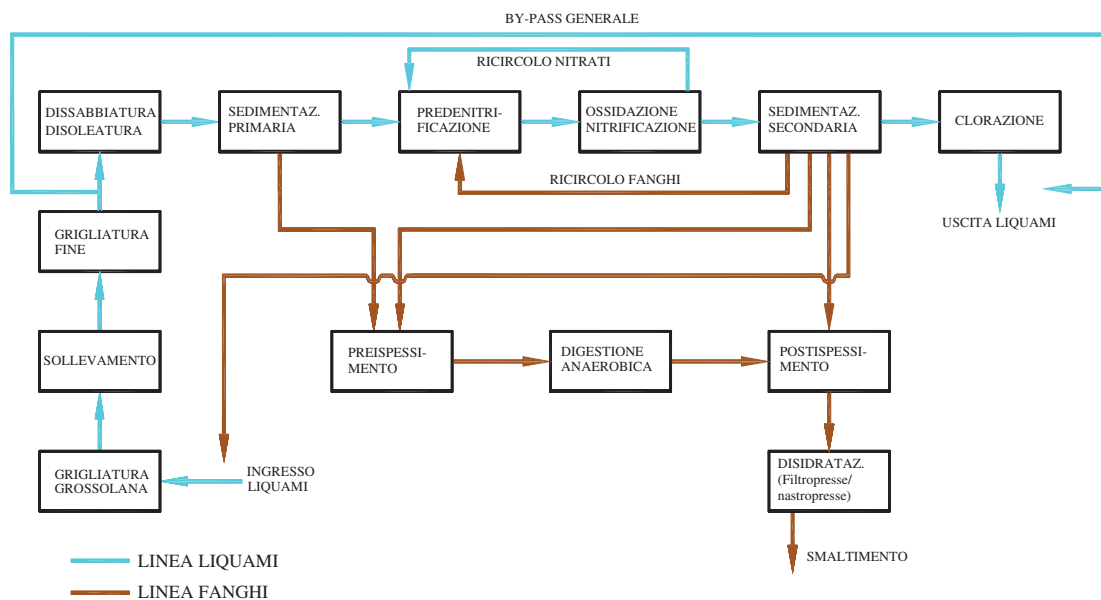
Il depuratore tratta un volume annuo di acque reflue di circa 30.000.000 m³ ed ha una potenzialità pari a 330.000 A.E.. È in fase di ampliamento.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

– Carico di BOD:	19.800 kg/d
– Carico di Azoto (TKN):	3.960 kg/d
– Portata media:	65.856 m ³ /d
– Portata di punta:	3.600 m ³ /h
– Portata massima:	5.786 m ³ /h

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2004)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)*	25.875	[kg/d]
A.E. (COD)*	235.227	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)*	15.079	[kg/d]
A.E. (BOD)*	251.317	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)**	11,4	
[COD]/[Ntot] (minimo)**	6,5	
[COD]/[Ntot] (massimo)**	16,6	
[COD]/[P] (valor medio)**	61,8	
[COD]/[P] (minimo)**	72,9	
[COD]/[P] (massimo)**	78,6	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA TRATTATA*	79.216	[m ³ /d]
D.I.*	394	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)*	2184	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)*	993	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)*	392	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)*	167	[kg/d]
[Ntot] out (valor medio)**	9,9	[mg/L]
[Ntot] out (minimo)**	6,0	[mg/L]
[Ntot] out (massimo)**	13,1	[mg/L]
[P] out (valor medio)**	1,5	[mg/L]
[P] out (minimo)**	0,9	[mg/L]
[P] out (massimo)**	2,8	[mg/L]

* riferiti al periodo di massimo carico (luglio - ottobre)

** riferiti all'intero anno

NOTA: per Ntot si intende la somma di TKN, N-nitrico e N-nitroso.

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Le acque depurate dovrebbero essere destinate all'agricoltura con modalità indiretta.
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - I reflui depurati vengono convogliati ad un canale mediante quattro condotti di uscita del depuratore e da qui vengono attualmente immessi in un fiume a valle di uno sbarramento; - è in corso uno studio finalizzato a valutare la possibilità di scarico a monte della diga, dove hanno origine due canali irrigui; - è stato avviato uno studio di fattibilità per un recupero delle acque reflue sottoposte a fitodepurazione - sono attualmente previsti tre lotti di interventi finalizzati al raggiungimento dei limiti imposti dal d.lgs. 152/2006 per lo scarico in aree sensibili; in particolare: <ul style="list-style-type: none"> - 1° lotto: è in corso di realizzazione la sesta linea ossidativa; - 2° lotto: realizzazione di nuovi pre-trattamenti e interventi ai sedimentatori primari; è stato inoltre previsto di apportare alcune migliorie alla fase biologica; - 3° lotto: realizzazione di una fase di filtrazione terziaria, di una defosfatazione chimica e di una disinfezione con UV.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Criteria per l'utilizzo delle acque depurate</i>-Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate) - Contatti con i gestori dell'impianto.

13.2.4.1.3 L'impianto P

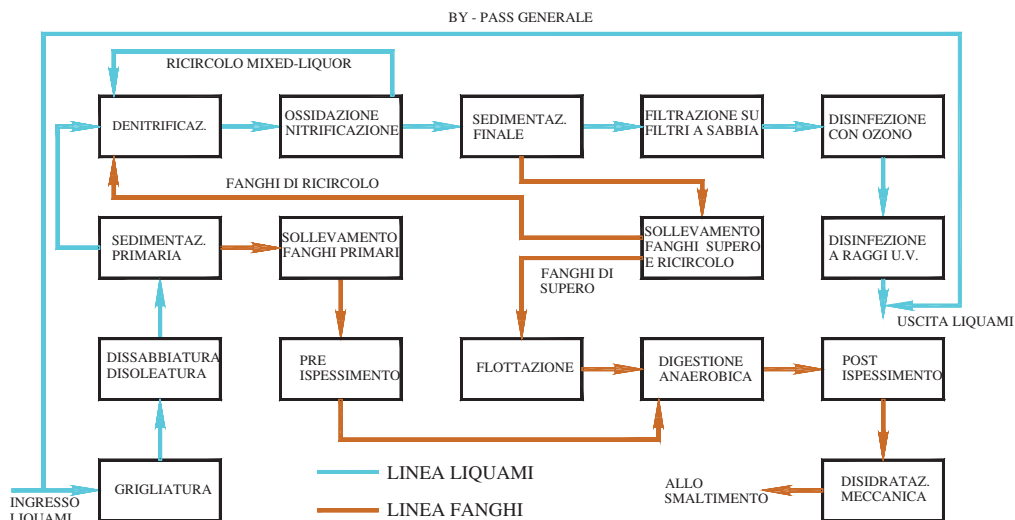
Il depuratore è un impianto del consorzio provinciale per la tutela, il risanamento e la salvaguardia di tre torrenti.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 23.100 kg/d
- Carico di Azoto (TKN): 4.620 kg/d
- Carico di Fosforo: 1.470 kg/d
- Portata media: 130.000 m³/d
- Portata massima: 13.000 m³/h

Schema a blocchi



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2006)

L'impianto tratta un liquame di natura civile/industriale; la componente industriale rappresenta il 60-70% del totale.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	34.322	[kg/d]
A.E. (COD)	312.018	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	14.204	[kg/d]
A.E. (BOD)	236.733	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	12,5	
[COD]/[Ptot] (valor medio)	89,7	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	85.259	[m ³ /d]
D.I. (COD)	342	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	2.754	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	1.416	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	383	[kg/d]
CARICO DI Ptot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	217	[kg/d]
[Ntot]out (valor medio)	16,61	[mg/L]
[Ptot]out (valor medio)	2,54	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Riutilizzo agricolo indiretto.
SINTESI
Tra i problemi maggiori che si riscontrano per il riutilizzo è stata segnalata la variabilità della portata; per renderla più costante (come richiesto dal Consorzio di bonifica) è stata realizzata una vasca di bilanciamento (20.000 m ³). Il Consorzio di bonifica riceverebbe comunque le acque del depuratore solo in caso di necessità e solo se venisse assicurata una portata costante e pari ad almeno 1 m ³ /s. Questa eventualità (che ad oggi non si è ancora verificata) richiederebbe di sospendere l'alimentazione del sistema di fitodepurazione, attraversato dall'effluente prima di essere convogliato nel ricettore "Canale Industriale". Attualmente risulterebbe difficile il riutilizzo agricolo diretto con rispetto dei limiti del D.M. 185/03. Nel caso di recapito delle acque in un Canale (che ha una portata propria di 70 m ³ /s) vengono comunque rispettati i limiti per scarico in acque superficiali, con l'unica eccezione del parametro <i>E.Coli</i> con limite fissato a 500 UFC/100 mL.
FONTI
- <i>Criteri per l'utilizzo delle acque depurate</i> -Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate) - Sopralluogo all'impianto in data 13 novembre 2006.

13.2.4.1.4 L'impianto Q

L'impianto di depurazione ha una potenzialità pari a circa 400.000 AE e tre linee di trattamento parallele.

L'impianto tratta un liquame di natura parzialmente mista e parzialmente nera con apporto di reflui industriali.

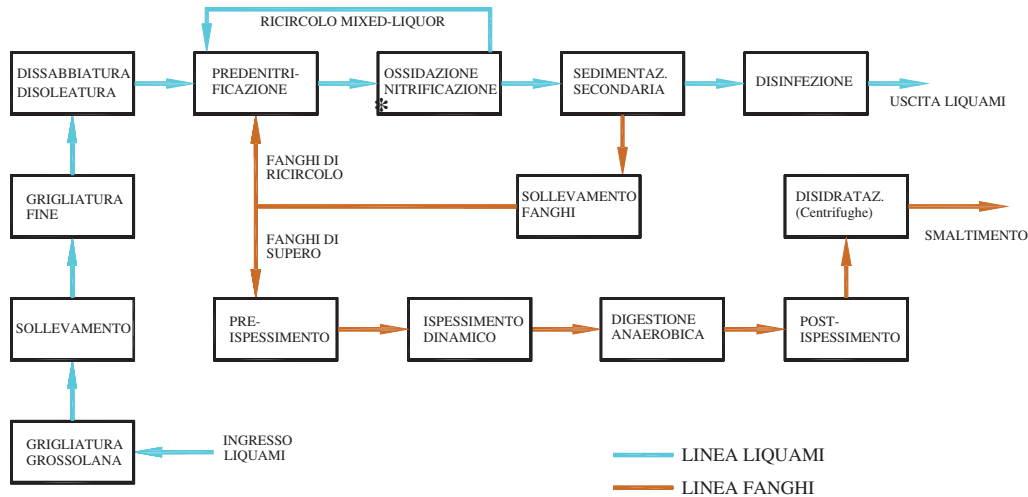
Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 22.950 kg/d
- Carico di COD: 45.450 kg/d

- Carico di SS: 26.280 kg/d
- Carico di N_{tot}: 4.500 kg/d
- Carico di P_{tot}: 720 kg/d
- Portata media: 90.000 m³/d

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



* tre linee di cui una di tipo MBR.

Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2006)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	25.333	[kg/d]
A.E. (COD)	211.108	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	14.712	[kg/d]
A.E. (BOD)	245.200	[ab]
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	71.765	[m ³ /d]
D.I. (COD)	326	[L/(ab ³ /d)]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO	
Riutilizzo agricolo indiretto.	
SINTESI	
<ul style="list-style-type: none"> - L'impianto è dotato di tre linee di trattamento parallele (A, B, C): <ul style="list-style-type: none"> - linea A: ha una potenzialità di 100.000 A.E.; sarà in futuro dotata di membrane o filtri meccanici a dischi; - linea B: ha una potenzialità di circa 200.000 A.E. ed è dotata di un sistema MBR; - linea C: attualmente ha una potenzialità di 100.000 A.E.; è prevista la sostituzione con una nuova linea di trattamento MBR della potenzialità di 400.000 A.E.; - attualmente solo la linea B garantisce i limiti imposti dal D.M.185/2003 per i parametri: solidi sospesi, <i>E.Coli</i> e BOD. - È stata avanzata, da un consorzio al comune, la richiesta di utilizzo delle acque; attualmente però non esiste nessun protocollo o accordo formale in tal senso. 	
FONTI	
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Criteri per l'utilizzo delle acque depurate</i>-Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate) - Contatti con i gestori dell'impianto; sopralluogo in data 15 marzo 2007 	

13.2.4.1.5 L'impianto R

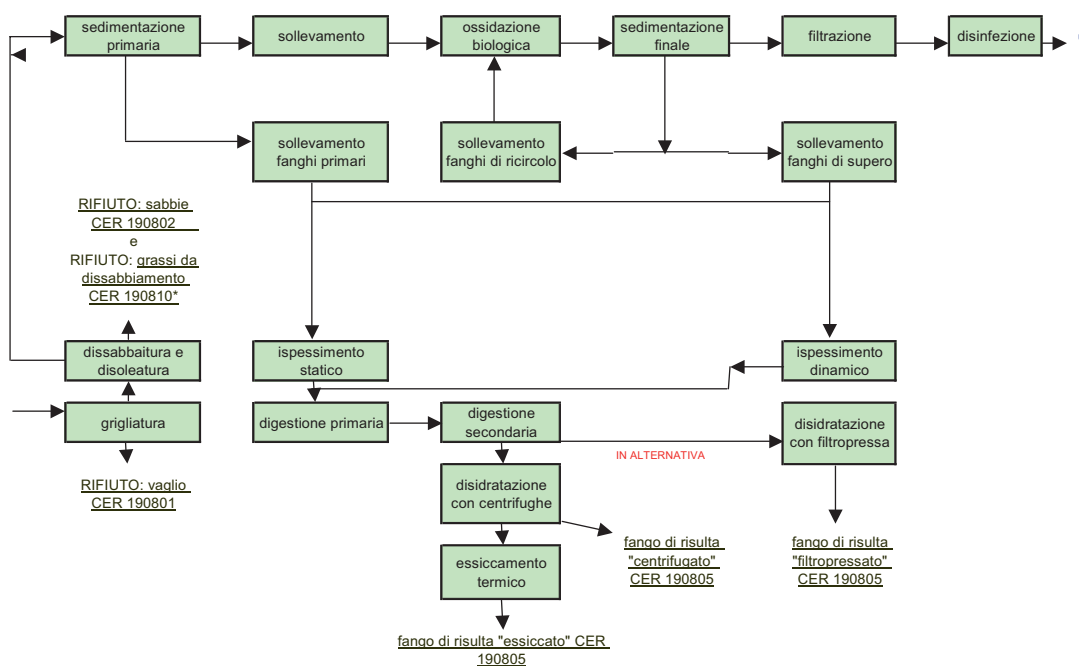
L'impianto di depurazione raccoglie le acque reflue di circa 27 comuni consorziati e di altri 6 convenzionati, per una potenzialità complessiva di 250.000 A.E..

