

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

DICAM

TESI DI LAUREA

IN INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE

**CONTROLLO D'EFFICIENZA GESTIONALE ATTRAVERSO INDICI
DI FUNZIONALITA' DEL SERVIZIO DI DEPURAZIONE URBANA.**

L'IMPIANTO DI PONTE METAURO (FANO)

CANDIDATO

LETIZIA PAOLINI

RELATORE:

Chiar.mo Prof.

MAURIZIO MANCINI

Anno Accademico 2010/11

Sessione I

Garantire la disponibilità di acqua per i vari usi (principalmente potabile, agricolo ed industriale) è condizione necessaria a qualsivoglia sviluppo. Inoltre, sempre maggiore importanza vanno assumendo le funzioni “ambientali” della risorsa idrica, quali la salvaguardia e la valorizzazione del paesaggio o la conservazione di ecosistemi e di biodiversità.

La risorsa idrica sta diventando una questione “sociale”: si sta diffondendo una nuova coscienza del fatto che l’acqua, e più precisamente l’acqua utilizzabile per fini umani, è una risorsa limitata e la sua disponibilità viene sempre più percepita come diritto che deve continuare ad essere salvaguardato. In questo senso, garantire il mantenimento di una buona qualità, attraverso corretti sistemi di gestione, e associarne la disponibilità con le richieste per i vari usi diviene condizione indispensabile allo sviluppo sostenibile.

Questo lavoro prende in esame la gestione complessiva dell’impianto di depurazione a potenzialità maggiore del Comune di Fano: attraverso l’applicazione di criteri e indici di funzionalità, si perviene ad un giudizio di “funzionalità” e di salute generale dell’impianto stesso e tale valutazione d’efficienza è utilizzata come approccio iniziale per la definizione dei criteri di ottimizzazione della gestione dell’impianto, dalla riduzione dei consumi energetici alle alternative di riutilizzo delle acque depurate e dei fanghi trattati.

INDICE

PREMESSA	6
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO	8
1.1 IMPIANTI DI DEPURAZIONE SUL TERRITORIO REGIONALE	9
1.2 INQUADRAMENTO NORMATIVO	13
1.3 DIRETTIVE COMUNITARIE	14
1.4 NORMATIVA NAZIONALE	17
1.5 NORMATIVA REGIONALE	18
1.6 IL PIANO TUTELA ACQUE DELLA REGIONE MARCHE	21
2 GLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE GESTITI DA ASET	24
2.1 L'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DEL COMUNE DI FANO.....	25
2.2 DATI DI PROGETTO	28
3 SCHEMA FUNZIONALE DELL'IMPIANTO: LINEA ACQUE	30
3.1 FASE DI PRETRATTAMENTO.....	30
3.2 DENITRIFICAZIONE.....	30
3.3 NITRIFICAZIONE.....	32
3.4 SEDIMENTAZIONE	33
3.5 DISINFEZIONE	35
4 SCHEMA FUNZIONALE DELL'IMPIANTO: LINEA FANGHI	42
4.1 POZZETTO PARTITORE FANGHI - DIGESTORE - ISPESSITORE –DISIDRATAZIONE	42
5 LA GESTIONE TECNICA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE: MONITORAGGIO, MANUTANZIONE E CONTROLLO	48
5.1 IL PIANO DI MONITORAGGIO.....	49
5.2 ESEMPIO DI CONTROLLO QUOTIDIANO DELL'IMPIANTO: MONITORAGGIO "ROUTINARIO".....	53
5.3 IL CAMPIONAMENTO: MODALITÀ E FREQUENZA	59
5.4 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE: MONITORAGGIO DEL LIQUAME INFLUENTE	61
5.5 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE: PRETRATTAMENTI	64
5.6 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE : IL COMPARTO BIOLOGICO	65
5.7 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE: SEDIMENTAZIONE SECONDARIA	68
5.8 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE: TRATTAMENTI TERZIARI	69
5.9 CAMPIONAMENTO E ANALISI CHIMICO-FISICHE DEL FANGO CENTRIFUGATO IN USCITA:	72
5.10 CONTROLLO E PIANO GESTIONALE: ANALISI DELLE DISFUNZIONI.....	74
6 MONITORAGGIO E CONTROLLO A DISTANZA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	77
6.1 TELECONTROLLO	78
6.2 EFFICIENZA E FUNZIONALITÀ DELLA STRUMENTAZIONE ON-LINE: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL SISTEMA DI CONTROLLO A DISTANZA.....	79
7 ANALISI DEI PRINCIPALI PARAMETRI DI PROCESSO : CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI	86
7.1 INTRODUZIONE	86
7.2 PARAMETRI DI CONTROLLO DIRETTO	88
7.3 PARAMETRI DI CONTROLLO INDIRETTO	98
7.4 PARAMETRI DI REGOLAZIONE E VERIFICA	106
8 INDICI DI FUNZIONALITA' DELL'IMPIANTO	110
8.1 METODOLOGIA DI VALUTAZIONE: INDICATORI – INDICI – VALUTAZIONE:	111
8.2 INDICE DI EFFICIENZA DEPURATIVA DELL'IMPIANTO (D)	113
8.3 GESTIONE DEI FANGHI (F)	116
8.4 CONSUMO D'ENERGIA (E).....	119
8.5 CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)	121

8.6	COSTI (C).....	123
9	APPLICAZIONE DEGLI INDICI DI FUNZIONALITA' ALL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI PONTE METAURO DI FANO.....	126
9.1	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI: VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DEL COMUNE DI FANO	126
10	ANALISI DELL'EFFICIENZA DEPURATIVA.....	136
10.1	INDICE PARZIALE RELATIVO AL COD	138
10.2	INDICE PARZIALE RELATIVO AI SOLIDI SOSPESI	139
10.3	INDICE PARZIALE RELATIVO ALL'AZOTO	140
10.4	INDICE PARZIALE RELATIVO AL FOSFORO	141
10.5	INDICE PARZIALE RELATIVO AD ESCHERICHIA COLI	142
11	ANALISI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA.....	144
11.1	POSSIBILI ALTERNATIVE PER IL MIGLIORAMENTO ENERGETICO	146
11.2	ANALISI DELLA GESTIONE ENERGETICA: OTTIMIZZAZIONE DEI SISTEMI D'AERAZIONE.....	147
12	ANALISI DELLA FUNZIONALITA' DELL'IMPIANTO DAL PUNTO DI VISTA DELLA GESTIONE DEI FANGHI.....	150
12.1	VERIFICHE DI FUNZIONALITÀ PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLE FASI DI TRATTAMENTO ESISTENTI.....	151
13	RECUPERO DI MATERIA ED ENERGIA DAI FANGHI DI DEPURAZIONE.....	153
13.1	IL RIUSO IN AGRICOLTURA	153
13.2	ASPETTI NORMATIVI.....	155
13.3	SVILUPPI E ALTERNATIVE IMPIANTISTICHE: L'INTEGRAZIONE DEI CICLI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE E DEI RIFIUTI ORGANICI ATTRAVERSO LA CODIGESTIONE ANAEROBICA DEI FANGHI DI SUPERO E DELLE FRAZIONI ORGANICHE DEGLI RSU – FORSU- PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE	157
13.4	DATI SULLA RACCOLTA DIFFERENZIATA.....	159
13.5	CONCLUSIONI	161
14	RIUTILIZZO DELLE ACQUE IN USCITA DALL'IMPIANTO: RICICLO – RIUSO – RISPARMIO DELLA RISORSA IDRICA.....	164
14.1	ANALISI DEL CONSUMO IDRICO.....	164
14.2	ASPETTI NORMATIVI.....	168
14.3	RIUSO DELLE ACQUE REFLUE IN AGRICOLTURA: L'USO IRRIGUO	171
14.4	ANALISI DEI FATTORI DI RIUSO	174
14.5	CONCLUSIONI	176
15	CONCLUSIONI.....	177

PREMESSA

L'ottimizzazione degli utilizzi, l'equa distribuzione delle risorse ed il risparmio idrico da parte dei diversi soggetti interessati, non possono che essere conseguiti attraverso la programmazione di interventi sistematici, integrati nei diversi settori di utilizzazione della risorsa e finalizzati a prevenire situazioni di criticità imputabili all'indisponibilità della risorsa idrica o alla sua qualità.

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.

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.

Il contenuto di questo lavoro verte sull'analisi dei criteri per l'adeguamento, il miglioramento e la razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: si è preso come riferimento l'impianto di depurazione a maggiore potenzialità del Comune di Fano (PU) ubicato in località Ponte Metauro.

Il lavoro si è svolto attraverso numerosi sopralluoghi e contatti con i gestori, l'analisi di precedenti esperienze di ricerca, l'esame di materiale bibliografico, l'esame della

normativa nazionale vigente e del Piano di Tutela delle Acque redatto dalla Regione Marche.

Nello svolgimento della ricerca sono emersi diversi aspetti della depurazione delle acque che si è ritenuto importante approfondire: gli aspetti relativi alla verifica di funzionalità e caratterizzazione degli impianti, le procedure per il monitoraggio ed il controllo, l'ottimizzazione della gestione per il miglioramento dell'efficienza depurativa ed energetica degli impianti stessi.

Questo studio, nel suo insieme, può essere diviso in due parti:

- Nella prima parte, dopo una breve analisi sulla normativa riguardante le acque di scarico, si passa alla descrizione dell'impianto di depurazione in esame; di seguito sono approfonditi i criteri e le modalità operative per il controllo, il monitoraggio e l'analisi delle problematiche inerenti la gestione del depuratore.
- Nella seconda parte si passa alla definizione di metodologie e criteri per la definizione di indici di funzionalità, che rappresentano in forma sintetica ed immediata le condizioni di funzionamento e le prestazioni di un impianto, con particolare riferimento all'analisi dell'efficienza depurativa e al risparmio energetico: sono descritti in dettaglio i risultati del calcolo degli indici di funzionalità in riferimento al depuratore di Fano. Si affrontano poi, a carattere del tutto generale, diverse soluzioni per il riutilizzo delle acque depurate, per la riduzione del quantitativo di fanghi prodotti e per i possibili riutilizzi di materia ed energia.

Per la seconda parte del lavoro si è preso come riferimento lo studio avviato da ISPRA (ex APAT) in collaborazione con il Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria Ambientale dell'Università degli Studi di Brescia, dal titolo “L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzioni dei consumi energetici”, con particolare riferimento alla sezione riguardante la definizione degli indici di funzionalità e la successiva applicazione ad impianti “tipo”.

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO

Il territorio marchigiano confina a Ovest con la dorsale appenninica e ad Est con il mare Adriatico. Tutti i fiumi che lo attraversano sono perpendicolari alla costa e per questo caratterizzati da regime torrentizio (tempi di corrivazione brevi e trasporto di materiale considerevole, soprattutto a seguito di precipitazioni piovose). Gli insediamenti abitativi sono concentrati soprattutto sulla fascia costiera, come pure le attività industriali e orto-frutticole a conduzione intensiva. L'attività agricola tradizionale, quella di allevamento intensivo di bestiame (suinicolo, bovino e avicolo) e quella agrituristica, si sviluppano prevalentemente nella fascia collinare del territorio.

Gli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) della Regione Marche sono cinque e precisamente:

- ATO 1 Marche Nord Provincia Pesaro Urbino (PU)
- ATO 2 Marche Centro Provincia Ancona (AN)
- ATO 3 Marche Centro Provincia Macerata (MC)
- ATO 4 Marche Sud Alto Piceno -maceratese
- ATO 5 Marche Sud Provincia Ascoli Piceno (AP)

La Regione Marche è suddivisa in quattro province come riportato nel seguente prospetto, dove sono elencate da Nord verso Sud-dati ARPA Marche:

Province	Numero comuni	Abitanti	Disponibilità idrica
Pesaro Urbino	67	347.000	260 sorgenti e acque superficiali
Ancona	49	440.000	2-3 sorgenti e acque superficiali
Macerata	57	304.400	Sorgenti e subalveo
Ascoli Piceno	73	370.000	4 sorgenti
	246	1.461.000	

Tabella 1 Suddivisione territoriale della Regione Marche

Le acque della regione Marche provengono sia da sorgenti, che da pozzi di subalveo che da acque superficiali trattate. La situazione non è uniforme e si hanno differenze

nelle singole province. Nella provincia di Ancona prevale la distribuzione di acqua di sorgente, mentre nella provincia di Ascoli piceno è totale l'utilizzo di acqua di sorgente e peraltro di montagna.

Qualche volta nelle quattro province si ricorre a integrazioni dell'acqua di montagna con quella del subalveo e con quelle superficiali, soprattutto nei periodi e nelle zone di scarsa dotazione idrica - durante la stagione estiva e nelle zone di maggiore affluenza di turisti. Per quanto riguarda il prelievo, la potabilizzazione e l'immissione nella rete di distribuzione si riportano i dati regionali, aggiornati al 2008:

Regione Marche	Acqua prelevata	Acqua potabilizzata	Percentuale acqua potabilizzata	Acqua immessa nelle reti di distribuzione	Acqua erogata dalle reti di distribuzione
Volumi in migliaia di m ³	202.364	52.717	26,1	158.695	118.538

Tabella 2: Prelievo potabilizzazione e distribuzione dell'acqua (Fonte ISTAT, rilevazione sui servizi idrici)

Nella regione Marche, il quantitativo di acqua immessa in rete per abitante è mediamente poco più di 100 m³, al di sotto della media nazionale che ammonta ad un prelievo pro capite di circa 152 m³ (Fonte ISTAT, rilevazione sui servizi idrici).

1.1 Impianti di depurazione sul territorio regionale

Nelle Marche sono presenti 270 impianti di depurazione civile, ciò comporta una media di circa 5.000-6.000 abitanti per impianto che è decisamente bassa. Infatti sono molti gli impianti con potenzialità inferiore a 2.000 abitanti equivalenti, soprattutto nelle province di Ascoli P. e Pesaro Urbino. La popolazione servita dalla rete fognaria, a sua volta servita da impianto di trattamento finale varia in modo considerevole, oscillando dal 40 al 90% nei diversi bacini; i Comuni sprovvisti di sistema di depurazione sono relativamente pochi, si tratta di piccoli Comuni con popolazione spesso inferiore a 1000 abitanti e in rarissimi casi superiore a 2000. La distribuzione dei depuratori a seconda della loro potenzialità è riportata nella tabella che segue:

	Ancona	Pesaro	Macerata	Ascoli	Totale
<2000 AE	16	82	27	65	190
da 2000 a 10000 AE	10	22	11	8	51
da 10000 a 50000 AE	3	3	5	4	15
>50000 AE	5	2	3	4	14
TOTALE	34	109	46	81	270

Tabella 3 Elenco depuratori suddivisi per Provincia e potenzialità

La tipologia di trattamento prevalente è quella a fanghi attivi, esistono impianti a fitodepurazione (13), che trattano i reflui domestici di un numero limitato di abitanti equivalenti. Esistono due impianti di trattamento sul territorio marchigiano le cui acque reflue depurate vengono riutilizzate, come da documento istruttorio e “Decreto del Dirigente del Servizio Tutela Ambientale n. 22 del 23.12.03” allegati.

Sono in analisi la realizzazione di due progetti: uno da parte dell’ATO 5 e riguarda la costruzione di un impianto di depurazione, potenzialità di progetto superiore a 15000 A.E., provvisto di trattamento terziario a osmosi inversa per il riutilizzo dei reflui trattati, l’altro per il recupero di energia dalla digestione dei fanghi di depurazione.

Gli impianti di trattamento sono distribuiti uniformemente su tutto il territorio regionale, ma i reflui della maggior parte degli abitanti equivalenti - circa 80% - sono trattati in impianti di depurazione, a maggiore potenzialità, collocati in prossimità del litorale marchigiano, in una fascia territoriale di 10 chilometri dalla costa, come mostrato nella seguente cartografia - dati 2005:

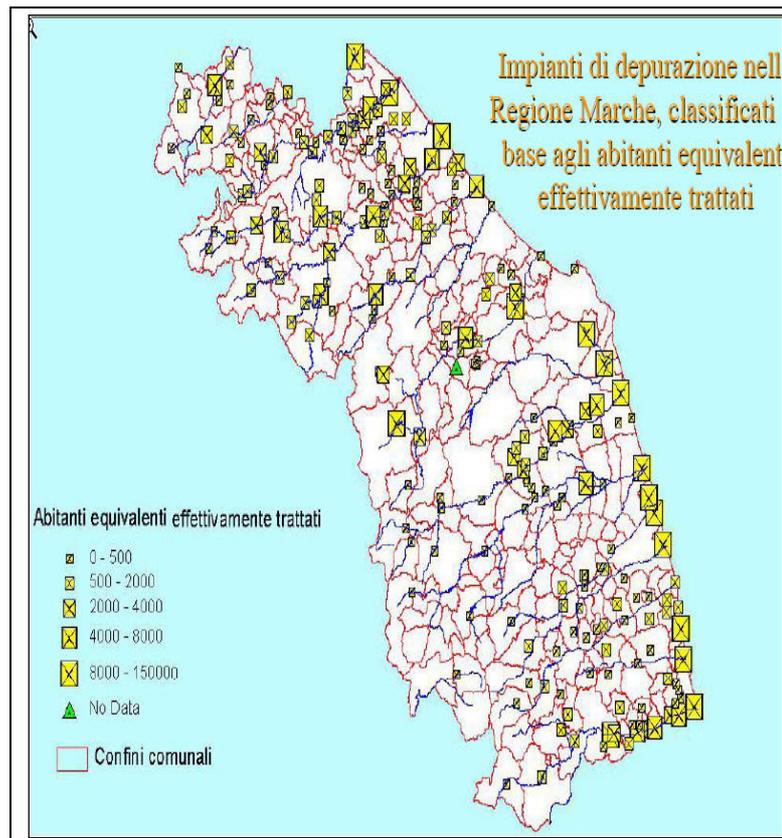


Figura 1 Impianti Regione Marche

In base ai dati ambientali sullo stato di qualità ambientale delle acque regionali eseguite dall'ARPAM - Relazione sullo stato dei fiumi 2009 - quasi tutti i corsi d'acqua della Regione presentano significativi problemi d'inquinamento: l'obiettivo al 2015 prevede che tutte le stazioni debbano raggiungere il buono stato ambientale o mantenere lo stato elevato. Sono 28 le stazioni che dovranno migliorare il loro stato passando da sufficiente a buono.

Il grafico sottostante, che riepiloga la situazione generale, mostra che 38 stazioni non hanno ancora raggiunto l'obiettivo previsto per il 2015 ma la situazione generale è in lento miglioramento.

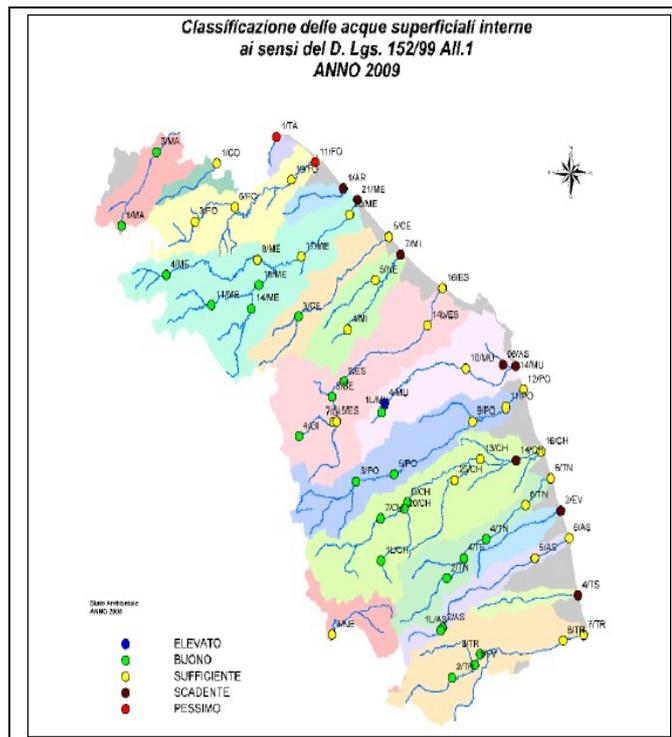


Figura 2 Stato delle acque superficiali regionali

Eppure la capacità di depurazione delle Marche, in termini di quota di popolazione allacciata agli impianti è superiore al 70%, migliore a quella nazionale che si attesta intorno al 63%. Tuttavia nei diversi bacini la quota degli abitanti serviti varia in modo considerevole oscillando tra il 40 e il 90%. Esistono comunque pochi comuni completamente sprovvisti di sistema di depurazione, con un numero di abitanti inferiore a 1000. Una soluzione per questi piccoli comuni può essere rappresentata dall'utilizzo di impianti di trattamento di acque reflue basati su sistemi naturali di rimozione degli inquinanti tramite l'impiego di essenze vegetali come la fitodepurazione.

Le aree sensibili del territorio regionale ricadono sul litorale Nord delle Marche fino a Pesaro, pertanto i depuratori insistenti in tali aree sono il depuratore di Gabicce Mare di 50000 AE e il depuratore di Pesaro di 80000 AE.

Nel seguente prospetto si riportano i dati relativi alla produzione dei fanghi dei depuratori regionali, ma tali dati sono incompleti e in fase di aggiornamento (dalla relazione "Gestione sostenibile risorse idriche" di ARPA Marche):

classe	Fango tal quale	Agricoltura		compostaggio		discarica		incenerimento		altro	
		a.e.	t/y	t/y	%	t/y	%	t/y	%	t/y	%
2000-10000	500					500					
10001-15000	650					650					
15001-100000	49798					48818	98				
> 100000											
totale											

Tabella 4 Produzione fanghi dei depuratori regionali

A livello regionale esiste la delibera n. 2557 del 07 giugno 1993 che regola il riutilizzo dei fanghi di depurazione, tuttavia, nella regione sembra prevalere lo smaltimento in discarica. In provincia di Ascoli P. esistono due impianti di compostaggio in cui vengono conferiti anche i fanghi di depurazione. Nel comune di Fano è stato approvato il progetto di un impianto di compostaggio all'interno della discarica comunale di Monteschiantello.

1.2 Inquadramento normativo

Una lungimirante ed organica gestione territoriale delle risorse idriche dovrebbe garantirne l'equilibrata e costante fruibilità nei diversi settori di impiego, evitando logiche di intervento a carattere settoriale e congiunturale generalmente conseguenti al manifestarsi di eventi critici che determinano, a loro volta, soluzioni improntate all'emergenza.

L'ottimizzazione degli utilizzi, l'equa distribuzione delle risorse ed il risparmio idrico da parte dei diversi soggetti interessati, non possono che essere conseguiti attraverso la programmazione di interventi sistematici, integrati nei diversi settori di utilizzazione della risorsa e finalizzati a prevenire situazioni di criticità imputabili all'indisponibilità della risorsa idrica o alla sua qualità.

Nella Regione Marche per lungo tempo la relativa abbondanza delle risorse idriche rispetto ai crescenti fabbisogni ha permesso di considerare questi ultimi come variabili indipendenti tra loro e rispetto alle risorse, così da regolare per via amministrativa le diverse richieste di concessione d'uso, mano a mano che venivano presentate, senza che fossero effettuati a scala di bacino preliminari bilanci idrici allo scopo di verificare l'effettiva disponibilità della risorsa.

Il sempre più “*idro-esigente*” sviluppo antropico ed i cambiamenti climatici dell’ultimo decennio hanno fatto emergere nuove necessità, spesso contrastanti tra loro: le risorse idriche non sembrano più sufficienti a soddisfare l’insieme dei fabbisogni, tutti gli usi delle acque appaiono collegati ed interdipendenti, l’inquinamento li condiziona e ne è a sua volta fortemente condizionato.

1.3 Direttive comunitarie

Come oggi universalmente riconosciuto, l’uso sostenibile delle risorse idriche si fonda sulla:

- sostenibilità ecologica: preservazione del capitale naturale per le generazioni future;
- sostenibilità economica: allocazione efficiente di una risorsa scarsa;
- sostenibilità sociale: garanzia dell’equa condivisione e dell’accessibilità per tutti di una risorsa fondamentale per la vita e la qualità dello sviluppo economico.

Negli ultimi anni la normativa comunitaria in materia di tutela delle acque ha compiuto un’importante evoluzione dettata dalla necessità di pervenire ad un adeguato sistema di governo delle acque capace di assicurare, da una parte, la prevenzione e la riduzione dell’inquinamento dei corpi idrici ed il loro eventuale risanamento e, dall’altra, di rendere disponibili le risorse per gli usi legittimi, sostenibili e durevoli in un’ottica di economicità e razionalità.

Mentre nelle precedenti direttive comunitarie in materia di acque, si perseguiva in prevalenza il rispetto di una serie di standard predefiniti - riferendosi sostanzialmente agli impatti antropici sulla risorsa ed imponendo al sistema socio-economico comportamenti e modalità cui adeguarsi - la Direttiva 2000/60/CE sottolinea l’esigenza di una complessa gestione quali-quantitativa della risorsa idrica, improntata alla sua salvaguardia ed alla coerente assunzione dei principi dello sviluppo sostenibile.

La Direttiva comunitaria 2000/60/CE è nota anche come “direttiva quadro” (Water Framework Directive – WFD) perché “istituisce un quadro per l’azione comunitaria in

materia di acque” (acque superficiali interne, acque sotterranee, acque di transizione e costiere).

Nel preambolo della Direttiva sono espressi due concetti basilari: il primo sottolinea l'importanza dell'acqua come risorsa fondamentale - “l'acqua non è un prodotto commerciale al pari degli altri, bensì un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale” - in quanto non solo essa soddisfa bisogni primari della popolazione ed è vitale per tutti gli ecosistemi, ma costituisce anche una chiave dello sviluppo in grado di produrre e sostenere il benessere - attraverso l'agricoltura, la pesca, la produzione di energia, l'industria, i trasporti e il turismo; il secondo concetto basilare evidenzia la necessità di intraprendere azioni di salvaguardia della risorsa idrica per evitarne il deterioramento sia qualitativo che quantitativo.

Ancora nel preambolo, si dichiara che “il successo della presente direttiva dipende da una stretta collaborazione e da un'azione coerente a livello locale, all'interno della Comunità tra gli Stati membri, oltre che dall'informazione, consultazione e partecipazione dell'opinione pubblica, compresi gli utenti”. Questa collaborazione a vari livelli, durante tutte le fasi di attuazione della direttiva, è ritenuta fondamentale per garantire che l'intero processo si svolga in modo efficace e trasparente.

In sintesi la direttiva si pone l'obiettivo di prevenire e ridurre l'inquinamento delle acque, promuoverne l'utilizzo sostenibile e garantirne la gestione integrata a livello di distretto idrografico. Il distretto idrografico costituisce l'unità territoriale di riferimento, definito dalla direttiva come “area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere”. Sulla base della direttiva spetta agli Stati membri l'individuazione dei bacini idrografici, la designazione dell'autorità competente, l'analisi delle sue caratteristiche, l'esame dell'impatto delle attività umane sulle acque, l'analisi economica dell'utilizzo idrico, l'individuazione di tutti i corpi idrici utilizzati per l'estrazione di acque destinate al consumo umano che forniscono oltre 10 m³ al giorno o servono più di 50 persone.

Per quanto riguarda la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento la direttiva individua obiettivi specifici di qualità, fissando al 2015 la scadenza per il loro

conseguimento. In particolare agli Stati Membri spetta, attraverso l'adozione dei piani di gestione e di un programma di misure a livello di distretto idrografico:

- a) impedire il deterioramento, migliorare e ripristinare le condizioni dei corpi idrici superficiali in modo che raggiungano un buono stato chimico ed ecologico;
- b) ridurre l'inquinamento dovuto agli scarichi e alle emissioni di sostanze;
- c) proteggere, migliorare e ripristinare le condizioni delle acque sotterranee, evitarne l'inquinamento e il deterioramento e garantire un equilibrio fra estrazione e ravvenamento;
- d) preservare le aree protette.

Su questo aspetto, il quadro normativo della Direttiva 2000/60/CE viene integrato dalle disposizioni della Direttiva 2006/118/CE - "Sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento"- che stabilisce una serie di nuovi limiti massimi di inquinamento dei corpi idrici sotterranei e maggiori controlli sulle "tendenze" di salute. Nello specifico, vengono forniti i criteri per valutare il buono stato chimico, per individuare e invertire le tendenze significative e durature all'aumento dell'inquinamento e per prevenire o limitare le immissioni di inquinanti.

L'uso sostenibile della risorsa idrica viene infine garantito prevedendo che a partire dal 2010 gli Stati Membri adottino politiche dei prezzi in grado di favorire il recupero dei costi dei servizi idrici (inclusi i costi ambientali) e incentivare i consumatori all'uso efficiente delle risorse idriche.

In sintesi, la Direttiva 2000/60/CE rappresenta il "contesto di riferimento" per la messa a punto dei piani regionali, non solo dal punto di vista strettamente normativo, ma anche per la fondamentale valenza metodologica dei criteri da essa indicati per il raggiungimento degli obiettivi ambientali.

1.4 Normativa Nazionale

La Direttiva quadro sulle acque è stata formalmente recepita a livello nazionale dal **D.Lgs. 152/2006 “Norme in materia ambientale” parte terza “.**

Il Decreto, che costituisce il Testo Unico in materia ambientale, abroga e quindi sostituisce i precedenti “pilastri” normativi del settore acqua, rappresentati dalla L. 183/89, dalla L. n. 36/94. e dal D.Lgs n.152/99. Il dato più rilevante del percorso normativo nazionale è il fatto che oggi la politica dell'acqua non è più considerata parte a sé stante, ma è integrata sempre più nella politica dell'ambiente.

Dunque il D.Lgs. 152 rappresenta il quadro generale in cui definire la pianificazione degli obiettivi di qualità delle risorse, esplicitandone la valenza ecosistemica e fornendo indicazioni e strumenti per orientare la gestione verso la sostenibilità.

Ne consegue che il “bene acqua” e la sua disciplina sono andate ad incidere trasversalmente su molteplici settori fungendo da catalizzatori delle politiche connesse, così da diventare sempre più un'invariante del sistema economico e sociale. E' in tale contesto che s'inserisce il D.Lgs. 152, che ha come obiettivo primario “la promozione dei livelli di qualità della vita, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali” - art. 2 comma 1.

Relativamente alla parte terza - sezione 2 “*Tutela delle acque dall'inquinamento*” - i punti salienti del D.lgs 152/06 possono essere così riassunti:

a) una politica di risanamento e di prevenzione basata sugli obiettivi di qualità dei corpi idrici ricettori e delle acque a specifica destinazione; in particolare entro il 22 dicembre 2015 è necessario che:

- sia mantenuto o raggiunto, per i corpi idrici significativi superficiali e sotterranei, l'obiettivo di qualità ambientale corrispondente allo stato di “buono”.
- sia mantenuto, ove già esistente, lo stato di qualità ambientale “elevato”, come definito nell'Allegato 1 alla parte terza del D. Lgs. n. 152/06;

- siano mantenuti o raggiunti, per i copri idrici a specifica destinazione di cui all'art. 79 gli obiettivi di qualità per specifica destinazione di cui all'Allegato 2 alla parte terza del D. Lgs. n. 152/06, salvi i termini di adempimento previsti dalla normativa vigente;
- b) una politica di tutela delle acque che integri gli aspetti qualitativi con quelli quantitativi, attraverso una pianificazione delle utilizzazioni idriche volta ad evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse ed a consentire un consumo idrico sostenibile;
- c) una maggiore tutela della quantità delle risorse idriche, attraverso l'individuazione di misure volte al risparmio, al riutilizzo ed al riciclo delle acque;
- d) il potenziamento delle reti fognarie e degli impianti di trattamento dei reflui provenienti da agglomerati urbani;
- e) la disciplina di tutti gli scarichi, in funzione del rispetto degli obiettivi di qualità dei corpi idrici, che devono comunque rispettare i valori limite previsti nell'Allegato 5 alla parte terza del D. Lgs. n. 152/06;
- f) una tutela più incisiva delle acque sotterranee attraverso il divieto, salvo deroghe tassativamente previste, di scarico diretto sul suolo, nelle acque sotterranee e nel sottosuolo;
- g) la previsione di misure specifiche per la salvaguardia di aree che richiedono una particolare tutela, in quanto soggette a rischio di eutrofizzazione (aree sensibili), ovvero esposte a rischio di inquinamento proveniente da fonti agricole (zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari);
- h) l'individuazione delle aree di salvaguardia, distinte in zone di tutela assoluta e zone di rispetto, nonché in zone di protezione, delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano.

1.5 Normativa Regionale

Un ruolo decisivo nella realizzazione degli obiettivi del decreto spetta alle Regioni, cui è affidato il monitoraggio della qualità e della quantità delle acque e la predisposizione del Piano di Tutela delle Acque (PTA). Il PTA è lo strumento di pianificazione che

contiene, oltre agli interventi volti a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi di qualità, le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.

Le innovazioni apportate dal D.Lgs. 152/06 sono state fortemente contestate dalle Regioni italiane, dalla maggior parte delle organizzazioni economiche e sociali e dalle associazioni ambientaliste.

Per queste ragioni, il Governo ha avviato l'iter di modifica e di correzione del Decreto Legislativo.

La disciplina regionale in materia di risorse idriche tutela e valorizza la risorsa idrica sotto il duplice aspetto dell'utilizzo razionale e solidale del "Bene Acqua" e della gestione efficiente, efficace ed economica.