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento.

Dati di progetto

– Carico di BOD:	25.810 kg/d
– Carico di COD:	77.430 kg/d
– Carico di Azoto:	5.340 kg/d
– Carico di Fosforo:	710 kg/d
– Portata media:	178.000 m ³ /d
– Portata di punta:	11.125 m ³ /h
– Portata massima:	20.830 m ³ /h

Schema a blocchi



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2005)

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	76.415	[kg/d]
A.E. (COD)	694.682	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	32.561	[kg/d]
A.E. (BOD)	542.684	[ab]
[COD]/[Ntot] (valor medio)	18	
[COD]/[Ntot] (minimo)	15	
[COD]/[Ntot] (massimo)	23	
[COD]/[Ptot] (valor medio)	95	
[COD]/[Ptot] (minimo)	81	
[COD]/[Ptot] (massimo)	124	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA TRATTATA	188.214	[m ³ /d]
D.I. (in base agli AE da BOD)	347	[L/(ab d)]
D.I. (in base agli AE da COD)	270	[L/(ab d)]
CARICO DI Ntot IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	4.205	[kg/d]
CARICO DI Ntot IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	2.978	[kg/d]
CARICO DI P IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	804	[kg/d]
CARICO DI P IN USCITA (MEDIO GIORNALIERO)	269	[kg/d]
[Ntot]out (valor medio)	15,82	[mg/L]
[Ntot]out (minimo)	5,64	[mg/L]
[Ntot]out (massimo)	28,6	[mg/L]
[P]out (valor medio)	1,43	[mg/L]
[P]out (minimo)	0,63	[mg/L]
[P]out (massimo)	1,96	[mg/L]

NOTA: per Ntot si intende l'azoto totale inorganico ottenuto come somma di N-ammoniacale, N-nitrico e N-nitroso.

SINTESI

- L'impianto è dotato di:
 - pretrattamenti (grigliatura, dissabbiatura/disoleatura);
 - sedimentazione primaria (N°2)
 - ossidazione biologica (N° 16);
 - sedimentazione finale (N° 5);
 - filtrazione (N° 16);
 - disinfezione(N° 1).

Era stata prevista la realizzazione di un comparto di fitodepurazione a valle dell'impianto per contribuire al miglioramento qualitativo dell'effluente. Il limite a tale intervento fu costituito dall'indisponibilità di vaste aree agricole, per cui solo una piccola parte dell'effluente sarebbe stata inviata alla fitodepurazione.

FONTI

- *Criteri per l'utilizzo delle acque depurate*-Progetto previsto dal "Piano della Ricerca e Sviluppo 2002"- REA (Ricerche Ecologiche Applicate)
- Contatti con i gestori dell'impianto.

13.2.4.2 Altri progetti di riutilizzo delle acque in Italia

13.2.4.2.1 L'impianto S

L'impianto di trattamento di acque reflue urbane è destinato a rifornire una utenza di tipo industriale per l'acqua di reintegro di impianti di raffreddamento.

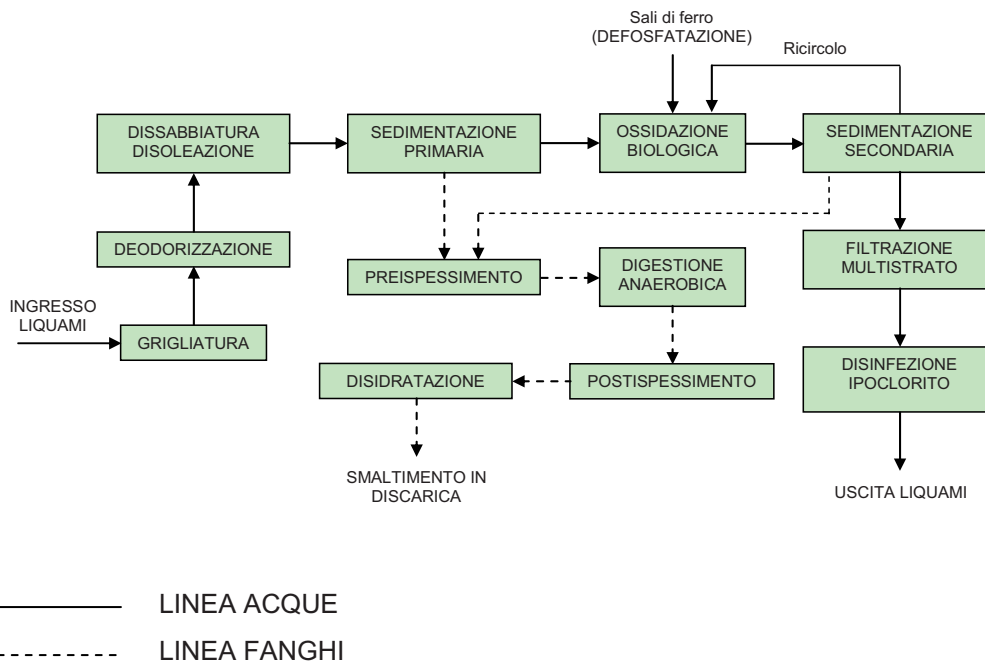
Della notevole portata potenzialmente disponibile (22.000 m³/h) derivante da un bacino di utenza di oltre 2.100.000 A.E., la rete attuale è dimensionata per destinarne al riutilizzo circa 1.700 m³/h.

Di seguito vengono riportati i dati di progetto, lo schema a blocchi riguardante i trattamenti della linea acque e fanghi e i dati di funzionamento principali.

Dati di progetto dell'impianto di depurazione

- Carico di BOD: 126.000 kg/d
- Carico di COD: 252.000 kg/d
- Carico di Azoto: 25.200 kg/d
- Carico di Fosforo: 3.780 kg/d

Schema a blocchi dell'impianto di depurazione



Caratteristiche di funzionamento (dati relativi al 2004)

L'impianto tratta un liquame di natura mista civile/industriale.

CARICO DI COD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	183.600	[kg/d]
A.E. (COD)	1.669.091	[ab]
CARICO DI BOD IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	108.000	[kg/d]
A.E. (BOD)	1.800.000	[ab]
[COD]/[P _{tot}] (valore medio)	87	
PORTATA MEDIA GIORNALIERA	540.000	[m ³ /d]
D.I.	375	[L/abd]
CARICO DI P _{tot} IN INGRESSO (MEDIO GIORNALIERO)	2.106	[kg/d]
[N _{tot}] _{out} (valore medio)	21	[mg/L]
[P _{tot}] _{out} (valore medio)	2	[mg/L]

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Il riutilizzo delle acque reflue, non è ancora attivo. Come potenziali utenze sono state individuate nella zona cartiere, aziende che producono gomme e un'azienda metalmeccanica, con usi predominanti che riguardano l'acqua di processo ed il raffreddamento per le altre utenze.
QUANTITA' RIUTILIZZATA
La portata massima riutilizzabile dall'impianto è pari a 14.500.000 m ³ /anno (il vincolo è il dimensionamento della rete per la distribuzione).
PROBLEMATICHE RISCOSE
Il principale problema riguarda il reperimento delle utenze sul territorio. Il riutilizzo delle acque reflue depurate come acqua di raffreddamento sarebbe possibile in impianti a perdere, in quanto le concentrazioni di TDS e di magnesio potrebbero essere problematiche in impianti di raffreddamento con ricircolo. Il riutilizzo come acqua di processo in cartiera richiederebbe la diminuzione degli SST, del COD (tale parametro deve essere tenuto particolarmente sotto controllo, poiché le cartiere hanno tipicamente effluenti caratterizzati da un COD piuttosto elevato), dei TDS e della concentrazione di calcio. Il riutilizzo per scopi civili non potabili richiederebbe il controllo della carica batterica, che può peraltro essere garantito dalla disinfezione mediante ipoclorito di sodio effettuata. Il costo del refluo trattato è di circa 2-3 volte superiore (a seconda delle varie utenze considerate) al valore relativo al prelievo dalla falda. Potrebbe rendersi necessario così un intervento delle istituzioni per sostenere l'intero investimento.
COSTI
Il costo di gestione del trattamento di affinamento per il riutilizzo delle acque depurate per una portata di 1.700 m ³ /h e comprensivo di spese gestionali, ammortamenti e oneri di pompaggio per una rete di distribuzione lunga 4 km, è pari a circa 0,04 €/m ³ .
SINTESI
<ul style="list-style-type: none">- Il riutilizzo delle acque reflue non viene attualmente praticato;- sono state individuate alcune potenziali utenze sul territorio, essenzialmente industriali con un uso predominante come acqua di processo o di raffreddamento;- il trattamento di affinamento delle acque reflue depurate consiste essenzialmente nella filtrazione seguita dalla disinfezione mediante ipoclorito di sodio;- il costo di gestione del trattamento di affinamento e di distribuzione è pari a circa 0,04 €/m³;

SINTESI
- il costo del refluo trattato è circa 2-3 volte superiore a quello relativo al prelievo da falda e sarebbe necessario un intervento delle istituzioni, per sopperire al problema del reperimento delle utenze.
FONTI
- Genon, M. C. Zanetti, S. Fiore (2002) – “ <i>Problemi e prospettive di riuso di acque reflue depurate in aree metropolitane</i> ”. Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino.
- Atti della 26 ^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – “LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE ASPETTI IMPIANTISTICI E GESTIONALI”. Verona, 16 aprile 2004.

13.2.4.2.2 L'impianto T

L'impianto tratta gli scarichi civili e industriali (anche in notevole quantità) di tre comuni per una potenzialità complessiva pari a 400.000 A.E..

Di seguito vengono riportati i dati di progetto e lo schema a blocchi riguardante i trattamenti terziari di affinamento.

Dati di progetto

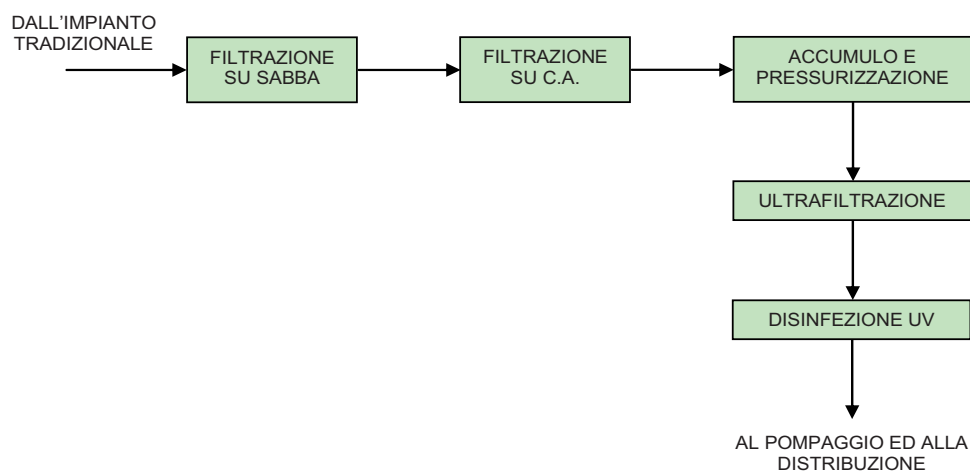
Carichi in ingresso all'impianto di depurazione

- Carico di COD: 48.000 kg/d
- Carico di BOD: 24.000 kg/d
- Carico di Azoto: 4.800 kg/d
- Carico di Fosforo: 720 kg/d

Dati relativi alla sezione di affinamento

- Portata media: 6.000 m³/d (portata media in uscita)

Schema a blocchi affinamento



L'impianto tratta un liquame di natura mista civile/industriale.

TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
L'impianto è attualmente in fase di avviamento. Il tipo di utenza interessata è quella relativa ad un nuovo insediamento industriale della zona: sono state individuate numerose piccole e medie aziende, essenzialmente metalmeccaniche, con un uso predominante come acqua di raffreddamento. Inoltre è stata individuata un'utenza della zona per un potenziale utilizzo della risorsa a scopi civili non potabili. Quest'ultimo impiego sarebbe possibile grazie all'unità di ultrafiltrazione che garantisce carica batterica e virale praticamente nulle.
PROBLEMATICHE RISCONTRATE
Uno dei problemi di maggior interesse risiede nella difficoltà di reperire le utenze. Inoltre si può notare un elevato costo dell'acqua depurata, viste le tecnologie molto onerose, ma che, allo stesso tempo, garantiscono una standard qualitativo molto elevato.
COSTI
Il costo di gestione del trattamento di affinamento, è pari a 0,25 €/m ³ .
SINTESI
<ul style="list-style-type: none"> - La risorsa verrà utilizzata principalmente come acqua di raffreddamento in alcune aziende della zona; - la risorsa è compatibile anche con un uso a scopo civile non potabile, grazie alla fase di ultrafiltrazione presente nell'impianto; - la quantità di acqua riutilizzabile è pari a 30 m³/h; - il problema principale è il reperimento di utenze; - il trattamento di affinamento avviene attraverso due fasi di filtrazione, una su sabbia ed una su carbone attivo, a cui seguono la sezione di ultrafiltrazione e la disinfezione mediante U.V.; - il costo di gestione del trattamento di affinamento è pari a circa 0,25 €/m³, valore decisamente alto e dovuto soprattutto alla presenza dell'unità di ultrafiltrazione.
FONTI
<ul style="list-style-type: none"> - Genon, M. C. Zanetti, S. Fiore (2002) – “<i>Problemi e prospettive di riuso di acque reflue depurate in aree metropolitane</i>”. Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino. - Atti della 23^a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – “LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE: IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE RISPARMIO IDRICO E RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE”. Cremona, 20 novembre 2003.

13.2.4.2.3 L'impianto U

L'impianto di depurazione, realizzato negli anni '80, è dimensionato su tre linee di trattamento biologico in parallelo.

L'impianto è attualmente utilizzato per il trattamento delle acque reflue industriali (provenienti da una vicina area industriale) e civili.

Il progetto prevede la realizzazione di una rete di distribuzione delle acque da riutilizzare che garantisca l'approvvigionamento idrico per gli impianti di raffreddamento dell'area industriale e la connessione all'acquedotto in previsione di un riutilizzo industriale/duale della risorsa disponibile. Tali acque consentiranno una riduzione dell'uso dell'acqua superficiale attinte attualmente dal fiume attraverso l'acquedotto.

Il nuovo assetto dell'impianto di depurazione prevede il trattamento di liquami:

1. di tipo **A**: acque reflui civili;
2. di tipo **B1**: acque reflue industriali;
3. di tipo **B2**: acque di pioggia e di dilavamento;
4. di tipo **B3**: acque di falda contaminate.

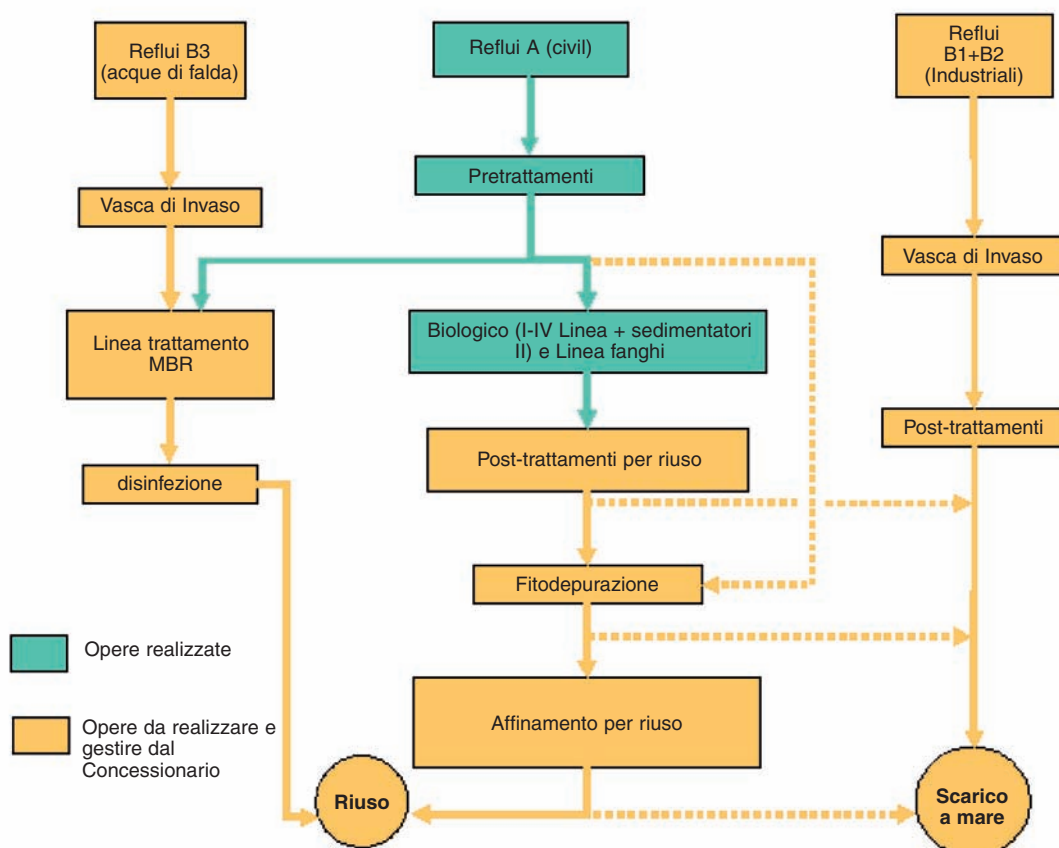
Le acque di tipo A e di tipo B3 verranno riutilizzate come acque di processo nell'area industriale.

Dati riguardanti l'adeguamento dell'impianto

– Numero linee:	3
– Potenzialità di ciascuna linea:	110.000 A.E.
– Portata massima ai trattamenti primaria:	12.000 m ³ /h
– Portata massima ai trattamenti secondari e terziari:	8.000 m ³ /h

Schema a blocchi impianto

L'impianto tratterà liquami di natura civile (A) che verranno, insieme alle acque di falda contaminate (B3), una volta trattate, inviate al riutilizzo come acque di raffreddamento e di processo nei cicli industriali, e distintamente, i liquami di natura industriale (B2 e B3).



TIPOLOGIA DI RIUTILIZZO
Riutilizzo industriale.
SINTESI
<p>L'impianto invierà i liquami trattati di natura civile e acque di falda contaminate al riutilizzo come acqua di raffreddamento e di processo nei cicli industriali. I trattamenti previsti sono:</p> <p>ACQUE CIVILI (A):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. trattamenti primari (grigliatura, dissabbiatura/disoleatura, sedimentazione primaria) 2. ossidazione biologica a fanghi attivi e sedimentazione finale; 3. trattamenti terziari (filtrazione, disinfezione e fitodepurazione) <p>ACQUE DI FALDA INQUINATE (B3):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. vasca di invaso; 2. sistema biologico MBR; 3. disinfezione. <p>Le acque B1 e B2 e quelle di tipo A, eccedenti la capacità di riuso, saranno inviate allo scarico a mare, circa 10 km al largo della linea di costa.</p> <p>A seguito della realizzazione dei manufatti previsti dal Progetto, il risparmio idrico viene stimato in 75.000 m³/d, attualmente derivati dal fiume Sile per usi industriali.</p>

13.3 ASPETTI ECONOMICI, DI PIANIFICAZIONE E SOCIALI

Il costo del riutilizzo comprende una serie di oneri che vanno dall'affinamento dell'acqua depurata alla gestione della rete di distribuzione. Chiaramente sono influenzati da molti fattori (tipi di trattamenti, requisiti di qualità per il riutilizzo, dimensione dell'impianto ecc.) ed è assai difficile indicare dei valori significativi che abbiano una validità generale.

I valori desunti dall'indagine condotta nell'ambito del presente lavoro, variano tra 0,083 e 0,48 €/m³ e sono in linea con quelli desunti da altre indagini: i costi aggiuntivi per adeguare la qualità degli scarichi ai valori tabulari sono stati infatti stimati o calcolati in una gamma che va da 0,015 €/m³ a più di 0,3 €/m³ (Pommepuy, 1998; Nurizzo, 2000; Genon e Zanetti, 2003).

Il costo dell'acqua trattata (rispetto a quello dell'acqua prelevata dal sottosuolo o da fiumi, a costi intorno a 0,015-0,020 €/m³) è segnalato tra i maggiori ostacoli al riutilizzo. È interessante notare che gli impianti che effettuano il riutilizzo individuati nell'ambito del presente studio hanno una potenzialità medio-grande: l'impianto più piccolo ha infatti potenzialità di 40.000 AE, i più grandi superano il milione di abitanti equivalenti. Questo può già suggerire che gli investimenti tecnico-economici necessari per avviare iniziative di recupero sono giustificabili per taglie di impianto significative.

Peraltro, va segnalato che, allo stato attuale, non è chiaro come i costi aggiuntivi del trattamento terziario e della rete di distribuzione dovrebbero essere distribuiti tra i soggetti coinvolti, peraltro molto numerosi (gestori della fognatura e degli impianti di trattamento, gestori delle reti di distribuzione, consorzi di bonifica e irrigazione, Amministrazioni Provinciali e Comunali, Regioni, aziende private ecc.). Non è chiaro in particolare il ruolo delle Autorità d'Ambito, soprattutto con riferimento appunto alle inevitabili ricadute economiche che la pratica del riutilizzo potrebbe avere nella definizione della tariffa per il servizio idrico integrato.

Come detto, la disponibilità di acqua "fresca" a costi molto bassi rappresenta un ostacolo significativo alla diffusione del riutilizzo. Peraltro, le Regioni, ai sensi del D.M. 185/03, art. 5, devono definire "un primo elenco degli impianti di depurazione di acque reflue urbane il cui

scarico deve conformarsi ai limiti di cui all'articolo 4" e, in particolare, "gli impianti di depurazione, la tipologia delle reti di distribuzione da impiegare per il riutilizzo e le infrastrutture di connessione con le reti di distribuzione". Si presentano dunque situazioni diverse a seconda delle realtà territoriali. Ad esempio, in Regione Lombardia, dove vi è ampia disponibilità di acqua, il riutilizzo delle acque reflue viene visto principalmente come un modo per evitare lo scarico di inquinanti nei corpi idrici superficiali, favorendo quindi il processo di risanamento di questi ultimi.

La Regione Lombardia, nella relazione generale del Programma di Tutela ed Uso delle Acque al capitolo 8 elenca i depuratori (41 in tutto) per i quali favorire il riuso dei reflui in agricoltura, avviando valutazioni puntuali sulla fattibilità tecnica ed economica degli interventi.

In particolare, nell'area Lambro-Seveso-Olona, gli impianti individuati dalla Regione per i quali favorire il riuso dei reflui in agricoltura sono 16, di cui 15 oggi già in esercizio; ad essi si aggiungono 3 impianti per i quali è previsto un riuso di tipo industriale.

Analoghe considerazioni possono essere ripetute per Regioni come il Piemonte ed il Veneto.

La Regione Lazio ha individuato 4 impianti (già del resto previsti nell'Accordo di Programma Quadro APQ8) di cui ha programmato interventi di adeguamento per consentire il riutilizzo delle acque reflue. A questi impianti se ne aggiunge un quinto, la cui realizzazione è in fase di appalto. La somma delle portate effluenti da questi cinque impianti è pari a 2,05 m³/s.

La Regione Sardegna, pur riconoscendo come il riutilizzo non possa soddisfare il fabbisogno idrico (soprattutto del comparto agricolo), individua in questa pratica una utile riduzione dell'impatto dovuto allo scarico dei reflui. Sono stati individuati, in prima istanza, 33 impianti per circa 5,3 m³/s di acqua recuperabile (considerata come uniformemente distribuita in tutto il periodo dell'anno).

Vi sono altri aspetti, che vale la pena citare, i quali possono avere una influenza più o meno marcata sulla diffusione della pratica del riutilizzo. Di seguito si riporta un elenco di quelli ritenuti più significativi:

- un elemento che può costituire un freno al riutilizzo è rappresentato dalle cosiddette "barriere sociali" ovvero da quella diffidenza che il potenziale utilizzatore inevitabilmente manifesta nei confronti di un'acqua ricavata dagli scarichi fognari; va peraltro osservato che questo aspetto non è mai stato segnalato dai soggetti interpellati nell'ambito di questo studio;
- alcuni aspetti applicativi sono ancora poco chiari: ad esempio le modalità di campionamento e il controllo delle acque, i criteri con cui normare la pratica molto diffusa del "riutilizzo indiretto", il rapporto tra riutilizzo delle acque di scarico e le colture di tipo biologico; la Regione Lombardia sta lavorando in tal senso per predisporre apposita circolare;
- per regolamentare e incentivare il riutilizzo è probabilmente necessario rivedere anche aspetti che riguardano la "cornice di regolazione", quali le norme sulle concessioni di derivazione, eventuali incentivi al riutilizzo (analogamente a quanto avviene con i certificati verdi per la produzione di energia da fonti rinnovabili) ecc..

13.4 CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

Quanto riportato nei precedenti capitoli può essere riassunto nei seguenti punti:

- il riutilizzo delle acque reflue (in campo agricolo e industriale) viene praticato già da anni, laddove siano soddisfatte le condizioni tecnico-economiche di fattibilità; esistono altresì diversi progetti per applicazioni future. Le Regioni, ai sensi di legge, hanno individuato (o stan-

-
- no individuando), nell'ambito dei Piani di Tutela delle Acque, gli impianti i cui effluenti potrebbero essere destinati al riutilizzo.
- Il D.M. 185/03 pone vincoli di qualità delle acque da destinare al riutilizzo diretto che impongono l'adozione di trattamenti di affinamento, rispetto agli schemi convenzionali di depurazione, con ciò determinando un incremento dei costi di trattamento dell'acqua. In particolare, mentre alcuni limiti (es. *E. Coli*, solidi sospesi) possono essere raggiunti con l'adozione di trattamenti terziari (es. filtrazione + disinfezione) ai quali già oggi si fa riferimento, almeno per gli impianti di maggior dimensione, anche per il rispetto continuativo dei limiti per lo scarico in acque superficiali, il rispetto di altri limiti (es. tensioattivi, tallio, boro ecc.) potrebbe richiedere trattamenti assolutamente improponibili sul piano economico per impianti di depurazione municipali (es. ossidazione chimica, adsorbimento su carboni attivi, addrittura osmosi inversa ecc.), a meno che non vi siano altri motivi che ne richiedano l'applicazione (es. nel caso di impianti consortili con forte contributo della componente industriale).
 - I costi aggiuntivi del trattamento vanno confrontati con quelli della risorsa "fresca"; peraltro il problema della fattibilità economica è in stretta correlazione con la definizione dei ruoli delle diverse autorità in tema di programmazione degli interventi e individuazione delle risorse; aspetto non ancora chiarito dalla normativa.
 - La verifica del rispetto dei limiti allo scarico da parte dei depuratori richiede la determinazione di una serie di parametri in genere non considerati nella progettazione dei sistemi di depurazione convenzionali; questa necessità determinerà un nuovo approccio alla progettazione.
 - Sicuramente, accanto al riutilizzo, la razionalizzazione dell'uso dell'acqua, attraverso una regolamentazione dei prelievi da una parte (per evitare gli sprechi quantitativi) ed un miglioramento dei sistemi depurativi dall'altra (per evitare il deterioramento qualitativo della risorsa), rappresenta un elemento essenziale nell'ottica della salvaguardia del patrimonio idrico.

Sulla base di quanto sopra sembra sussistere il rischio che le nuove previsioni normative sul riutilizzo diretto delle acque reflue non trovino diffusa applicazione, se non in quelle aree nelle quali il costo della risorsa primaria sia, per motivi geo-climatici, già di per sé assai elevato e pertanto tale da rendere competitivo il ricorso alla pratica del riutilizzo delle acque reflue.

Diverso è il caso del riutilizzo indiretto, ovvero attraverso il prelievo ai fini irrigui dell'acqua da corpi idrici ricettori degli scarichi. Questa pratica è già largamente adottata e può in effetti rappresentare un'interessante modalità di recupero della risorsa acqua, riducendo eventuali problematiche connesse alla qualità degli scarichi.

In ogni caso appare evidente come, dal punto di vista del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane, l'obiettivo fondamentale sia il conseguimento della corretta funzionalità degli impianti e di un elevato grado di affidabilità, assicurando elevate prestazioni e nel contempo il contenimento dei costi di trattamento.

14. LA PIANIFICAZIONE DEL RIUTILIZZO DELLE ACQUE REFLUE A SCALA DI BACINO IDROGRAFICO

Per effettuare valutazioni di carattere tecnico-economico più dettagliate è utile riferirsi ad una realtà territoriale specifica. Così come proposto nella precedente parte IV relativamente al problema della gestione dei fanghi, di seguito quindi si riportano i risultati di uno studio dal titolo “Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione”⁹ affidata all’Istituto Regionale di Ricerca (IReR) nell’ambito del Piano di ricerche strategiche 2006 dalla Regione Lombardia - Direzioni Generali Reti, Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile e Agricoltura.

Questo studio, in cui la parte di competenza dell’Ingegneria Sanitaria-Ambientale, è stata curata e sviluppata dagli estensori del presente rapporto, rappresenta un interessante esempio di pianificazione a scala di bacino idrografico e contiene considerazioni che possono essere (sia a livello metodologico, sia a livello tecnico-operativo) trasferite ad altre realtà territoriali.

La documentazione integrale relativa alla ricerca è disponibile sul sito Internet:
<http://www.irer.it/ricerche/territoriale/ambiente/2006B039>

14.1 PREMESSA

La caratterizzazione delle aree idrografiche, riportata nel capitolo 2 della relazione generale del PTUA (Programma di Tutela e Uso delle Acque), indica il bacino del fiume Lambro quale area di massima pressione antropica della Lombardia, con un carico molto elevato in termini sia di popolazione residente, sia di attività.

La Regione Lombardia ha previsto, tra gli interventi da attuare per il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale entro il 2015, il riuso delle acque reflue depurate per oltre il 50% delle portate complessivamente scaricate dai depuratori nel bacino. E’ evidente, tuttavia, che il riutilizzo (in particolare, quello irriguo) deve essere fatto senza rischi apprezzabili per la salute umana e per l’ambiente.

IRER è stato incaricato dalla Regione Lombardia di svolgere una ricerca con i seguenti specifici obiettivi:

1. delineare lo stato dell’arte sul riutilizzo delle acque reflue e le problematiche connesse (tecniche, economiche e normative);
2. verificare la fattibilità e la disponibilità al riuso dei principali impianti dell’area Lambro-Seveso-Olona;

⁹ “Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione” (cod. IReR 2006B039), parte A.

Responsabile di progetto IRER: Alessandro Colombo

Gruppo di ricerca: Carlo Collivignarelli, Sergio Papiri, Giorgio Bertanza, Cristina Collivignarelli, Sabrina Zanaboni (Studio Ecotecno di Pavia, Università di Brescia, Università di Pavia); Pierluigi Genevini, Fulvia Tambone, Giorgio Provolo (Università degli Studi di Milano); Marina Riva (Referente di ricerca IReR).

Per il raggiungimento dell'obiettivo 1 si è effettuata un'analisi approfondita della letteratura scientifica internazionale e delle normative in campo internazionale e nazionale; sono stati inoltre analizzati casi specifici nella realtà italiana dove è già in atto o è in progetto di attuare il riutilizzo delle acque reflue sia in campo agricolo che industriale.

Sulla base di quanto emerso da questa indagine preliminare di inquadramento, sembra che le nuove previsioni normative sul riutilizzo diretto delle acque reflue non siano destinate a trovare diffusa applicazione, se non in quelle aree nelle quali il costo della risorsa primaria sia, per motivi geo-climatici, già di per sé assai elevato e pertanto tale da rendere competitivo il ricorso alla pratica del riutilizzo delle acque reflue.

Diverso è il caso del riutilizzo indiretto, ovvero attraverso il prelievo ai fini irrigui dell'acqua da corpi idrici ricettori degli scarichi. Questa pratica è già largamente adottata e può in effetti rappresentare un'interessante modalità di recupero della risorsa acqua, riducendo eventuali problematiche connesse alla qualità degli scarichi.

In ogni caso appare evidente come, dal punto di vista del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane, l'obiettivo fondamentale sia il conseguimento della corretta funzionalità degli impianti e di un elevato grado di affidabilità, assicurando elevate prestazioni e nel contempo il contenimento dei costi di trattamento.

14.2 DEFINIZIONE DEGLI IMPIANTI OGGETTO DI STUDIO

Per ciò che riguarda l'indagine sugli impianti appartenenti al bacino idrografico Lambro-Seveso-Olona, questa è stata effettuata attraverso:

- acquisizione ed elaborazione di dati ufficiali (aggiornamento gen '07 data base di Regione Lombardia sui depuratori, dati analitici sugli scarichi degli impianti di depurazione, gravitanti nel bacino Lambro-Seveso-Olona e con potenzialità pari o superiore a 50.000 A.E., con riferimento agli accertamenti compiuti da ARPA negli anni 2004-2005-2006 per valutare il rispetto delle tabelle 1, 2 e 3 dell' Allegato 5 al D.lgs. 152/99);
- elaborazione di dati già acquisiti dagli estensori nell'ambito di precedenti studi (Collivignarelli *et al.*, 2003; Collivignarelli *et al.*, 2005);
- verifiche in loco presso impianti di depurazione dell'area LSO;
- contatti diretti con i gestori degli impianti dell'area LSO;
- riunioni con i gestori di Consorzi di irrigazione (anche non direttamente operanti nell'area in esame);
- tavoli di confronto con gestori e utilizzatori dell'area LSO convocati da Regione Lombardia;
- analisi della rete idrica superficiale;
- effettuazione di una specifica indagine analitica (parametri DM 185/03) condotta su sette impianti lombardi opportunamente selezionati.

Gli impianti di depurazione appartenenti al bacino Lambro-Seveso-Olona e aventi potenzialità nominale maggiore di 10.000 A.E., come risulta dal database Regionale, sono in totale 35, con una potenzialità nominale complessiva pari a circa 6.800.000 A.E.. 23 di questi impianti hanno potenzialità (nominale) maggiore di 50.000 A.E., per una capacità complessiva pari al 95% della potenzialità nominale totale di tutti i 35 impianti. In base a questo dato, si è deciso di focalizzare tutte le valutazioni di fattibilità del presente studio su questi ultimi impianti, in aggiunta a quelli di potenzialità inferiore a 50.000 A.E., ma già indicati dal PTUA tra quelli per cui favorire il riutilizzo. Per tre di questi si prevede un riutilizzo in ambito industriale.

Tab. 14.2/1 - Impianti di depurazione dell'area Lambro-Seveso-Olona oggetto di valutazione per il riutilizzo delle acque reflue depurate. Potenzialità nominale da data-base regionale, salvo dove diversamente specificato.

Impianti	Potenzialità nominale A.E.
Milano Nosedo	1.250.000
Milano San Rocco	1.050.000
Monza San Rocco	600.000
Peschiera Borr.	566.000
Caronno Pertusella	400.000
Pero-Olona Sud	360.000
Bresso-Seveso Sud	300.000
Como Sud	275.000*
Canegrate-Olona Nord	270.000
Merone	195.000
Bulgarograsso-Altolura	154.000
Fino Mornasco-Seveso	140.000
Olgiate Olona	137.544
Sesto San Giov.	130.000
Varedo-Seveso Nord	120.000
Varese-Varese Olona	120.000
Assago	105.000
Settala	100.000
Carimate	96.000
S. Giuliano Mil.-Est	80.000
Origgio	75.000
Rozzano	74.500
Locate Triulzi	60.000
S. Giuliano Mil.-Ovest	51.000
Nibionno	34.139
Limido Comasco	20.000
Dati ricavati da precedenti indagini dagli autori.	

* L'impianto di Como Sud non è esistente. La potenzialità indicata si riferisce all'impianto di depurazione di Como attualmente in funzione

14.3 FUNZIONALITÀ DEGLI IMPIANTI

Nell'ambito del presente lavoro si è proceduto ad un esame del grado di funzionalità degli impianti appartenenti all'area Lambro-Seveso-Olona effettuando l'elaborazione dei seguenti dati:

- dati raccolti da ARPA nel corso delle analisi di controllo effettuate sugli impianti di depurazione aventi oggi potenzialità nominale maggiore di 50. 000 A.E..
- dati raccolti nel corso di una campagna di monitoraggio, specificamente messa in atto nell'ambito del presente lavoro, effettuata su 7 impianti lombardi, cinque dei quali appartenenti all'area Lambro - Seveso -Olona.

Dall'analisi dei dati ARPA è emerso che i parametri critici, per quanto attiene al DM 185/2003 (riutilizzo diretto delle acque reflue) risultano i solidi sospesi, l'azoto totale, il fosforo totale, i tensioattivi ed *E.Coli*, nonostante gli impianti siano spesso dotati di trattamenti di filtrazione e disinfezione finale. Il rispetto continuativo degli standard di qualità di cui al DM 185/2003 può

risultare quindi un fattore critico anche se gli impianti dovranno adeguarsi ai limiti molto restrittivi stabiliti dal Regolamento Regionale n. 003 del 24 marzo 2006.