Si riporta di seguito l'elenco delle principali norme regionali in materia:

- Legge regionale 22 giugno 1998 n.18 "*Disciplina delle risorse idriche*";
- Legge regionale 17 maggio 1999, n. 10 "*Riordino delle funzioni amministrative della Regione e degli enti Locali (..)*";
- Legge regionale 25 maggio 1999, n. 13 "*Disciplina regionale della difesa del suolo*"
- Legge regionale 9 giugno 2006, n.5 "*Disciplina delle derivazioni di acqua pubblica e delle occupazioni del demanio idrico*".

Con la Legge n. 36/1994 ("Legge Galli"), recepita dalla Regione Marche con L.R. 18/98, la gestione della risorsa idrica viene letta in un'ottica d'insieme: si esce dai settorialismi e si comincia a considerare la risorsa idrica - e la gestione ad essa associata - nel suo complesso. Diviene di fondamentale importanza la definizione del bilancio idrico, in modo da poter garantire un equilibrio tra le risorse disponibili - o attivabili - e i fabbisogni per i diversi usi.

Tale legge si pone come obiettivo il risparmio, il rinnovo e l'uso plurimo, con priorità per quello potabile, individuando nel bilancio idrico e nelle misure per la

pianificazione dell'economia idrica lo strumento cardine per poter garantire un equilibrio tra risorse disponibili - o attivabili - e fabbisogni per i diversi usi, nonché il minimo deflusso vitale.

Dal punto di vista gestionale la Regione Marche, in adempimento alla Legge Galli, ha introdotto il “servizio idrico integrato”, riorganizzando i servizi idrici esistenti sulla base di Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), ovvero porzioni territoriali che vanno gestiti in maniera unitaria da un'Autorità d'Ambito. All'Autorità d'Ambito vengono attribuite funzioni di programmazione e controllo delle attività e degli interventi necessari per l'organizzazione e la gestione del servizio idrico integrato, nel rispetto dei Piani di Bacino.

Il servizio idrico integrato prevede di considerare congiuntamente l'insieme di servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi potabili, di fognatura e depurazione delle acque reflue: per ottimizzare il sistema di depurazione è necessario valutare i carichi potenziali prodotti a livello territoriale e adeguare ad esso l'intero sistema depurativo. È inoltre necessario che i Piani Regolatori Generali e i Regolamenti edilizi impongano nei nuovi insediamenti reti di collettamento separate e promuovano la progressiva sostituzione delle reti miste esistenti con reti separate e la diffusione di sistemi di invaso/trattamento delle acque di prima pioggia (STRAS Marche).

Particolare rilievo viene posto alla tutela delle acque sotterranee, le quali vengono identificate come riserva strategica da salvaguardare, e l'utilizzo delle acque sotterranee profonde viene limitato solo a situazioni emergenziali a seguito di valutazioni e studi di durata almeno decennale sui possibili danni ambientali conseguenti al loro utilizzo. Aspetto quest'ultimo che viene poi ripreso dalla l.r. n.5/2006, che limita l'utilizzo delle acque profonde a situazioni emergenziali e a carenze idriche gravi per uso idropotabile dichiarate dalla Protezione Civile ai sensi dell'articolo 5 comma 1 legge n.225/92.

Di seguito si riporta uno quadro sinottico sulle competenze in materia di risorsa idrica:

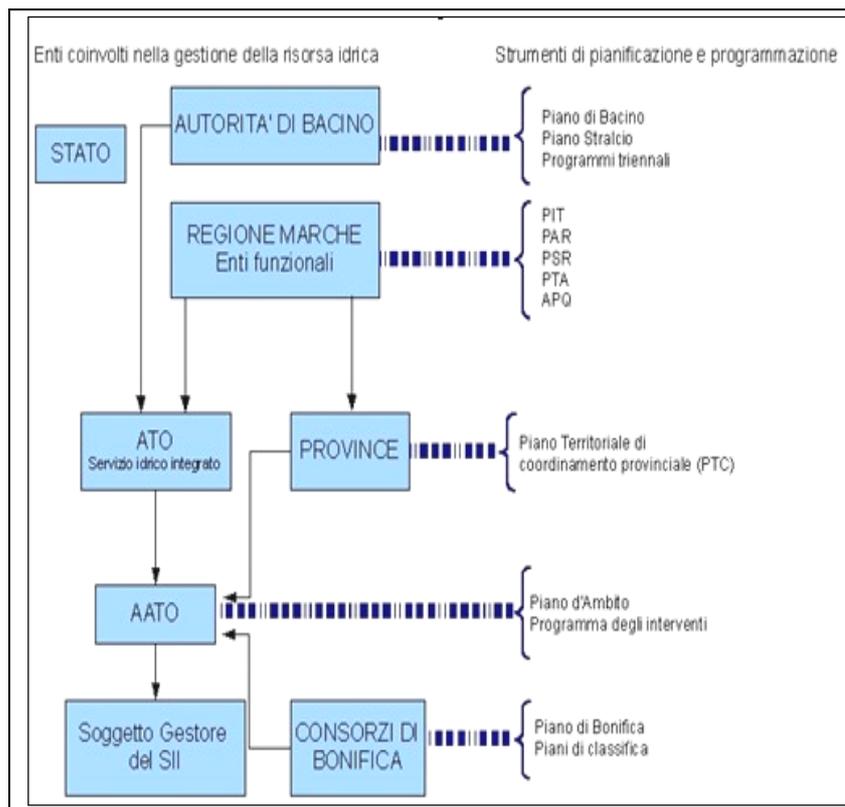


Figura 3 Competenze in campo di risorse idriche

1.6 Il Piano Tutela Acque della regione Marche

“Le Marche sono una Regione con una buona disponibilità di acqua: in linea generale la quantità e la qualità dell’acqua presente tendono a cambiare spostandosi da monte verso valle. Garantire la disponibilità di acqua per i vari usi (principalmente potabile, agricolo ed industriale) è condizione necessaria a qualsivoglia sviluppo. Inoltre, sempre maggiore importanza vanno assumendo le funzioni “ambientali” della risorsa idrica, quali la salvaguardia e la valorizzazione del paesaggio o la conservazione di ecosistemi e di biodiversità.

La risorsa idrica sta diventando inoltre una questione “sociale”: si sta diffondendo una nuova coscienza del fatto che l’acqua, e più precisamente l’acqua utilizzabile per fini umani, è una risorsa limitata e la sua disponibilità viene sempre più percepita come diritto che deve continuare ad essere salvaguardato. In questo senso, garantire il mantenimento di una buona qualità, attraverso corretti sistemi di gestione, e associarne

la disponibilità con le richieste per i vari usi diviene condizione indispensabile allo sviluppo sostenibile” (STRAS Regione Marche – 2006/2010).

Un ruolo decisivo nella realizzazione degli obiettivi del decreto 152 spetta alle Regioni, cui è affidato il monitoraggio della qualità e della quantità delle acque e la predisposizione del Piano di Tutela delle Acque (PTA). Il PTA è lo strumento di pianificazione che contiene, oltre agli interventi volti a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi di qualità, le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.

Da qui la necessità da parte delle Regioni di dotarsi di uno strumento di pianificazione e di programmazione degli interventi finalizzato alla conservazione ed alla tutela delle acque. Ecco, quindi, che già con l’art. 44 del D.Lgs. 11 maggio 1999 n. 152, abrogato dal vigente art. 121 del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 “*Norme in materia ambientale*”, si è individuato nel Piano di Tutela delle Acque - PTA - il principale strumento regionale per la protezione e la corretta gestione delle risorse idriche.

Il PTA è uno specifico piano di settore finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e, più in generale, alla protezione delle acque sotterranee, superficiali e marine regionali. Deve essere inteso come uno strumento pianificatorio “*dinamico*” in quanto oggetto di periodici aggiornamenti sulla base delle risultanze del programma di verifica dell’efficacia degli interventi e di una continua attività di monitoraggio delle misure adottate e dei vincoli imposti. Il PTA della regione Marche è stato strutturato per “*aree idrografiche*” poiché risulterebbe del tutto inadeguata una gestione delle risorse idriche effettuata unicamente mediante valutazioni puntuali in corrispondenza delle opere di presa e di scarico o sulla base dei soli limiti territoriali fissati in ragione di confini amministrativi. Attraverso uno schema grafico si evidenziano le relazioni esistenti tra il Piano di Tutela delle Acque e gli strumenti programmatici regionali – già approvati o in fase di approvazione, distinguendo i piani di settore dagli strumenti di programmazione.

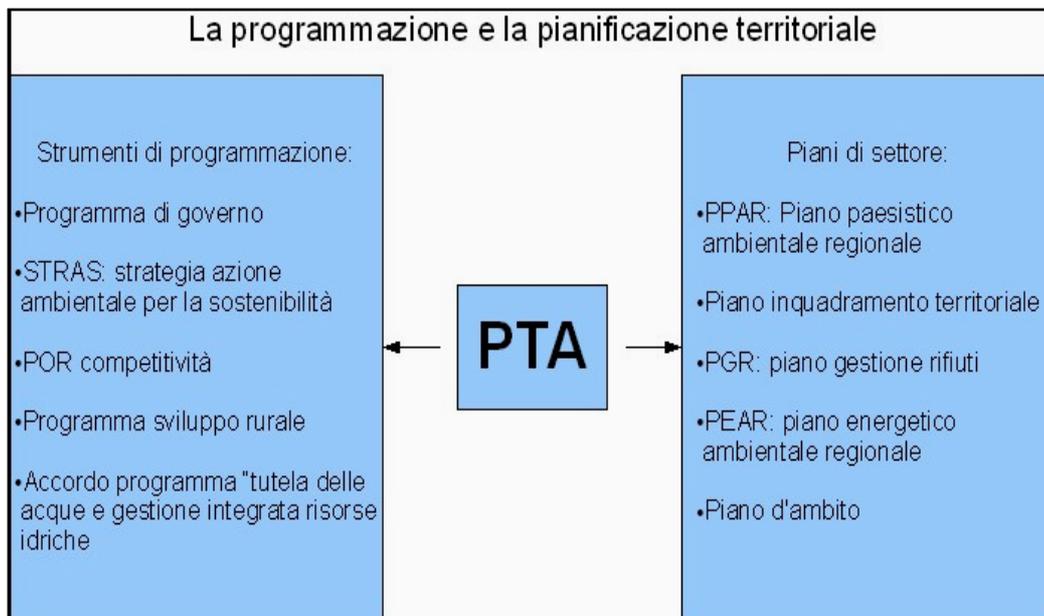


Figura 4 Centralità del PTA tra i piani di settore e gli strumenti programmatici

2 GLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE GESTITI DA ASET

ASET S.p.A. gestisce il servizio di depurazione nei Comuni di Fano, Mondolfo e Monte Porzio.

Le reti fognarie cittadine raccolgono le acque reflue prodotte dagli insediamenti residenziali, commerciali, produttivi (industriali, artigianali), di servizio, ecc., sviluppandosi per chilometri nell'ambito del territorio urbanizzato. Il recapito finale delle reti fognarie urbane sono gli impianti di depurazione, il cui scopo è l'eliminazione, o quanto meno la riduzione, delle sostanze inquinanti presenti nei reflui fognari.

Gli scarichi idrici prodotti dall'utilizzo dell'acqua per usi antropici (abitativi, produttivi, servizi, ecc.) giungono attraverso le reti fognarie a sette impianti di trattamento (3 nel Comune di Fano; 2 nel Comune di Mondolfo e 2 nel Comune di Monte Porzio) dove, mediante appositi processi (meccanici, biologici, chimici), vengono depurati del carico inquinante. Le acque depurate vengono quindi restituite all'ambiente (fiumi, mare, ecc.) con caratteristiche qualitative di ottimo livello nel rispetto della vigente normativa in materia di tutela delle acque dall'inquinamento (D. Lgs. n. 152/06 e succ. int. e mod.).

Gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane esistenti nel territorio del Comune di Fano sono cinque. Il principale è quello di Ponte Metauro con una potenzialità di 60000 AE mentre gli altri sono impianti di piccole dimensioni:

•**“Ponte Metauro”**: ubicato nei pressi della foce del fiume Metauro, è al servizio del nucleo abitato della città di Fano e località limitrofe (Fosso Sejore, Gimarra, Fenile, Centinarola, Rosciano, S. Orso, Vallato, Metaurilia, parte della frazione di Torrette). L'impianto ha una potenzialità di circa 60.000 abitanti equivalenti e “tratta” mediamente 12.000 m³ di liquami al giorno.

•**“Ponte Sasso”**: ubicato sulla statale Adriatica in località Ponte Sasso, “tratta” i reflui fognari delle frazioni costiere di Torrette, Ponte Sasso e Marotta di Fano. L'impianto, della potenzialità di circa 15.000 abitanti equivalenti, depura mediamente 1.000-1.500

m³/giorno di liquami nel periodo invernale e circa 3.000-4.000 m³/giorno di reflui nel periodo estivo.(E' stato in questi giorni approvato il progetto di ampliamento dell'impianto che porterà ad una potenzialità di 26000 AE).

•“**Bellocchi**”: ubicato nella zona industriale di Bellocchi tra il canale Taglio del Porto ed il fiume Metauro è al servizio delle frazioni interne di S. Cesareo, Carrara, Cuccurano, Bellocchi e della zona industriale di Bellocchi. L'impianto, della potenzialità di 6.500 abitanti equivalenti, depura mediamente 2.000 m³ di liquame al giorno, trattando prevalentemente carichi industriali.

Gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane esistenti nel territorio del Comune di Mondolfo sono:

•“**Marotta**”: ubicato nei pressi della foce del fiume Cesano, è al servizio della frazione di Marotta di Mondolfo. L'impianto “tratta” mediamente 2.500-3.000 m³. di liquami al giorno.

•“**Valle Verde**”: ubicato al di fuori del nucleo abitato di Mondolfo, è al servizio di parte del centro storico del paese. L'impianto tratta mediamente 70-80 m³. di liquami al giorno.

Gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane esistenti nel territorio del Comune di Monte Porzio sono:

•“**Castelvecchio**”: ubicato nei pressi del fiume Cesano, è al servizio della frazione di Castelvecchio di Monte Porzio. L'impianto “tratta” mediamente 800-900 m³ di liquami al giorno.

•“**Ponte Rio**”: ubicato tra la strada statale Pergolese ed il fiume Cesano, è al servizio del nucleo abitato della frazione di Ponte Rio di Monte Porzio. L'impianto “tratta” mediamente 30 m³ di liquami al giorno.

2.1 L'impianto di depurazione del comune di Fano

Per quanto riguarda l'agglomerato di Fano, il carico generato nell'agglomerato risulta convogliato al 99.88% nelle reti fognarie (carico servito) ed è totalmente trattato nei

tre impianti di depurazione a servizio dell'agglomerato. Questi depuratori hanno una Capacità Organica di Progetto (COP) complessiva di 82.244 AE, e sono dotati di trattamento primario, secondario e disinfezione.

L' Unità Idrografica di riferimento è il Metauro_7 e gli scarichi delle acque reflue urbane gravitano direttamente sul Fiume Metauro e nel Rio Crinaccio che immette direttamente nel Mare Adriatico.

L'impianto a maggior potenziale è quello di Ponte Metauro ed è così strutturato:

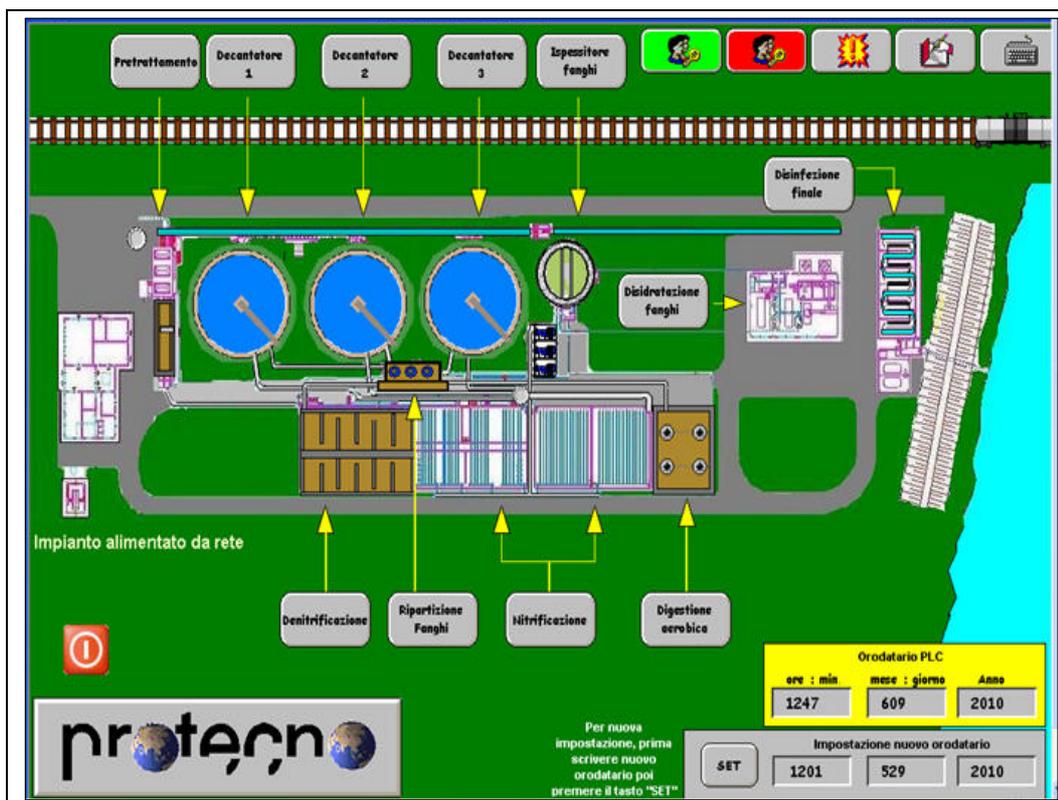


Figura 5 Schema dell'impianto a fanghi attivi di Ponte Metauro

L'impianto di depurazione di Fano serve gli abitanti del comune omonimo e copre le esigenze di trattamento delle punte di carico in corrispondenza della stagione estiva: il trattamento adottato è quello biologico a fanghi attivi.

Il depuratore scarica i reflui trattati in zona definita vulnerabile da nitrati di origine agricola nel Piano di Tutela della Acque della Regione Marche e deve rispettare i limiti indicati in tabella 2, Allegato 5 del D.Lgs 152/06, vale a dire 10 mg/l per l'azoto totale e 1 mg/l per il fosforo totale come media annuale.

Lo scarico del depuratore insiste sulla foce del fiume Metauro, il quale dopo pochi metri sfocia nel mare Adriatico in area balneabile a forte vocazione turistica, per tale motivo i reflui depurati devono garantire anche il rispetto del limite allo scarico del parametro Escherichia Coli e non superare per tale parametro il valori di 5.000 UFC/ml. L'impianto, è stato avviato 30 anni fa e su richiesta dell'amministrazione è stato recentemente ampliato passando da una potenzialità di 33000 AE a 60000 AE, risolvendo così anche inconvenienti che spesso si presentavano sia in estate, per l'abbattimento dell'ossigeno disciolto nei bacini di ossidazione, sia in inverno per l'elevato carico idraulico alle vasche di sedimentazione.



Figura 6 Impianto di depurazione di Ponte Metauro - comune di Fano

L'ubicazione del depuratore di Fano rappresenta un potenziale fattore limitante alle attività di balneazione, fattore di rilevanza fondamentale per il conferimento della bandiera blu, e all'attività di miticoltura, fonte importante dell'economia della zona. Un'eventuale contaminazione microbica delle acque, in aggiunta ai danni oggettivi sulla salute pubblica, rappresenterebbe un danno d'immagine a tutto il sistema turistico locale.

Un rilevante problema gestionale, che incide notevolmente sull'immagine turistica del comune sorge ogni qualvolta, a causa delle forti e intense piogge estive, si è costretti al divieto temporaneo di balneazione per l'eccessiva portata da trattare che viene convogliata nel canale di by-pass e scaricata direttamente nella foce del Metauro - nell'impianto non c'è la vasca di prima pioggia: nell'estate 2010 in due occasioni si è stati costretti a emanare il divieto di balneazione nelle zone prossime agli scarichi.

2.2 Dati di progetto

Il dimensionamento dell'impianto è stato effettuato sulla base dei seguenti dati analitici di ingresso e uscita:

Voce	Valore
Abitanti equivalenti	60000 AE
Portata in ingresso (+ acqua falda e fango da fosse settiche)	16648 m ³ /d
Portata media	700 m ³ /h
Portata di punta	1146 m ³ /h
BOD ₅	3590 kg/d (215 mg/l)
Azoto totale	724 kg/d (43,6 mg/l)
Azoto nitrico	190 kg/d (11,5 mg/l)
Fosforo	5 mg/l (tale valore non richiede abbattimento per cui non si considera la possibile rimozione biologica del fosforo)

Tabella 5 Dati in ingresso impianto

Sulla base delle concentrazioni inquinanti imposte dalla legge 152/06, per sicurezza ridotte del 10% si considerano valori nominali in uscita dall'impianto:

Voce	Valore
BOD ₅	598 kg/d (35 mg/l)
TKN	174 kg/d (10,45 mg/l)
NO ₂ -NO ₃	299 kg/d (18 mg/l) di cui max 9 Kg/d di azoto nitroso (a livello gestionale la tendenza è di avere in media in uscita un valore pressoché nullo).

Tabella 6 Dati in uscita impianto

3 SCHEMA FUNZIONALE DELL'IMPIANTO: LINEA ACQUE

3.1 Fase di pretrattamento

- a) Sollevamento: l'impianto è dotato di due centrali di sollevamento dotate una di 4 pompe e l'altra di 3 pompe con una portata complessiva di 1400 m³/h
- b) Grigliatura fine
- c) Disabbiatura

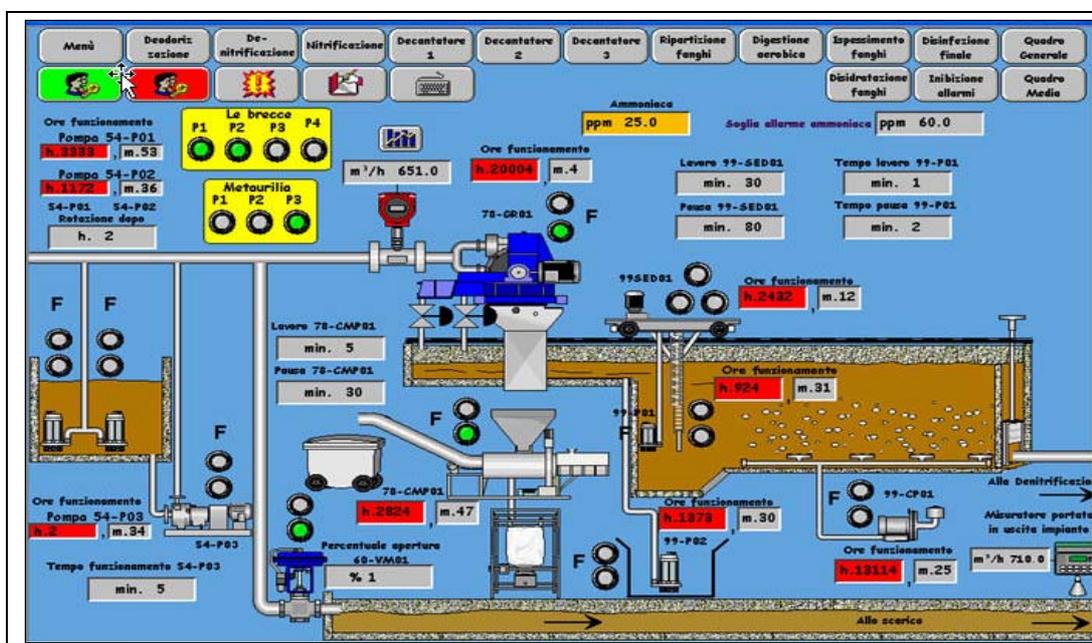


Figura 7 Schema della fase di pre-trattamento: sollevamento – grigliatura - disabbiatura

3.2 Denitrificazione

Per la fase anossica di denitrificazione si hanno 3 vasche da 495 m³ per un volume totale di 1485 m³.

La vasca è dotata di mixer per favorire il contatto ed accelerare lo scorrimento del liquame verso la vasca di ossidazione.

Si prevede l'impiego di un impianto che utilizza le sostanze organiche di tipo carbonioso presenti nei liquami: sistema con predenitrificazione o con

“denitrificazione con zona anossica in testa”. La fase di denitrificazione è disposta a monte della fase di ossidazione-nitrificazione (campo dell’aerazione prolungata) a fanghi attivi; a monte della fase di denitrificazione è fatto confluire sia un opportuno flusso di fango di ricircolo, sia un definito flusso di miscela aerata prelevata direttamente dall’uscita dalla vasca di aerazione-nitrificazione. Sono le sostanze organiche - frazione carboniosa - presenti nel liquame stesso in forma solubile e che non hanno ancora subito il processo di ossidazione, che forniscono il substrato organico necessario per il nutrimento dei batteri denitrificanti. Infatti, i batteri denitrificanti necessitano, per il loro sviluppo, di un substrato costituito da sostanze organiche di tipo carbonioso, che possono essere contenute nel liquame stesso o possono essere aggiunte al liquame. Con questa particolare disposizione d’impianto si ha il vantaggio che, utilizzando le sostanze carboniose presenti nel liquame grezzo, la velocità di denitrificazione risulta maggiore - data la più rapida degradazione delle sostanze organiche presenti nei liquami grezzi, rispetto a quelle residue dopo una fase di aerazione prolungata.

L’utilizzazione della sostanza organica nei liquami, per la denitrificazione, comporta, in definitiva, una riduzione del BOD₅ del liquame grezzo. In questo modo, la corrispondente quantità di ossigeno per la rimozione di questa parte unitaria di BOD₅ non deve essere fornita nella successiva fase di ossidazione, con conseguenti risparmi energetici.

Disponendo la fase di denitrificazione in testa, si ha poi il vantaggio che si riescono più agevolmente a controllare i fenomeni di risalita del fango in fase di sedimentazione secondaria dovuti alla denitrificazione incontrollata (sviluppo di bollicine di azoto in alcune zone tendenzialmente anossiche all’interno del sedimentatore, che fanno flottare i fiocchi di fango fuori dal sedimentatore: cattiva sedimentazione).

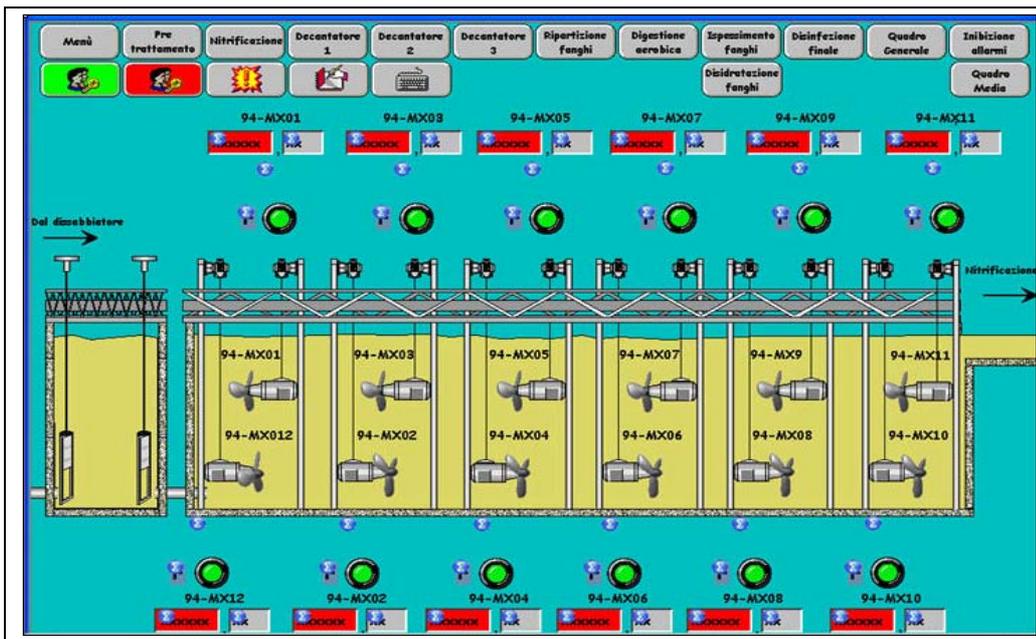


Figura 8 Fase di denitrificazione

3.3 Nitrificazione

Il volume richiesto per la fase di nitrificazione è di 3825 m³. L'impianto ha 2 vasche da 878 m³ e 2 vasche da 1120 m³ per un totale di 3996 m³.

Il sistema di ossidazione è stato modificato in sede di ampliamento dell'impianto sostituendo gli obsoleti aeratori superficiali con un sistema a bolle fini, alimentato da compressori turbo-soffianti, corredati da inverter statici a frequenza variabile, che con l'ausilio di un indicatore di ossigeno disciolto possono autoregolarsi in funzione della quantità d'aria strettamente necessaria in quel momento.

La fase di nitrificazione è fondamentale dal punto di vista della gestione e del controllo dell'impianto perché è in questa fase che "entra in gioco" l'ossigeno e si analizza la concentrazione della miscela di fanghi aerata. I controlli della concentrazione di ossigeno avvengono in sequenza, dall'uscita alla testa della vasca, attraverso delle sonde indicatrici. Da manuale si dovrebbe mantenere un valore costante di ossigeno disciolto pari a circa 2 mg/l. Ma, come si può vedere dallo schema riportato, la concentrazione di 2 mg/l è il valor medio rilevato dalle sonde ma non si ha un unico valore omogeneo per l'intero volume, partendo da valori intorno a 1 mg/l fino a punte di 4 mg/l: questa è una delle scelte gestionali dettate dall'esperienza che evidenzia

come l'analisi da "letteratura" e da progetto debba sempre venire integrata da scelte legate all'esperienza gestionale di buon funzionamento dell'intero impianto.

Per quanto riguarda i controlli della fase di nitrificazione si analizza per primo l'ossigeno disciolto a valle ed in successione si controllano gli altri indicatori risalendo sino a monte della vasca: il controllo è sempre effettuato da valle a monte, perché è dall'analisi dei parametri a valle che si evidenziano i problemi.

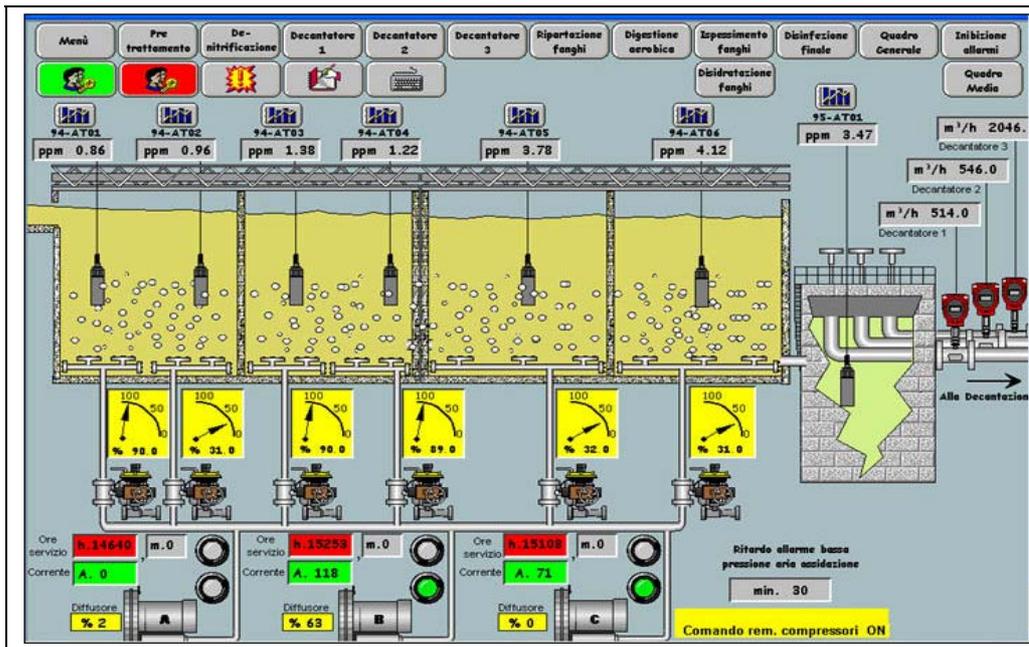


Figura 9 Fase di nitrificazione

3.4 Sedimentazione

In fase di ampliamento si è passati da 2 a 3 sedimentatori radiali aventi una superficie di 452 m² ciascuno. L'immissione del liquame avviene dal centro della vasca, mentre lo scarico del chiarificato avviene lungo una periferia attraverso una soglia di sfioro. Per suddividere equamente la portata uscente dall'ultima vasca di nitrificazione tra i tre sedimentatori si dispone di un partitore a tre vie, munendo ogni via di una valvola telescopica regolabile tramite la lettura di un misuratore di portata magnetico.

Per un controllo gestionale si possono ottenere misure dirette dell'altezza del fango e della concentrazione di solidi sospesi.