I dati raccolti nella campagna analitica appositamente svolta in questo lavoro confermano questa tendenza (superamento, in taluni casi, dei limiti ex DM 185/03 su solidi sospesi, azoto totale, *E. Coli*, tensioattivi). Di tutti gli altri numerosi parametri analizzati, che in generale sono risultati in concentrazioni inferiori ai limiti del DM 185/03, fanno eccezione, sporadicamente: *mercurio, zinco, oli minerali, trialometani*.

14.4 FATTIBILITÀ TECNICA DEL RIUTILIZZO

14.4.1 Integrazioni impiantistiche richieste

In Regione Lombardia è in fase di discussione una circolare secondo la quale gli standard previsti dalle norme tecniche di cui al D.M. n. 185/2003 (ad eccezione dei parametri microbiologici) potrebbero assumersi come requisiti minimi richiesti per l'utilizzo di acque a fini irrigui indipendentemente dalla loro origine: acque derivate da corso d'acqua superficiale, acque emunte dalla falda, acque di scarico di impianti di depurazione, miscela di acque di scarico di impianti di depurazione e acque superficiali o profonde.

In tale ottica, le caratteristiche qualitative delle acque depurate, da conseguire con il trattamento per il loro riutilizzo irriguo, dipendono dalle modalità con cui tali acque pervengono all'utilizzo. Di particolare interesse, per gli scopi di questo lavoro, sono le due situazioni seguenti:

1. scarico in canali irrigui senza miscelazione con acque di altra provenienza (riutilizzo diretto): si applicano gli standard previsti dalle norme tecniche di cui al D.M. n. 185/2003;
2. scarico in canali la cui destinazione è esclusivamente quella irrigua con miscelazione con acque prelevate direttamente allo scopo (riutilizzo indiretto): si applicano limiti di emissione che dipendono dal rapporto di diluizione e dalla qualità delle acque derivate per uso irriguo; comunque si assumono come valori estremi i limiti previsti dalla Tabella 3 del D.Lgs.152/06 e i limiti previsti dal D.M. n. 185/2003 e dal Regolamento Regionale n. 003/06; per il parametro *E.Coli* la concentrazione viene assunta uguale a quella del canale irriguo a monte dello scarico e comunque non superiore a 5.000 UFC/100ml e non inferiore a 10 UFC/100ml;

Ricordando che gli impianti di depurazione dovranno comunque adeguarsi al Regolamento Regionale n.003 del 24 marzo 2006, di fatto tutti gli impianti di potenzialità maggiore di 50.000 A.E. dovranno essere dotati di trattamento di affinamento (filtro-flocculazione). Inoltre anche per dimensioni inferiori (10.000-50.000 A.E.) sarà da prevedere un trattamento di rimozione spinta dei nutrienti.

Nel caso di riutilizzo diretto (caso 1) l'adozione di un sistema di filtro-flocculazione garantisce il rispetto dei limiti per il riutilizzo relativamente ai parametri BOD, COD e SS (i limiti dettati dal D.M. 185/2003 su BOD e COD risultano addirittura meno restrittivi di quelli imposti dal regolamento regionale n.003). La disinfezione è necessaria e può garantire il limite imposto per il parametro *E.Coli* di 10 UFC/100mL se opportunamente spinta, grazie anche alla presenza di un trattamento di filtrazione a monte. Bisogna però ricordare che esistono altri parametri, quali ad esempio i tensioattivi, che richiederebbero, per la loro rimozione, l'adozione di trattamenti aggiuntivi, come l'ossidazione chimica (peraltro integrabile con il trattamento di disinfezio-

ne), con complicazioni a livello impiantistico e gestionale. Infine va segnalato che un eventuale problema derivante da valori di SAR troppo elevati sarebbe tecnicamente difficile (impossibile) da risolvere con trattamenti a piè di impianto.

Nel caso invece di riutilizzo indiretto (caso 2) che consente il recupero effettivo di tutta la portata di scarico, i limiti da rispettare, a seconda dei parametri, sono intermedi tra quelli imposti dal D.M 185/2003, dal Regolamento Regionale n.003 e dal D.Lgs. 152/06 per lo scarico in acque superficiali, in funzione del rapporto di diluizione tra scarico e canale irriguo. Dal momento che è opportuno che la portata del canale irriguo sia significativamente più grande rispetto alla portata dello scarico¹⁰, in generale il rapporto di diluizione tra scarico e corso d'acqua superficiale sarà elevato. Quindi se l'acqua del canale non si presenterà qualitativamente compromessa si applicheranno i limiti per COD, BOD, SS, azoto e fosforo del Regolamento Regionale n. 003; per gli altri parametri si adotteranno i limiti di Tabella 3 D.Lgs. 152/2006, senza di fatto differenze rispetto al caso di scarico in acque superficiali. Per il parametro *E.Coli*, i limiti saranno compresi tra 10 e 5.000 UFC/100 mL. La miscelazione degli effluenti depurati con acqua superficiale gioverebbe anche per quanto riguarda il contenuto salino dell'acqua rispetto all'utilizzo diretto di acque di scarico.

In sostanza, il riutilizzo in questa forma dovrebbe comportare come unica differenza rispetto allo scarico in acque superficiali una eventuale disinfezione spinta (dipendentemente dalla qualità microbiologica dell'acqua del canale ricettore a monte dello scarico).

14.4.2. Aspetti idraulici

La disponibilità idrica complessiva per uso irriguo nell'area idrografica Lambro-Seveso-Olona è quantificabile in almeno 150 m³/s.

La portata media annua complessiva attuale effettiva delle acque reflue dei 23 impianti per i quali è all'esame la possibilità di favorire il riuso dei reflui in agricoltura è pari a circa 19 m³/s. La portata media annua complessiva al 2016 è quantificabile in circa 25 m³/s.

E' evidente che il risparmio di acque approvvigionate da fonti tradizionali così conseguibile se non è determinante, è tuttavia apprezzabile (pari al 12,6%). In alcune aree limitate, le acque reflue depurate riusate in agricoltura possono rappresentare una frazione molto significativa dell'uso irriguo globale.

Dei 19 m³/s di portata media annua attuale complessiva dei 23 impianti, circa il 63% (circa 12,3 m³/s) proviene dai quattro depuratori più grandi.

Al fine di verificare la fattibilità del riutilizzo indiretto degli scarichi dei depuratori, laddove non sia già in atto, è stata svolta, caso per caso, una indagine indirizzata a verificare la possibilità di deviare gli scarichi con interventi sostenibili sia dal punto di vista economico che strutturale. L'indagine ha previsto contatti e riunioni con i responsabili dei Consorzi di bonifica.

¹⁰ Le acque reflue depurate devono essere possibilmente convogliate in corpi idrici irrigui di entità consistente al fine di avere un bacino irriguo sotteso sufficientemente ampio da far sì che il riuso irriguo sia possibile anche in presenza di eventi meteorici che per il loro carattere temporalesco, durante il periodo irriguo, interesseranno normalmente solo una porzione limitata del bacino servito.

14.5 SCENARIO DI INTERVENTO

Sulla base delle considerazioni emerse dall'analisi effettuata, a livello impiantistico, idraulico, agronomico ed economico e tenuto conto dei limiti allo scarico da rispettare, a seconda del punto di scarico e delle caratteristiche del corpo ricettore, si è delineato uno scenario di intervento che consiste essenzialmente nel favorire il riuso indiretto delle acque di scarico attraverso il loro convogliamento in canali irrigui. Con ciò i limiti allo scarico corrispondono essenzialmente con quelli per scarico in acque superficiali, che, peraltro, per quanto riguarda COD, BOD, SS, N e P sono molto restrittivi, dovendosi applicare il Regolamento Regionale n. 003 del 24 marzo 2006.

In particolare, per quanto riguarda la modalità di riutilizzo, un riuso diretto delle acque comporterebbe, dal punto di vista impiantistico, l'adozione di trattamenti spinti e molto costosi per la rimozione di inquinanti specifici (es. tensioattivi), senza dimenticare peraltro che ciò nonostante potrebbero verificarsi, a lungo termine, fenomeni connessi ad esempio alla presenza significativa di sodio nelle acque di scarico, molto dannosi per i suoli, non esistendo, di fatto, alternative "praticabili" a livello di impianti di trattamento per contenere il problema.

Dei 26 impianti ricadenti nell'area Lambro-Seveso-Olona presi in esame, 16 si presterebbero alla pratica del riuso agricolo degli effluenti. Peraltro, per sei di questi impianti, già oggi si riutilizza o verrà riutilizzato nel prossimo futuro l'effluente depurato. Viceversa, si ritiene non conveniente la pratica del riutilizzo per sei depuratori. Per l'impianto di Como Sud, non esistente, non si sono potute effettuare valutazioni di dettaglio. Infine, vanno considerati i tre impianti, per i quali è possibile ipotizzare un riutilizzo in ambito industriale.

Per quanto riguarda gli schemi impiantistici, molti impianti sono già dotati dei trattamenti di rimozione dei nutrienti, affinamento e disinfezione. Viceversa in diversi casi andrà previsto l'ampliamento della capacità di trattamento. Rispetto quindi agli interventi già previsti per il rispetto dei limiti di cui al Regolamento Regionale n. 003 del 24 marzo 2006 e al D.lgs. 152/2006, Tab. 3, non vi sono sostanziali differenze. Va solo segnalata la probabile necessità, in taluni casi (in relazione alle caratteristiche microbiologiche dei corpi ricettori), di garantire elevate efficienze di disinfezione, almeno durante la stagione irrigua. Vale la pena accennare a un particolare aspetto che riguarda la rimozione dei nutrienti. Poiché questi rappresentano una risorsa per l'agricoltura, nel caso vi possa essere la garanzia che tutta l'acqua di scarico recapitata nei canali irrigui venga effettivamente riutilizzata, durante la stagione irrigua si potrebbe derogare a limiti sugli effluenti particolarmente restrittivi (es. 10 mg/L di azoto totale).

Per quanto riguarda le opere idrauliche da realizzare per i depuratori dove oggi il riutilizzo dell'effluente non viene praticato, è stato effettuato un dimensionamento di massima delle condotte per il recapito degli scarichi ai possibili nuovi ricettori e, laddove necessario, di un impianto di pompaggio.

La lunghezza dei canali adduttori necessari è variabile da un minimo di poche decine di metri ad un massimo di 3 km. Lo sviluppo complessivo di tali condotte ammonta a circa 10,5 km.

14.6 BENEFICI ATTESI

I **benefici attesi** dalla pratica del riutilizzo agricolo indiretto o in ambito industriale delle acque di scarico possono essere essenzialmente valutati in termini di:

1. recupero della risorsa acqua;
2. recupero dei nutrienti e, parallelamente, riduzione del carico sversato nei corpi ricettori.

Una stima quantitativa di questi benefici può essere condotta sulla base delle portate scaricate dai depuratori (ipotesi al 2016) e considerando che il riutilizzo agricolo avvenga per 6 mesi all'anno, mentre che il riutilizzo industriale venga praticato per l'intero anno. Per quanto riguarda la stima dei carichi di nutrienti, si può fare riferimento ai limiti che gli impianti saranno tenuti a rispettare (Regolamento Regionale n. 003 del 24 marzo 2006).

Il riutilizzo consentirebbe il recupero di circa 380 milioni di m³/a di acqua, corrispondenti al 46 % rispetto al volume annuo complessivamente trattato da tutti i 26 impianti considerati (compresi quelli per cui la pratica del riutilizzo è stata valutata “non sostenibile” e compreso l'impianto di Como Sud). Inoltre si eviterebbe lo sversamento diretto nei corpi idrici superficiali di un carico annuo di azoto e fosforo rispettivamente pari a 3.851 tN/a e 383 tP/a, che corrispondono al 46% del carico totale.

14.7 ASPETTI ECONOMICI

Per quanto riguarda gli **aspetti economici**, per gli interventi sugli impianti di depurazione, si può fare riferimento a quanto previsto nel PTUA, infatti, come più volte segnalato, nel caso di riutilizzo indiretto in agricoltura degli effluenti, sostanzialmente non saranno richiesti interventi diversi da quelli da mettere in atto per il rispetto dei limiti di qualità per scarico in acque superficiali.

L'investimento per la depurazione (Mil. €), relativamente all'area di interesse, è stato così stimato: 600 (per l'area idrografica Lambro) + 8 (Olona Meridionale) + 622 (Olona-Lambro meridionale), per un totale di 1.230 Mil. €; di questi, però, 535 sono stati previsti per l'ATO Città di Milano. Potendosi oggi ritenere gli interventi su Milano già conclusi, rimarrebbero interventi da eseguire per 695 Mil. €.

Per quanto concerne le opere richieste per consentire il riuso irriguo degli effluenti dei depuratori dove già oggi non venga praticato, il dimensionamento di massima delle condotte per il recapito degli scarichi ai possibili nuovi ricettori ha consentito di valutare i costi presunti di investimento in circa 10,6 Mil. €.