L'altezza del fango sul fondo del sedimentatore rappresenta lo strato di fango che si accumula come risultante della differenza tra la massa secca di fango che "piove" sul fondo e la massa secca che viene asportata con la portata di ricircolo. Da letteratura in condizioni ottimali di tempo secco, buone caratteristiche di sedimentabilità del fango, e corretto spurgo del fango di supero, l'altezza di tale strato teoricamente non supera 0,5 m. In tempo di pioggia si può arrivare ad una altezza di 1-1,5 m. In condizioni di grave bulking del fango tale altezza può raggiungere la superficie del sedimentatore. Come regola generale si può dire che è bene mantenere una fascia di strato limpido superiore non inferiore a 1,5 m (Vismara).

Dalla grafica si evince che nell'impianto considerato si ha una soglia di intervento a 40 cm e di preallarme a 60 cm. Per ovviare agli inconvenienti dovuti ad un'elevata altezza del fango, si aumenta la portata di ricircolo e di spurgo. La misura dell'altezza di fango sul fondo del sedimentatore è effettuata con strumenti automatici a lettura ottica che periodicamente affondano nel sedimentatore e leggono il valore dei solidi sospesi e quindi l'interfaccia liquame/fango: se mantenuti puliti e perfettamente funzionanti, questi strumenti possono essere di grande aiuto per il gestore di un impianto a fanghi attivi. Il segnale proveniente da questo strumento può infatti regolare automaticamente le portate di ricircolo o spurgo.

Il fango biologico che sedimenta sul fondo è raccolto da raschiatori posti sul fondo: esso viene raccolto nel pozzetto partitore e da lì una quantità circa pari alla portata di liquami in ingresso (in media $700 \text{ m}^3/\text{h}$) torna in ricircolo, mentre la restante quantità è fango di supero ($588 \text{ m}^3/\text{d}$ nominale – valore legato alla concentrazione di biomassa, al volume della vasca del reattore biologico e all'età del fango)

Dai sedimentatori la portata depurata di ciascuna vasca si immette attraverso un canale nella vasca di disinfezione

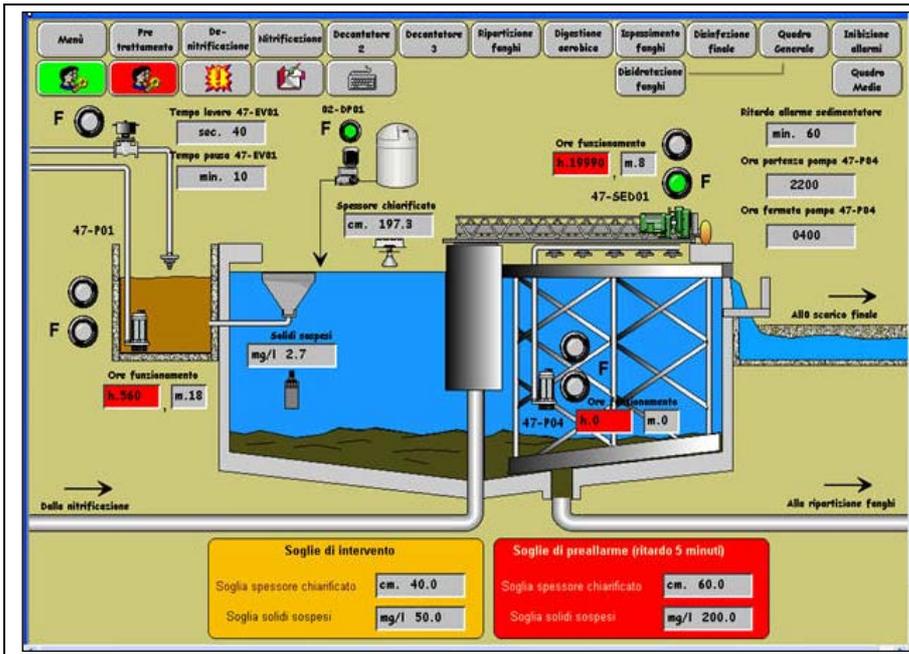


Figura 10 Vasca di sedimentazione secondaria

3.5 Disinfezione

Attraverso il normale processo depurativo si ottiene un buon abbattimento del carico batterico patogeno ma, in generale, non si assicura il raggiungimento dei limiti imposti dalla normativa vigente sia per lo scarico in acque superficiali che per la balneazione e l'uso irriguo.

Il recupero delle acque reflue depurate richiede un processo di affinamento, la cui complessità e costi dipendono in primis dalla qualità degli effluenti depurati: in generale, per il raggiungimento degli standard di accettabilità, occorre sottoporre i reflui depurati a trattamenti di disinfezione.

Il processo di disinfezione delle acque reflue è un trattamento che mira a ridurre la concentrazione di batteri, virus e parassiti ad un livello che assicuri un'adeguata sicurezza igienica.

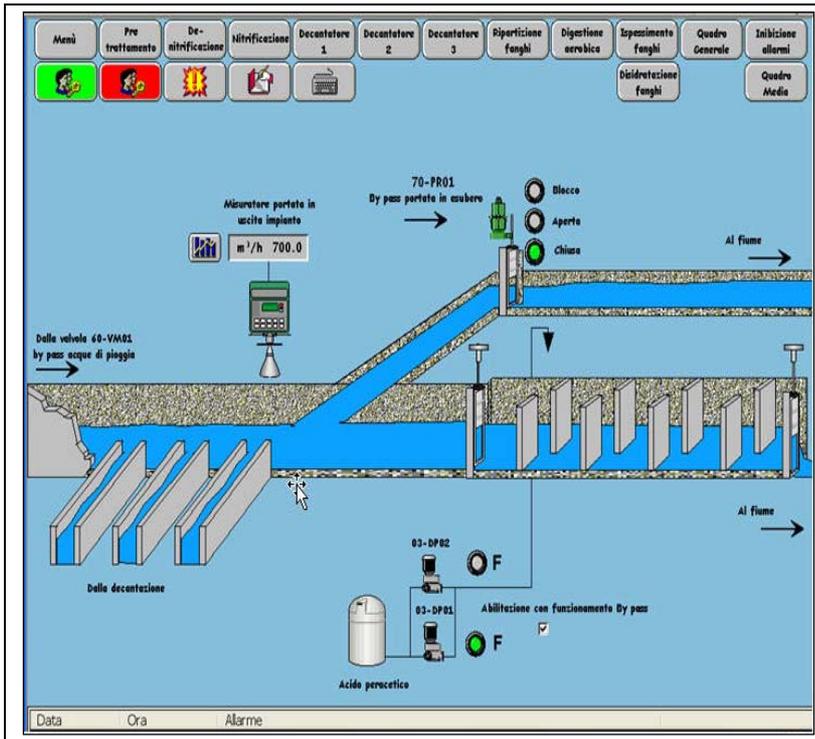


Figura 11 Trattamento terziario di disinfezione

Il sistema di disinfezione ideale dovrebbe:

- garantire la massima efficacia;
- essere incapace di originare sottoprodotti indesiderati o nocivi;
- essere di facile applicabilità;
- avere un costo contenuto di gestione e di investimento.

La scelta di un sistema di disinfezione non può essere fatta prescindendo da fattori socio-ambientali, oltre che economici e di tutela della sicurezza degli addetti alla conduzione. La decisione sulla tipologia del sistema di disinfezione da utilizzare deve essere valutata in base alle peculiarità del singolo sito, tenendo conto dell'uso dell'acqua cui è sottoposto il corpo idrico ricettore, nonché i possibili rischi per la salute umana laddove si presenti uno scenario di balneazione. Infine è necessario mettere a confronto le possibili soluzioni tecniche che si possono adottare per controllare l'eventuale contaminazione prodotta dallo scarico, cercando contestualmente di controllare gli effetti tossici che le misure individuate potrebbero avere sull'ambiente.

Nell'impianto in esame, la necessità di integrare un ormai obsoleto impianto di disinfezione a ipoclorito di sodio, ha indotto Aset ad individuare la migliore soluzione impiantistica, che permettesse di ottenere i requisiti di qualità imposti dalla normativa vigente, riducendo al minimo il rischio di formazione di byproducts della disinfezione, potenzialmente tossici per gli organismi acquatici e per l'uomo.

Lo scarico del depuratore insiste sulla foce del fiume Metauro, il quale dopo pochi metri sfocia nel mare Adriatico in area balneabile a forte vocazione turistica, per tale motivo i reflui depurati devono garantire anche il rispetto del limite allo scarico del parametro Escherichia coli e non superare per tale parametro il valore di 5.000 UFC/ml. Un'eventuale contaminazione microbica delle acque, in aggiunta ai danni oggettivi sulla salute pubblica, rappresenterebbe un danno d'immagine a tutto il sistema turistico locale.

Per la disinfezione finale, al trattamento con ipoclorito di sodio, è stato affiancato il trattamento di disinfezione con acido peracetico - PAA - con dosaggi in continuo legati alle quantità in ingresso (scelta gestionale):

- ipoclorito di sodio nella quantità di 8,7 l/h circa
- acido peracetico in funzione della portata attraverso la lettura trasferita di $4 \div 20$ M/amp.

Schema di regolazione dell'acido peracetico in funzione della portata da trattare:

- Effluente in uscita a $1500 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow 6,3 \text{ l/h}$ (20 M/amp)
- Effluente in uscita a $750 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow 3,65 \text{ l/h}$
- Effluente in uscita a $375 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow 2,90 \text{ l/h}$ (4 M/amp)

Chiaramente tali riferimenti possono subire delle variazioni tenendo conto del risultato analitico riferito all'Escherichia coli che ogni 15 giorni viene periodicamente monitorato.

Prendiamo in esame le caratteristiche degli agenti usati per la disinfezione:

- a) Ipoclorito di sodio

I composti cloro-derivati sono i disinfettanti più diffusi sia nel campo delle acque primarie sia in quello delle acque di scarico per la comprovata efficacia ed il basso costo. D'altro canto, essi presentano alcuni aspetti negativi, quali la relativa facilità di formazione di sottoprodotti - formazione di cloroammine – cloriti - clorati, alcuni dei quali tossici per l'uomo - e la fitotossicità del principio attivo residuo, che ne determinano una sempre maggiore ostilità all'utilizzo.

In generale si dovranno studiare i conseguenti impatti ambientali derivanti dalla formazione di prodotti indesiderati. Nell'impianto in esame l'uso di NaClO nelle dosi indicate non ha comunque portato alla formazione dei sottoprodotti citati.

L'ipoclorito di sodio pur essendo uno dei disinfettanti a minor costo, ha uno scarso potere battericida (non è attivo contro le spore) e porta alla produzione di molte sostanze tossiche e cancerogene. Inoltre è stata evidenziata la comparsa di interferenze sull'efficacia disinfettante dovute alla presenza di solidi sospesi.

Per quanto riguarda le concentrazioni, questo è disponibile in soluzione al 12-15%. Lo stoccaggio deve avvenire in un luogo freddo e resistente alla corrosione perché più alte sono le temperature più si perde il tenore di cloro nel tempo.

b) Acido Peracetico-PAA:

Il PAA è un perossido organico in grado di esplicare una forte azione ossidante e disinfettante con un largo spettro d'azione (batteri, virus, funghi), come dimostrato in altri settori, quali quello medico ed alimentare: il PAA è in grado di sviluppare un'efficace azione battericida anche in presenza di sostanza organica e solidi sospesi ed è solo minimamente influenzato da variazioni di pH.

Il prodotto che viene utilizzato commercialmente si ottiene per reazione tra perossido d'idrogeno e acido o anidride acetica; si tratta di una reazione di equilibrio che conduce ad una miscela costituita da acido peracetico e perossido d'idrogeno oltre che da acido acetico, acqua e stabilizzanti:



Non è possibile utilizzare acido peracetico puro in quanto estremamente instabile e sensibile alla temperatura. L'efficacia di questo disinfettante è dovuta all'azione ossidante che nei microrganismi altera o distrugge diverse strutture vitali quali proteine, membrana plasmatica, alcuni enzimi del metabolismo e il DNA, provocando la loro inattivazione: per le sue caratteristiche esso rappresenta una valida alternativa all'utilizzo di ipoclorito di sodio, se non altro per le analoghe modalità di dosaggio e contatto dei due disinfettanti, facilitando così l'adeguamento dell'impianto.

Per quanto riguarda l'abbattimento del carico microbiologico la scelta del sistema di disinfezione assume fondamentale importanza, soprattutto se l'obiettivo è quello di garantire la qualità dei reflui depurati, non solo immediatamente a valle della sezione di affinamento su cui si focalizza la normativa vigente, ma anche a livello dell'utilizzatore finale considerando i conseguenti problemi di ricrescita: si è visto che usando dosi di PAA > 2 mgPAA/l non si registrano significativi effetti di ricrescita dei coliformi.

I dati ricavati dalla letteratura scientifica, riguardanti sperimentazioni condotte sugli effluenti dei depuratori, dimostrano l'efficacia di tale disinfettante per quanto riguarda i principali indicatori batteriologici considerati dalla legge vigente D.Lgs 152/06. In particolare si sono ottenuti abbattimenti degli indicatori fecali variabili dalle 2 alle 3 unità logaritmiche con concentrazioni di acido peracetico comprese tra 1 e 6 mg/l e con tempi di contatto di 5-30 minuti (" Esperienza di disinfezione con acido peracetico di un effluente di un depuratore biologico"- *Biologia Ambientale n.1/1999*). Per quanto riguarda le concentrazioni nell'impianto in esame si utilizzano soluzioni acquose al 14-16%.

E' inoltre importante considerare, oltre alla capacità di inattivazione di microrganismi a valle del trattamento, anche la possibilità di formazione di sottoprodotti di disinfezione (DBP₅) e la loro tossicità: come analizzato in precedenza, la disinfezione legata all'uso di cloro-derivati (in particolare NaClO), porta inevitabilmente alla formazione di composti organo-alogenati nocivi, tra cui sono normati i trialometani totali (TTHM). La clorazione, pur se formalmente ammessa, viene così intrinsecamente scoraggiata dato che il limite dei TTHM deve essere inferiore a 0,003

mg/l, valore facilmente superabile. Di contro, l'acido peracetico è completamente biodegradabile e sembrerebbe incapace di formare sottoprodotti sconosciuti o indesiderati, ma non sono ancora noti i derivati che possono formarsi in seguito alle reazioni che avvengono tra l'ossidante e la matrice organica presente nell'effluente (Ingegneria Ambientale vol. XXXIX n.4, aprile 2010).

c) Alternative progettuali:

· Disinfezione con raggi UV: è applicata su larga scala in Nord America riportando ottimi risultati nei confronti dei batteri indicatori di contaminazione fecale (coliformi fecali); inoltre non induce formazione di prodotti secondari e presenta un basso costo d'esercizio, comparabile a quello dell'ipoclorito. Gli inconvenienti dell'irraggiamento con raggi ultravioletti sono la mancanza di batteriostasi (con conseguente ricrescita batterica per fotoriattivazione) e i bassi rendimenti di disinfezione in presenza di torbidità dell'effluente ("Disinfezione con tecnologia a raggi UV", Faretra - ITT).

· Disinfezione con Ozono: usato per la disinfezione, per la rimozione di odori e per l'ossidazione di composti recalcitranti al posto del carbone attivo. Essendo instabile deve essere prodotto in loco, attraverso una scarica elettrica: aria e ossigeno sono fatti passare tra due elettrodi ad elevato voltaggio. Le proprietà dell'ozono sono legate alla formazione di radicali liberi con elevato potere ossidante (HO_2 , HO: radicali liberi), portando alla distruzione della parete cellulare e producendo un'efficace azione viricida. Inoltre non produce solidi sospesi e non è negativamente influenzato dall' NH_3 e dal valore del pH. Dal punto di vista dell'impatto ambientale, esso produce effetti non negativi: nonostante la formazione di composti tossici, essi hanno una vita talmente breve (circa 1 minuto) da non arrivare al corpo ricettore dello scarico. Un ulteriore vantaggio dell'uso di ozono deriva dall'aumento dell'ossigeno disciolto (non si deve riossigenare) e dalla rapida degradazione di questo disinfettante in acqua così da non dover prevedere trattamenti di rimozione di O_3 . Un elemento che incide in chiave negativa è il considerevole aumento dei costi di gestione

Qualora, infine, il campo di reimpiego richieda trattamenti di affinamento avanzati per la rimozione di specifici inquinanti residui, come il calore e i tensioattivi (soprattutto in ambito di riuso industriale) possono essere prese in considerazione fasi di affinamento spinto quali:

- adsorbimento su Carbone Attivo
- ossidazione
- metodi a membrana

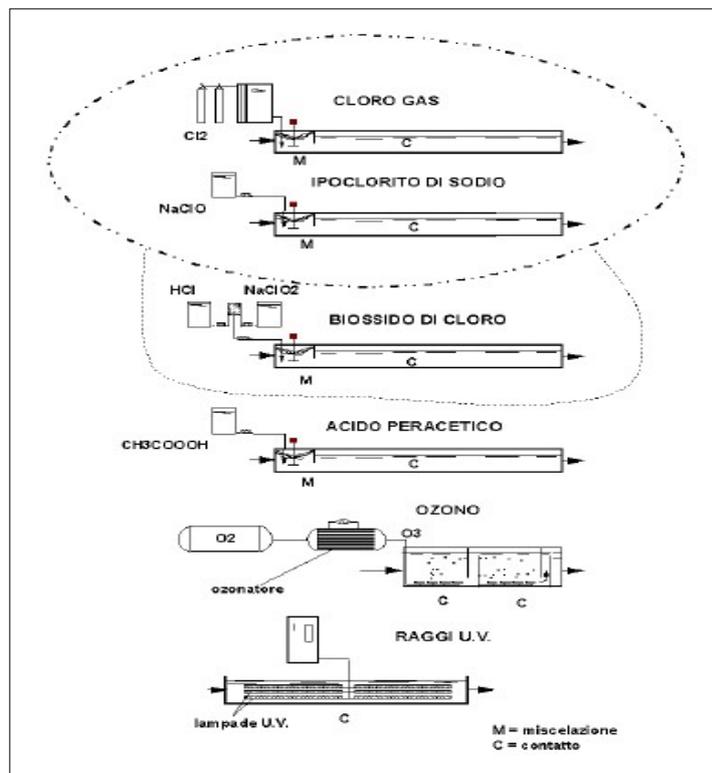


Figura 12 Alternative per la fase di disinfezione con impatto ambientale decrescente

4 SCHEMA FUNZIONALE DELL'IMPIANTO: LINEA FANGHI

Le sostanze rimosse nel trattamento dei reflui includono:

- il materiale vagliato
- il grigliato
- schiume e fango

Il fango è normalmente la sostanza prodotta in maggiore quantità ed è in forma liquida o semisolido con un tenore di solidi tipico tra 0,25-12% in peso.

Gli obiettivi della linea fanghi consistono nel:

- stabilizzare la sostanza organica, se presente, in modo da garantire uno smaltimento finale privo di inconvenienti, con trattamenti di tipo biologico, chimico o fisico/termico;
- ridurre i volumi (per diminuire oneri di trasporto e smaltimento finale) e, quindi, concentrare la frazione solida, con trattamenti di tipo meccanico o termico.

Dopo i suddetti trattamenti, il fango viene inviato a smaltimento finale (nell'impianto in questione è inviato alla discarica controllata di Monteschiantello) oppure può essere riutilizzato (impiego agricolo, compostaggio, produzione di biogas, recupero prodotti – ad es. Fe e Cr da fanghi di origine industriale – ecc.)

4.1 Pozzetto partitore fanghi - digestore - ispessitore - disidratazione

Il fango prodotto in ciascun sedimentatore viene raccolto nell'esistente pozzetto tramite valvole telescopiche regolabili onde mantenere uguale il volume prelevato da ciascuna vasca. La quantità di fango attivo che viene richiesto dal sistema è circa pari alla portata in ingresso (rapporto 1:1). A questa portata si deve aggiungere quella relativa ai fanghi di supero prodotti da trasferire al digestore in un tempo definito dal ciclo scelto per i fanghi. Dal pozzetto di raccolta, i fanghi di supero passano al

digestore aerobico, in cui vengono ossigenati per favorirne la mineralizzazione e quindi ridurre la produzione di odori.

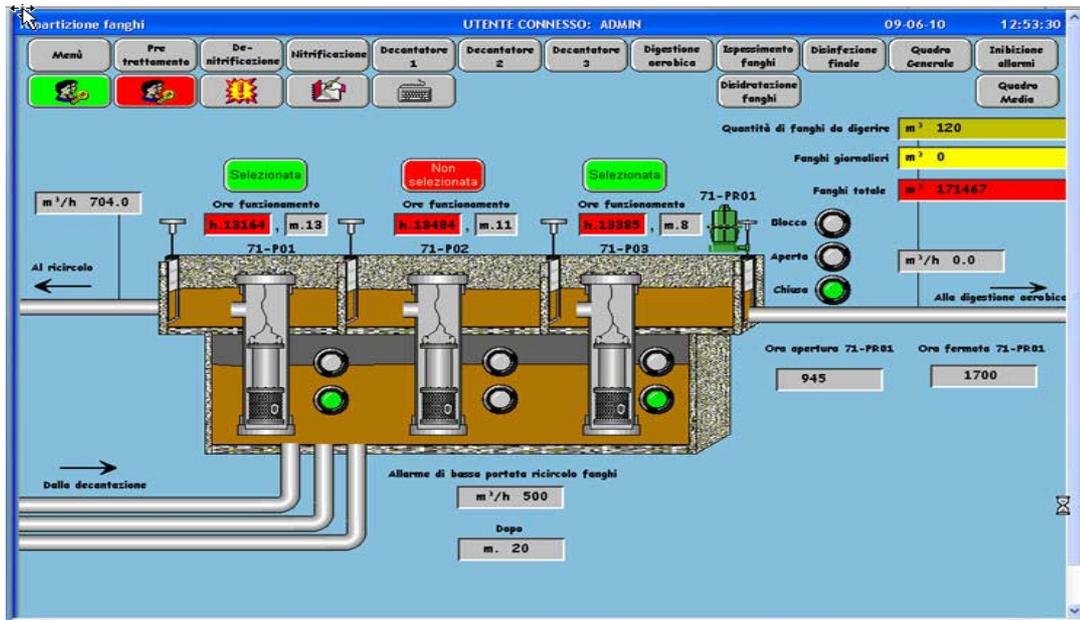


Figura 18 Pozzetto partitore fanghi

Il processo di stabilizzazione dei fanghi, essendo di tipo aerobico, necessita di ossigeno: per ragioni energetiche - minore fabbisogno di fornire O_2 - è conveniente in presenza di fanghi di tipo solo biologico e caratterizzati da età del fango già abbastanza elevate (> 15 d), come avviene negli impianti di depurazione dove si opera anche la rimozione dell'azoto. In questo caso, la biomassa estratta come fango di supero è già parzialmente stabilizzata. Costruttivamente, un digestore aerobico è costituito da una vasca miscelata con fornitura di ossigeno, senza ricircolo; i fanghi alimentati permangono nella vasca il tempo necessario alla stabilizzazione; il tempo di residenza idraulica ed il tempo di permanenza dei fanghi coincidono. (Volume di ossigeno richiesto è 1445 kg/d attraverso 4 aeratori sommersi di 18,8 kW).

I fanghi risultanti dai processi di depurazione presentano elevatissimi contenuti di acqua, dal 95 al 99,5%. Un primo addensamento del fango (fino al 4-5% di secco) si può ottenere per via meccanica, mediante gli ispessitori a gravità.

Per quanto riguarda le tecniche convenzionali (ispessimento, disidratazione meccanica), si riportano di seguito alcune considerazioni in merito ai recenti sviluppi tecnologici:

I trattamenti adottati presso l' impianto di depurazione consistono in:

- Stabilizzazione biologica: la digestione dei fanghi può avvenire attraverso processi anaerobici e aerobici - nell'impianto in esame si ha digestione aerobica. In tale processo le modificazioni indotte sulla matrice organica del fango hanno conseguenze apprezzabili ai fini del riutilizzo, come per altro è negli obiettivi della normativa vigente: la sostanza organica viene parzialmente degradata: si passa infatti da un contenuto di solidi volatili (SV) pari al 70-75% dei solidi totali (ST) ad un rapporto SV/ST pari al 50 – 60%. I metalli pesanti sono soggetti a fenomeni che si possono manifestare in modo diverso a seconda delle condizioni al contorno (caratteristiche qualitative dei fanghi, pH, temperatura, potenziale redox, speciazione iniziale dei metalli). In generale si può parlare di risolubilizzazione (a pH acido), complessazione (ad opera di NH_4^+ , organici derivanti dalla trasformazione della sostanza volatile, ecc.), precipitazione (es. come solfuri o come idrossidi e carbonati), adsorbimento (sulle particelle di fango), ecc. Nel fango fresco l'azoto è presente essenzialmente in forma organica: in seguito ad un lungo processo di mineralizzazione, il fango rilascia composti assimilabili da parte delle piante. Nel fango digerito anaerobicamente, invece, l'azoto è in forma ammoniacale (70%) e quindi molto velocemente assorbibile dalle piante. Tuttavia il processo di digestione dei fanghi comporta ammonificazione e quindi la perdita (insieme all'acqua nella successiva eventuale disidratazione) dell'azoto contenuto. Si osserva, inoltre, che l'azoto organico presente nei fanghi è meno mobile rispetto a quello contenuto nei fertilizzanti in commercio e comporta quindi meno rischi in termini di inquinamento dell'acqua di falda.

Il fosforo risulta presente nella quasi totalità in forma insolubile poiché legato a composti del ferro, alluminio, calcio e magnesio, già abbondanti nei liquami, cui si aggiungono i reattivi a base di Fe e Al, utilizzati sia per la rimozione chimica del fosforo dai liquami sia per il condizionamento dei fanghi.

Nei fanghi sono presenti microorganismi di vario tipo: i trattamenti di stabilizzazione biologica sono in grado di ridurre significativamente il grado di contaminazione microbiologica di un fango; per il rispetto dei limiti di legge sono però in genere ulteriormente richiesti trattamenti di igienizzazione o l'essiccamento termico.

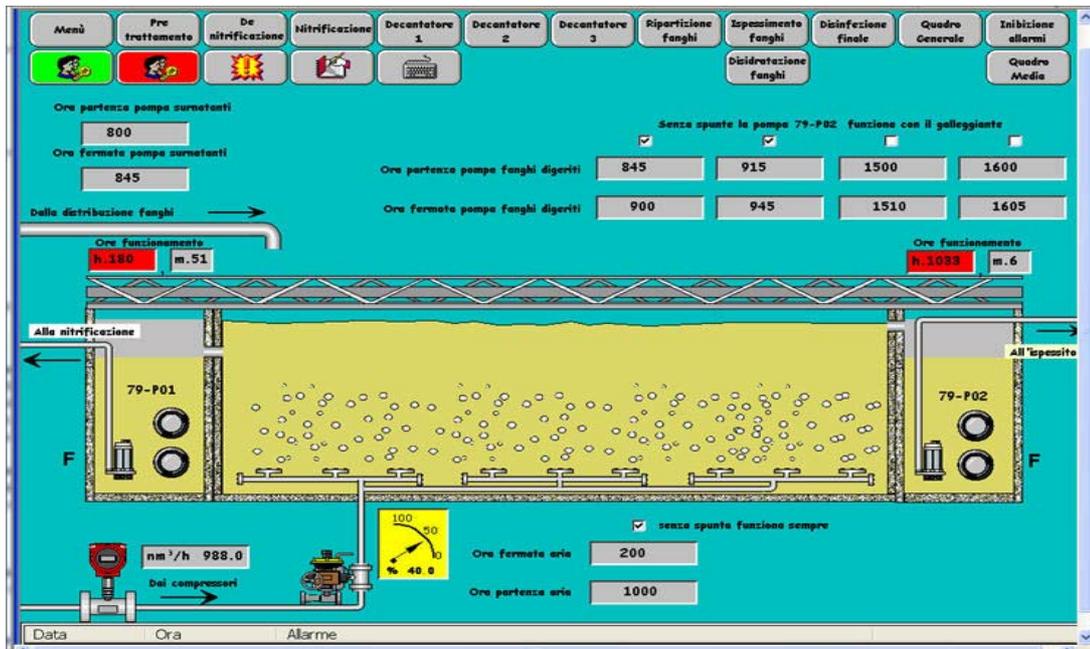


Figura 19: Digestore aerobico

- Ispessimento: è un trattamento meccanico deputato esclusivamente alla separazione dell'acqua dal fango; pertanto non opera alcuna trasformazione qualitativa. 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.

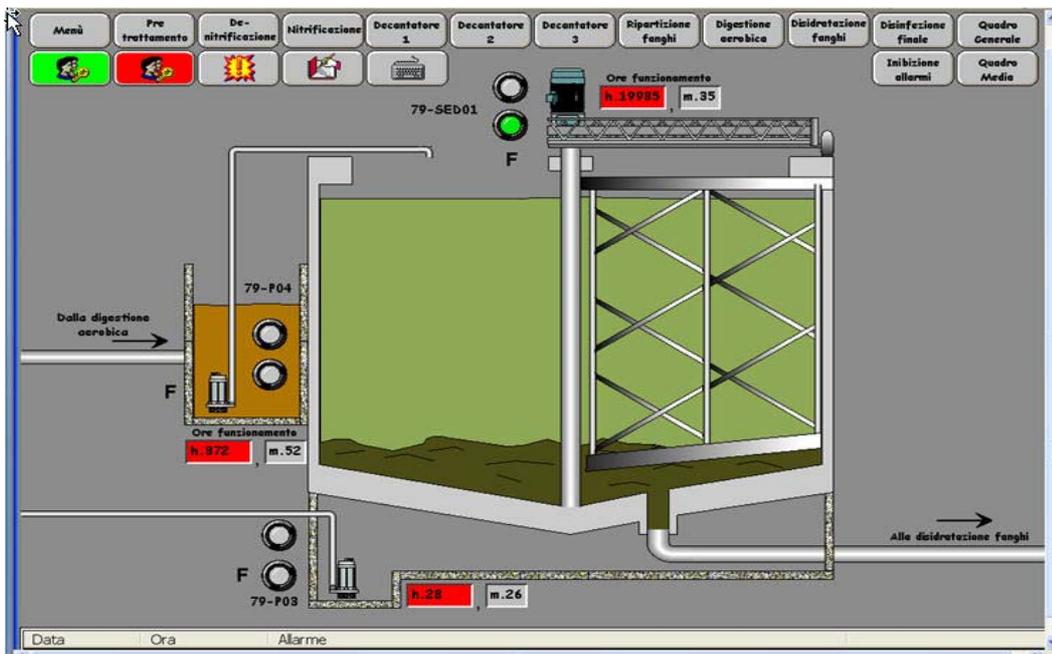


Figura 20: Ispessitore

- Disidratazione meccanica: ha come obiettivo la drastica riduzione di umidità (che passa dal 92-95% del fango ispessito-digerito, al 60-80% del fango disidratato). Nondimeno, oltre a questo effetto primario, si possono verificare altre conseguenze dovute al fatto che la disidratazione avviene previo condizionamento con calce (o altri reattivi flocculanti). Inoltre va considerato il già citato possibile effetto di riduzione del contenuto organico. Infine, si deve osservare che elevate presenze di Fe e Al, unitamente a fanghi ricchi di calce intorno a pH=10, agiscono da sequestranti del fosforo, riducendone la disponibilità per il terreno.

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.

5 LA GESTIONE TECNICA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE: MONITORAGGIO, MANUTANZIONE E CONTROLLO

Le problematiche inerenti la depurazione delle acque di scarico non si esauriscono con la progettazione ma continuano nella fase di conduzione e gestione dell'impianto: negli ultimi anni si è passati da un approccio tradizionale, basato sul semplice monitoraggio dei principali parametri del processo di trattamento delle acque reflue ad una filosofia in cui la gestione/regolazione/ottimizzazione dei costi gestionali sono diventate le principali linee guida per i gestori di impianti.

Per gestione di un impianto di depurazione si intende l'insieme delle attività che consentono di mantenere elevata l'efficienza di depurazione nel corso degli anni. Fatto salvo che l'efficace gestione di un impianto di depurazione è la diretta conseguenza della realizzazione di un'unità correttamente dimensionata, è evidente che risulta altrettanto importante l'elaborazione di un adeguato "piano di gestione" dell'impianto stesso.

L'impianto di depurazione principale (impianto di Ponte Metauro) è sede di presidi fissi di personale e costituisce il nucleo principale della gestione: dall'impianto a potenzialità maggiore partono anche le squadre per la conduzione e la manutenzione degli impianti esterni.

Le principali attività garantite dal personale dell'esercizio sono:

- conduzione degli impianti di depurazione e sollevamento ricadenti nell'ambito di ciascun bacino;
- controllo dei limiti di emissione dei reflui attraverso l'analisi di laboratorio dei campioni prelevati dagli impianti;
- manutenzione ordinaria delle apparecchiature elettromeccaniche e delle opere civili degli impianti di depurazione e sollevamento.

L'attività di manutenzione ordinaria è tesa ad assicurare la conservazione delle opere civili e delle apparecchiature elettromeccaniche, con l'obiettivo di:

- minimizzare le fermate per guasti a favore di una continuità di funzionamento degli impianti;
- mantenere le strutture e le macchine in grado di funzionare nelle condizioni ottimali stabilite.

Nel principale impianto di depurazione, e nei più importanti impianti minori, è presente un sistema di telecontrollo che consente al personale di rilevare il mal funzionamento anomalo dei singoli comparti. Sempre nel depuratore principale è allestita una sala operativa locale in cui vengono gestiti anche gli allarmi dei sistemi di controllo degli impianti minori e delle stazioni di sollevamento.

Uno degli strumenti per mantenere un'elevata efficienza e funzionalità nel tempo è l'adozione di un adeguato piano di “manutenzione programmata”: con tale termine si intende sia l'attività di manutenzione di carattere preventivo (necessaria per mantenere costante l'efficienza dei singoli organi elettromeccanici) che tutte quelle attività volte all'individuazione di difetti di funzionamento, manifesti o potenziali dei vari componenti dell'impianto e della loro rimozione.

5.1 Il piano di monitoraggio

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).

Il monitoraggio e le verifiche di funzionalità rappresentano uno strumento di indiscutibile utilità per seguire e ottimizzare il funzionamento e la gestione degli impianti di depurazione.

Essi consentono infatti di:

- indirizzare le manovre di controllo
- verificare l'eventuale sovraccarico
- individuare problematiche specifiche dei singoli comparti
- indirizzare gli interventi di adeguamento.

In sintesi, un adeguato piano di monitoraggio e verifica permette di sfruttare al meglio le potenzialità di un impianto. Oggigiorno, un aspetto di particolare rilevanza in questo senso è rappresentato dai consumi energetici, che devono essere quantificati - attraverso il monitoraggio - e ridotti - grazie ad opportune verifiche e ai conseguenti interventi ("La gestione degli impianti di depurazione: importanza del monitoraggio e delle verifiche di funzionalità", C. Collivignarelli, G. Bertanza, *Ingegneria Ambiente vol.XXXIX n.3 marzo 2010*).

Gli interventi di manutenzione programmata, se effettuati in modo appropriato, portano ad una riduzione delle fermate degli impianti e delle disfunzioni di processo, migliorano la sicurezza degli stessi impianti e assicurano una migliore conservazione delle strutture aumentando i livelli complessivi di rendimento. Nel caso di impianti con più linee di trattamento in parallelo, gli interventi di manutenzione programmata sono realizzati nei periodi di minor carico dell'impianto, escludendo a rotazione le varie linee di trattamento.

La definizione di un corretto piano di gestione, manutenzione e controllo, è necessaria per l'ottimizzazione nell'utilizzo di risorse umane, tecniche ed economiche, a garanzia del funzionamento in continuo dell'impianto, del raggiungimento degli standard di qualità per l'effluente previsti per legge, del rispetto per l'ambiente e per la salute degli operatori.

Tale piano deve partire dalla definizione delle competenze e degli obiettivi da raggiungere, dall'esame delle strutture disponibili e della struttura organizzativa

necessaria. Esso è funzione della tipologia dell'impianto, della sua potenzialità e delle particolari situazioni locali.

In ogni caso dovrà comprendere:

- il programma di monitoraggio per il controllo di processo;
- le modalità di registrazione e trattamento dei dati per la valutazione dell'efficienza del processo;
- le procedure di diagnosi ed il programma di intervento in caso di disfunzioni;
- le procedure di selezione e formazione del personale addetto;
- gli aspetti igienico-sanitari e le misure di sicurezza;
- il programma per la manutenzione.

L'attività di monitoraggio consiste nel rilevamento di parametri che consentano l'interpretazione della situazione in atto all'interno dell'impianto e, conseguentemente, la valutazione dell'efficienza complessiva del sistema, acquisibile solamente attraverso una campagna analitica capillare e approfondita.

La definizione del piano di monitoraggio per la gestione ordinaria dell'impianto consiste nella programmazione delle diverse attività necessarie ad un controllo regolare, efficace e tempestivo dei rendimenti del processo.

A tale scopo è necessario effettuare una serie di scelte per definire prioritariamente:

- i parametri da misurare;
- la frequenza ed i tempi di campionamento;
- i punti di prelievo dei campioni su cui effettuare le misurazioni tenendo conto del costo delle analisi (reagenti e strutture) e del tempo di esecuzione (e quindi della manodopera impiegata);
- le modalità del campionamento (campioni istantanei, compositi, medi ponderati, manuali o automatici);

- la scelta delle metodologie analitiche.

In particolare, la scelta dei parametri da rilevare presuppone la conoscenza del significato da essi assunto, in relazione alla fase del processo considerata, al fine di fornire informazioni significativamente utili e facilmente interpretabili.

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 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 nella fase 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.

Nell'impianto visitato si eseguono controlli periodici da parte dell'ARPAM: ogni 15 giorni si ha un campionamento su 24 h; inoltre il protocollo impone un auto-campionamento e le relative analisi sono effettuate nel laboratorio interno all'azienda. Dunque l'impianto è monitorato attraverso le analisi sui campioni di liquame in ingresso e in uscita e sui campioni di fanghi una volta alla settimana, oltre al controllo quotidiano.

Quindi si distinguono due tipologie di monitoraggio:

- monitoraggio "routinario": effettuato nell'ambito della normale gestione dell'impianto di depurazione;
- monitoraggio "intensivo": determinato da qualche necessità specifica (campionamento) e limitato a un periodo di tempo circoscritto da ripetersi con scadenze definite; il monitoraggio "intensivo" deve essere effettuato per un periodo

almeno pari all'età del fango, prelevando campioni medi rappresentativi nel maggiore arco di tempo possibile (nell'impianto in esame si adotta un campionamento sulle 24 ore).

Gli obiettivi principali del monitoraggio e del controllo sono:

- fornire un insieme di strumenti per rendere possibile il monitoraggio e il controllo locale e remoto di un impianto di depurazione, anche attraverso l'utilizzo della rete Internet;
- realizzare un sistema dedicato alle piccole e medie imprese e quindi caratterizzato da bassi costi, facile installazione (plug and play) e gestione d'uso;
- ridurre i costi di depurazione attraverso la riduzione degli investimenti iniziali, dei costi di manutenzione e di esercizio.

5.2 Esempio di controllo quotidiano dell'impianto: monitoraggio "routinario"

Ogni impianto di depurazione è caratterizzato da una molteplicità di fattori (strutturali, di processo, 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.

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).

Oltre al monitoraggio in continuo di alcuni parametri – attraverso monitor a distanza - l’addetto al controllo ispeziona quotidianamente le diverse unità e annota in un registro concentrazione e portata dei parametri di controllo per le diverse fasi di trattamento:

a) Parametri di controllo:

- Ossigeno disciolto
- Volume fango (30’)
- Portata in ingresso (relativamente al tempo asciutto, nuvoloso/pioggia, pioggia intensa)

b) Scarico dei fanghi di supero:

- Volume dei fanghi
- Intervallo temporale
- Numero di scarichi

c) Disidratazione:

- Quantità fango centrifugato e relativa provenienza (ispessitore, stabilizzatore, bottini)

d) Disinfezione finale:

- Dosaggio ipoclorito di sodio
- Dosaggio di acido peracetico.

Oltre a tale registrazione, procede alla normale attività di conduzione come:

- verifica delle stazioni di pompaggio e sollevamento
- verifica delle operazioni di pulizia dei comparti di grigliatura e desabbiatura

- verifica visiva dei comparti del processo biologico
- controllo della miscela aerata mediante cono IMHOFF
- verifica della vasca di disinfezione e dei relativi dosaggi dei disinfettanti
- verifica dei carroponi e dei pozzetti schiuma-box
- verifica dell'efficienza della stazione di arrivo dei liquami settici
- verifica e controllo della linea fanghi
- controllo generale dell'impianto

Di seguito si riporta una tabella con una proposta di piano di monitoraggio e verifica per la conduzione routinaria di impianti di taglia 10000-100000 AE (fonte ISPRA 93/2009):

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
<i>E. Coli</i>	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 (<i>Oxygen Uptake Rate</i>)		1/settimana		
	AUR (<i>Ammonia Uptake Rate</i>)		1/settimana		
	NUR (<i>Nitrogen Uptake Rate</i>)		1/settimana		
Altri parametri					
Specifici caso per caso					

Figura 21 Proposta esemplificativa di controllo routinario

DATA: 25/05/2010 GIORNO: MARTEDÌ APERTURA Ore: 7.00

PERSONALE IN SERVIZIO
 Mattino: Pirani - Belli - Scarsellati
 Pomeriggio: Piccinetti
 Operatore/i gestore/i: Piccinetti Mattino: Piccinetti Pomeriggio: Piccinetti

P
A
R
A
M
E
T
R
I

OSSIGIGENO DISCIOLTO OX Ore: 7.00 mg/l 4.1 Ore: mg/l
 VOLUME FANGO (30') Ore: 7.45 mg/l 780 Ore: mg/l
 PORTATA INGRESSO Ore: 7.00 Lettura Mc: 2576300
 Lettura contaore: 2558000 Portata pompa sollevamento Mc/h x ore marcia
 Tempo asciutto Lettura precedente Data: (24/05) Lettura Mc: 2558000 MC 18300 Tot. ore 24
 Nuvoloso/Pioggia Pioggia intensa Lettura contaore: 2558000 MC 18300 Tot. ore 24
 Annotare con una x le attività di conduzione espletate

ATTIVITA' DI CONDUZIONE (inizio attività)

Verifica presenza tensione su tutti i quadri elettrici
 Registrazione dati relativi a ossigeno disciolto
 Verifica eventuali stazioni di pompaggio e sollevamento delle acque reflue
 Verifica e, se necessario, operazioni di pulizia dei comparti grigliatura e desabbatura
 Verifica visiva comparti decantificanti ed ossidante
 Effettuazione del controllo della miscela arcata mediante cono IMHOFF, con registrazione del relativo risultato
 Verifica vasche di decantazione e relativi dosaggi disinfettanti
 Verifica funzionalità ponti semoventi e ove presenti dei relativi pozzetti schium-box
 Verifica efficienza stazione conferimento liquami settici (solo per Ponte Metauro)
 Registrazione dei dati relativi alla portata
 Verifica delle vasche di disinfezione ed efficienza dei sistemi di dosaggio con relativa annotazione
 Verifica e controllo linea fanghi (Vasche stabilizzazione, silos ispessitore, estrattori centrifugo/i ove presenti) annotazione totalizzatore ore funzionamento estrattori centrifughi
 Controllo generale impianto, della integrità delle recinzioni, della assenza di tracce di intrusioni e segnalazione delle eventuali manomissioni o anomalie
FIRMA/E PER ATTESTAZIONE VERIFICA INIZIO ATTIVITA' di CONDUZIONE
[Firma]

SCARICO DEI FANGHI DI SUPERO

Dalle Ore: <u>09.45</u>	Alle Ore: <u>17.00</u>	Dalle Ore:	Alle Ore:	SCARICO TOTALE
Dalle Ore:	Alle Ore:	Dalle Ore:	Alle Ore:	<input type="checkbox"/> Minuti:
Dalle Ore:	Alle Ore:	Dalle Ore:	Alle Ore:	<input checked="" type="checkbox"/> MCM <u>105</u>
Minuti di scarico:		Numero di scarichi:		<u>1</u>

D
I
S
I
D
R
A
T
A
Z
I
O
N
E

Provenienza fango	dalle ore	alle ore	dalle ore	alle ore	Fetale ore
Estrattore centrifugo 1 Contaore: <u>457</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Isposs. <input type="checkbox"/> Stabilizz. <input checked="" type="checkbox"/> Bottini	<u>08.30</u>	<u>13.00</u>		
Estrattore centrifugo 2 Contaore: <u>233</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Isposs. <input type="checkbox"/> Stabilizz. <input checked="" type="checkbox"/> Bottini	<u>08.30</u>	<u>13.00</u>		
Fango centrifugato	Scarico 1 (Fango centrifugato) Kg: <u>11700</u>	Scarico 2 (Fango centrifugato) Kg:			
Altro (Letti essiccamento, vaglio, sabbie ecc)	Scarico 1 (<input type="checkbox"/> Letti essiccamento, <input type="checkbox"/> Vaglio, <input type="checkbox"/> Sabbie) Kg:	Scarico 2 (<input type="checkbox"/> Letti essiccamento, <input type="checkbox"/> Vaglio, <input type="checkbox"/> Sabbie) Kg:			

POLIELETTROLITA: Marca/Tipò

Quantità Kg:	Giudizio resa: <input type="checkbox"/> Ottimo <input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Mediocre	Aspetto visivo chiarificato: <input type="checkbox"/> Buono (con poco residuo di ast) <input type="checkbox"/> Mediocre (evidente residuo di ast) <input type="checkbox"/> Pessimo (difficoltà a separare)
Quantità Kg:	Giudizio resa: <input type="checkbox"/> Ottimo <input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Mediocre	

Figura 22a Registro del controllo routinario

Figura 22b Registro del controllo routinario

DISINFEZIONE FINALE	IPOCLORITO DI SODIO: Dosaggio totale L/h <u>9</u>	Stoccaggio 1 Kg. <u>12.000</u>	Residuo 1 Kg. <u>4.500</u>	Note:
		Stoccaggio 2 Kg. <u>12.000</u>	Residuo 2 Kg. <u>4.500</u>	
		Stoccaggio 3 Kg. <u>12.000</u>	Residuo 3 Kg. <u>6.600</u>	
	ACIDO PERACETICO Dosaggio totale L/h <u>18 x 30%</u>	Stoccaggio 1 Kg. <u>3000</u>	Residuo 1 Kg. <u>1750</u>	
NOTE:				
<p>- Prelevati campioni x LABORATORIO</p> <p>- INSTALLATE TRAPPOLE SU PIOPPI</p> <p>- Sopralluogo protezione x il facimento impianto porta centrifughe</p> <p>- SEA x misurazioni fondo bolle</p> <p>- Taglio del verole</p>				
ATTIVITA' di CONDUZIONE (fine attivita')				<i>Annotare con una X le attivita' di conduzione espletate</i>
Eventuale spegnimento estrattore centrifughe				X
Controllo generale impianto				X
Controllo eventuale presenza di personale da non segregare				X
Attivazione operazioni di chiusura (chiusura uffici, locali, magazzini, laboratori, officina, ecc., ove presenti)				X
Attivazione eventuali allarmi di sostituzione				X
Verifica efficienza apparecchiature elettriche				X
Verifica stato di attivazione impianto di allarme apparecchiature (combinatore telefonico)				X
Comunicare telefonicamente se in presenza di un solo operatore/gestore avvenuta chiusura impianto in sicurezza (solo per dep. di Ponte Moturo)				X
FIRMA/E PER ATTESTAZIONE VERIFICA FINE ATTIVITA' di CONDUZIONE				
<i>[Signature]</i>				
Note: (annotazioni inerenti eventuali osservazioni e/o rilevazioni in fase di chiusura impianto)				
Riepilogo apertura/ chiusura eventuali ed ulteriori controlli impianto	Apertura ore: <u>7.00</u>	Chiusura ore: <u>15.26</u>	Apertura ore:	Chiusura ore:
	Firma: <u>[Signature]</u>	Firma: <u>[Signature]</u>	Firma:	Firma:
	Apertura ore:	Chiusura ore:	Apertura ore:	Chiusura ore:
	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
	Apertura ore:	Chiusura ore:	Apertura ore:	Chiusura ore:
	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Eventuale controllo/verifica ufficio tecnico depurazione	Controllo/verifica		Controllo/verifica	
	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____
Eventuale controllo/verifica ufficio tecnico depurazione	Controllo/verifica		Controllo/verifica	
	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____	Ore: _____ Firma: _____

Per quanto riguarda l'impianto oggetto di studio, i parametri rilevanti per il controllo di processo sono l'MLSS, L'MLSSV, e la concentrazione d'azoto in uscita (azoto ammoniacale/nitrato), per i quali si attua una verifica quotidiana; insieme al laboratorio d'analisi si attua un programma mensile per il controllo del ricircolo, per l'analisi della regolazione d'ossigeno e per la valutazione del carico di miscela aerata. Per l'analisi dei consumi dei reagenti per la disinfezione si è fissata una portata di soluzione fissa in funzione della portata influente, mentre per il consumo energetico (energia elettrica) si ha un controllo mensile.

5.3 *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.

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).

Il controllo delle caratteristiche dei substrati in uscita può obbedire a due obiettivi diversi che richiedono diverse modalità di campionamento:

- regolazione del processo
- controllo fiscale

Per assolvere al primo obiettivo, la frequenza e la modalità di campionamento sono a discrezione dell'operatore. Tutti i parametri indicati (BOD, COD, TKN, NH₄, NO₃,

NO₂, P) sono misurabili pressoché in continuo tramite robot analitici: esistono sonde affidabili on-line solo per l'ossigeno disciolto e i solidi sospesi.

Per un obiettivo di campionamento fiscale e per come è oggi la legislazione italiana, si opererà su un campione medio sulle 24 ore ponderato sulle portate orarie.

Nell'impianto in esame si eseguono controlli periodici da parte dell'ARPAM: ogni 15 giorni si ha un campionamento su 24 h; inoltre il protocollo impone un auto-campionamento e le relative analisi sono effettuate nel laboratorio interno all'azienda. Dunque l'impianto è monitorato attraverso le analisi sui campioni di liquame in ingresso e in uscita e sui campioni di fanghi una volta alla settimana, oltre al controllo gestionale quotidiano.

I risultati dei controlli periodici effettuati dal gestore, devono essere adeguatamente registrati sul quaderno di registrazione dei dati (come previsto nell'Allegato 4 della Delibera CITAI) e messi a disposizione dell'autorità di controllo in caso di ispezione all'impianto ("Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" – ANPA - Dipartimento Prevenzione e Risanamento Ambientale).

Nel quaderno devono essere chiaramente indicate per ogni campione la data, l'ora, il punto di prelievo, le modalità di campionamento, le metodiche analitiche utilizzate e i relativi valori.

I dati raccolti nell'ambito dell'attività di monitoraggio devono essere organizzati ed espressi in modo tale che sia possibile effettuare delle elaborazioni statistiche e/o matematiche ai fini della quantificazione dei principali aspetti di gestione del processo.

Il trattamento dei dati acquisiti dovrà prevedere il calcolo delle grandezze fondamentali quali:

- bilanci di massa del processo riferiti ai singoli componenti, tenendo conto sia dei ricircoli provenienti dalla linea fanghi che, ove presenti, dei trattamenti congiunti dei reflui speciali;
- calcolo dei rendimenti depurativi per ogni unità;
- calcolo dei consumi (energia, reattivi, altre risorse);

- verifica dei calcoli cinetici relativamente ai processi fondamentali e valutazione complessiva dei processi mediante modelli matematici.

5.4 Campionamento e analisi chimico-fisiche: 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.

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.

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. 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.

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 flocc (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

Tabella 7 Parametri da determinare sul refluo in ingresso all'impianto: programma di monitoraggio intensivo e proposta esemplificativa di monitoraggio routinario.

Si riportano a titolo d'esempio i dati relativi ad un campionamento eseguito in data 25/5/2010.

MODALITA' DI CAMPIONAMENTO:

- istantaneo
- medio di 3 ore
- medio di 24 ore
- medio di ore,.....
- casuale
- in conformità alla Norma UNI 10802
- altro campione rappresentativo dell'intero ciclo di lavorazione

TIPOLOGIA DI ANALISI:

- analisi di potabilità' al D.Lgs 31/01
- analisi di conformità' alle tabelle allegate al D.Lgs. 152/06
- analisi di conformità alle tabelle allegate al D. Lgs 36/03
- analisi relative ad alcuni parametri chimico-fisici (COD, BOD5, SST)
- altro.....

NOTE:.....

PUNTI DI PRELIEVO ACQUE POTABILI:

<input type="checkbox"/> Pozzi Fano n°.....	<input type="checkbox"/> 07 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 02 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Pozzi Mondolfo n°.....	<input type="checkbox"/> 08 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 03 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Pozzi Monte Porzion°.....	<input type="checkbox"/> 10 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 04 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Pozzi Potabilizzatore	<input type="checkbox"/> 11 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 05 - Rete Mondolfo
Torno	<input type="checkbox"/> 12 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 06 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Ingresso Torno	<input type="checkbox"/> 13 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 07 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Uscita Torno	<input type="checkbox"/> 14 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 08 - Rete Mondolfo
<input type="checkbox"/> Uscita Nave Torno	<input type="checkbox"/> 15 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> Ingresso osmosi
<input type="checkbox"/> Uscita osmosi Monte	<input type="checkbox"/> 16 - Rete Fano	Mondolfo
Porzio	<input type="checkbox"/> 17 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> Uscita osmosi
<input type="checkbox"/> Ingresso osmosi Monte	<input type="checkbox"/> 18 - Rete Fano	Mondolfo
Porzio	<input type="checkbox"/> 19 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> Uscita osmosi Metaurilia
<input type="checkbox"/> 01- Rete Fano	<input type="checkbox"/> 51 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> Altro.....
<input type="checkbox"/> 03- Rete Fano	<input type="checkbox"/> 01 - Rete Monte Porzio
<input type="checkbox"/> 04- Rete Fano	<input type="checkbox"/> 02 - Rete Monte Porzio	
<input type="checkbox"/> 06 - Rete Fano	<input type="checkbox"/> 01 - Rete Mondolfo	

NOTE:.....

PUNTI DI PRELIEVO DISCARICA:

<input type="checkbox"/> Piezometri	<input type="checkbox"/> Canaletta est	<input type="checkbox"/> Percolato BACINO 1
<input type="checkbox"/> Fosso laterale	<input type="checkbox"/> Canaletta ovest	
<input type="checkbox"/> Fosso valle	<input type="checkbox"/> Percolato LAGO	

NOTE:.....

Il Responsabile del Laboratorio :
.....

Figura 23a documento di campionamento

a) Analisi del campione in ingresso impianto:

Rapporto di Prova N. **10519** del **10/06/2010** ID **823**
 Data Campionamento: **25/05/2010** Verbale n: **670**
 Origine Campione: **Impianto di depurazione Ponte Metauro - Via Tamerici**
 Comune: **Fano**
 Committente: **> Aset Spa**
 Punto di Prelievo: **01 - Ingresso Impianto**
 Tipo Campione: **Medio delle 24 ore**
 Prelevatore: **Tecnico Aset**
 Richiesto da: **Aset S.p.A. Settore Depurazione**

Parametri ricercati	Risultato	Limiti di rivelabil.			
pH	8,01		5,5 - 9,5	5,5 - 9,5	
Solidi Sospesi	mg/l	224	35	200	
Alcalinità Totale	mg CaCO ₃ /l	466,2	-	-	
C.O.D	mg/l	378	< 15	125	500
B.O.D.5	mg/l	193		25	250
Azoto Ammoniacale	mg NH ₄ /l	26,9	< 0,015	15	30
Azoto Nitroso	mg N/l	0,42	< 0,01	0,6	0,6
Azoto Nitrico	mg N/l	2,6	< 0,02	20	30
Azoto Totale (TKN)	mg N/l	26,8	< 1 mg/l	-	-
Fosforo Totale	mg P/l	3,72	< 0,5	10(2)	10
Cloruri	mg/l	104,1	< 1	1200	1200
Solfati	mg/l	122,9	< 40	1000	1000
Tensioattivi Anionici	mg/l			-	-
Tensioattivi Cationici	mg/l			-	-
Tensioattivi Non Ionici	mg/l			-	-
Tensioattivi Totali	mg/l		< 0,2	2	4
Cromo totale	mg/l	0,021	< 0,05 µg/l	2	4
Ferro	mg/l		< 0,1 mg/l	2	4
Manganese	mg/l	0,053	< 0,05 mg/l	2	4
Nichel	mg/l	0,023	< 0,1 µg/l	2	4
Piombo	mg/l	0,014	< 0,05 µg/l	0,2	0,3
Rame	mg/l	0,034	< 0,01 µg/l	0,1	0,4

Pagina 1 di 2

Zinco	mg/l	0,06	< 0,1 µg/l	0,5	1
Alluminio	mg/l		< 0,01 µg/l	1	2
Cadmio	mg/l	0,0004	< 0,001 µg/l	0,02	0,02

Note:

Le analisi vengono eseguite con i Metodi Ufficiali, salvo quando diversamente specificato.

Figura 23b Documento del campionamento: ingresso impianto

5.5 Campionamento e analisi chimico-fisiche: pretrattamenti

a) 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 verificassero efficienze inferiori a quelle attese;
- il calcolo della velocità del liquame a monte della griglia.
- la verifica e, se necessario, le operazioni di pulizia dei componenti di grigliatura e dissabbiatura

b) Dissabbiatura

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

5.6 Campionamento e analisi chimico-fisiche : il comparto biologico

a) 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 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 misure effettuate mediante sonde on-line dovrebbero comunque essere controllate regolarmente con strumenti portatili, per evitare l'acquisizione di dati errati a causa dello sporco 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.

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, 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.

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).

b) 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.

c) 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 parametro 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.

5.7 Campionamento e analisi chimico-fisiche: Sedimentazione secondaria

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.

5.8 Campionamento e analisi chimico-fisiche: Trattamenti terziari

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, durante la stagione estiva. 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. I composti del cloro 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: il dosaggio è sempre proporzionale alla portata del liquame.

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.

Nell'impianto in esame non si sono verificate formazioni di clorammine in uscita. 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 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 a titolo d'esempio i dati relativi ad un campionamento eseguito in data 25/5/2010: analisi del campione in uscita impianto:

Rapporto di Prova N.	10521	del	10/06/2010	ID	825
Data Campionamento:	25/05/2010	Verbale n:	670		
Origine Campione:	Impianto di depurazione Ponte Metauro - Via Tamerici				
Comune:	Fano				
Committente:	> Aset Spa				
Punto di Prelievo:	07 - Uscita Impianto				
Tipo Campione:	Medio delle 24 ore				
Prelevatore:	Tecnico Aset				
Richiesto da:	Aset S.p.A. Settore Depurazione				

Parametri ricercati	Risultato	Limiti di rivelabil.	Limiti Tab. 1 e 3 All. 5 D.Lgs. 152/06	
			<input checked="" type="checkbox"/> Acque Superficiali	<input type="checkbox"/> Fognatura
pH	7,58		5,5 - 9,5	5,5 - 9,5
Solidi Sospesi	mg/l 3,5		35	200
Alcalinità Totale	mg CaCO ₃ /l 316		-	-
C. O. D.	mg/l 18,9	< 15	125	500
B. O. D. 5	mg/l 2,1		25	250
Azoto Ammoniacale	mg NH ₄ /l i.l.d.	< 0,015	15	30
Azoto Nitroso	mg N/l i.l.d.	< 0,01	0,6	0,6
Azoto Nitrico	mg N/l 14,2	< 0,02	20	30
Azoto Totale (TKN)	mg N/l 2,2	< 1 mg/l	-	-
Fosforo Totale	mg P/l 2,09	< 0,5	10(2)	10
Cloruri	mg/l 107	< 1	1200	1200
Solfati	mg/l 123	< 40	1000	1000
Tensioattivi Anionici	mg/l i.l.d.		-	-
Tensioattivi Cationici	mg/l i.l.d.		-	-
Tensioattivi Non Ionici	mg/l i.l.d.		-	-
Tensioattivi Totali	mg/l i.l.d.	< 0,2	2	4
Cadmio	mg/l i.l.d.	< 0,001 µg/l	0,02	0,02
Cromo totale	mg/l 0,0033	< 0,05 µg/l	2	4
Ferro	mg/l	< 0,1 mg/l	2	4
Manganese	mg/l 0,0033	< 0,05 mg/l	2	4
Nichel	mg/l 0,01	< 0,1 µg/l	2	4
Piombo	mg/l 0,021	< 0,05 µg/l	0,2	0,3

Segue CERTIFICATO N° 10521 del 10/06/2010

Parametri ricercati	Risultato	Limiti di rivelabil.	Limiti Tab. 1 e 3 All. 5 D.Lgs. 152/06	
			<input checked="" type="checkbox"/> Acque Superficiali	<input type="checkbox"/> Fognatura
Rame	mg/l	0,0037	< 0,01 µg/l	0,1
Zinco	mg/l	0,061	< 0,1 µg/l	0,5

Note:
Le analisi vengono eseguite con i Metodi Ufficiali, salvo quando diversamente specificato.

L'analista: _____ Il Responsabile: _____

Figura 23c documento del campionamento: uscita impianto

Rapporto di Prova N.° 10522 del 10/06/2010 ID 826

Data Campionamento: 25/05/2010 Verbale n: 670

Origine Campione: Impianto di depurazione Ponte Metauro - Via Tamerici

Comune: Fano

Committente: > Aset Spa

Punto di Prelievo: 07Bis - Uscita Microbiologica

Tipo Campione: Istantaneo

Prelevatore: Tecnico Aset

Richiesto da: Aset S.p.A. Settore Depurazione

Parametri ricercati	Risultato	Limiti di rivelabil.	Limiti Tab. 1 e 3 All. 5 D.Lgs. 152/06	
			<input checked="" type="checkbox"/> Acque Superficiali	<input type="checkbox"/> Fognatura
Escherichia Coli	u.f.c./100 ml	1500		5000

Note:
Le analisi vengono eseguite con i Metodi Ufficiali, salvo quando diversamente specificato.

Il Responsabile
Dott.ssa Anna Gambioli

Figura 23d documento del campionamento: uscita microbiologica

5.9 Campionamento e analisi chimico-fisiche del fango centrifugato in uscita:

 <p>Laboratorio analisi</p> <p>Dott. Ernesto Secchiaroli n. 351 Ordine Chimici Marche</p>	<p>LAM s.r.l. Laboratorio Analisi</p>	<p>Sede legale v.le Oriani, 35 61030 Calcinelli di Saltara (PU) tel. e fax 0721 895176 / 879098</p> <p>Sede operativa via Paolo Borsellino, 12/E 61032 Fano (PU) tel. 0721 862526 fax 0721 864857 www.seagruppo.it e-mail: info@seagruppo.it</p>	<p>Reg. Imp. Cod. Fisc. / P.IVA: 00387420417 REA Pesaro e Urbino n. 77095 Cap. Soc. Euro 22.500.00 i.v.</p> 	<p>oef. LAB c. 4D</p>
	<p>Rapporto di Prova n° 09056113.1 del 24/07/2009 pag. 1 di 3</p>			
<p>Committente ASET SPA VIA E. MATTEI 61032 FANO (PU)</p>	<p>Destinatario ASET SPA VIA E. MATTEI 61032 FANO (PU)</p>		<p>ASET-FANO 24 AGO. 2009 Protocollo N° 0.6...7.</p>	
<p>Commessa 090561 del 06/04/2009 Campione di laboratorio 13 accettato il 07/07/2009</p>				
<p>Descrizione campione Commessa aperta – ID E 63 – Fanghi centrifugati Depuratore Ponte Metauro C.E.R.: 19 08 05 attribuita dal cliente: Prodotto: Rifiuti Solidi Non pericolosi</p>				
<p>Campionato da: Committente alle ore: Non applicabile</p>		<p>il: 07/07/2009 Verbale N° Non applicabile</p>		
<p>Procedura di Campionamento: Prel. da committente temperatura al prelievo (°C): Non applicabile Analisi effettuate: dal 07/07/2009 al 23/07/2009</p>		<p>aspetto visivo del campione: Pastoso condizioni ambientali al prelievo: non applicabile</p>		
<p>NOTE AL CAMPIONE:</p>				
<p>In riferimento al D. Lgs. N. 152 del 03/04/2006 ed alla Decisione CEE n. 532 del 03/05/2000, e successive modifiche ed integrazioni, sono definiti i seguenti valori limite relativi alla individuazione della pericolosità del rifiuto analizzato nel presente Rapporto di prova :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Punto di infiammabilità < 55°C - sostanze molto tossiche concentrazione totale < 0,1 % - sostanze tossiche concentrazione totale < 3 % - sostanze nocive concentrazione totale < 25 % - sostanze corrosive R35 concentrazione totale < 1 % - sostanze corrosive R34 concentrazione totale < 5 % - sostanze irritanti R41 concentrazione totale < 10 % - sostanze irritanti R36, R37, R38 concentrazione totale < 20 % - singola sostanza cancerogena (Cat. 1 o 2) concentrazione < 0,1 % - singola sostanza cancerogena (Cat. 3) concentrazione < 1 % - singola sostanza tossica per ciclo riproduttivo (Cat. 1 o 2) R60 o R61 concentrazione < 0,5 % - singola sostanza tossica per ciclo riproduttivo (Cat. 3) R62 o R63 concentrazione \geq < 5 % - singola sostanza mutagena (Cat. 1 o 2) R46 concentrazione < 0,1 % - singola sostanza mutagena (Cat. 3) R40 concentrazione < 1 % 				

Figura 24a analisi sul fango in uscita

Committente
ASET SPA
 VIA E. MATTEI
 61032 FANO (PU)

Destinatario
ASET SPA
 VIA E. MATTEI
 61032 FANO (PU)

Commessa **090561** del **06/04/2009**
 Campione di laboratorio **13** accettato il **07/07/2009**

Descrizione campione Commessa aperta – ID E 63 – Fanghi centrifugati Depuratore Ponte Metauro C.E.R.: 19 08 05
 attribuita dal cliente:
 Prodotto: Rifiuti Solidi Non pericolosi

Campionato da: Committente
 alle ore: Non applicabile
 Procedura di Campionamento: Prel. da committente
 temperatura al prelievo (°C): Non applicabile
 Analisi effettuate: dal 07/07/2009 al 23/07/2009
 ii: 07/07/2009
 Verbale N° Non applicabile
 aspetto visivo del campione: Pastoso
 condizioni ambientali al prelievo: non applicabile

NOTE AL CAMPIONE:

Risultati delle prove

Parametro	U.M.	Risultato	Lim.	Metodo di analisi
Aspetto	-	Fango palabile		Esame visivo
Colore	-	Marrone		Esame visivo
Odore	-	Proprio		Esame visivo
Analisi sul tal quale				
Residuo a 105°C	%	70,20	> 25	2 IRSA-CNR 64 Vol. II
Ceneri (residuo a 600°C)	%	5,10		Met.3 D.M. 11/05/92 – G.U. n° 121
Selenio	Se mg/kg	1,00		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Arsenico	As mg/kg	0,78		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Mercurio	Hg mg/kg	< 0,50		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Cadmio	Cd mg/kg	< 0,50		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Cromo totale	Cr mg/kg	7,75		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Cromo VI	Cr VI mg/kg	< 0,50		APAT CNR IRSA 3150 Man 29 2003
Nichel	Ni mg/kg	13,60		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Piombo	Pb mg/kg	9,70		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Rame	Cu mg/kg	77,50		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Zinco	Zn mg/kg	112,40		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2000
Test di cessione in acqua deionizzata a 24 ore				UNI 10802:2004+UNI EN 12457-2:2004
Bario (TC)	Ba mg/l	< 0,01	10	UNI EN ISO 11885:2000
Cadmio (TC)	Cd mg/l	< 0,001	0,02	UNI EN ISO 11885:2000
Cromo totale (TC)	Cr mg/l	< 0,01	1	UNI EN ISO 11885:2000
Rame (TC)	Cu mg/l	< 0,01	5	UNI EN ISO 11885:2000
Nichel (TC)	Ni mg/l	< 0,01	1	UNI EN ISO 11885:2000
Piombo (TC)	Pb mg/l	< 0,01	1	UNI EN ISO 11885:2000
Zinco (TC)	Zn mg/l	< 0,01	5	UNI EN ISO 11885:2000
Arsenico (TC)	As mg/l	< 0,001	0,2	UNI EN ISO 11885:2000
Mercurio (TC)	Hg mg/l	< 0,001	0,005	UNI EN ISO 11885:2000
Selenio (TC)	Se mg/l	< 0,001	0,05	UNI EN ISO 11885:2000
Antimonio (TC)	Sb mg/l	< 0,001	0,07	UNI EN ISO 11885:2000
Molibdeno (TC)	Mo mg/l	< 0,01	1	UNI EN ISO 11885:2000

MOD 59 rev. 1

Stirene (vinilbenzene) (Xn)	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
2-Etossietilacetato (T)	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
n-Amil acetato	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
Bromobenzene (Xi+N)	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
Mossilene (Xi+N)	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
1,2,4-Trimetil benzene (Xn+N)	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
p-Cimene	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64
n-Butil benzene	mg/kg	< 5,00	23-B IRSA-CNR 64

GIUDIZIO E COMMENTI

Vista la fonte e l'origine del rifiuto e le informazioni sul processo che lo ha prodotto, valutati i risultati ottenuti dall'analisi eseguita e la concentrazione dei composti molto tossici, tossici, nocivi, corrosivi, irritanti, cancerogeni, tossici per il ciclo riproduttivo e mutageni, viste le disposizioni della Dec. CEE n. 532/2000 e succ. modifiche, il rifiuto in esame è classificabile come RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO.
 Visto il D. Lgs. 36 del 13/01/2003, gli Allegati alla Parte Quarta del D. Legislativo N° 152 del 03/04/2006, considerati i limiti previsti dal Decreto Min. 03/08/2005 ed i limiti per l'eluato del medesimo, il rifiuto in esame può essere smaltito in DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI.