Come si può vedere confrontando gli investimenti complessivi già previsti per l'attuazione delle previsioni del PTUA e gli interventi previsti per la diversione degli scarichi al fine di consentire il riutilizzo agricolo, questi ultimi risultano di entità trascurabile. Pertanto questi investimenti potrebbero rientrare nella pianificazione senza introdurre variazioni significative.

14.8 CONCLUSIONI

In sintesi, il riutilizzo degli effluenti della maggior parte dei depuratori nell'area di studio può ritenersi una pratica decisamente fattibile (come peraltro dimostrano le iniziative già oggi in atto). Si otterrebbero infatti importanti vantaggi (in termini di recupero di risorsa e “scarico evitato”) a fronte di interventi poco onerosi (rispetto all'adeguamento degli impianti comunque previsto nel PTUA). Chiaramente, la pratica del riutilizzo va in ogni caso condotta adottando appositi piani di monitoraggio su acque, suoli e colture per verificare gli effetti (soprattutto a lungo termine), potendo così garantire che le operazioni avvengano nel pieno rispetto dell'ambiente e senza rischi per la salute dell'uomo.

BIBLIOGRAFIA

SEZIONE 1

ASPETTI METODOLOGICI

PARTE I

ARPA (2004): *Formulazione di criteri e proposte sull'identificazione di ulteriori aree sensibili rispetto a quelle designate dal D. Lgs. 152/99 e s.m.i. e sulle strategie da perseguire al fine di rispettare la normativa europea sul controllo dei carichi di nutrienti nel complesso delle aree sensibili e nei relativi bacini drenanti, comprese le aree drenanti direttamente nel fiume Po* – Sezione di Ingegneria Sanitaria-Ambientale. Coordinatore: Prof. Ing. Carlo Collivignarelli.

Avezzù F., Collivignarelli C., Riganti V. (2003): *La gestione delle acque di scarico industriali – Aspetti normativi, adempimenti amministrativi, pre-trattamenti presso l'azienda, collettamento, problematiche degli impianti centralizzati* – Ed. Il Sole 24 Ore.

Collivignarelli C., Bertanza G. (2005): *Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane.*

Comitato per la vigilanza sull'uso delle risorse idriche (2003): *Lo stato dei servizi idrici – Anno 2002 – Secondo rapporto sulle ricognizioni disponibili al 31/12/2002, sulle opere di adduzione, distribuzione, fognatura e depurazione* – Roma.

IRER (2007): *Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione* – Milano, maggio.

ISTAT (2004): *La depurazione delle acque reflue urbane in Italia – Anno 1999.*

ISTAT (2006): *Il sistema di indagini sulle acque – Anno 2005.*

Regione Lombardia (2006): *Programma di tutela ed uso delle acque* – Milano, marzo.

PARTE II

AA.VV (2003): *Aspetti tecnico-economici connessi al riuso delle acque reflue.* Seminario Federgasacqua sul Riuso delle acque reflue, Palermo 7 novembre.

AGAC (1992): *Quaderno tecnico n. 5 “I principali microrganismi filamentosi del fango attivo. Caratteristiche ecologiche e metodi di identificazione”.*

Al-Shahwani S. M., Horan N. J. (1991): *The use of Protozoa to indicate changes in the performance of activated sludge plants.* Wat. Res. 25, 633-638.

-
- Albertazzi B. (2005):** *La normativa comunitaria e nazionale in materia di sostanze pericolose e prioritarie negli scarichi: dalla direttiva-quadro al D.M. 367/2003*, IA-Ingegneria Ambientale, anno XXXIV, n°10 ottobre, 535-537.
- Amann R. I., Ludwig W., Schleifer K. H. (1995):** *Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation*. Microbiol. Rev., 59 (1), 143-169.
- Amann R., Lemmer H., Wagner M. (1998):** *Monitoring the community structure of wastewater treatment plants: a comparison of old and new techniques*. FEMS Microbial Ecology, 25, 205-215.
- Andreottola G., Foladori P., Gelmini A., Ziglio G. (2001):** *Respirometria applicata alla depurazione delle acque – principi e metodi*, Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, Collana scientifico-divulgativa, Monografia 1.
- Andreottola G., Baldassarre L., Collivignarelli C., Pedrazzani R., Principi P., Sorlini C., Ziglio G. (2002):** *A comparison among different methods for evaluating the biomass activity in activated sludge systems: preliminary results*. Water Science and Technology, 46 (1-2), 413-417.
- Anselmi M., Scandella A., Avezzù F. (1998):** *Role and behaviour of potassium for biological phosphorous removal in sequencing batch reactor*. AWT98, Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse, Milano, 14-16 settembre.
- ASCE American Society of Civil Engineers (1993):** *Measurement of oxygen transfer in clean water*.
- Bach H.- J., Tomanova J., Schloter M., Munch J. C. (2002):** *Enumeration of total bacteria and bacteria with genes for proteolytic activity in pure cultures and in environmental samples by quantitative PCR mediated amplification*. Journal of Microbiological Methods, 49, 235–245.
- Baroni P., Bertanza G., Collivignarelli C. Zambarda V. (2006):** *Process improvement and energy saving in a full scale wastewater treatment plant: air supply regulation by a fuzzy logic system*. Environmental Technology, Vol. 27. pp 733-746.
- Batts C. W., Burton F. L., Jones M. (1993):** *Demand Side Management Opportunities in the Wastewater Industry*. Water Environmental Federation, Proceedings of the 66th Annual Conference & Exposition.
- Beccari M., Passino R., Ramadori R. e Vismara R. (1993):** *Rimozione di azoto e fosforo dai liquami*. Editore Ulrico Hoepli Milano.
- Bertanza G., Collivignarelli C., Formentera V., Conio O. (1995):** *Efficienza della filtrazione nell'impianto di potabilizzazione Val Noci dell'AMGA di Genova. Nota II: aspetti idrodinamici*. IA-Ingegneria Ambientale, vol. 24, n. 3, marzo, 114-125
- Bertanza G., Pedrazzani R., Brunori L., Prandini F. (2003):** *Monitoraggio della biomassa in impianti a fanghi attivi mediante respirometria e misura dell'attività deidrogenasica: prove di laboratorio e a scala reale*. IA Ingegneria Ambientale, Vol. XXXII, n. 7-8, luglio-agosto, 378-385.

-
- Bertanza G. (2004):** *Integrazioni impiantistiche negli impianti di depurazione municipali per il riutilizzo delle acque reflue*. Atti della 26a Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale Il riutilizzo delle acque reflue: aspetti impiantistici e gestionali, Verona, 16 aprile.
- Bertanza G. and Collivignarelli C. (2004):** *Criteria for assessing liquid waste treatability in municipal wastewater treatment plants*. In: Proceedings of ISWA World Environment Congress and Exhibition, Rome, October 17-21.
- Bertanza G., Collivignarelli C. (2006):** *Le verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione della depurazione delle acque di scarico urbane*. Collana ambiente, vol. 28, ISSN 1121-8215, CIPA ed., Milano.
- Bertanza G., Collivignarelli M. C., Zanaboni S. (2006):** *Sinergie tra attività di ricerca e procedure gestionali in una piattaforma polifunzionale di trattamento rifiuti*. RS-Rifiuti Soli, anno XX, n. 3, maggio-giugno.
- Bertanza G., Collivignarelli C. (2007):** *Valutazione della trattabilità di rifiuti liquidi in impianti di depurazione municipali*. IA-Ingegneria Ambientale vol. XXXVI n. 6 giugno 2007.
- Blackall L. L., Harbers A. E., Greenfield P. F., Hayward A. C. (1991):** *Activated sludge foams: effects of environmental variables on organic growth and foam formation*. Environ. Technol., 12, 241-248.
- Bonomo L., Cacciari E., Malpei F. (1996):** *Sistemi di aerazione: sviluppi tecnologici, verifiche e collaudi* - Atti del XLIV Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria, Milano, 26 febbraio-1 marzo, IV.
- Bressi G., Ragazzi M. (1991):** *Alternative di trattamento e di smaltimento dei fanghi*. In *Trattamento e smaltimento dei fanghi*. Istituto per l'Ambiente, Milano, monografia n. 5, 37-65.
- Brown L., Rhead M.M., Hill D. (1984):** *The Use of Bromophenol Blue as a Tracer in Sewage Works*. Water Research, 18, 1083-1087.
- Cabrero A., Fernandez S., Miranda F., Garcia J. (1998):** *Effects of copper and zinc on the activated sludge bacteria growth kinetics*. Wat. Res. 32(5), 1355-1362.
- Cadoret A., Conrad A., Block J.-C. (2002):** *Availability of low and high molecular weight substrates to extracellular enzymes in whole and dispersed activated sludges*. Enzyme and microbial technology 31, 179-186.
- Canziani R. (1990):** *Trattamento delle acque di rifiuto*. Istituto per l'Ambiente, Milano.
- Chipasa, K.B. (2003):** *Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system*. Waste Management, 23, 135-143.
- Collivignarelli C., Urbini G. (1990):** *Trattamento a fanghi attivi - 2. Verifica di funzionamento - parte a* - in "Trattamento delle acque di rifiuto" a cura di R. Canziani, Seminario di studio, Istituto per l'Ambiente, Milano, 12-16 novembre, 127-143.
- Collivignarelli C., Bertanza G., Bina S. (1995):** *La verifica idrodinamica nel trattamento delle acque - Basi teoriche, procedure di applicazione, esempi*. Volume 8 della Collana Ambiente, ed. CIPA, Milano, ISSN 1121-8215.

-
- Collivignarelli C., Riganti V. e Pergetti M. (2000):** *La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico*. Ed. Il Sole 24 Ore, ISBN 88-324-4047-4, pp.228.
- Colombo (2003):** *Manuale dell'ingegnere*. 84° edizione – Ed. Hoepli.
- Curds C. R. and Cockburn A. (1970):** *Protozoa in biological sewage-treatment processes. II. Protozoa as indicators in the activated-sludge process*. *Wat. Res.*, 4, 237-249.
- Dacarro C., Panzarasa C., Pedrazzani R. (1997):** *Monitoraggio del processo mediante indagini microbiologiche*. Seminario di Studio “La gestione e l’upgrading degli impianti a fanghi attivi”, Università di Brescia (4 – 5 dicembre 1997).
- Dalzell J. B., Christofi N. (2002):** *An ATP luminescence method for direct toxicity assessment of pollutants impacting on the activated sewage sludge process*. *Wat. Res.*, 36, 1493-1502.
- De Jong P., Kramer J.F., Slotema W.F., Third K.A. (2005):** *Exploratory study for wastewater treatment techniques and the European water framework directive*. STOWA, Utrecht, rapport n. 34.
- Dick R. Ewing (1968):** *Evaluation of activated sludge thickening theories*. *Journal of the sanitary engineering*, Dec.
- Drury D.F., Wheeler D.C. (1982):** *Application of a Serratia Marcescens Bacteriophage as a New Microbial Tracer in Aqueous Environments*. *Journal of Applied Bacteriology*, 53, 137-142.
- Drusiani R. (2003):** *Impatto tecnico-economico della pratica del riutilizzo sulla gestione degli impianti*. Atti della 23° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale Il riutilizzo delle acque reflue: risparmio idrico e riduzione dell’impatto sull’ambiente, Cremona, 20 novembre.
- Eckenfelder, W.W., Musterman, J.L. (1995):** *Activated sludge treatment of industrial wastewater*. Technomic Publishing Company, Lancaster.
- Eckenfelder, W.W. Jr (2000):** *Industrial water pollution control*. Third Edition, McGraw-Hill ed.
- EPA (1983):** *Development of standard procedures for evaluating oxygen transfer devices*. EPA, 600/2-83-102, october.
- Estéban G., Tellez C., Bautista L.M. (1991):** *Dynamics of Ciliated Protozoa communities in activated-sludge processes*. *Wat. Res.* 25, 967-972.
- Féray C., Volat B., Degrange V., Clays-Josserand A., Montuelle B. (1999):** *Assessment of three methods for detection and quantification of nitrite-oxidizing bacteria and Nitrobacter in freshwater sediments (MPN-PCR, MPN-Griess, immunofluorescence)*. *Microbial Ecology*, 37, 208-217.
- Forney L. J., Liu T., Guckert J. B., Kumagai Y., Namkung E., Nishihara T., Larson D.D. A. and R. J. (2001):** *Structure of Microbial Communities in Activated Sludge: Potential Implications for Assessing the Biodegradability of Chemicals*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 49, 40-53.