Il Direttore, Dott. Chim. Ernesto Secchiaroli
 Ordine Chimici Marche n. 351

Legenda: U.M. = unità di misura; Lim = valore limite; FM = Flusso di massa; NR = non rilevabile; ILR = inferiore limite rilevabilità.
 L'espressione "10E" indica l'elevamento a potenza di 10. I risultati delle prove si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il Rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio LAM srl. Viene omessa l'incertezza di misura in quanto non richiesta dal cliente.

MOD 59 rev. 1

Inserito negli elenchi ministeriali dei Laboratori in possesso dei requisiti di idoneità per analisi di amianto (D.M. 7/7/97)

Inserito negli elenchi dei Laboratori riconosciuti dall'Ordine dei Chimici - Marche per analisi ambientali

Autorizzato dal Ministero Politiche Agricole e forestali al rilascio di certificati di analisi nel settore oleico per specifiche prove

Accreditato presso la Regione Marche con decreto n° 1750/P/04 per prestazioni diagnostiche di laboratorio in regime ambulatoriale

Iscritto al Registro della Regione Marche come Laboratorio non annesso alle Industrie Alimentari per effettuare analisi ai fini dell'auto controllo

Riconosciuto da Agpa ai sensi del D.M. 04/04/2000 e D.M. 19/03/2001

Figura 24b analisi sul fango in uscita

5.10 *Controllo e piano gestionale: analisi delle disfunzioni*

Le carte di controllo, sostituite o integrate dalla gestione informatizzata, riportano i risultati delle varie indagini condotte in ogni aspetto specifico dell'impianto e consentono l'individuazione di correlazioni sfruttabili - in valutazioni predittive - nei piani di intervento gestionale.

Le disfunzioni che si possono verificare durante la gestione possono essere di natura:

- meccanica
- di processo

Le disfunzioni di tipo meccanico conducono spesso a disservizi parziali o totali di determinate fasi di trattamento. Per queste ultime situazioni si dovrebbero prevedere:

- procedure per la rapida sostituzione dell'apparecchio in avaria
- procedura per la messa in by-pass delle fase interessata dall'avaria.

Le disfunzioni di processo sono spesso riconducibili ad un controllo non adeguato dei principali parametri di funzionalità. In questo caso, l'analisi risulta spesso difficoltosa a causa dell'elevato numero di variabili e della correlazione tra queste. Va pertanto prevista l'organizzazione dei dati analitici raccolti - parametri funzionali e qualitativi: chimico-fisici o batteriologici - e l'integrazione di questi con le informazioni derivanti dalla gestione dell'idraulica - parametri quantitativi: portate, livelli, etc.- e dell'elettromeccanica - parametri on-line, stato delle macchine, allarmi.

L'analisi dei parametri si divide in tre sottogruppi:

- controllo dei parametri in ingresso (pH, T, BOD₅, N, NH..)
- controllo parametri di processo (pH, T, HRT, DO...)
- controllo dei parametri in uscita (SVI, età del fango, pH..)

Si riportano di seguito esempi di carte di controllo coi relativi valori di soglia e di allarme (Luigi Fanizzi: “ Il controllo e la gestione degli impianti biologici avanzati”):

Parametro	U.M.	Soglia di guardia	Soglia d'allarme
pH		< 6,5 e >8,25	< 6 e > 8,5
rH	mV	0	-50
Temperatura	°C	> 30	> 40
BOD ₅	mg/L	100	
COD	mg/L	250	
COD/BOD ₅		3	5
N	mg/L	20	60
NH ₄	mg/L	12	50
P	mg/L	2,5	10
Tensioattivi totali	mg/L		15
Oli e grassi	mg/L		150
Idrocarburi totali	mg/L		35
Solfuri (S)	mg/L		2
Alcalinità (CaCO ₃)	mg/L	100	50
Conducibilità elettrica	S/cm	250	1250

Parametro	U.M.	Soglia di guardia max	Soglia di allarme max	Soglia di guardia min	Soglia di allarme max
O ₂ in ossidazione	mg/L	3	3,5	1,5	

O ₂ in ricircolo M.L.	mg/L		2,0		
O ₂ in denitrificazione	mg/L		0,1		
ORP in denitrificazione	mV	-125	-50	+50	
ORP in ossidazione	mV				
SST ossidazione	mg/L	5000	5500		
SST ricircolo	mg/L	10000	11000		
pH ossidazione		8,25	8,5		
SVI ossidazione	mg/L	120	> 150		

Tabella 8 Esempio di carta di controllo

6 MONITORAGGIO E CONTROLLO A DISTANZA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

La riduzione dell'inquinamento generato dalla rete diffusa di scarichi civili ed industriali rappresenta uno degli obiettivi principali delle politiche di salvaguardia dell'ambiente e conservazione del territorio.

Le acque reflue hanno un importante impatto ambientale in Italia e in generale in Europa e la maggior parte di questi scarichi sono trattati da impianti di dimensioni medio-piccole, rappresentanti una fonte più che potenziale d'inquinamento.

Il monitoraggio e il controllo hanno come prioritaria finalità il miglioramento della qualità nella gestione dell'impianto e il miglioramento dell'affidabilità del processo di depurazione e del suo impatto sul sistema territorio e sul bacino idrico di riferimento.

Per aumentare la qualità gestionale si ha un sistema di telecontrollo e supervisione, che, nel suo complesso, supporta procedure integrate che accrescono l'affidabilità dei processi e l'ottimizzazione costi-prestazioni:

- il sistema di telecontrollo garantisce il funzionamento ottimale del processo di depurazione;
- il sistema di supervisione genera avvisi ed allarmi in caso di guasti e malfunzionamenti.

Dunque il monitoraggio e il telecontrollo in tempo reale di un impianto consentono di gestire in maniera più efficiente ed economica sia la manutenzione ordinaria che gli interventi d'emergenza in caso di guasti e malfunzionamenti e di intervenire in maniera tempestiva per avere sempre la migliore resa in termini di qualità depurativa.

Affinché tale sistema sia uno strumento di gestione adatto alle esigenze degli impianti di dimensioni medie e piccole, dovrà essere caratterizzato da:

- bassi costi
- installazione di plug and play

Inoltre dovrà essere progettato per limitare al minimo indispensabile l'intervento di operatori esperti sia nella fase d'installazione che durante il normale funzionamento e consentire un facile utilizzo anche da parte di personale non esperto.

Il sistema perciò, nel suo complesso, supporta procedure integrate che accrescono l'affidabilità dei processi: attraverso la piena implementazione delle potenzialità di telecontrollo mediante l'utilizzo della rete Internet, si introducono strumenti atti a prefigurare la realizzazione di una infrastruttura a rete per il monitoraggio degli impianti di depurazione, consentendo di gestire in maniera più efficiente ed economica sia la manutenzione ordinaria che gli interventi di emergenza in caso di guasti e malfunzionamenti e di intervenire in maniera tempestiva per avere sempre la migliore resa in termini di qualità della depurazione ("Soluzioni innovative per il telecontrollo degli impianti di depurazione delle acque reflue" P. Ratini, N. Fiocchi).

6.1 Telecontrollo

L'automazione degli impianti di trattamento delle acque reflue è considerata oggi come una delle nuove frontiere nello sviluppo di efficienti sistemi di depurazione in grado di assicurare gli standard di scarico ed i contenuti energetici richiesti. Negli ultimi anni di pari passo alle innovazioni dei processi biologici, per una sempre più spinta rimozione degli inquinanti delle acque di scarico, si assiste ad una progressiva apertura del mondo dell'Ingegneria Sanitaria a competenze complementari che possono portare sensibili vantaggi nella conduzione degli impianti per il trattamento delle acque. Fra questi rivestono una primaria importanza i metodi e le tecnologie proprie dell'automazione, che consentono di ottenere i rendimenti depurativi imposti dall'attuale normativa ed i risparmi gestionali richiesti dall'attuale crisi energetica ("Telecontrollo degli impianti di trattamento dei reflui" S. Marsili-Libelli).

I miglioramenti attesi dall'introduzione dell'automazione sono:

- ottimizzazione del rendimento depurativo in ogni condizione di funzionamento
- incremento dell'affidabilità e del rispetto dei limiti di legge attraverso il monitoraggio e il controllo coordinato delle varie unità di processo.

Per quanto riguarda la sensoristica, i parametri essenziali che oggi possono essere monitorati in modo affidabile e relativamente economico sono:

- portata, sia di processo che dei vari ricircoli interni
- pH, RedOX
- ossigeno disciolto
- azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo inorganico nella vasca di ossidazione ed in uscita
- densità dei solidi sospesi nella vasca di ossidazione
- altezza del letto di fanghi del sedimentatore e dei fanghi di ricircolo

Le moderne tecniche di analisi dei dati forniscono degli efficienti metodi di diagnosi dei guasti, che accoppiati alla modellistica in tempo reale, permettono l'individuazione precoce dei malfunzionamenti.

In particolare l'automazione mette in luce un insieme di relazioni, altrimenti difficili da evidenziare, fra i parametri operativi di un impianto ed il suo rendimento: l'importanza dell'automazione nel controllo dei depuratori biologici è ormai consolidata (Wastewater treatment systems – Modelling, diagnosis and control, Olsson-Newell. IWA Publishing) ed è stato dimostrato che l'impiego delle tecniche di automazione possono incrementare la capacità di rimozione dei nutrienti fino al 30% e che l'approfondimento delle conoscenze conseguente al loro impiego sta producendo un ulteriore avanzamento dei processi innovativi e di un miglior rendimento di quelli tradizionali.

6.2 Efficienza e funzionalità della strumentazione on-line: esempio di applicazione del sistema di controllo a distanza

I miglioramenti ottenuti attraverso il software per il controllo possono essere schematicamente sintetizzati:

- tempestività: intervento a seguito di un allarme e non a seguito di segnalazione da parte degli utenti
- ottimizzazione costi trasporto e personale
- certezza dei dati: tutti i dati operativi sono memorizzati in un database
- analisi storica: i dati memorizzati nel database permettono l'analisi della rete fognaria
- standardizzazione: i quadri sono stati costruiti allo stesso modo e con le stesse funzionalità
- semplicità: l'operatore ha un modo uniforme di utilizzare gli impianti

Il sistema prevede la gestione e la supervisione degli impianti di depurazione del Comune di Fano e delle 30 stazioni di sollevamento e di 4 pluviometri e attraverso una pagina sinottica è possibile attivare le comunicazioni con le stazioni periferiche.

Schema 1: sollevamento-grigliatura-dissabbiatura

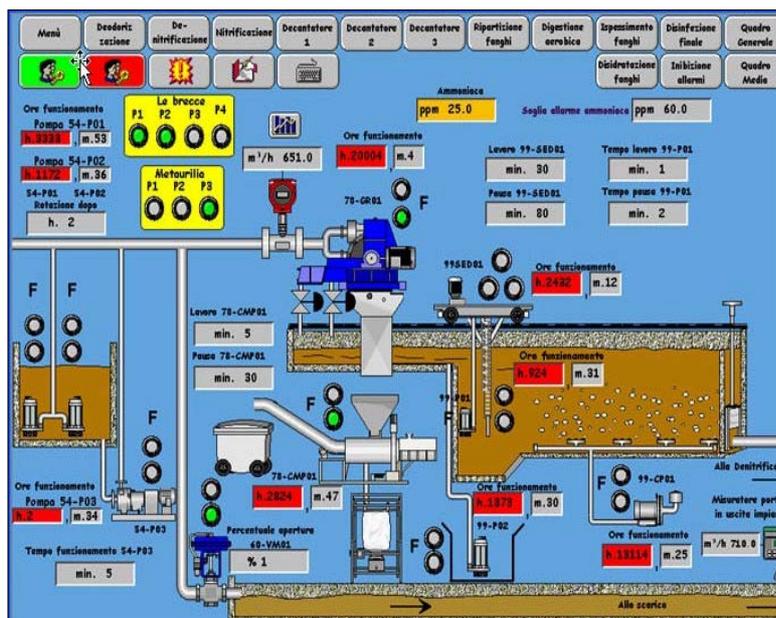


Figura 25 interfaccia di controllo: pretrattamento

- visualizzazione dei dati di funzionamento - portate e analisi;
- visualizzazione di tutti gli stati e gli allarmi dei macchinari: è possibile comandare manualmente
- l'avvio delle macchine dalla finestra di dialogo.

Schema 2: denitrificazione

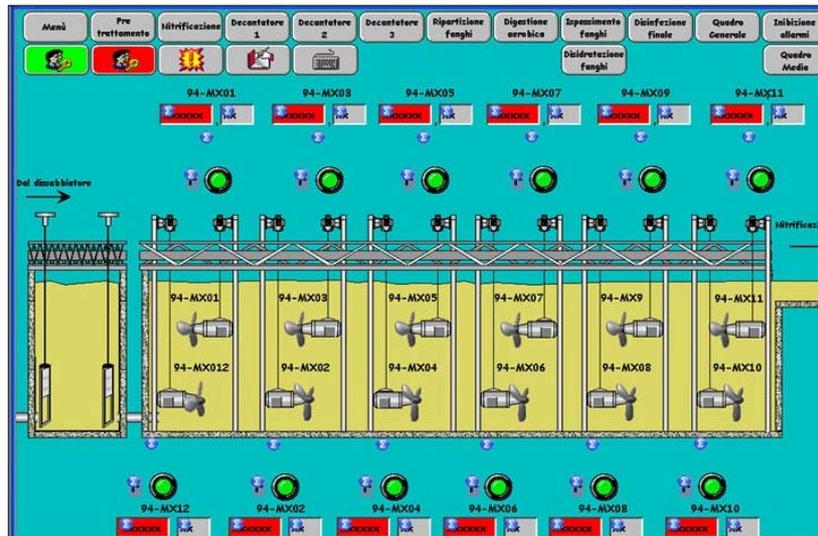


Figura 26 interfaccia di controllo: denitrificazione

- visualizzazione dei dati di funzionamento;
- visualizzazione di tutti gli stati e gli allarmi dei macchinari: accensione e spegnimento dei 10 miscelatori di liquame.

Schema 3: nitrificazione

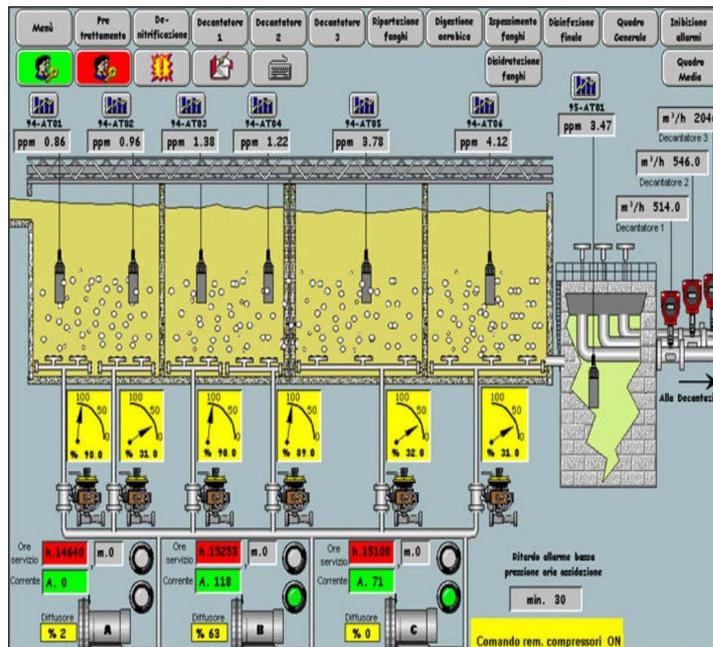


Figura 27 interfaccia di controllo: nitrificazione

- visualizzazione dei dati principali di funzionamento - portate e analisi;
- visualizzazione di tutti gli stati e gli allarmi dei macchinari;
- gestione delle soffianti e delle valvole di regolazione in base al valore medio delle 6 misure di ossigeno disciolto in vasca e della misura della concentrazione di ossigeno in uscita al pozzetto partitore di portata.

Schema 4: Decantazione-Sedimentatori

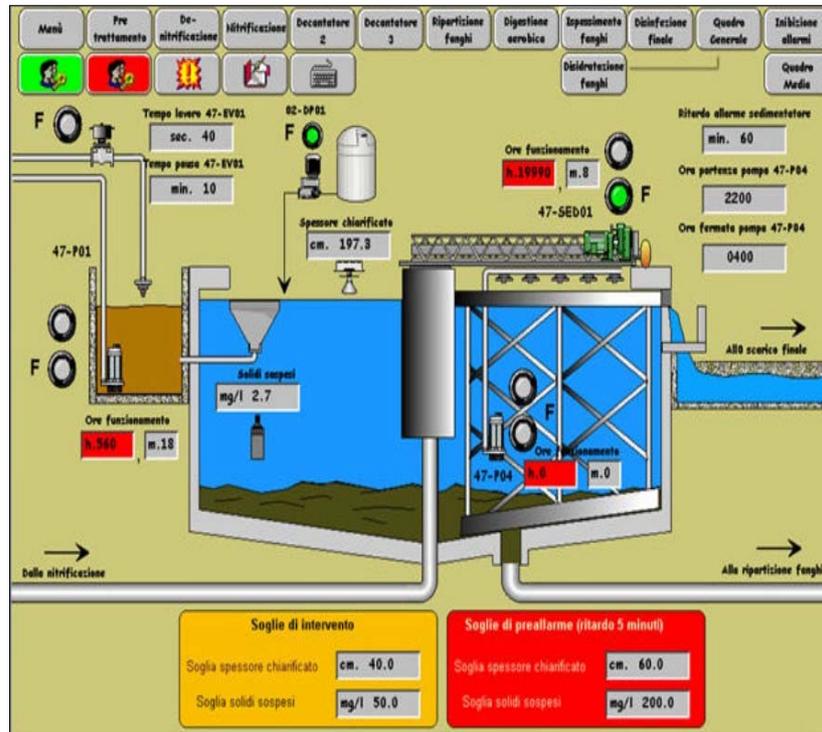


Figura 28 interfaccia di controllo: sedimentazione

- visualizzazione dei dati di funzionamento - analisi e altezza chiarificato;
- visualizzazione di tutti gli stati e gli allarmi : soglie d'intervento e preallarme;
- le pompe di ricircolo sono azionate in base a soglie di portata in ingresso alla nitrificazione.
- le pompe di supero e dei surnatanti sono azionate con logica pausa-lavoro.

Schema 5:Disinfezione

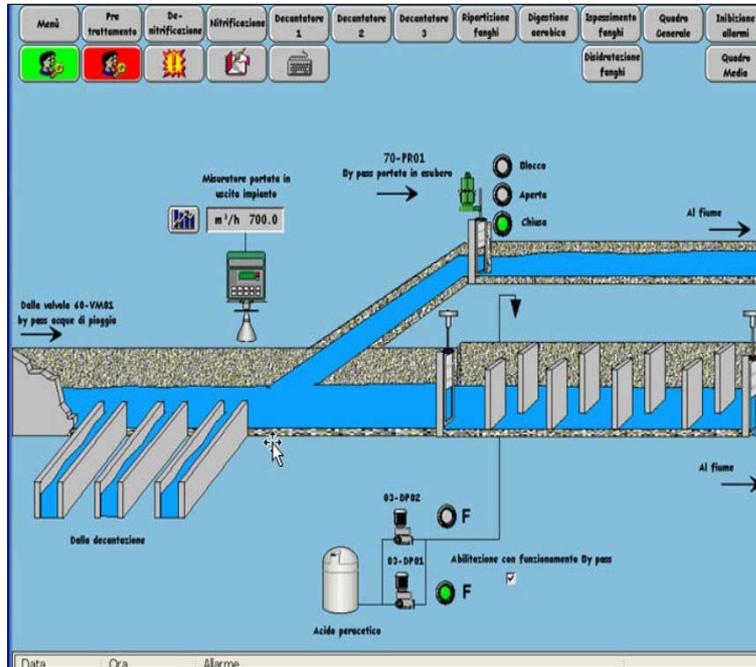


Figura 29 interfaccia di controllo: disinfezione

- Visualizzazione dei dati principali di funzionamento - portate, livelli, analisi.
- Visualizzazione di tutti gli stati e gli allarmi dei macchinari
- E' possibile il comando manuale d'avvio delle macchine dalla finestra di dialogo.
- La regolazione dei reagenti è effettuata in maniera proporzionale sulla base del liquame trattato.

Schema 6: Linea fanghi - pozzetto partitore – digestore – ispessitore

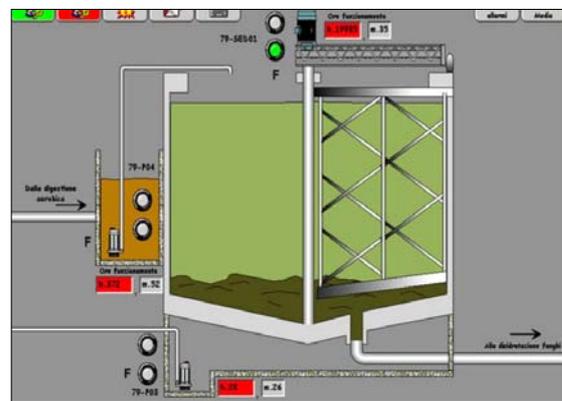
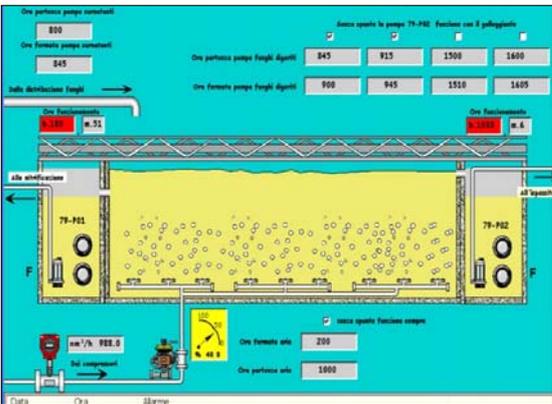
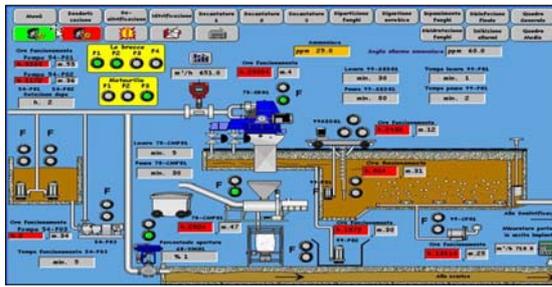


Figura 30 interfaccia di controllo: linea fanghi

- Regolazione delle valvole telescopiche del pozzetto partitore della linea fanghi;
- regolazione della portata dei fanghi di supero in funzione di un intervallo temporale definito in funzione del ciclo scelto per i fanghi;
- visualizzazione dei dati principali di funzionamento - portata, livelli, volumi e intervalli temporali;
- visualizzazione degli stati e degli allarmi; macchinari di disidrata-zione fanghi sono gestiti da automatismi locali.

7 ANALISI DEI PRINCIPALI PARAMETRI DI PROCESSO: CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI

7.1 *Introduzione*

La depurazione biologica a fanghi attivi è conosciuta da più di 80 anni ed ora è utilizzata nella maggioranza delle situazioni per il trattamento dei liquami civili ed industriali (il primo impianto iniziò la sua attività nel 1927 a Milwaukee negli Stati Uniti); in Italia trova poi vastissime applicazioni (oltre 4000 impianti), a differenza di altre tipologie. Lo studio di questi processi risulta di notevole importanza, dovuta all'aumentata considerazione del fattore ambientale e della maggior ristrettezza dei limiti in seguito alle normative europee. E' necessario descrivere il processo (Vismara, Comolli, Butelli) e le sue fasi: nel reattore biologico avvengono fenomeni di bioflocculazione e di metabolismo batterico, che richiedono un equilibrio tra biomassa (MLSS), quantità di substrato (BOD), ossigeno disciolto (OD), volume e tempo relativo al completamento delle reazioni biochimiche; nel sedimentatore secondario invece avviene la separazione tra acqua chiarificata e fango biologico che viene poi rimandato nel reattore attraverso il ricircolo.

Il processo biologico si basa sull'attività di microorganismi di vario tipo (principalmente batteri) rivolta alla distruzione di composti organici; il liquame subisce la depurazione ad opera di una flora batterica ed in particolare avviene l'ossidazione biologica del substrato organico biodegradabile da parte di una popolazione di microorganismi (biomassa) e l'"inglobamento" delle sostanze sospese non sedimentabili nei fiocchi della biomassa stessa.

Esistono numerosi fattori che influiscono sul funzionamento tra cui la portata in ingresso (il carico idraulico), parametri come COD, la presenza di azoto, fosfati (sono detti anche parametri qualitativi); di non minore importanza è poi il monitoraggio della rete di adduzione all'impianto di trattamento, che permetterebbe i migliori risultati nella gestione dell'impianto.

Un posto di primaria importanza è occupato dal controllo in continuo, che dovrebbe aumentare sempre di più vista la grande complessità di gestione di alcuni processi che

si incontrano all'interno degli impianti. Il processo a fanghi attivi risulta spesso instabile negli obiettivi di depurazione, in quanto soggetto a continue variazioni qualitative e quantitative dei parametri di ingresso, non necessariamente prevedibili.

Sono stati introdotti strumenti di simulazione del processo, per migliorare la comprensione e la valutazione, per aiutare l'esperto nel suo lavoro e fare in modo che l'impianto venga sempre più trattato come un sistema che reagisce in un certo modo a degli stimoli.

L'obiettivo principale nella conduzione degli impianti di depurazione è mantenere il più elevato possibile il rendimento depurativo dell'impianto a fanghi attivi, quindi studiare i parametri di esercizio del reattore biologico e della sedimentazione secondaria: si analizza l' F/M, fattore di carico organico cioè il rapporto tra substrato organico e fango attivo, il fattore di carico volumetrico CFV, il tenore di ossigeno disciolto OD.

Si può affermare che l'indagine delle caratteristiche dell'impianto come è tradizionalmente operato, cioè l'analisi del BOD₅, COD, ... , contribuisce in maniera limitata al controllo effettivo del processo. Oltre a questo tipo di controllo, classico, è necessario determinare altri parametri, più tipici del processo biologico.

Esistono diversi parametri e fattori utilizzati per l'indagine delle caratteristiche dell'impianto e per la gestione e il controllo dei processi fisico-biologici nell'impianto stesso.

Per "parametri di regolazione" si intendono quei parametri attraverso i quali si regolano le fasi del processo, e cioè le portate di ricircolo, spurgo e trasferimento di ossigeno. La variazione di questi parametri può essere immediatamente trasferita in operazione di regolazione di flussi o di macchine (Vismara, Comolli, Butelli).

Invece i "parametri di autocontrollo" permettono di riconoscere l'efficienza del processo; sono di tipo chimico-fisico-biologici; attraverso dei valori normali di riferimento si potrà poi regolare il processo in esame mediante delle variazioni dei parametri di regolazione. Alcuni esempi sono bassi valori di inquinamento in uscita,

assenza di schiuma; è possibile una regolazione automatica o manuale di questi parametri, inoltre sono correlati agli obiettivi di efficienza del processo.

Infine i "parametri di controllo" sono parametri chimico-fisico-biologici rilevati in vari punti dell'impianto che spiegano il processo; devono essere osservate eventuali presenze di sostanze tossiche in ingresso, valori di parametri classici quali il COD, pH, OD, MLSS, MLVSS, SVI.

Sono rilevati in diversi punti chiave del processo e non sono direttamente correlati con gli obiettivi del processo, ma permettono spesso di spiegare un malfunzionamento e di definire l'evoluzione dei parametri di autocontrollo.

E' opportuno notare come, oltre a valutare i parametri tipici di controllo elencati, si devono osservare anche gli aspetti microscopici della qualità del fango che consentono di riconoscere preventivamente la presenza di eventuali specie batteriche pericolose o di problematiche particolari dell'impianto.

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.

7.2 Parametri di controllo diretto

a) Portata di liquame, Q_i

E' un parametro chiave per interpretare i fenomeni di depurazione e per attuare tutte le regolazioni a valle che consentono di mantenere gli obiettivi del processo. La portata del liquame che entra nel reattore è direttamente correlata all'efficienza di depurazione del processo biologico.

E' noto che la portata non è costante nelle 24 ore (a meno di sistemi di equalizzazione) ma presenta valori minimi notturni e massimi diurni, tali oscillazioni possono provocare uno shock al reattore, qualora il tempo di ritenzione idraulico sia eccessivamente limitato (qualche ora), mentre i reattori con tempi di ritenzione di 10 e

più ore (perciò gli impianti a basso carico e gli impianti per la rimozione di N e P) diluiscono tali effetti in una grande massa idrica.

Inoltre si può avere una diminuzione della concentrazione di fango MLSS nel reattore coincidente con l'aumento di portata e conseguente diminuzione della concentrazione di ossigeno disciolto in vasca.

b) Caratteristiche dei substrati in ingresso (COD, BOD, TKN, NH₄, NO₃, P): concentrazioni e carichi

La composizione chimica dei liquami all'ingresso del reattore è uno dei fattori principali, assieme alla portata, che condizionano l'efficienza dell'intero impianto, incluso il sedimentatore.

Occorre sottolineare che, in taluni impianti, il liquame che entra nei reattori ha subito prima il passaggio in un sedimentatore, ed è quindi privo di solidi pesanti e sedimentabili: peraltro in altri impianti, specie i più piccoli o gli impianti con predenitrificazione, non è prevista alcuna preventiva sedimentazione per cui i reattori vengono alimentati con liquame grezzo.