-
- Gruppo di Lavoro Gestione Impianti di Depurazione (1999):** *La gestione degli impianti di depurazione –Volume 2 “Monitoraggio”*. Ed. C.L.U.B., Brescia.
- Hall (1983):** *Flow modelling and mixing in anaerobic sludge digesters*. Status Report, Environment Canada, Waste Water Technology Center, Environment Canada, Burlington, Ontario, CAN.
- Hongwei Y., Zhanpeng J., Shaoqi S., Tang W.Z. (2002):** *INT–dehydrogenase activity test for assessing anaerobic biodegradability of organic compounds*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53, 416-421.
- Horan N.J., Parr J., Naylor P.J. (1991):** *Evaluation of Tracers for the Determination of the Mixing Characteristics of Activated Sludge Reactors*. *Environmental Technology*, 12, 603-608.
- IPLA (1992):** *Metodi di analisi del compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche*. Collana Ambiente, 6. Regione Piemonte, 101-104.
- IRSA –CNR (1983):** *Metodi analitici i fanghi. Volume 2, parametri biochimici e biologici*. Quaderno n. 64, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- IRSA –CNR (1984):** *Metodi analitici per i fanghi. Volume 2, parametri tecnologici*. Quaderno n. 64, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- IRSA –CNR (1994):** *Metodi analitici per le acque*. Quaderno n. 100, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- IRSA-CNR (1999):** *Il problema del bulking filamentoso e delle schiume biologiche negli impianti a fanghi attivati*. Quaderni, n. 110. IRSA-CNR, Roma.
- Jenkins D., Richard M. G., Daigger G. T. (1986):** *Manual of the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. Water Research Commission, Pretoria, SA.
- Jimenez B., Noyola A., Capdeville B., Roustan M., Faup G. (1988):** *Dextran blue colorant as a reliable tracer in submerged filters*. *Wat. Res.*, 22, 10, 1253-1257.
- Karvelas, M., Katsoyiannis, A., Samara, M. (2003):** *Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process*. *Chemosphere*, 53, 1201-1210.
- Kayser R. (1969):** *Comparison of aeration efficiency under process conditions - Advances in Water Pollution Research*. Proceeding of the 4th International Conference, Prague.
- Lapara T. M., Alleman J. E. (1999):** *Thermophilic aerobic biological wastewater treatment*. *Water Research*, vol. 33, 895- 908.
- Lazarova V., Manem J. (1995):** *Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment*. *Wat. Res.*, 29, (10), 2227-2245.
- Levenspiel O. (1962):** *Chemical Reaction Engineering*. 2nd Edition - John Wiley & Sons, New York.
- Madoni P. (1988):** *I protozoi ciliati nel controllo di efficienza dei fanghi attivi*. Manuale di applicazione. Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale.

-
- Madoni P. (1994a):** *La microfauna nell'analisi di qualità biologica dei fanghi attivi. Indice biotico del fango: SBI. Manuale di applicazione.* A.G.A.C., Reggio Emilia-Università degli Studi di Parma.
- Madoni P. (1994b):** *A Sludge Biotic Index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis.* Wat. Res., 28 (1), 67-75.
- Madoni P. (1996):** *Atlante fotografico: Guida all'analisi microscopica del fango attivo.* A.G.A.C., Reggio Emilia.
- Mamais D., Jenkins D., Pitt P. (1993):** *A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater.* Wat. Res., 27(1).
- Manome A., Hui Z., Yoshiki T., Tohoru K., Ryuichiro K., Takayasu T. (2001):** *Application of gel microdroplet and flow cytometry techniques to selective enrichment of non-growing bacterial cells.* FEMS Microbiology Letters 197, 29-33.
- Massone A., Gernaey K., Rozzi A., Verstraete W. (1998):** *Measurement of ammonium concentration and nitrification rate by a new titrimetric biosensor.* WEF Research Journal 70, (3), 343-350.
- Metcalf & Eddy (2006):** *Ingegneria delle acque reflue – Trattamento e riuso.* IV edizione – Ed. McGraw-Hill.
- Mininni G., Tomei M.C., D. Marani, Braguglia C.M. (2006):** *Minimizzazione dei consumi energetici negli impianti di depurazione e riduzione dell'impatto sul clima.* RS-Rifiuti Solidi, XX, 1, pp. 31-39.
- Muslu Y. (1983):** *Dispersion in the inclined plane model of Trickling Filters.* Wat. Res., 17, 105-115.
- Olmo M. (1978):** *Un esempio di applicazione della teoria del flusso solido alla sedimentazione finale di un impianto a fanghi attivi.* Inquinamento.
- Olmo M. (1994):** *Verifiche di efficienza dei sedimentatori finali.* Atti del Corso di aggiornamento Miglioramento delle rese depurative e contenimento dell'impatto ambientale negli impianti di depurazione delle acque di scarico, C.R.A.-C.S.C.I., Pavia, 17-21 ottobre.
- ONORM M 5888:** *Sauerstoffzufür-Leistung von Belüftungseinrichtungen.* Bestimmung in Reinwasser.
- Picard C., Ponsonnet C., Paget E., Nesme X. and Simonet P. (1992):** *Detection and enumeration of bacteria in soil by direct DNA extraction and polymerase chain reaction.* Appl. Environ. Microbiol. 58, 2717-2722.
- Pike E.B., Bufton W.J., Gould D.J. (1969):** *The Use of Serratia Indica Var Niger Spores for Tracing Sewage Dispersal in the Sea.* Journal of Applied Bacteriology, 32, 206-216.
- Ranalli G., Terzi C., Bargna R., Sorlini C. (1991):** *Utilizzo di bioindicatori per il controllo di impianti aerobici e anaerobici.* Annali di Microbiologia, 41,59.
- Reed S.C., Murphy R.S. (1969):** *Low temperature activated sludge settling.* J. San. Eng. Div. 95, 747.

-
- Rozzi A., Massone A., Antonelli M. (1997a):** *A VFA measuring biosensor based on nitrate reduction.* Wat. Sci. Tech., 36, 6-7, 183-189.
- Rozzi A., Antonelli A., Massone A. (1997b):** *Caratterizzazione delle acque reflue e delle cinetiche di processo mediante biosensori respirometrici ed a titolazione.* 3° Seminario di Studio "La gestione e l'upgrading degli impianti a fanghi attivi", Università di Brescia (4 - 5 dicembre 1997).
- Smart P.L. (1985):** *Application of Fluorescent Dye Tracers in the Planning and Hydrological Appraisal of Sanitary Landfills.* Quarterly Journal of Engineering and Geology, 18, 275-286.
- Spigoni G.L., Davoli C., Davoli D. (1992):** *I principali microrganismi filamentosi del fango attivo. Caratteristiche ecologiche e metodi di identificazione.* Quaderno tecnico n. 5. A.G.A.C., Reggio Emilia.
- Stasinakis, A.S., Thomaidis, N.S., Mamais, D., Karivali, M., Lekkas, T.D. (2003):** *Chromium species behaviour in the activated sludge process.* Chemosphere, 52, 1059-1067.
- Sumarcz-Gorska J., Gernaey K., Demuinck C., Vanrolleghem P., Verstraete W. (1996):** *Nitrification monitoring in activated sludge by oxygen uptake rate (OUR) measurements.* Wat. Res., 30 (5), 1228-1236.
- Surucu G. A., Chian E. and Engelbrecht R.S. (1976):** *Aerobic thermophilic treatment of high strength wastewater.* J. Water Pollut. Control Fed., vol. 48, 669-679.
- U.I.D.A.:** *Consumi e recuperi energetici negli impianti di depurazione e di trattamento delle acque di fognatura.*
- Urbini G., Collivignarelli C., Olmo M. (1982):** *Nuovi metodi di verifica sperimentale della funzionalità di impianti a fanghi attivi: esempio applicato all'impianto di Cervia.* IA-Ingegneria Ambientale, Vol XI, n. 6, ottobre.
- Vismara R. e Butelli P. (2000):** *La gestione degli impianti a fanghi attivi.* Manuale operativo e guida alla diagnosi. Ed. C.I.P.A., Milano.
- Wimpenny J.W.T. (1977):** *Water Tracing in Treatment of Industrial Effluents.* Ed. Calley A.G., London, Hodder and Stoughton, 346-373
- Yu Z., Mohn W. W. (2001):** *Bioaugmentation with resin-acid-degrading bacteria enhances resin acid removal in sequencing batch reactors treating pulp mill effluents.* Wat. Res, 35 (4), 883-890.
- Zhang B., Yamamoto K. (1996):** *Seasonal change of microbial population and activities in a building wastewater reuse system using a membrane separation activated sludge process.* Wat. Sci. Tech., 34, (5-6), 295-302.
- Ziglio G., Andreottola G., Barbesti S., Boschetti G., Bruni L., Foladori P., Villa R. (2002):** *Assessment of activated sludge viability with flow cytometry.* Wat. Res, 36 , 460-468.

SEZIONE 2

CRITERI E MODALITÀ DI INTERVENTO PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI RECUPERI DI RISORSA (ACQUE E FANGHI) E LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI

PARTE I

Canziani R. (1990): *Trattamento delle acque di rifiuto*. Istituto per l'Ambiente, Milano.

Collivignarelli C., Bertanza G. (2005): *Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane*.

Collivignarelli C., Riganti V. e Pergetti M. (2000): *La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico*. Ed. Il Sole 24 Ore, ISBN 88-324-4047-4, pp.228.

Colombo (1997): *Manuale dell'ingegnere*. 83° edizione – Ed. Hoepli.

IRER (2007): *Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione* – Milano, maggio.

Metcalf & Eddy (2006): *Ingegneria delle acque reflue – Trattamento e riuso*. IV edizione – Ed. McGraw-Hill.

Passino R (1980): *La conduzione degli impianti di depurazione delle acque di scarico*. E.S.A.C. – Edizioni Scientifiche A. Cremonese. Roma.

Vismara R (1998): *Depurazione biologica – Teoria e processi*. 3° edizione – Ed. Hoepli, Milano.

PARTE II

Collivignarelli C., Bertanza G. (2005): *Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane*.

Fumagalli M., Porro D. (2004): *Applicazione dell'ossigeno puro alla soluzione di alcuni problemi gestionali*. In Corso di formazione "Impianti biologici di depurazione" Milano, 17-21 maggio.

PARTE III

Baroni P., Bertanza G., Collivignarelli C., Zambarda V. (2006): *Process improvement and energy saving in a full scale wastewater treatment plant: air supply regulation by a fuzzy logic system.* Environmental Technology, 27, pp. 733–746.

PARTE IV

AA. VV. (2004). Ottimizzazione del trattamento e smaltimento dei fanghi da depurazione delle acque reflue urbane, a cura di G. Bertanza, M. Ragazzi, R. Bianchi, Volume della Collana Ambiente, CIPA Ed., Milano.

Cecchi F. (2007). Produzione di energia da fonte rinnovabile e salvaguardia dell'ambiente: l'integrazione dei cicli di trattamento acque e rifiuti organici. In "Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati", atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.

Deleris S., Paul E., Audic J.M., Roustan M. (2000). Effect of ozonation on activated sludge solubilization and mineralization. Ozone Sci. Eng., 22, pp. 473–486.

Kamiya T., Hirotsuji J. (1998). New combined system of biological processes and intermittent ozonation for advanced wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 38, 8-9, pp. 145-153.

Liu Y. (2000). *Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge.* Wat. Res., 34, 7, pp. 2025-2030.

Liu Y. (2003). *Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process.* Chemosphere, 50, 1, pp. 1-7.

Liu Y., Tay J.H. (2001). *Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process.* Biotechnology Advances, 19, pp. 97-107.

Lotito V. (2000). *Sviluppi nelle tecniche di addensamento e disidratazione.* Atti del 52° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale-“Sviluppi nelle tecniche di depurazione delle acque reflue”, Politecnico di Milano, 16-19 Ottobre, pp. 593-612.

Low E.W., Chase H.A. (1998). *The use of chemical uncouplers for reducing biomass production during biodegradation.* Wat. Sci. Tech., 37, 4-5, pp. 399-402.

Low W.W., Chase H.A., Milner M.G. e Curtis T.P. (2000). *Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process.* Wat. Res., 34, 12, pp. 3204-3212.

IRER (2007): *Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione – Milano, maggio.*

Masotti L. (1996). *Depurazione delle acque, tecniche e impianti per il trattamento delle acque di rifiuto.* Ed. Calderini.

Mayhew M., Stephenson T. (1998). *Biomass yield reduction: is biochemical manipulation possible without affecting activated sludge process efficiency?.* Wat. Sci. Tech., 38, pp. 137-144.

Mazzoleni F. (2006). *Final treatment and reclamation of wastewater sludge by TOP wet oxidation.* ACHEMA 2006, 15-19 Maggio, Francoforte, Germania.

Neyens E., Baeyens J., Creemers C. (2003). *Alkaline thermal sludge hydrolysis.* Journal of Hazardous Materials B97, pp. 295-314.

Nuovo Colombo (2003). *Manuale dell'ingegnere*, 84a edizione volume 3. Ed. Hoepli, Milano.

Okey R.W., Stensel D.H., (1993). *Uncoupler and activated sludge-the impact on synthesis and respiration.* Toxicol. Environ. Chem., 40, pp. 235-254.

Pavan P., Cecchi F., Bolzonella D. (2007). *Digestione anaerobica e smaltimento di FOP: pre-trattamenti, soluzioni tecniche e bilanci di massa.* In "Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati", atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.