Presupponendo una composizione chimica prevalentemente organica dei substrati in ingresso, i parametri di controllo sono in genere ascrivibili a:

- COD_{tot}, TOC
- BOD₅
- TKN, NH₄⁺
- NO₃, NO₂
- P
- pH
- Solidi sospesi
- Solidi sedimentabili

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 e la relativa portata giornaliera.

$$\text{Carico giornaliero} = \frac{C \cdot Q_d}{1000}$$

dove:

- C: concentrazione del generico parametro [mg/L];
- Q_d : portata media giornaliera [m³/d];

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.

c) **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:

$$\eta = \frac{X_i - X_{out}}{X_i} \cdot 100$$

dove:

– X_i : 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:

$$\eta_{N_{tot}} = \frac{X_{N_{tot}i} - X_{N_{tot}out}}{X_{N_{tot}i}} \cdot 100$$

dove:

– $X_{N_{tot}}$: carico medio giornaliero di tutte le forme di azoto, rispettivamente in ingresso ed in uscita [kg/d].

Qualora la linea di trattamento presenti una fase di nitrificazione e una di denitrificazione si calcolerà il rendimento di rimozione dei singoli trattamenti.

d) Bilanciamento dei substrati in ingresso

La biomassa batterica cresce in una miscela nutritiva - il liquame - che contiene generalmente un'abbondanza preminente di sostanze organiche carboniose e una quota minoritaria di macronutrienti, soprattutto azoto e fosforo, oltre a piccole quantità (in genere sempre sovrabbondanti) di Ca, Mg, K, Mn, Fe e Co.

Il liquame domestico presenta rapporti di queste sostanze in genere già bilanciati per un'ottimale crescita batterica. In crescita endogena (alta età dei fango) vale in genere BOD:N:P = 200:5:1, mentre in crescita attiva vi è più richiesta di nutrienti per cui BOD:N:P = 100:5:1.

Nel caso di effluenti industriali si può essere in presenza di forti carenze di alcuni nutrienti: le carenze di carbonio richiedono dosaggi di sostanze economicamente

sostenibili come l'acetone; le carenze di azoto e fosforo vengono risolte con sali di e soluzioni di uso agronomico.

d) Ossigeno disciolto, OD

Si tratta – come già evidenziato - di un parametro chiave per il buon funzionamento dell'impianto biologico, anche perché – insieme alla portata di scarico - è direttamente modificabile dal gestore dell'impianto. La presenza di ossigeno è ovviamente fondamentale per lo svolgimento di qualsiasi processo aerobico, ma risulta tuttavia estremamente difficile definire livelli sotto e oltre i quali si possono instaurare condizioni critiche per l'impianto. Da manuale – come precedentemente citato – si dovrebbe mantenere un valore costante di ossigeno in vasca pari a circa 2 mg/l: la scelta gestionale è stata quella di considerare tale valore come media dei valori misurati in vasca, regolando le concentrazioni di ossigeno con andamenti variabili con valori crescenti da monte a valle, in funzione delle differenti “esigenze” di ossigeno disciolto nelle vasche d'aerazione.

I provvedimenti da prendere per ottenere questi risultati sono:

- Nel caso di aerazione mediante diffusori:
 - Aumentare la portata di aria incrementando la velocità della soffiante o inserendo la soffiante di riserva.
 - Diminuire la portata di liquame, aumentando il numero di vasche in funzione, o aumentando la portata in alcune vasche in modo da diminuirla nelle altre fino ad ottenere la concentrazione di ossigeno voluto, oppure by-passando parte della portata direttamente nel corpo idrico ricettore (questa pratica è sconsigliabile e dovrebbe essere usata solo in caso di emergenza).
- Nel caso di aerazione mediante agitazione meccanica:
 - Aumentare la velocità del meccanismo (se è possibile).
 - Mettere in servizio nuovi aeratori.

- By-passare parte della portata scaricandola nel corpo idrico ricettore, se la situazione locale lo consente.

e) Misura della concentrazione del fango (MLSS, MLVSS)

La rilevanza di questi parametri è immediatamente chiara in quanto tutto il processo di depurazione biologica avviene a livello del fiocco di fango e l'entità di rimozione ottenibile dipende dalla quantità di fango presente. Seppur fissato in fase di progetto, il contenuto di MLSS in aerazione è un parametro soggetto a variazioni, sia a breve che a lungo termine, legate non solo alle caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi e alle modalità di spurgo, ma anche, per un effetto idraulico di diluizione, alle variazioni del flusso di liquame in ingresso.

- Solidi sospesi totali nei fanghi: con il termine di solidi sospesi totali, MLSS, in genere abbreviato in “solidi sospesi”, si intende quantificare una frazione nella vasca di aerazione (mixed liquor) che escluda le componenti disciolte (che passano quindi oltre un filtro) e che includa:
 - sostanza organica ed inorganica sospesa, inerte, sia biodegradabile che non biodegradabile;
 - biomasse attive e non di qualsiasi natura.

La misura dei solidi sospesi è largamente utilizzata:

- per stimare la quantità di fango “attivo” operante in vasca di reazione e controllarne il valore desiderato, che è legato a tutti i parametri che caratterizzano il rendimento di depurazione di tale vasca;
- per controllare il carico sopportabile della sedimentazione in termini di carico di solidi superficiali;
- per valutare la concentrazione di fango nelle diverse linee di ricircolo provenienti sia dal sedimentatore che da altri reattori e quindi calcolare le portate di ricircolo;
- per valutare tutti i bilanci di massa delle linee di trattamento dei fanghi.

- Solidi sospesi volatili nei fanghi: con il termine di solidi sospesi volatili, MLVSS, si intende quantificare una frazione nella vasca di areazione (mixed liquor) che esclude le componenti disciolte ed inorganiche e che include:
 - sostanza organica inerte biodegradabile e non biodegradabile;
 - biomassa attiva e non di qualsiasi natura.

Un'analisi dei solidi sospesi volatili implica l'analisi preventiva dei solidi sospesi totali e ne rappresenta una frazione più dettagliata.

Il rapporto MLVSS/MLSS è un indice della presenza di biomassa (o sostanza organica) rispetto ad una frazione che può contenere molti inerti. Un fango attivo presenta valori di MLVSS/MLSS attorno a 0.7-0.8; un fango digerito od un fango attivo a basso C_f può presentare valori di MLVSS/MLSS 0.5-0.6; un fango proveniente da un controlavaggio di filtro a sabbia può avere MLVSS/MLSS 0.3-0.4 e lo stesso un fango condizionato con calce prima o dopo la filtrazione. Per la sua specificità la misura dei MLVSS è largamente utilizzata:

- per stimare la quantità di fango attivo operante nelle vasche di areazione e controllarne il valore desiderato che è legato a tutti i parametri che caratterizzano il rendimento di depurazione dei reattori;
- per stimare le caratteristiche di stabilizzazione biologica e l'efficienza dei reattori di digestione aerobica e anaerobica dei fanghi.

f) Potenziale di ossidoriduzione, ORP

Il potenziale di ossido-riduzione; benché non possa essere considerato un parametro di controllo vero e proprio, fornisce una tendenza sullo stato di ossido-riduzione del sistema, e relativamente alla rimozione delle sostanze azotate consente di avere utili informazioni sul rapporto delle specie azotate, azoto nitrico e ammoniacale (Comolli). Il rilevamento del potenziale redox permette di evidenziare la qualità del fango attivo espresso come “potenziale di attività” e di ottimizzare i tempi di aerazione:

- basso carico di fango o elevata concentrazione di ossigeno disciolto, ORP da +450 a +300 mV ;
- fango in condizioni di carico costante ed aerazione normale, OPR da +300 a +150 mV ;
- fango in condizioni di alto carico ed in condizioni di aerazione limita, OPR da +150 a -200 mV;
- condizioni di anaerobiosi, OPR inferiore a -200 mV .

g) pH

Questo parametro influenza notevolmente la funzionalità dei processi biologici agendo su diversi meccanismi. Il processo a fanghi attivi opera senza grosse variazioni di efficacia nel campo di pH 6,8 - 8. In genere il valore più comune si aggira su pH 7,5 - 7,8 . I valori si intendono misurati all'interno della vasca di aerazione. Va sottolineato inoltre che il fango attivo è in grado di tamponare brevi immissioni di flussi a pH estremi (da 1 a 11), senza mostrare grandi variazioni di pH nelle vasche di aerazione. Spesso capita che il sistema non mostri di essere stato danneggiato a livello biochimico (buon livello respirometrico o di altri parametri di attività), ma mostra invece patologie nelle caratteristiche di sedimentabilità e bioflocculazione del fango che si manifestano con un effluente torbido e/o ricco di solidi sospesi. Per questi motivi occorre predisporre sistemi di abbattimento per questi veri e propri shock da pH che sono tanto più pericolosi quanto più esiguo è il tempo di ritenzione idraulica della vasca a fanghi attivi.

h) Temperatura

La temperatura del liquame influenza il processo a livello biochimico, microbiologico, chimico e chimico-fisico. A fronte di elevate escursioni notte/giorno della temperatura atmosferica, normalmente le escursioni dei liquami di fognatura sono più contenute. Generalmente nei nostri climi la temperatura di un liquame domestico è abbastanza costante (10°C d'inverno e 20°C d'estate) ed in ogni caso senza variazioni repentine nelle 24 ore, in alcune acque di tipo industriale od a forte componente industriale

questo fenomeno è invece piuttosto variabile per cui bisogna tenerne debito conto e prevedere sistemi di omogeneizzazione, oltre ad una progettazione più attenta nei confronti del sistema biologico

Per quanto riguarda la grande maggioranza dei batteri dei fanghi attivi, il range ottimo di temperatura si aggira attorno ai 25 °C mentre il campo di massima variabilità oscilla dai 4 ai 40 °C: per temperature inferiori ai 10 °C si ha un notevole rallentamento della velocità del processo; i processi più sensibili alla temperatura sono quelli dedicati alla rimozione dell'azoto.

i) Concentrazione di fango nel ricircolo, SSr

La misura della concentrazione di fango nel ricircolo dal sedimentatore serve a determinare l'entità della portata di ricircolo dei fanghi, atta a mantenere una desiderata concentrazione di solidi MLSS nel reattore. Il valore di SSr è solitamente poco variabile nelle 24 ore e si misura facilmente per campionamento e pesata a 105 °C, oppure con sonde ottiche (portatili o in linea) tarate nel campo 5-20 g/l .

Il valore di SSr può variare per due motivi:

- cambiamento delle caratteristiche di sedimentabilità dei fango (indice di Mohlman, SVI);
- effetti di cortocircuito e diluizione a livello dell'evacuazione di fango dal fondo.

j) Altezza del fango

L'altezza del fango sul fondo del sedimentatore rappresenta lo strato di fango che si accumula come risultante della differenza tra la massa secca di fango che "piove" sul fondo e la massa secca che viene asportata con la portata di ricircolo.

In condizioni ottimali di tempo secco, buone caratteristiche di sedimentabilità dei fango e corretto spurgo dei fango di supero, l'altezza di tale strato non supera 0,5 m. In tempo di pioggia si può arrivare a una altezza di 1-1,5 m. In condizioni di grave bulking del fango tale altezza può raggiungere la superficie del sedimentatore. Come regola generale si può dire che è bene mantenere una fascia di strato limpido superiore non inferiore a 1,5 m.

La variazione dell'altezza del fango dalle quelle ottimali può essere provocato da diverse variabili:

- a) In regime di gestione "senza problemi" lo strato di fango aumenta a causa della produzione di fango da parte del sistema: in questo caso non si hanno variazioni di concentrazione del fango e quindi l'altezza di questo strato dipende dalla frequenza e dalla regolarità con la quale si asporta il fango di supero;
- b) la variazione di portata secca notte/giorno può determinare una differenza tra input/output di fango per cui il sedimentatore potrebbe presentarsi al mattino vuoto di fango e alla sera con molto fango sul fondo; i periodi di pioggia, in conseguenza dell'aumento di portata, provocano un dilavamento del fango nel reattore e un conseguente aumento dello strato di fango nel sedimentatore;
- c) La variazione delle caratteristiche di sedimentabilità del fango, espresse come aumento di SVI, sono una delle cause principali dell'aumento dell'altezza del fango: in questo caso si verifica anche una diminuzione della concentrazione di fango in questo strato; anche una rottura della pompa di ricircolo;
- d) l'interruzione di corrente elettrica o l'ostruzione di una valvola di spurgo possono implicare un accumulo di fango in sedimentazione.

Un'elevata altezza del fango nel sedimentatore può causare gravi inconvenienti gestionali:

- a) Il peggiore inconveniente consiste nella fuoriuscita del fango dagli sfiori del sedimentatore - "washout di solidi": ciò provoca una colorazione bruno/"cioccolato al latte" dell'effluente finale, che pertanto si presenta esteticamente sgradevole e chimicamente fuori standard di legge per quanto riguarda sicuramente i parametri BOD, COD e spesso anche solidi sospesi. La soluzione del problema consiste in:
 - aumentare la portata di ricircolo;
 - aumentare la portata e la frequenza dello spurgo di fango di supero;
 - se è possibile, ridurre la portata influente al sedimentatore;

- se lo SVI si presenta alto, aggiungere flocculanti all'uscita della vasca di aerazione.

b) Galleggiamento dei fango sulla superficie dei sedimentatore - “Blanket rising”. Questo inconveniente, tipico degli impianti ove avviene la nitrificazione, è favorito dalla presenza di un elevato strato di fango sul fondo: un rilevante strato di fango costituisce un notevole volume di fango anossico ove può avvenire una denitrificazione attiva, con la formazione all'interno del fango di bollicine gassose, che provocano la risalita di massarelle di fango tondeggianti nel sedimentatore. La soluzione del problema consiste nell'aumentare le portate di ricircolo e spurgo, e nel verificare la corretta evacuazione dei fango da parte delle lame raschianti il fondo.

La misura dell'altezza di fango sul fondo del sedimentatore è gestito con strumenti automatici a lettura ottica che periodicamente affondano nel sedimentatore e leggono il valore dei solidi sospesi e quindi l'interfaccia liquame/fango; se mantenuti puliti e perfettamente funzionanti, questi strumenti possono essere di grande aiuto per il gestore di un impianto a fanghi attivi. Il segnale proveniente da questo strumento può infatti regolare automaticamente le portate di ricircolo o di spurgo.

7.3 Parametri di controllo indiretto

a) **Caratteristiche dei substrati in uscita (SSu, COD, BOD, TKN, NH₄, N₀₂, N₀₃, P)**

I valori dei parametri chimico/fisici che si rilevano all'uscita dal sedimentatore sono ascrivibili a due componenti distinte:

- la componente associata alle sostanze solute: la componente associata alle sostanze solute si presenta non molto diversa dai valori che si registrano in uscita dal reattore biologico. In sostanza per i parametri BOD solubile e COD solubile non vi sono variazioni sostanziali, la situazione può presentarsi differente per le componenti solute di azoto e fosforo e per l'ossigeno disciolto;

- la componente associata alle sostanze sospese: la componente associata alle sostanze sospese è caratterizzata dalla stessa composizione del fango di supero e del fango attivo presente nel reattore. Ovviamente una perdita di MLSS dal sedimentatore significa, sul campione preso nella totalità (soluti + sospesi), come previsto dalla legge, un aumento di valori di BOD, COD, TKN, P. Se ipotizziamo un fango tipico, si hanno mediamente le seguenti equivalenze: $1 \text{ mg MLVSS} = 0.5 \text{ mg BOD}_5 = 1 \text{ mg COD} = 0.01 \text{ mg P} = 0.05 \text{ mg TKN}$.

Una misura di significato complementare ai solidi sospesi è quella dei solidi sedimentabili S_{sed} in cono o cilindro dopo 2 ore di quiete: S_{sed} rappresentano la frazione pesante dei solidi che è sfuggita al sedimentatore e quindi è un indice di malfunzionamento di quest'ultimo. Il valore di S_{sed} dovrebbe essere praticamente zero.

La presenza di solidi sedimentabili può essere dovuta alle schiume - foaming - e ai fanghi che galleggiano sul sedimentatore - blanket rising - e periodicamente ne fuoriescono oppure è conseguenza del fenomeno del bulking.

In conclusione la misura della concentrazione di solidi sospesi in uscita è la misura più importante che consente di valutare l'efficacia della separazione solido/liquido nel sedimentatore ed è il parametro a cui è associata la maggior parte dell'informazione sulla qualità dell'acqua in uscita.

b) Caratteristiche di sedimentabilità

Si tratta di un aspetto fondamentale per la realizzazione ed il controllo di un'efficace depurazione delle acque. I fanghi devono infatti possedere caratteristiche di sedimentabilità tali da:

- permetterne la separazione dal liquame depurato ed evitarne la fuoriuscita dall'impianto;
- garantire un adeguato addensamento del fango separato prima del rinvio al processo biologico o dell'avvio al trattamento fanghi.

Un aumento della concentrazione di solidi sospesi in uscita dal sedimentatore (SSu) si traduce nella potenziale vanificazione di tutto il processo di depurazione a causa del peggioramento della qualità dell'effluente finale che ne deriva. Analogamente, tralasciando tutte le possibili implicazioni sulla linea fanghi, la riduzione della concentrazione del fango di ricircolo può determinare una minor efficienza del processo biologico per effetto dell'aumento di carico che ne consegue.

Il controllo delle caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi può essere effettuato mediante tre parametri:

- velocità di sedimentazione, v_s : è definita come la pendenza del tratto rettilineo della curva di sedimentazione (altezza dell'interfaccia in cm in funzione del tempo in min) ed essenzialmente è funzione della concentrazione del fango; in generale più elevata è la concentrazione del fango più lenta sarà la sua velocità di sedimentazione.
- volume del fango, V_a e volume del fango di ricircolo, V_r : rappresenta il volume (cc) occupato da un campione di fango attivo o di ricircolo dopo sedimentazione statica in cono Imhoff per 30'; con questi valori è possibile calcolare il corretto valore del rapporto di ricircolo
- indice di Mohlman, SVI: consente una stima, a livello macroscopico, delle caratteristiche di sedimentabilità del fango; indica il volume occupato da un grammo di fango dopo 30' di sedimentazione in cono imhoff. Valori accettabili di SVI variano tra 40-150 cc/g: un elevato valore indica un malfunzionamento dell'impianto, con effluente torbido e depauperamento della biomassa attiva per dilavamento. Dipende da molti fattori quali il carico del fango, il tipo di substrato e la presenza di batterifilamentosi.

c) **Carico del fango C_f**

Indicazioni fondamentali sul funzionamento di un impianto a fanghi attivi sono date dal C_f , il carico del fango: $C_f = (Q * BOD_{in}) / (MLSS * V) - (massa\ substrato\ consumata\ giornalmente\ nel\ reattore) / (massa\ di\ microrganismi\ nel\ reattore)$ che richiede la conoscenza della portata affluita all'impianto, del BOD in ingresso all'impianto, del

volume della vasca di ossidazione, e della misura dei solidi sospesi della miscela liquida (MLSS).

Nell'impianto in esame $C_f = 0,2 \text{ kg/d}$, considerando il valore degli altri parametri:

- $Q_i = 16800 \text{ m}^3/\text{d}$
- $\text{BOD}_0 = 193 \text{ mg/l} = 0,193 \text{ kg/m}^3$
- $\text{MLSS} = 4 \text{ kg/m}^3$
- $V = 3996 \text{ m}^3$

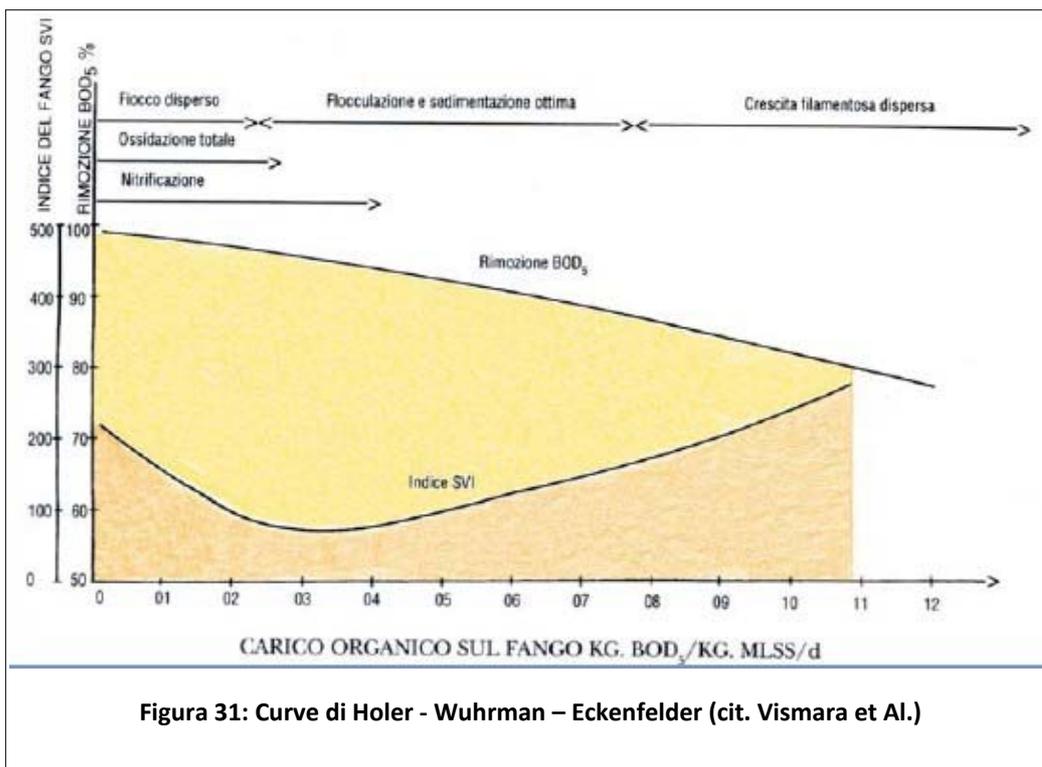
Il carico del fango “F/M” è uno tra i parametri più significativi ed utilizzabili dal punto di vista gestionale: esso è direttamente collegato al rendimento depurativo globale: $F/M(15^\circ\text{C}) \approx 25 \cdot [\eta \text{BOD}^{-1} - 1]$ (Curva Horler-Wuhrman cit. Vismara et Al. 1999)

- Se $C_f > 0.5$ (kg BOD5/giorno)/kgMLSS allora ci troviamo di fronte ad una situazione di alto carico (Fantei, Strumia, Soprani), viene prodotta una notevole quantità di fanghi da smaltire, l'effluente finale è opalescente con un BOD₅ residuo elevato, infatti si riesce a biodegradare solo il 75-80% del BOD₅ solubile.
- In una situazione di medio carico invece il carico del fango è compreso tra 0.15 e 0.5, l'effluente è più pulito del precedente, si ha una minore produzione di fango e la concentrazione di MLSS è più elevata rispetto al caso precedente; infine il rendimento depurativo riesce a raggiungere il 90% del BOD₅ solubile.
- Con valori di C_f tra 0.05 e 0.15 viene prodotto poco fango e si arriva ad avere rendimenti depurativi del 95%; l'effluente avrà un BOD₅ solubile molto basso, ma alto contenuto di solidi sospesi e la produzione del fango è praticamente inesistente.

Più in particolare se è presente alto carico si osserva nella vasca di aerazione la crescita di batteri dispersi, attività e velocità di crescita sono massime, e c'è la presenza di cellule giovani, leggere che tendono a rimanere in sospensione. Diminuendo il carico del fango c'è l'aumento dell'età del fango ed il fiocco si addensa

permettendo una buona sedimentabilità. Se invece il carico è troppo basso aumenta la respirazione endogena e si può avere la disgregazione del fiocco.

In figura è riportato il diagramma grafico riepilogativo che fornisce il migliore intervallo di sedimentabilità della biomassa attiva – migliore SVI – in funzione del parametro più significativo ed utilizzabile dal punto di vista gestionale: il carico del fango.



d) Indice di Biofloculazione IB:

Rappresenta una stima qualitativa della capacità del fango di produrre un effluente limpido:

$$IB = SS_L / MLSS$$

(SS_L = solidi sospesi nello strato limpido surnatante il cono dopo 120'; MLSS = concentrazione di solidi sospesi in aerazione). Si hanno 3 classi di qualità in funzione

di IB: valori bassi di IB (2,5-5) corrispondono ad una qualità ottima, viceversa valori di IB elevati (>15) corrispondono ad una classe di qualità pessima.

e) Indice di galleggiamento IG:

Esprime un significativo indice per la stima della probabile uscita di fango per “rising” dal sedimentatore: $IG = t_g/120$ (t_g tempo di galleggiamento in minuti primi)

Tempo di galleggiamento t_g	Magnitudo IG	Probabilità di galleggiamento
< 20'	< 0,25	Elevata (100)
< 60'	< 0,5	Media (50)
< 120'	0,5 – 1,0	Nulla o Bassa (10)

Tabella 9 Classi di magnitudo IG in funzione del tempo di galleggiamento

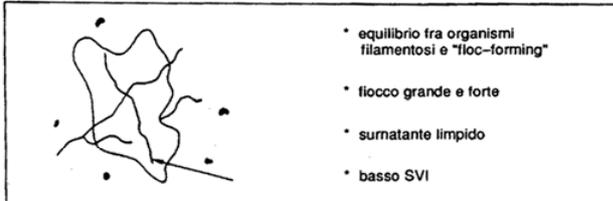
f) Struttura fisica del fango:

In un tipico fango attivo si ritrovano fiocchi con dimensioni variabili in un intervallo molto ampio (0,5-100 μm). I fiocchi di dimensioni piccolissime (0,5-5 μm) sono piccoli aggregati di microrganismi che non sono ancora ben flocculati o che si sono staccati da un fiocco più grosso. Le dimensioni massime dei fiocchi, invece, risultano controllate dal livello di turbolenza e di agitazione mantenuto in vasca. Oltre ai microrganismi, i fiocchi di fango attivo sono costituiti dalle particelle organiche ed inorganiche presenti nel liquame in ingresso e dai polimeri extracellulari escreti dai microrganismi, che hanno una grande importanza nel processo di bioflocculazione.

E' stata proposta la suddivisione della struttura fisica dei fiocchi di fango in 2 livelli: una microstruttura ed una macrostruttura. Quando il fiocco di fango contiene solo batteri non-filamentosi (floc-forming) si evidenzia la sua microstruttura: il fiocco è piccolo (75 μm), sferico, compatto e relativamente debole. Un fiocco dotato invece di macrostruttura ha dimensioni maggiori ed una notevole forza legata proprio alla presenza dei filamentosi.

Sulla base di quanto osservato, i fiocchi di fango possono essere classificati mediante un'analisi al microscopio in contrasto di fase 100X, in funzione del tipo di struttura fisica che presentano:

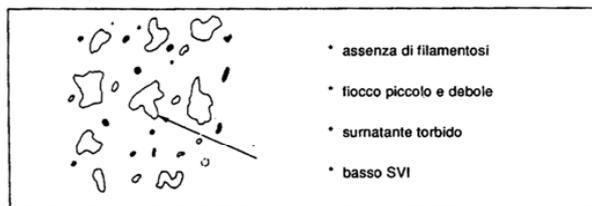
A. FIOCCO IDEALE



fiocco ideale: il fiocco è grande, compatto e forte, di forma irregolare. Vi è equilibrio fra batteri filamentosi e non. Più in particolare i batteri

filamentosi si trovano prevalentemente all'interno del fiocco (macrostruttura) e solo pochi si protendono verso l'esterno. Un fango di questo tipo sarà caratterizzato da uno SVI compreso fra 80-120 ml/gr e presenterà un surnatante limpido, povero di solidi sospesi;

B. FIOCCO PIN-POINT

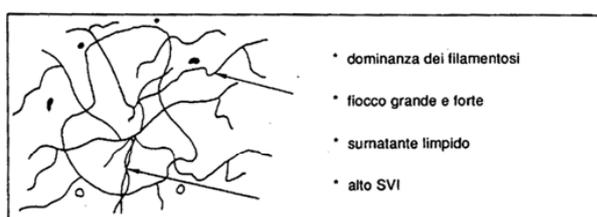


di

fiocco pin-point: il fiocco è più piccolo, di forma sferica, come punte spillo e facilmente sfaldabili (macrostruttura di sostegno pressoché assente – i batteri filamentosi presenti

sono pochissimi (microstruttura)). Un fango di questo tipo sarà caratterizzato da bassi valori di SVI < 70 ml/g e presenterà un surnatante torbido e ricco di solidi

C. FIOCCO IN BULKING



•

fiocco in bulking: il fiocco è molto grande e molto ricco in batteri filamentosi. Si possono evidenziare due forme tipiche: forma cilindreggiante quando i filamentosi

seppur eccessivamente presenti sono prevalentemente all'interno dei fiocchi; forma diffusa o aperta quando l'abbondanza di filamenti che fuoriescono dal fiocco porta alla formazione di ponti e legami fra più fiocchi. Un fango di questo tipo sarà caratterizzato da uno SVI > 150 ml/gr e presenterà un surnatante limpido e povero di solidi sospesi grazie ad un effetto filtro.

Risulta abbastanza evidente come questa caratteristica consenta, se osservata con frequenza e regolarità (almeno una volta alla settimana) una comprensione dell'andamento del processo biologico di depurazione. Di particolare interesse risulta inoltre il suo utilizzo in fase di diagnosi, in quanto l'analisi microscopica della struttura fisica del fiocco di fango, di semplice e rapida esecuzione, consente di seguirne l'evoluzione prima, durante e dopo fenomeni di crisi. La maggior parte dei problemi di sedimentabilità dei fanghi possono infatti essere interpretati in termini di struttura fisica microscopica:

a) fallimento della microstruttura può essere legato a 2 patologie diverse:

- crescita dispersa: non si verificano i processi di bioflocculazione;
- bulking da Zooglea: vengono prodotte eccessive quantità di polimeri extracellulari. I microrganismi si trovano immersi in una massa di materiale extracellulare ad elevata ritenzione di acqua. Il fango assume un aspetto microscopico viscoso.

b) fallimento della macrostruttura può essere legato a 2 patologie diverse:

- pin-point: non sono presenti i batteri filamentosi o, comunque, la loro presenza risulta insufficiente per la corretta formazione del fiocco;
- bulking da filamentosi: eccessiva proliferazione dei batteri filamentosi.

Attraverso l'analisi microscopica è possibile avere un giudizio di massima sull'efficienza depurativa dell'impianto biologico in funzione di un Indice Biotico di Fango, per la lettura delle possibili cause di disturbo.

Gruppo dominante	Magnitudo IBF	Classi di Giudizio d'Efficienza Depurativa	Possibili cause di disturbo
Ciliati sessili + C. mobili di fondo	9-10	Fango ben colonizzato e stabile, ottima attività biologica; alta efficienza depurativa (Classe I)	
Ciliati mobili di fondo	9-10	Fango ben colonizzato e stabile (basso carico), ottima attività biologica (i C. mobili di fondo sono inversamente	

		correlati allo SVI); alta efficienza depurativa (Classe I)	
Amebe con teca	8-9	Fango ben formato e stabile, ottimale attività biologica; efficienza depurativa in ribasso (Classe I)	Basso carico del fango, liquame diluito (elevata età del fango); buona nitrificazione (BOD < 20 mg/l)
Ciliati sessili	6-7	Fango ben colonizzato e stabile, attività biologica sub-ottimale; discreta efficienza depurativa (Classe II)	Fenomeni transitori (carico discontinuo, punte di carico, estrazione fanghi, lento tempo di ricircolo)
Piccoli ciliati natanti	4-5	Insufficiente depurazione dell'impianto; mediocre efficienza biologica depurativa (Classe III)	Tempo di contatto del liquame troppo breve ; fango poco ossigenato
Grandi ciliati natanti	4-5	Insufficiente depurazione dell'impianto; mediocre efficienza biologica depurativa (Classe III)	Carico troppo elevato (fango attivo giovane)
Piccole amebe nude + zooflagellati	0-3	Cattiva depurazione dell'impianto; bassa efficienza biologica depurativa (Classe IV)	Carico elevato non facilmente biodegradabile
Dinoflagellati	0-3	Cattiva depurazione dell'impianto; bassa efficienza biologica depurativa (Classe IV)	Fango poco ossigenato; carico elevato; apporto di sostanze in fermentazione

Tabella 10: Classi di giudizio e cause di disturbo processuale, in funzione della scale IBF (Fanizzi –

L'AMBIENTE 6/05)

7.4 Parametri di regolazione e verifica

a) Portata di ricircolo dei fanghi provenienti dal sedimentatore, Q_r

La portata da ricircolare, Q_r , in testa alla vasca di aerazione viene decisa in funzione:

- a) della concentrazione di fango desiderata in vasca di aerazione;
- b) delle caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi che in ultima analisi si ripercuotono sulla concentrazione dei fango di ricircolo;
- c) del tipo di dispositivo che rimuove e raccoglie i fanghi dal fondo del sedimentatore,
- d) della portata del liquame influente.

Esistono vari criteri di regolazione delle portate, dai più raffinati ai più approssimati: la scelta di un criterio dipende dalla disponibilità di strumenti di misura.

• CRITERIO DEL BILANCIO DI MASSA

$$Q_r = \frac{Q_i \cdot MLSS}{SS_r - MLSS}$$

Nell'impianto in esame e dai dati a disposizione si verifica una portata di ricircolo pari a quella in ingresso:

Portata in ingresso Q_i	700 m ³ /h
Concentrazione solidi sospesi in aerazione MLSS	4 g/l
Concentrazione solidi sospesi nel ricircolo SS_r	8 g/l

• CRITERIO DELLO SVI

Nell'impossibilità di ricavare direttamente i valori di SS_r , questi possono essere stimati dall'analisi delle caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi, SVI, della miscela aerata secondo la formula:

$$SS_r = \frac{10^6}{SVI \cdot K}$$

Il coefficiente K è un fattore di correzione che:

- dipende dall'entità dei ricircolo (è maggiore di 1 fino a 1,5 per ricircoli > 100%);
 - dipende dal tipo di dispositivo che raccoglie e rimuove i fanghi dal fondo dei sedimentatore: è maggiore di 1 fino a 1,7 se si utilizzano gli aspiratori mobili continui, che aspirano molta acqua e non consentono un buon ispessimento dei fango sul fondo.
- Il valore di K generalmente si ricava indirettamente in campo conoscendo le altre incognite, ovviamente valide solo per lo specifico impianto.

b) Quantità di fango da spurgare, Q_w

La quantità di fango da spurgare non soffre vincoli tecnici, essa è calcolabile in base all'età del fango desiderata (collegata agli obiettivi del processo): lo spurgo viene in genere effettuato derivandolo dalla linea di ricircolo del fango che va dal fondo dei

sedimentatore al reattore: in questo caso il valore di SS_r corrisponde a quello del fango di ricircolo ed è un valore che non si può in genere regolare a piacere ma costituisce una costante del sistema dipendendo dalle caratteristiche di ispessimento dei fango SVI .

In pratica, se si vuole diminuire l'età dei fango si procede aumentando lo spurgo e controllando giornalmente la nuova concentrazione di MLSS desiderata in uscita, fino a raggiungere i valori desiderati.

All'inverso, se si vuole aumentare l'età dei fango si ridurrà di molto lo spurgo (all'inizio) fino ad arrivare gradualmente ai valori desiderati, controllando che l'ossigeno disciolto non scenda mai sotto 1 mg O_2/l e che il sedimentatore non si riempia di fango.

Valori nominali di portata di spurgo nell'impianto in esame sono di 588 m³/d da effettuarsi in un intervallo di tempo di circa 1 h e 30'.

c) Età dei fango, Θ

L'età dei fango è teoricamente il tempo di permanenza del fango attivo nell'impianto (detto anche tempo medio di residenza del fango nel reattore) .

Si calcola dalla relazione:

$$\Theta = \frac{V \cdot MLSS}{Q_w SS_r + Q_u SS_u}$$

dove:

Θ = età del fango (giorni)

V = volume della vasca di ossidazione (l)

MLSS = concentrazione di solidi nel reattore (mg/l)

Q_i = portata influente alla vasca di ossidazione (l/giorno)

Q_w = portata del fango di spurgo (l/giorno)

SS_u = concentrazione di solidi nell'effluente del sedimentatore (mg/l)

SS_r = concentrazione di solidi nel fango di ricircolo / spurgo (mg/l)

d) Efficienza di ossigenazione (aerazione):

E' definita dalla seguente espressione:

$$\eta(\%) = 100 \left(\frac{\text{O}_2 \text{ assorbito nell'unità di tempo}}{\text{O}_2 \text{ fornito nell' unità di tempo}} \right)$$

La presenza di ossigeno è ovviamente fondamentale per lo svolgimento di qualsiasi processo aerobico, ma risulta tuttavia estremamente difficile definire livelli sotto e oltre i quali si possono instaurare condizioni critiche per l'impianto. La concentrazione di ossigeno disciolto nell'effluente da una vasca di aerazione va mantenuta su 3 - 5 mg/l quando i controlli vengono effettuati una sola volta al giorno, e su 2 mg/l se i controlli vengono effettuati ogni 4 ore. Nel caso in esame la concentrazione media in vasca d'aerazione è mantenuta su 2 mg/l.

8 INDICI DI FUNZIONALITA' DELL'IMPIANTO

Per l'analisi degli 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, si è partiti dalla pubblicazione del 2009 di un rapporto dell'ISPRA (ex APAT) 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”*. In tale rapporto viene descritta la metodologia generale di approccio al problema, gli indici di funzionalità veri e propri e lo schema operativo per la valutazione dell'efficienza globale dell'impianto.

Sono proposti alcuni indici di funzionalità per gli impianti di depurazione, che, essendo calcolati in base ai dati gestionali, possono rappresentare in forma sintetica ed immediata le condizioni di funzionamento e le prestazioni di un determinato impianto. Attraverso l'analisi complessiva di tali indici si può giungere all'analisi di criteri per l'adeguamento, il miglioramento e la razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane.

Nel capitolo si riporta una sintesi delle operazioni che consentono il calcolo degli indicatori utili per valutare la qualità gestionale per i diversi aspetti trattati.

Nei successivi capitoli si analizza l'applicazione di tale metodologia al caso di studio dell'impianto di Ponte Metauro di Fano si sono presi come riferimento gli indicatori, gli indici ed infine la valutazione di funzionalità dell'impianto di Ponte Metauro di Fano, confrontando diversi periodi di riferimento: si sono considerati come intervalli temporali i mesi da gennaio ad aprile 2011.

In particolare, la procedura, che inizialmente metteva a confronto diversi impianti, qui viene proposta come possibile strumento in mano al singolo gestore per evidenziare, attraverso degli indicatori numerici, le eventuali criticità gestionali dell'impianto, dall'efficienza depurativa all'analisi dei costi d'esercizio.

8.1 *Metodologia di valutazione: indicatori – indici – valutazione:*

Gli indicatori sono parametri di dettaglio (ad esempio rendimenti di depurazione, concentrazioni, costi specifici, produzione di fanghi, ecc.) calcolati sulla base di dati gestionali: essi, come meglio precisato in seguito, concorrono alla definizione degli indici.

Per poter giungere al calcolo degli indicatori, si devono avere a disposizione specifici dati per i periodi di riferimento considerati.

In questo lavoro si sono presi come riferimento gli indicatori, gli indici ed infine la valutazione di funzionalità dell'impianto di Ponte Metauro di Fano, confrontando diversi periodi di riferimento: si sono considerati come intervalli temporali i mesi da gennaio ad aprile 2011.

Gli indici di efficienza proposti in questo lavoro riguardano i seguenti aspetti, ognuno dei quali identificato da una sigla:

- 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.

Nella tabella seguente 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.

Si precisa che tutti gli indicatori proposti sono stati ricavati dai dati gestionali, ritenuti necessari per descrivere il grado di efficacia/efficienza di un impianto di depurazione.

Nome indicatore	U.M.	Simbologia adottata	Indici calcolati con l'indicatore
Rendimenti di rimozione degli inquinanti	%	η_i	D
Concentrazioni in uscita degli inquinanti	mg/L	C_i	D, F
Produzione totale di fango	kgSS/d	P_{fango}	F
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
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
Consumo di reagenti in linea fanghi	kg/d	R_{fanghi}	R
Costo relativo al personale	€/d	$C_{pers.}$	C
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

Tabella 11 Elenco indicatori

8.2 *Indice di efficienza depurativa dell'impianto (D)*

Per ottenere un indice riguardante l'efficienza depurativa, si sono presi in considerazione come inquinanti 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.

L'efficienza depurativa si può in generale esprimere attraverso gli indicatori di rendimento depurativo e concentrazione in uscita; entrambi i dati sono da intendersi come valori medi riferiti ad un *periodo di riferimento* – nel caso di studio si sono prese le mensilità. Può essere considerato anche più di un periodo, come nel caso in esame; in questo caso si devono considerare più periodi omogenei associati a condizioni stabili di funzionamento e, in corrispondenza di questi periodi, saranno calcolati i diversi indici.

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 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:

$$D_i = \left[\left(\frac{\eta_{reale,i}}{\eta_{atteso,i}} \right) \cdot p_{\eta,i} + \left(\frac{C_{atteso,i}}{C_{reale,i}} \right) \cdot p_{C,i} \right]$$

Con

- D_i : efficienza del depuratore relativo all'i-esimo singolo parametro
- $\eta_{\text{reale},i}$: rendimento di depurazione reale relativo all'i-esimo parametro
- $\eta_{\text{atteso},i}$: rendimento di depurazione atteso relativo all'i-esimo parametro
- $C_{\text{reale},i}$: concentrazione in uscita reale relativo all'i-esimo parametro
- $C_{\text{atteso},i}$: concentrazione in uscita attesa relativo all'i-esimo parametro
- $p_{\eta,i}$: peso relativo al rendimento relativo all'i-esimo parametro
- $p_{C,i}$: peso relativo alla concentrazione relativo all'i-esimo parametro

Gli intervalli di rendimento depurativo attesi, riportati di seguito, sono presi dalla letteratura: 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.

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.

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	

Tabella 12 Valori dei rendimenti attesi (desunti da: Passino, 1980; Canziani, 1990; Colombo, 1997-83* edizione; Vismara, 1998)

Nella Tabella 13 vengono invece riportati i valori delle concentrazioni in uscita attesi, sempre desunti dalla letteratura scientifica, 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”.

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 - 10^5 (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	10^2 - 10^6 (10^5)	

Tabella 13 Valori di concentrazioni attese (desunti da: Passino, 1980; Canziani, 1990; Colombo, 1997-83* edizione; Vismara, 1998).

Una volta calcolati gli indici parziali relativi ai singoli parametri di efficienza depurativa, ai fini della determinazione dell'indice di efficienza depurativa si applica la seguente formula:

$$D = p_{\text{COD}} \cdot D_{\text{COD}} + p_{\text{SS}} \cdot D_{\text{SS}} + p_{\text{N}} \cdot D_{\text{N}} + p_{\text{P}} \cdot D_{\text{P}} + p_{\text{E.Coli}} \cdot D_{\text{E.Coli}}$$

dove:

- D_{COD} : efficienza depurativa relativa al COD
- D_{SS} : efficienza depurativa relativa ai solidi sospesi
- D_{N} : efficienza depurativa relativa all'azoto
- $D_{\text{E.Coli}}$: efficienza depurativa relativa agli *Escherichia Coli*
- D_{P} : efficienza depurativa relativa al fosforo

- p_{COD} : peso dell'efficienza depurativa relativa al COD
- p_{SS} : peso dell'efficienza depurativa relativa ai solidi sospesi
- $p_{\text{E.Coli}}$: peso dell'efficienza depurativa relativa agli Escherichia Coli
- p_{N} : peso dell'efficienza depurativa relativa all'azoto
- p_{P} peso dell'efficienza depurativa relativa al fosforo

8.3 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, le modalità di trattamento e di 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:

- il quantitativo di fanghi prodotti (P_{fangho}), cioè la quantità di fanghi in uscita dall'impianto;
- il rapporto tra solidi sospesi volatili e solidi sospesi totali (SSV/SST), che rappresenta il grado di stabilizzazione del fango;
- l'umidità (u), espressa in termini percentuali, dei fanghi smaltiti;
- l'eventuale percentuale di fango destinato al recupero energetico (*% recupero energia*) e di materia (*% recupero materia*);
- la concentrazione di solidi sospesi in uscita dalla linea acque (C_{SS}) .

Come per l'efficienza depurativa (D), ciascun indicatore relativo alla gestione dei fanghi dipende da molti fattori (schema dell'impianto, età dell'impianto, caratteristiche dell'influenza, classe dimensionale, ecc.). Gli indicatori descritti in precedenza, sono utilizzati per calcolare, analogamente all'efficienza depurativa, tre “indici parziali”:

I. indice di produzione dei fanghi, $F_{\text{produzione}}$:

$$F_{produzione} = \frac{P_{fangio,atteso} + C_{attesa,SS} \cdot \frac{Q}{1.000}}{P_{fangio,reale} + C_{reale,SS} \cdot \frac{Q}{1.000}}$$

con:

- $F_{produzione}$: indice produzione dei fanghi
- $P_{fangio,atteso}$: quantitativo atteso di fanghi prodotti (KgSS/d)
- $P_{fangio,reale}$: 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 relativa ai solidi sospesi (mg/l)
- Q : portata media giornaliera (m³/d)

II. indice di trattamento dei fanghi:

$$F_{trattamento} = p \cdot \frac{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}}{\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}} + (1 - p) \cdot \frac{u_{attesa}}{u_{reale}}$$

dove:

- $F_{trattamento}$: indice del trattamento dei fanghi
- $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{atteso}$: rapporto tra solidi sospesi volatili e quelli totali atteso del fango stabilizzato
- $\left(\frac{SSV}{SST}\right)_{reale}$: rapporto tra solidi sospesi volatili e quelli totali reale del fango stabilizzato
- u_{attesa} : umidità percentuale attesa del fango
- u_{reale} : umidità percentuale reale del fango

- p: peso relativo al rapporto SSV/SST.

III. Indice destinazione fanghi: $F_{\text{destinazione}}$: tiene in considerazione la destinazione finale dei fanghi e il possibile riutilizzo, con la seguente formula:

$$F_{\text{destinazione}} = \% \text{ recupero materia} + \% \text{ recupero energia}$$

con:

- $F_{\text{destinazione}}$: indice di destinazione dei fanghi
- % recupero energia: quantitativo di fanghi per recupero energetico
- % recupero materia: quantitativo di fanghi per recupero di materia

Per la determinazione dei valori attesi si considerano i valori di produzione pro-capite, in funzione del tipo di impianto, da moltiplicare per la potenzialità del singolo impianto:

- A: ossidazione biologica senza trattamento primario
- B: ossidazione biologica con trattamento primario
- C: ossidazione biologica con filtrazione
- D: altri impianti

Categoria schema impiantistico	Produzione pro-capite di fango [gSS/ab•d]
A	38
B	46
C	50
D	46

Tabella 14: valori attesi di produzione di fango pro-capite (IRER, 2007)

Per quanto riguarda l'umidità i valori attesi in funzione del trattamento sono:

- centrifuga: 85%
- nastropressa: 80%
- fitopressa: 70%

Per il rapporto SSV/SST il valore atteso è pari a: 0,60-0,65.

Dunque l'indice complessivo per la gestione dei fanghi è:

$$F = p_{\text{produzione}} \cdot F_{\text{produzione}} + p_{\text{trattamento}} \cdot F_{\text{trattamento}} + p_{\text{destinazione}} \cdot F_{\text{destinazione}}$$

con:

- $F_{\text{produzione}}$: indice di produzione dei fanghi
- $F_{\text{trattamento}}$: indice di trattamento dei fanghi
- $F_{\text{destinazione}}$: indice di destinazione dei fanghi
- $p_{\text{produzione}}$: peso relativo all'indice di produzione dei fanghi
- $p_{\text{destinazione}}$: peso relativo all'indice di destinazione dei fanghi
- $p_{\text{trattamento}}$: peso relativo all'indice di trattamento dei fanghi

8.4 Consumo d'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 (55/60%). Per il calcolo del consumo energetico, è stata considerata l'energia elettrica (EE), considerando separatamente i consumi per la fornitura di ossigeno (EE_{aria}) e i consumi per la restante gestione di impianto (EE_{altro}). In linea generale si considerano due indici parziali:

- I. indice del consumo di energia: il primo considera il consumo (E_{consumo})

$$E_{consumo} = P_{aria} \cdot \frac{EE_{aria,attesa}}{EE_{aria,reale}} + (1 - P_{aria}) \cdot \frac{EE_{altro,attesa}}{EE_{altro,reale}}$$

dove:

- $E_{consumo}$: indice del consumo energetico
- P_{aria} : peso relativo al consumo d'energia elettrica per la fornitura d'ossigeno (kWh/d)
- $EE_{aria,attesa}$: consumo atteso d'energia elettrica per il sistema di fornitura d'ossigeno (kWh/d)
- $EE_{aria,reale}$: consumo reale d'energia elettrica per il sistema di fornitura d'ossigeno (kWh/d)
- $EE_{altro,atteso}$: consumo atteso d'energia elettrica per altri processi (kWh/d)
- $EE_{altro,reale}$: consumo atteso d'energia elettrica per altri processi (kWh/d)

II. indice di produzione d'energia: prende in considerazione l'eventuale produzione di energia elettrica e termica ($E_{produzione}$)

$$E_{produzione} = \alpha \cdot \frac{EE_{autoprodotta,reale}}{EE_{autoprodotta,attesa}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{ET_{autoprodotta,reale}}{ET_{autoprodotta,attesa}}$$

dove:

- $E_{produzione}$: indice di produzione d'energia
- α : peso relativo alla produzione d'energia elettrica
- $EE_{autoprodotta,attesa}$: produzione attesa d'energia elettrica (kWh/d)
- $EE_{autoprodotta,reale}$: produzione reale d'energia elettrica (kWh/d)
- $ET_{autoprodotta,attesa}$: produzione attesa d'energia termica (kWh/d)
- $ET_{autoprodotta,reale}$: produzione reale d'energia termica (kWh/d)

Per quanto riguarda il calcolo dei valori attesi d'energia consumata, i dati

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

Tabella 15: valori attesi dell'indice di consumo energetico (APAT,2005)

riportati sono pro-capite e dunque sono da moltiplicare per la specifica potenzialità dell'impianto in esame:

$EE_{autoprodotta, attesa}$ [Wh/(ab·d)]	$ET_{autoprodotta, attesa}$ [Wh/(ab·d)]
0 – 35	60 – 95

Tabella 16: valori attesi per la produzione d'energia (APAT,2005)

Dunque per il calcolo dell'indice di consumi energetici si considera la formula:

$$E = p_{consumo} \cdot E_{consumo} + (1 - p_{consumo}) \cdot E_{produzione}$$

con:

E: indice relativo al consumo d'energia

$E_{consumo}$: indice parziale relativo al consumo d'energia

$E_{produzione}$: indice parziale relativo alla produzione d'energia

$p_{consumo}$: peso relativo all'indice parziale del consumo d'energia.

8.5 Consumo 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 questo 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
- trattamenti terziari
- processo biologico con uso di ossigeno puro
- pretrattamenti chimico-fisici dei liquami industriali

Per la linea fanghi i reagenti sono generalmente utilizzati per la disidratazione meccanica dei fanghi.

Per il calcolo dell'indice relativo ai consumi di reagenti si utilizza la seguente formula:

$$R = \kappa \cdot \frac{R_{acque,atteso}}{R_{acque,reale}} + (1 - \kappa) \cdot \frac{R_{fanghi,atteso}}{R_{fanghi,reale}}$$

dove:

- $R_{acque,atteso}$: consumo atteso di reagenti in linea acque (kg/d)
- $R_{acque,reale}$: consumo reale di reagenti in linea acque (kg/d)
- $R_{fanghi,atteso}$: 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

Per quanto riguarda i valori attesi relativi al consumo di reagenti essi sono riportati come valori specifici, da moltiplicare per le relative grandezze.

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

Tabella 16: valori attesi specifici relativi ai consumi di reagenti (ISPRA, 93/2009)

8.6 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, dall'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 numerose e dipendono dalla potenzialità e dal tipo d'impianto considerato; per il calcolo dei costi si sono considerate le seguenti voci:

- Personale: è una delle voci più importanti e dipende da numerosi fattori quali la potenzialità, la complessità impiantistica, dal livello di automazione, ecc..
- Energia elettrica
- 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.
- Prestazioni di servizi: le attività generalmente comprese in questa voce si suddividono in manutenzione ordinaria e manutenzione straordinaria: per tale lavoro si considera solo la manutenzione ordinaria
- Altro: si considerano le altre spese generali

Di seguito sono riportati i valori attesi relativi ai diversi costi, espressi in percentuale rispetto al costo totale d'esercizio in euro/ab·d:

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

Tabella 17 costi di gestione

Il calcolo complessivo dell'indice di costo è il seguente:

$$C = \alpha \cdot \frac{C_{pers.,atteso}}{C_{pers.,reale}} + \beta \cdot \frac{C_{energia,atteso}}{C_{energia,reale}} + \gamma \cdot \frac{C_{reag.,atteso}}{C_{reag.,reale}} + \delta \cdot \frac{C_{fanghi,atteso}}{C_{fanghi,reale}} + \varepsilon \cdot \frac{C_{manut.,atteso}}{C_{manut.,reale}} + \varphi \cdot \frac{C_{altro,atteso}}{C_{altro,reale}}$$

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.

In linea generale si può affermare che il comparto con il maggiore costo d'esercizio è quello biologico; rilevanti sono anche i consumi della linea fanghi quando è utilizzata una digestione aerobica: entrambi per gli ingenti costi derivanti dall'aerazione. Dati medi attribuiscono ad un impianto con potenzialità > 30000 AE un consumo di 25 - 40 kWh/AE·anno (Colombo, Manuale dell'Ingegnere).

9 APPLICAZIONE DEGLI INDICI DI FUNZIONALITA' ALL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI PONTE METAURO DI FANO

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'applicazione degli indici di funzionalità descritti precedentemente all'impianto di depurazione di acque reflue del Comune di Fano.

Grazie ai gestori dell'impianto si è giunti in possesso di un esauriente quantitativo di dati, permettendo una corretta elaborazione degli indici di funzionalità, attraverso l'applicazione dei criteri di caratterizzazione di un impianto visti nei capitoli precedenti.

Per l'elaborazione dei dati si sono messi a confronto gli indici e le valutazioni globali in riferimento ai primi quattro mesi del 2011 e si sono desunti i relativi grafici.

Nella prima parte del capitolo vengono sintetizzati i risultati ottenuti, ed 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 relativa ai diversi periodi: si potranno quindi individuare gli eventuali "punti deboli" e proporre alcune soluzioni applicabili, al fine di ottimizzare l'efficienza depurativa, i consumi energetici ed la gestione dei fanghi.

9.1 Sintesi dei risultati ottenuti: valutazione della funzionalità dell'impianto di depurazione del Comune di Fano

In questa prima parte del capitolo vengono sintetizzati i risultati ottenuti; in particolare, per ogni periodo di riferimento, 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 dell'impianto in esame nei diversi mesi considerati.

Nelle Tabelle seguenti sono riportati i dati riassuntivi (indici parziali, pesi dei parametri, indici di funzionalità e valutazione finale) relativi all'applicazione degli indici di funzionalità ai quattro mesi presi in considerazione. Tali risultati sono stati calcolati mediante l'applicazione di un modello (sulla base dei criteri descritti nei capitoli precedenti) inserendo tutti i dati disponibili per gli impianti in oggetto.

In generale si possono fare le seguenti considerazioni:

- L'indice di valutazione finale V varia da 1,17 del mese di marzo a 1,46 del mese d'aprile. Dunque si mantiene sempre sopra al valore di 1, denotando quindi una buona funzionalità tecnico-economica.
- Bisogna evidenziare, però, la carenza di disponibilità di dati relativi ai costi: i gestori dell'impianti hanno reso noti, per motivi organizzativi, solo i costi per l'energia elettrica e per i reagenti usati per la disinfezione.
- Un'altra puntualizzazione deve esser fatta per quel che riguarda i consumi di reagenti per il trattamento di disinfezione con ipoclorito di sodio e acido peracetico: come si evince dalle successive tabelle l'indice dei reagenti è fisso per tutti i periodi di riferimento, perché si è stabilita una portata costante di reagente in relazione alla portata media da trattare.
- Alcuni indici sono di molto superiori ad 1, per esempio gli indici di efficienza depurativa, che tocca punte superiori a 2, oppure l'indice relativo ai costi, anche qui con un picco di 1,95. Viceversa altri indici sono sensibilmente inferiori ad 1 (ad esempio l'indice relativo alla gestione dei fanghi): ciò permette di evidenziare immediatamente i "punti deboli" relativi all'impianto.

GENNAIO				
		EFFICIENZA DEPURATIVA (D)		
INDICI PARZIALI	PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	

			PESI b		
D_{COD}	2,58	COD	0,35	COD	Si
D_{SS}	2,50	SS	0,15	SS	Si
D_N	1,09	N	0,35	N	Si
D_P	1,65	P	0,1	P	Si
D_{E.COLI}	2	E.COLI	0,05	E.COLI	Si
		D	1,93		

GESTIONE FANGHI

INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F_{produzione}	0,18	F_{produzione}	0,5	F_{fango}	Si
F_{trattamento}	1,03	F_{trattamento}	0,5	SSV/SST	Si
F_{destinazione}	-	F_{destinazione}	-----	Umidità	Si
				% rec.materia	--
				%recupero energia	--
		F	0,61		

CONSUMO D'ENERGIA (E)

INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E_{consumo}	0,76	E_{consumo}	1	EE_{aria}	Si
E_{produzione}	-	E_{produzione}	-----	EE_{altro}	Si
				EE_{autoprodotta}	--
				ET_{autoprodotta}	---
		E	0,76		

INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R_{racque}	1,62	R_{racque}	1	R_{racque}	Si
R_{fanghi}		R_{fanghi}	--	R_{fanghi}	No
		R	1,62		

COSTI (C)

INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
-----------------	--	--------------------	--	------------------	--

Cpersonale	No	Cpersonale	-----	Cpersonale	No
Creagenti	1,98	Creagenti	0,5	Creagenti	Sì
Cenergia	0,93	Cenergia	0,5	Cenergia	Sì
Cfanghi	No	Cfanghi	-----	Cfanghi	No
Cmanutenzion e	No	Cmanutenzione	-----	Cmanutenzione	No
Caltro	No	Caltro	-----	Caltro	No
			C	1,46	
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI PARZIALI			PESI INDICI		
D	1,93		D	0,2	
F	0,61		F	0,2	
E	0,76		E	0,2	
R	1,62		R	0,2	
C	1,46		C	0,2	
			V	1,28	

Tabella 17a Schema riassuntiva per la valutazione di funzionalità

FEBBRAIO

EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
		PESI b			
D_{COD}	4,16	COD	0,35	COD	Sì
D_{SS}	1,56	SS	0,15	SS	Sì
D_N	0,78	N	0,35	N	Sì
D_P	3,06	P	0,1	P	Sì
D_{E.COLI}	1	E.COLI	0,05	E.COLI	Sì
			D	2,32	
GESTIONE FANGHI					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Fproduzione	0,16	Fproduzione	0,5	Fango	Sì
Ftrattamento	1,04	Ftrattamento	0,5	SSV/SST	Sì
Fdestinazione	-----	Fdestinazione	-----	Umidità	Sì
				% rec.materia	-----
				%recupero energia	-----
			F	0,6	

CONSUMO D'ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Econsumo	0,6	Econsumo	1	EEaria	Si
Eproduzione	-----	Eproduzione	-----	EEaltro	Si
				EEautoprodotta	-----
				ETautoprodotta	-----
		E		0,6	
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Racque	1,62	Racque	1	Racque	Si
Rfanghi		Rfanghi	-----	Rfanghi	No
		R		1,62	
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Cpersonale	No	Cpersonale	-----	Cpersonale	No
Creagenti	1,55	Creagenti	0,5	Creagenti	Si
Cenergia	0,73	Cenergia	0,5	Cenergia	Si
Cfanghi	No	Cfanghi	-----	Cfanghi	No
Cmanutenzione	No	Cmanutenzione	-----	Cmanutenzione	No
Caltro	No	Caltro	-----	Caltro	No
		C		1,14	
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI PARZIALI			PESI INDICI		
D	2,32		D		0,2
F	0,6		F		0,2
E	0,6		E		0,2
R	1,62		R		0,2
C	1,14		C		0,2
			V		
			1,26		

Tabella 17b Schema riassuntiva per la valutazione di funzionalità

MARZO					
EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
		PESI a			

D_{COD}	1,84	COD	0,36	COD	Sì
D_{SS}	3,88	SS	0,16	SS	Sì
D_N	0,81	N	0,36	N	Sì
D_P	1,71	P	0,12	P	Sì
D_{E.COLI}	---	E.COLI	---	E.COLI	No
		D	1,78		
GESTIONE FANGHI					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F_{produzione}	0,17	F_{produzione}	0,5	F_{fango}	Sì
F_{trattamento}	1,03	F_{trattamento}	0,5	SSV/SST	Sì
F_{destinazione}	-----	F_{destinazione}	-----	Umidità	Sì
				% rec.materia	-----
				%recupero energia	-----
		F	0,6		
CONSUMO D'ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E_{consumo}	0,63	E_{consumo}	-----	EE_{aria}	Sì
E_{produzione}	-----	E_{produzione}	-----	EE_{altro}	Sì
				EE_{autoprodotta}	----
				ET_{autoprodotta}	----
		E	0,63		
CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
R_{acque}	1,62	R_{acque}	1	R_{acque}	Sì
R_{fanghi}		R_{fanghi}	-----	R_{fanghi}	No
		R	1,62		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
C_{personale}	No	C_{personale}	-----	C_{personale}	No
C_{reagenti}	1,64	C_{reagenti}	0,5	C_{reagenti}	Sì
C_{energia}	0,77	C_{energia}	0,5	C_{energia}	Sì
C_{fanghi}	No	C_{fanghi}	-----	C_{fanghi}	No
C_{manutenzione}	No	C_{manutenzione}	-----	C_{manutenzione}	No
C_{altro}	No	C_{altro}	-----	C_{altro}	No

C 1,21	
VALUTAZIONE FINALE (V)	
INDICI PARZIALI	PESI INDICI
D 1,78	D 0,2
F 0,6	F 0,2
E 0,63	E 0,2
R 1,62	R 0,2
C 1,21	C 0,2
V 1,17	

Tabella 17c Schema riassuntiva per la valutazione di funzionalità

APRILE					
EFFICIENZA DEPURATIVA (D)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
		PESI d			
D _{COD} 2,78		COD 0,5		COD	Sì
D _{SS} 1,06		SS 0,3		SS	Sì
D _N - - -		N - - -		N	No
D _P 1,74		P 0,15		P	Sì
D _{E.COLI} 2		E.COLI 0,05		E.COLI	Sì
D 2,07					
GESTIONE FANGHI (F)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
F _{produzione} 0,18		F _{produzione} 0,5		F _{fango}	Sì
F _{trattamento} 1,05		F _{trattamento} 0,5		SSV/SST	Sì
F _{destinazione} -----		F _{destinazione} -----		Umidità	Sì
				% rec.materia	-----
				%recupero energia	-----
F 0,62					
CONSUMO D'ENERGIA (E)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
E _{consumo} 1,02		E _{consumo}		EE _{aria}	Sì
E _{produzione} -----		E _{produzione} -----		EE _{altro}	Sì
				EE _{autoprodotta}	----
				ET _{autoprodotta}	----
E 1,02					

CONSUMO DI REAGENTI E COMBUSTIBILE (R)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Racque	1,62	Racque	1	Racque	Sì
Rfanghi		Rfanghi	-----	Rfanghi	No
		R	1,62		
COSTI (C)					
INDICI PARZIALI		PESI DEI PARAMETRI		DATI DISPONIBILI	
Cpersonale	No	Cpersonale	-----	Cpersonale	No
Creagenti	2,64	Creagenti	0,5	Creagenti	Sì
Cenergia	1,25	Cenergia	0,5	Cenergia	Sì
Cfanghi	No	Cfanghi	-----	Cfanghi	No
Cmanutenzione	No	Cmanutenzione	-----	Cmanutenzione	No
Caltro	No	Caltro	-----	Caltro	No
		C	1,95		
VALUTAZIONE FINALE (V)					
INDICI PARZIALI			PESI INDICI		
D	2,07		D	0,2	
F	0,62		F	0,2	
E	1,02		E	0,2	
R	1,62		R	0,2	
C	1,95		C	0,2	
			V	1,46	

Tabella 17d Schema riassuntiva per la valutazione di funzionalità

Nella figura successiva sono riportati i valori dei diversi indici di funzionalità e della valutazione finale per l'impianto oggetto di studio relativamente ai quattro mesi presi come riferimento.