Piccinini S., Centemero M. (2007). *L'integrazione fra la digestione anaerobica e il compostaggio.* In "Biogas da frazioni organiche di rifiuti solidi urbani in miscela con altri substrati", atti del 62° Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, 7-10 maggio 2007, Milano.

Ragazzi M., Rada E.C., Cocarta D., Venturi M., Mallocci E., Bianchi M., Crescimanno A. (2006). *Combustione diretta e indiretta di fanghi.* In "La valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione"-Università di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Quaderni del Dipartimento, SAN 5.

Rocher M., Roux G., Goma G., Pilas-Begue A., Louvel L., Rols J.L. (2001). *Excess sludge reduction in activated sludge processes by integrating biomass alkaline heat treatment.* Wat. Sci. Tech., 44, pp. 437-444.

Saby S., Djafer M., Chen G.-H. (2003). *Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process.* Wat. Res., 37, 1, 11-20.

Saiki Y., Imabayashi S., Iwabuchi C., Kitagawa Y., Okumura Y., Kamamura H. (1999). *Solubilization of excess activated sludge by self-digestion.* Wat. Res., 33, 8, pp. 1894-1870.

Werther J., Ogada T. (1999). *Sewage sludge combustion.* Progress in Energy and Combustion Science, 25, pp. 55-116.

Xie M.L. (2002). *Utilization of 8 kinds of metabolic uncouplers to reduce excess sludge production from the activated sludge process.* Master Thesis, Beijing Technol. Busniss University.

Zubay G.L. (1998). *Biochemistry.* WCB Publisher, Boston.

PARTE V

IRER (2007): *Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione – Milano, maggio.*

ALLEGATO 1

**TABELLE “ORIGINALI”
RELATIVE AGLI IMPIANTI
OGGETTO DELL’INDAGINE**

Tab. 1 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto di depurazione 1.

Impianto 1			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	continua	continua	Continua
	COD	mg/L	settimanale	settimanale	Settimanale
	BOD ₅	mg/L	settimanale	settimanale	settimanale
	NH ₄ ⁺	mg/L	settimanale	settimanale	settimanale
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	settimanale	settimanale	settimanale
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	settimanale	settimanale	settimanale
	TKN	mg/L	quindicinale	quindicinale	quindicinale
	P _{totale}	mg/L	quindicinale	quindicinale	quindicinale
	SST	mg/L	settimanale	settimanale	settimanale
E. Coli	UFC/100mL				
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d	giornaliera		
	SST _{fanghi estratti}	g/L	settimanale		
	SSV _{fanghi estratti}	g/L	settimanale		
	Q _{supero}	m ³ /d	continua		
	SST _{fango ricircolo}	g/L	settimanale		
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	settimanale	settimanale	settimanale
	SSV	g/L	settimanale	settimanale	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	giornaliera	giornaliera	giornaliera
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	continua		
	O ₂ disciolto	mg/L	continua		
	SST	g/L	settimanale		
	SSV	g/L	settimanale		
	SVI	mL/g	settimanale		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno				
	Idrodinamica reattori		Per collaudo nuove fasi		
	Sedimentabilità dei fanghi		Settimanale		
	Consumo energia per fase		Mensile per consumo energia totale		
	Consumo reagenti per fase		Si utilizzano solo in disidratazione – Giornaliera		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi				
	OUR (Oxygen Uptake Rate)				
	AUR (Ammonia Uptake Rate)				
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)				
Altri parametri					

Tab. 2 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto di depurazione 2.

Impianto 2			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto (due ingr. Separati)	Uscita sedimentazione primaria (v. nota)	Uscita impianto
Monitoraggio acque (su medio composto 24 ore, tranne E.coli)	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	1 v/giorno		1 v/giorno
	COD	mg/L	1 v/giorno	1 v/giorno	1 v/giorno
	BOD ₅	mg/L	2 v/sett.	2 v/sett.	2 v/sett.
	NH ₄ ⁺	mg/L	3 v/sett	3 v/sett	1 v/giorno
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	3 v/sett	3 v/sett	1 v/giorno
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	3 v/sett	n.d.	1 v/giorno
	TKN	mg/L	3 v/sett.	3 v/sett.	1 v/giorno
	P _{totale}	mg/L	3 v/sett	3 v/sett	1 v/giorno
	SST	mg/L	1 v/giorno	1 v/giorno	1 v/giorno
E. Coli	UFC/100mL			2 v/sett.	
Monitoraggio fanghi (si intende nel comp. biologico)	Q _{fanghi estratti}	m ³ /d	1 v/giorno		
	SST _{fanghi estratti}	g/L	1 v/giorno		
	SSV _{fanghi estratti}	g/L	2 v/sett.		
	Q _{supero}	m ³ /d	1 v/giorno		
	SST _{fango ricircolo}	g/L	1 v/giorno		
Monitoraggi o fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	1 v/giorno	in continuo	1 v/giorno
	SSV	g/L		2 v/sett.	
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	1 v/giorno	1 v/giorno	1 v/giorno
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	in continuo		
	O ₂ disciolto	mg/L	in continuo		
	SST	g/L	1 v/giorno		
	SSV	g/L	2 v/sett.		
	SVI	mL/g	1 v/giorno		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		1 v/mese su media settimanale		
	Idrodinamica reattori		livello fanghi in sedimentazione (1 v/sett)		
	Sedimentabilità dei fanghi		1 v/giorno		
	Consumo energia per fase		1 v/mese a consuntivo		
	Consumo reagenti per fase		1 v/mese a consuntivo		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		non ancora attivata		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		n.d.		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		n.d.		
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)		n.d.		
Altri parametri					
nota: non esiste sedimentazione primaria – i controlli sono fatti all'ingresso della sezione biologica, a valle del sollevamento intermedio. In ingresso e allo scarico vengono controllati inoltre:					
Tensioattivi anion. e non ionici (1 v/sett.) – Oli e grassi totali (1 v/sett.) – Metalli pesanti (2 v./mese)					
Sul comp. biologico: analisi microfauna e indice biotico (2 v/mese). - Caratterizz. e conta filamentosi (2 v/mese)					
Su ingresso e uscita di ciascuna delle due sezioni di filtrazione a sabbia : SST (1 v/giorno) – P totale (2 v/sett.). Sul fango disidratato: metalli pesanti (1 v/mese)					

Tab. 3 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto di depurazione 3.

Impianto 3			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	In continuo	In continuo	In continuo
	COD	mg/L	giornaliera	giornaliera	giornaliera
	BOD ₅	mg/L	giornaliera	giornaliera	giornaliera
	NH ₄ ⁺	mg/L	Due volte giorno	giornaliera	Tre volte giorno
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1volta settimana	/	Tre volte giorno
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1volta settimana	/	Tre volte giorno
	TKN	mg/L	Tre volte settimana	Tre volte settimana	Tre volte settimana
	P _{totale}	mg/L	Tre volte settimana	Tre volte settimana	Tre volte settimana
	SST	mg/L	Tre volte settimana	Tre volte settimana	Tre volte settimana
	<i>E. Coli</i>	UFC/100mL	/	/	mensile
<i>Streptococchi, Coliformi, Salmonelle</i>	UFC/100mL	/	/	bimestrale	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q fanghi estratti	m ³ /d	In continuo	In continuo	In continuo
	SST fanghi estratti	g/L	/	settimanale	/
	SSV fanghi estratti	g/L	/	settimanale	/
	Q _{supero}	m ³ /d	/	In continuo	/
	SST fango ricircolo	g/L	/	settimanale	/
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	settimanale	settimanale	settimanale
	SSV	g/L	settimanale	settimanale	settimanale
	Q fango estratto	m ³ /d	In continuo	In continuo	In continuo
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	giornaliera		
	O ₂ disciolto	mg/L	Settimanale/giornaliera		
	SST	g/L	settimanale		
	SSV	g/L	settimanale		
	SVI	mL/g	Settimanale (volume fanghi due volte giorno)		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		semestrale		
	Idrodinamica reattori		/		
	Sedimentabilità dei fanghi		settimanale		
	Consumo energia per fase		giornaliera		
	Consumo reagenti per fase		giornaliera		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		COD, NH ₄ ⁺ , SST, O ₂ disciolto, temperatura (giornalieri), metalli bisettimanali, solventi quindicinali		
	OUR (<i>Oxygen Uptake Rate</i>)		Su alcuni rifiuti		
	AUR (<i>Ammonia Uptake Rate</i>)				
	NUR (<i>Nitrogen Uptake Rate</i>)				
Altri parametri					
Verifica semestrale delle emissioni al camino sezione chimico fisico trattamento rifiuti.					
Verifica trimestrale sui fanghi biologici in uscita dal reattore biologico impianto trattamento rifiuti per verificare la compatibilità con lo smaltimento in agricoltura.					
Controllo Umidità relativa e temperatura del media filtrante dei biofiltri a servizio dei vari comparti.					
Controllo trimestrale sul fango disidratato in uscita impianto di depurazione, con il controllo una volta all'anno di PCB e Diossine.					
Conducibilità Ingresso Uscita giornaliera.					

Tab. 4 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto di depurazione 4.

Impianto 4			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	In continuo		In continuo
	COD	mg/L	1/sett.		1/sett.
	BOD ₅	mg/L	1/sett.		1/sett.
	NH ₄ ⁺	mg/L	1/sett.		1/sett.
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	1/sett.		1/sett.
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	1/sett.		1/sett.
	TKN	mg/L	1/sett.		1/sett.
	P _{totale}	mg/L	1/sett.		1/sett.
	SST	mg/L	1/sett.		1/sett.
E. Coli	UFC/100mL	----		1/mese	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q _{fanghi-estratti ricircolo}	m ³ /d	In continuo x 3 linee		
	SST _{fanghi-estratti OX}	g/L	1/sett. + sonda in continuo x 3 linee		
	SSV _{fanghi-estratti OX}	g/L	----		
	Q _{supero}	m ³ /d	In continuo x 3 linee		
	SST _{fango ricircolo}	g/L	1/sett. + sonda in continuo x 3 linee		
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L-%	1/sett. X 3 ispers.	1/sett. X 3 digest.	1/sett. X 2 centrif.
	SSV	g/L-%	1/sett. X 3 ispers	1/sett. X 3 digest.	----
	Q _{fango estratto}	m ³ /d	In continuo	----	In continuo
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	In continuo		
	O ₂ disciolto	mg/L	In continuo x 10 sonde totali		
	SST	g/L	1/sett. + sonda in continuo x 3 linee		
	SSV	g/L	----		
	SVI	mL/g	1/sett.		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		-----		
	Idrodinamica reattori		?		
	Sedimentabilità dei fanghi		1/sett.		
	Consumo energia per fase		In fase di studio		
	Consumo reagenti per fase		FeCl ₃ = 20 mc settimana circa		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		In fase di studio		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		-----		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		-----		
NUR (Nitrogen Uptake Rate)		-----			
Altri parametri					

Tab. 5 – Piano di monitoraggio e verifica in atto presso l'impianto di depurazione 5.

Impianto 5			Controlli routinari (n° analisi/giorno-settimana-mese)		
			Ingresso impianto	Uscita sedimentazione primaria	Uscita impianto
Monitoraggio acque	Parametri	u.m.			
	Q	m ³ /d	Continua	-	Continua
	COD	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	BOD ₅	mg/L	Settimanale	-	Settimanale
	NH ₄ ⁺	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	N-NO ₃ ⁻	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	N-NO ₂ ⁻	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	TKN	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	P _{totale}	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
	SST	mg/L	Giornaliero	-	Giornaliero
E. Coli	UFC/100mL	Semestrale	-	Semestrale	
Monitoraggio fanghi (linea acque)	Q fanghi estratti	m ³ /d	-	-	-
	SST fanghi estratti	g/L	Bi-settimanale	-	-
	SSV fanghi estratti	g/L	-	-	-
	Q _{supero}	m ³ /d	-	-	-
	SST fango ricircolo	g/L	Bi- settimanale	-	-
Monitoraggio fanghi (linea fanghi)	Parametri	u.m.	Uscita ispessimento	Uscita digestione	Uscita disidratazione
	SST	g/L	Bi-settimanale	-	-
	SSV	g/L	-	-	-
	Q fango estratto	m ³ /d	Bi-settimanale	-	-
Monitoraggio processo	Parametro	u.m.	Comparto biologico		
	Temperatura	°C	Bi-settimanale		
	O ₂ disciolto	mg/L	-		
	SST	g/L	Bi-settimanale		
	SSV	g/L	-		
	SVI	mL/g	Bi-settimanale		
Ulteriori verifiche/rilevazioni	Capacità fornitura ossigeno		-		
	Idrodinamica reattori		-		
	Sedimentabilità dei fanghi		Bi-settimanale		
	Consumo energia per fase		Giornaliera		
	Consumo reagenti per fase		-		
	Stazione pre-trattamento rifiuti liquidi		-		
	OUR (Oxygen Uptake Rate)		-		
	AUR (Ammonia Uptake Rate)		-		
	NUR (Nitrogen Uptake Rate)		-		
Altri parametri					

Finito di stampare nel mese di luglio 2009
presso la Tipolitografia CSR
Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma
Tel. 06.4182113 - Fax 06.4506671