Valutazione degli indici di funzionalità

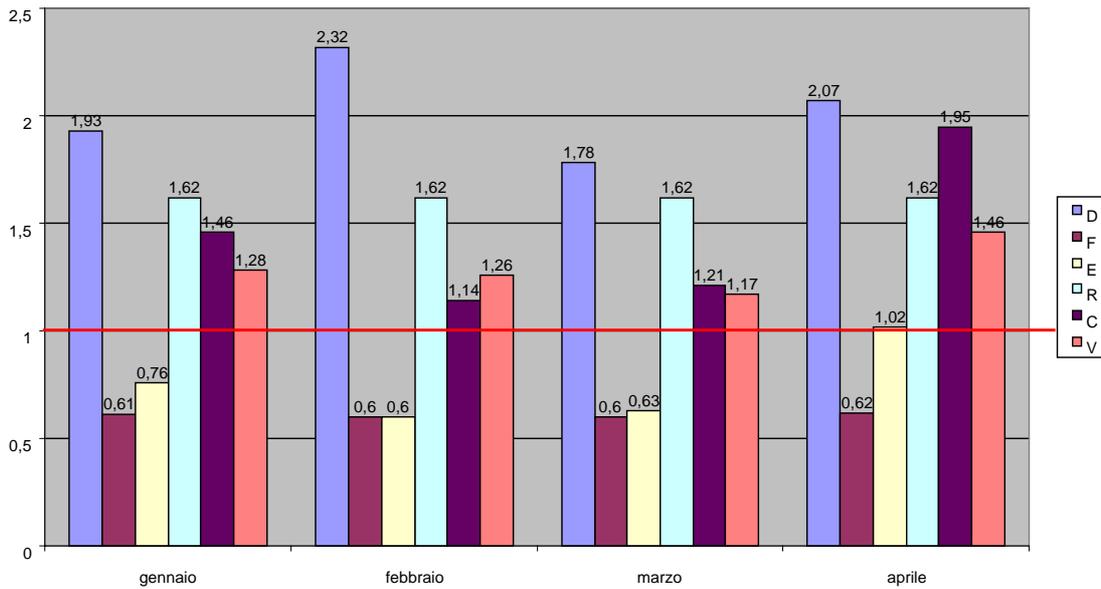


Figura 32 Valore degli indici di funzionalità e della valutazione finale relativi all'impianto di Fano

indici parziali e totale di funzionalità

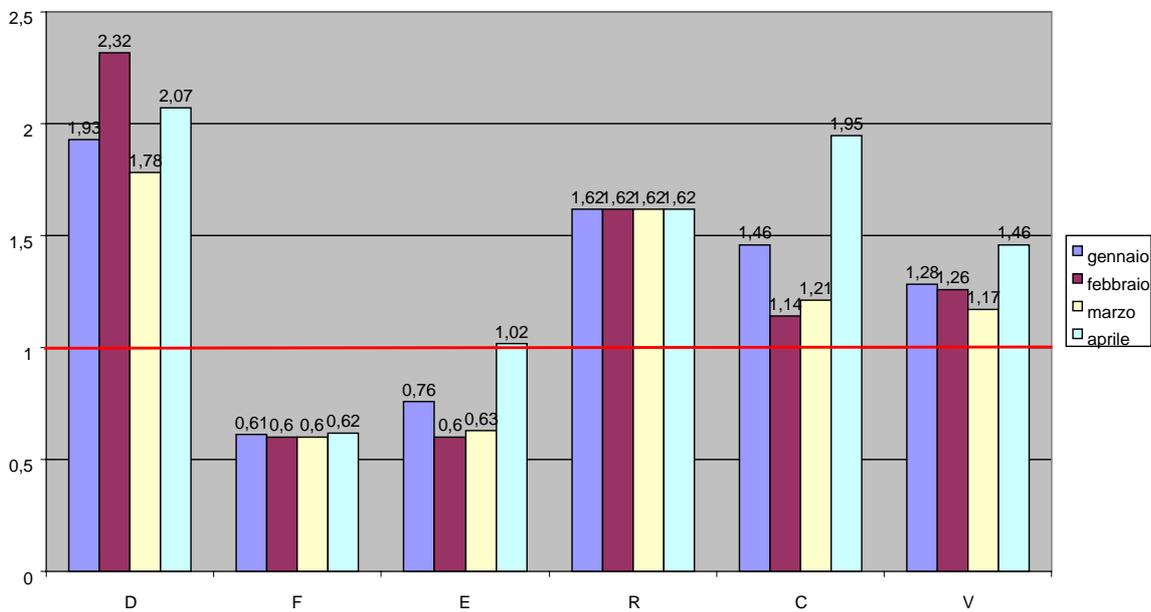


Figura 33 Valore degli indici di funzionalità e della valutazione finale relativi ai mesi considerati

Come evidenziato in precedenza, si può osservare che l'indice di funzionalità relativo all'efficienza depurativa (D) è tendenzialmente superiore rispetto agli altri indici: tale

risultato, come si vedrà in dettaglio in seguito, è influenzato dalle concentrazioni medie in uscita estremamente basse degli inquinanti considerati.

L'indice di funzionalità relativo alla gestione dei fanghi (F) è meno variabile rispetto agli altri indici ed è sempre nettamente inferiore a 1, con un valore uguale per i diversi mesi pari a 0,6 circa: questo dato è la conseguenza di un indicatore di produzione di fanghi estremamente basso (circa 0,18), dettata da una produzione reale di fanghi molto più consistente rispetto ai valori di produzioni attesi per impianti simili. Questo significa che, dal punto di vista della produzione, la funzionalità dell'impianto presenta un'apparente criticità, forse dovuta al fatto che anche la filiera dello smaltimento dei rifiuti del Comune di Fano, e di conseguenza anche lo smaltimento dei fanghi di trattamento, è gestita dalla medesima società Aset.

Anche l'indice relativo al consumo di energia elettrica è mediamente inferiore al valore unitario: si deve inoltre ricordare che, da stime effettuate coi tecnici dell'impianto, si è attribuito un'incidenza sul consumo d'energia elettrica per l'insufflazione d'aria ai comparti d'aerazione pari al 55-57% del consumo totale.

Per quanto riguarda invece l'indice di funzionalità relativo al consumo di reagenti e combustibile (R), si osserva che i valori sono superiori ad 1 e costanti per tutti i periodi considerati: ciò è dovuto al fatto che i dosaggi di reagenti per la disinfezione sono stabiliti in funzione della portata influente e nei periodi oggetto di studio la portata ha avuto fluttuazioni poco significative.

Analizzando infine i risultati relativi alla valutazione finale (V), si può notare che essa è largamente superiore all'unità e dunque si denota, in linea generale, un'ottima efficienza gestionale.

Nelle successive parti della presente sezione verranno ripresi i risultati esposti in precedenza, andando ad approfondire, di volta in volta, ciascun indice di funzionalità.

10 ANALISI DELL'EFFICIENZA DEPURATIVA

Nel presente capitolo verranno analizzati nel dettaglio gli indici di funzionalità relativi all'efficienza depurativa, confrontando i valori ottenuti per ciascun indicatore preso in considerazione in questo studio.

Nelle figure successive sono riportati, per ciascun periodo di riferimento, 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 gli indici parziali relativi al COD, ai solidi sospesi, all'azoto, al fosforo, e agli E.Coli.

Come già detto in precedenza, l'indice d'efficienza depurativa è il più alto rispetto agli altri indici, superando, nel mese di febbraio e aprile la soglia di 2: gli indici parziali che presentano i valori più elevati sono quelli relativi al COD e ai solidi sospesi, grazie al valore estremamente basso delle concentrazioni in uscita di questi due parametri.

Dall'indagine complessiva sull'impianto in esame, si è giunti alla conclusione che sembra ci sia stato un notevole margine di miglioramento delle prestazioni: in primo luogo, ciò che ha permesso tali risultati è stato il lavoro d'ampliamento e "modernizzazione" dell'impianto di depurazione di Ponte Metauro di Fano, avvenuto nel 2005, che ha consentito inoltre un aumento di potenzialità dell'impianto, grazie al quale si riescono a fronteggiare i picchi di variabilità.

VALORI DEGLI INDICI PARZIALI E DI FUNZIONALITA' RELATIVI ALL'EFFICIENZA DEPURATIVA

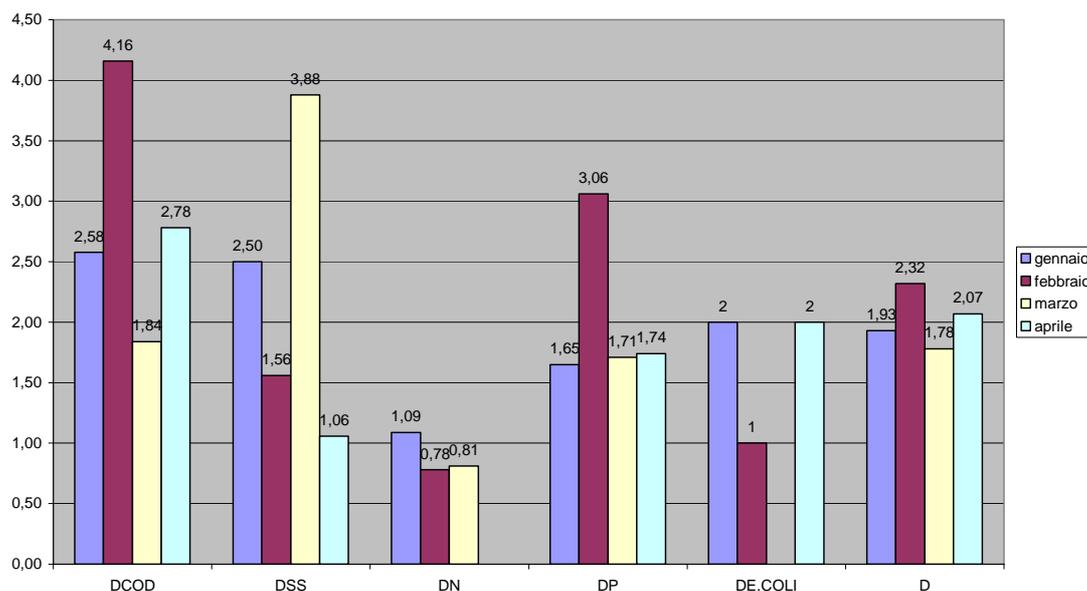


Figura 34 Confronto tra i valori degli indici parziali e di funzionalità d'efficienza depurativa

VALORI DEGLI INDICI PARZIALI E DI FUNZIONALITA' RELATIVI ALL'EFFICIENZA DEPURATIVA

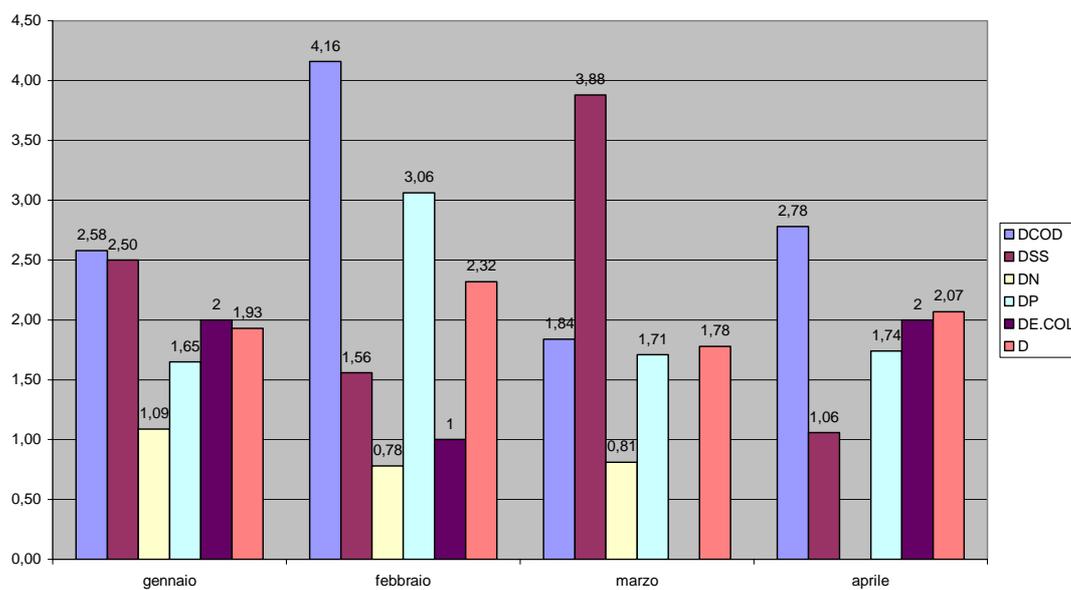


Figura 35 Confronto tra i valori degli indici parziali e di funzionalità d'efficienza depurativa in base al periodo di riferimento

Come si evince dai grafici e dalla tabella seguente, non si sono potuti elaborare, per mancanza di dati specifici al periodo di riferimento, gli indicatori parziali relativi

all'azoto, per il mese d'aprile, e al parametro E.Coli, per il mese di marzo: ciò non ha causato particolari difficoltà, poiché questi due parametri non mostrano evidenti variazioni mensili. Per ovviare a questo inconveniente, nel calcolo dell'efficienza depurativa, si sono scelti pesi diversi a seconda dei dati a disposizione.

	gennaio	febbraio	marzo	aprile
INDICI PARZIALI				
DCOD	2,58	4,16	1,84	2,78
DSS	2,50	1,56	3,88	1,06
DN	1,09	0,78	0,81	
DP	1,65	3,06	1,71	1,74
DE.COLI	2	1		2

Tabella 18 Valori degli indici parziali relativi all'efficienza depurativa

Nella Tabella 18 sono riportati i valori relativi agli indici parziali che concorrono alla valutazione dell'indice di funzionalità relativo all'efficienza depurativa. Nei paragrafi seguenti sono analizzati nello specifico tutti gli indici parziali e i relativi indicatori.

10.1 *Indice parziale relativo al COD*

Per l'indice parziale relativo al COD non si hanno problemi: al contrario esso è quello che presenta i valori d'efficienza depurativa maggiori: il rendimento medio relativo alla rimozione di COD è al di sopra del 90% superiore del rendimento atteso stimato attorno all'85%; oltre al rendimento di rimozione superiore il dato rilevante, molto al di sopra di quello atteso è il dato relativo alla concentrazione in uscita che si attesta in media sul valore di 18 mg/l contro il valore atteso, relativamente al tipo d'impianto, di 70 mg/l.

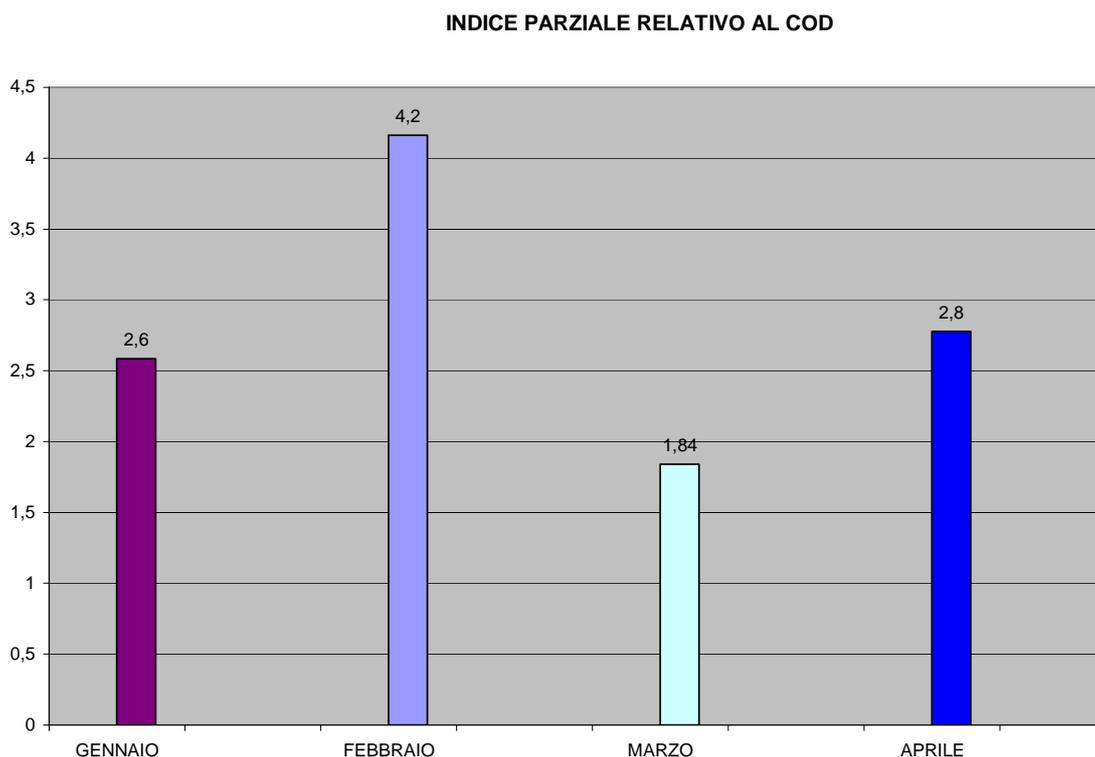


Figura 35 Valori degli indici parziali relativi al COD

10.2 *Indice parziale relativo ai Solidi Sospesi*

Come si può osservare dalla Figura 36 l'indice parziale d'efficienza depurativa relativo ai solidi sospesi è elevato per tutti i periodi di riferimento, ben al di sopra del valore di soglia di 1.

Ciò è attribuibile alla bassa concentrazione in uscita di SS per tutti i mesi considerati, in media intorno ai 12 mg/l, rispetto al valore atteso di 22,5 mg/l.

Un elevato indice d'efficienza relativo ai solidi sospesi evidenzia un'ottima sedimentabilità del fango oltre una buona funzione del 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).

INDICE PARZIALE D'EFFICIENZA DEPURATIVA RELATIVA AI SOLIDI SOSPESI

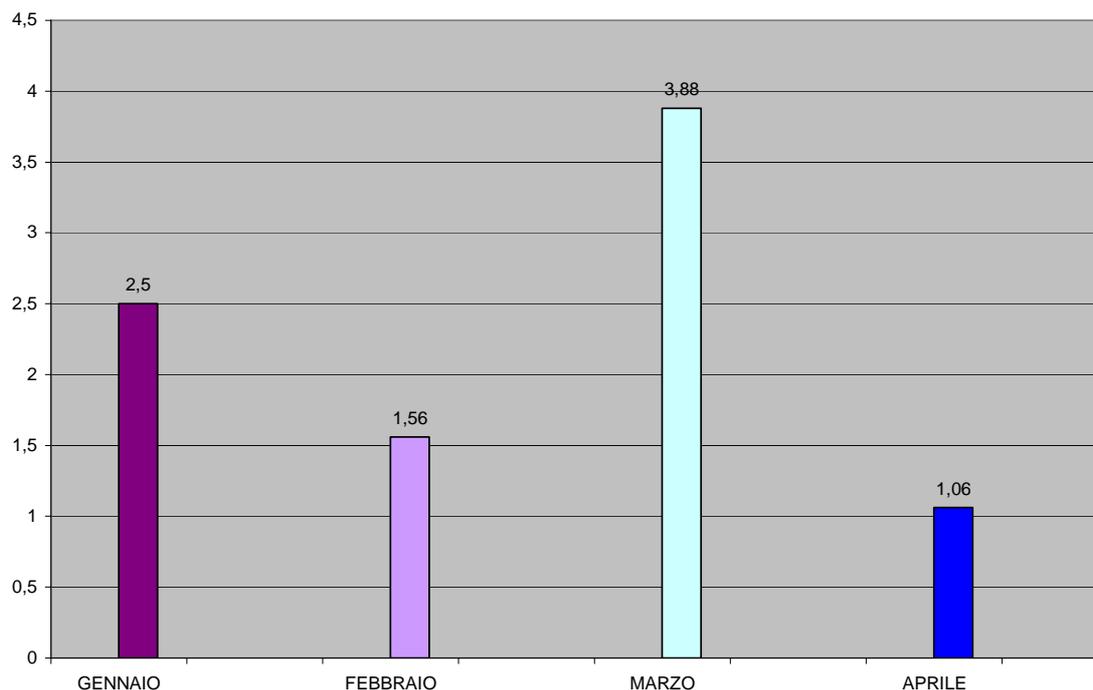


Figura 36 Valore dell'indice parziale relativo ai SS

10.3 *Indice parziale relativo all'azoto*

Nel caso dell'indice parziale d'efficienza depurativa relativo all'azoto i valori non sono elevati come per i precedenti parametri (vedi Figura 37). Tale inquinante è effettivamente problematico e lo dimostra il fatto che, rispetto ai soli tre mesi di cui si hanno a disposizione i valori, due 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, oppure alla fuoriuscita del fango dall'impianto: in ogni caso gli indici non hanno valori d'allarme.

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..

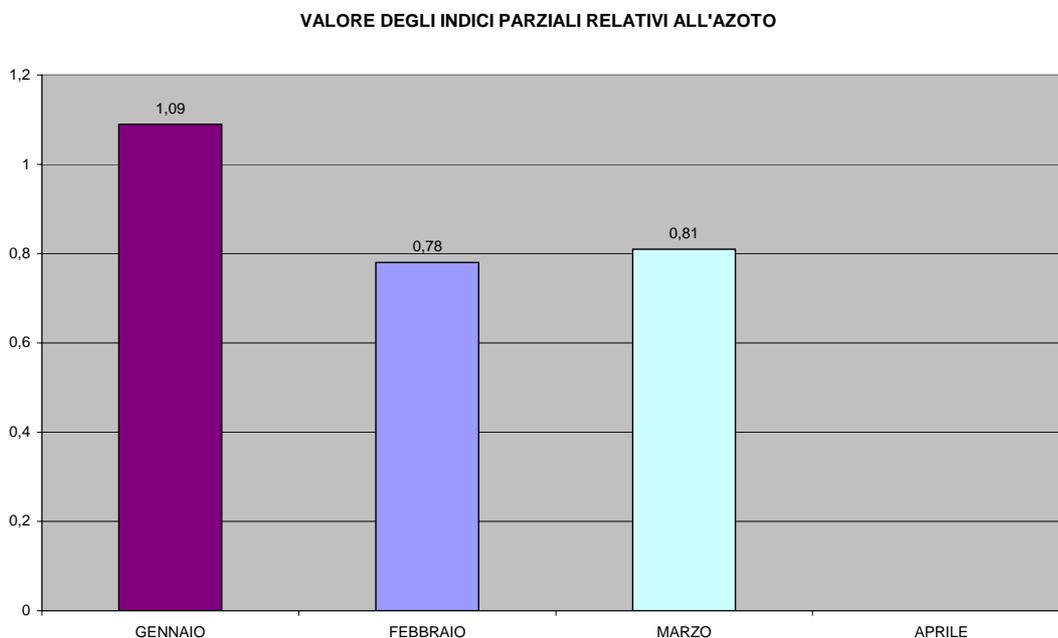


Figura 37 Valore degli indici parziali relativi all'azoto

10.4 *Indice parziale relativo al fosforo*

Per quanto riguarda il fosforo non si osservano particolari problemi (Figura 38): ciò deriva dalla scarsa concentrazione di questo parametro nei reflui trattati. La concentrazione in uscita sfiora, come per il mese di febbraio il valore di 0,6 mg/l con abbattimenti nell'ordine del 44%.

Si evidenzia che, proprio per le ininfluenti concentrazioni da trattare (dal punto di visto dei limiti di legge), l'impianto non prevede una fase di de fosfatazione.

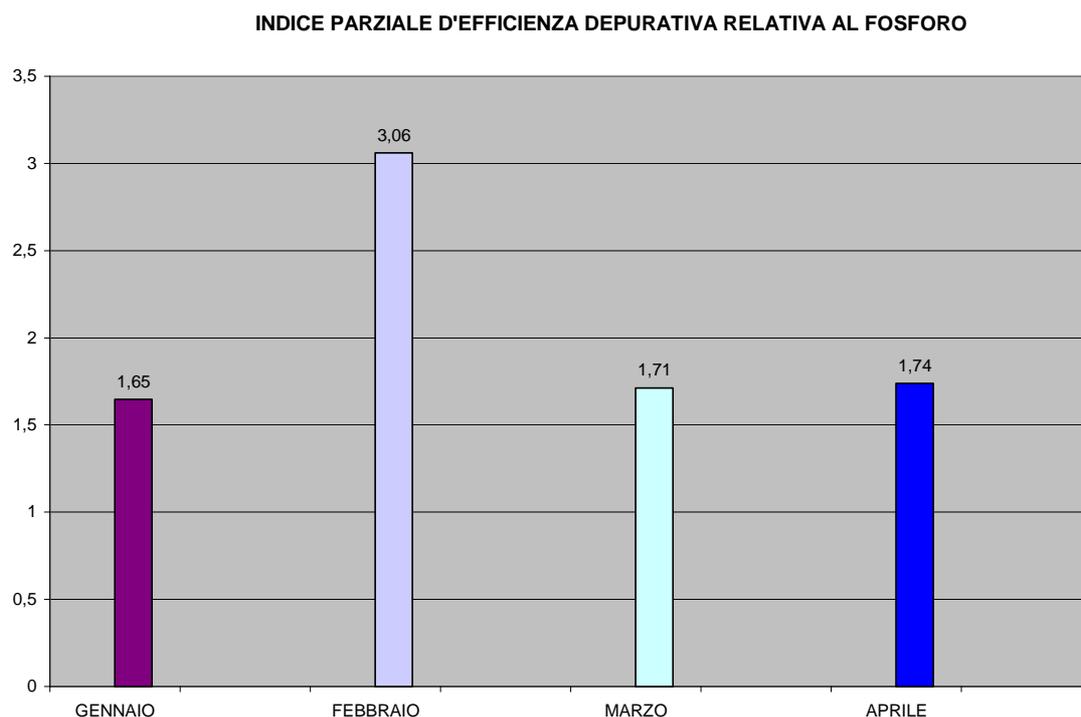


Figura 38 Valori degli indici parziali relativi al fosforo

10.5 *Indice parziale relativo ad Escherichia Coli*

Come si può osservare dalla Figura 39 i dati relativi a *Escherichia Coli* sono disponibili solamente per tre mesi, mentre per il mese di marzo non sono stati forniti i valori misurati delle concentrazioni in ingresso e in uscita: si può comunque dedurre dai dati relativi agli altri mesi che i valori di concentrazione uscenti di E.coli sono sempre al di sotto dei limiti di legge (in media si misurano valori in uscita di E.Coli (u.f.c./100ml) inferiori a 10).

Si può comunque affermare che, laddove è presente una fase di disinfezione (come nell'impianto studiato), per tale parametro non si evidenziano particolari problematiche, considerando un abbattimento atteso del 90%.

INDICE PARZIALE D'EFFICIENZA DEPURATIVA RELATIVO AGLI E.COLI

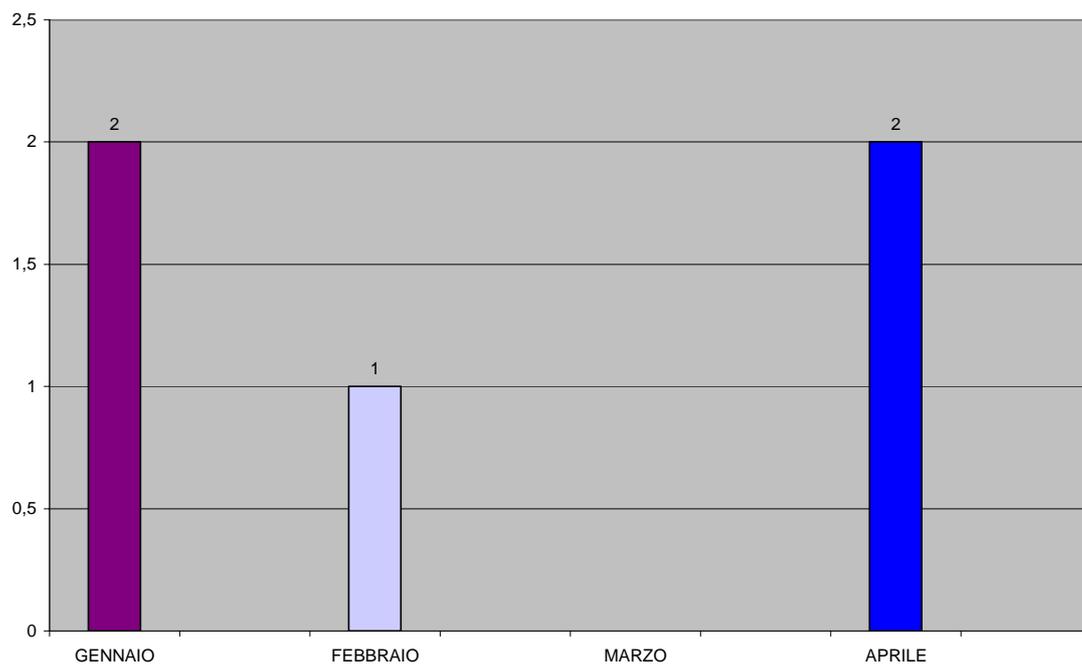


Figura 39 Valori degli indici parziali relativi all'Escherichia Coli

11 ANALISI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

Nel presente capitolo verrà analizzata la funzionalità degli impianti presi in considerazione dal punto di vista energetico. In prima analisi si confronteranno i valori degli indici di funzionalità relativi al consumo di energia elettrica. Successivamente verranno messi a confronto anche gli indici di funzionalità parziali relativi al costo dell'energia elettrica.

Nella Figura 40 sono riportati, per i periodi di riferimento considerati, i valori degli indici parziali relativi al consumo di energia: grazie all'elaborazione dei dati forniti si è riusciti a 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.

Si può osservare che tali indici sono generalmente bassi, anche se nel mese di aprile si supera il valore di soglia di 1: l'indice parziale relativo al consumo di energia per il sistema d'aerazione si mantiene pressoché uguale all'altro indice parziale, considerando un consumo di energia per l'insufflazione d'aria intorno al 55% del consumo totale.

Per questo impianto non si possono calcolare gli indici relativi alla produzione d'energia, perché non se ne produce, né termica né elettrica, non essendo prevista una stabilizzazione anaerobica dei fanghi e una conseguente produzione di biogas.

Per quanto riguarda il costo dell'energia elettrica (Figura 41-42) si può osservare che, anche se l'indice complessivo relativo ai costi è sempre sopra a 1, tale indice presenta delle criticità presentando valori sotto all'unità per tre mesi sui quattro considerati.

Questo fatto conferma le osservazioni fatte in precedenza, per quanto riguarda i consumi di energia.

INDICE DEL CONSUMO ENERGETICO

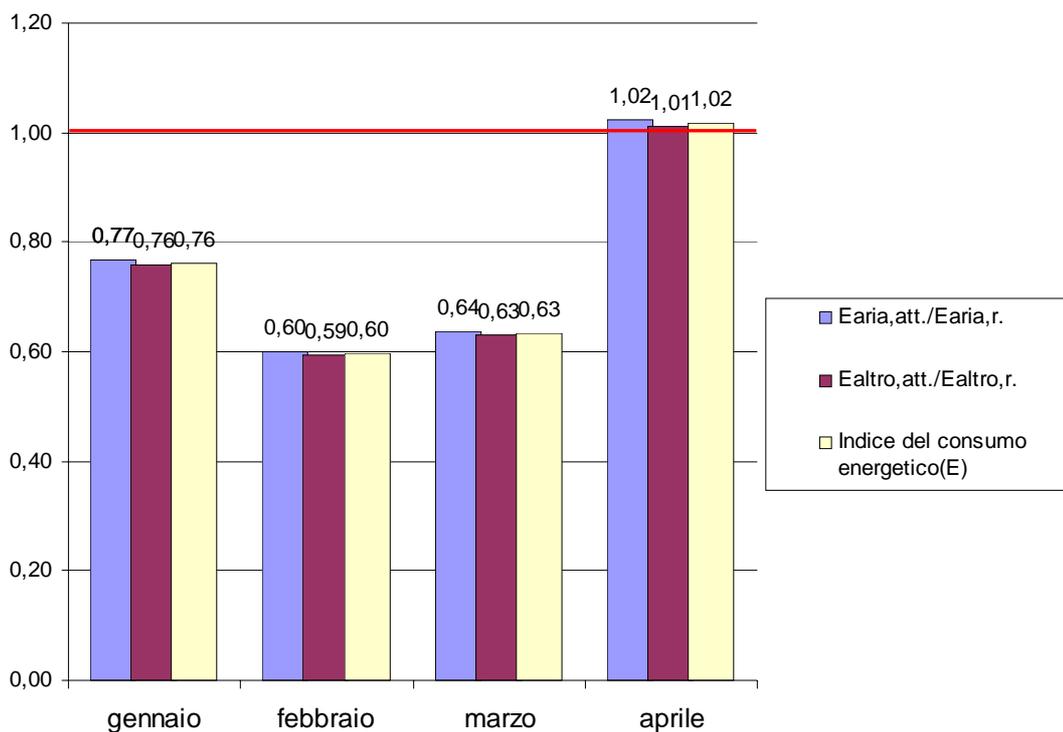


Figura 40 Valori degli indici parziali e dell'indice del consumo energetico

INDICE PARZIALE DEL COSTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

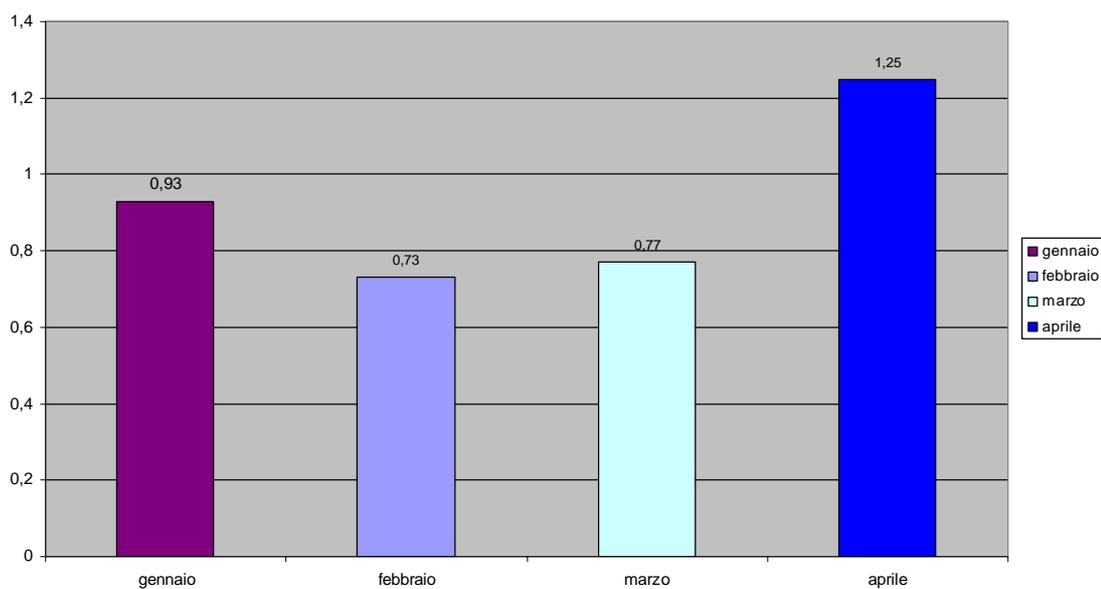


Figura 41 Valori degli indici parziali relativi al costo di energia elettrica

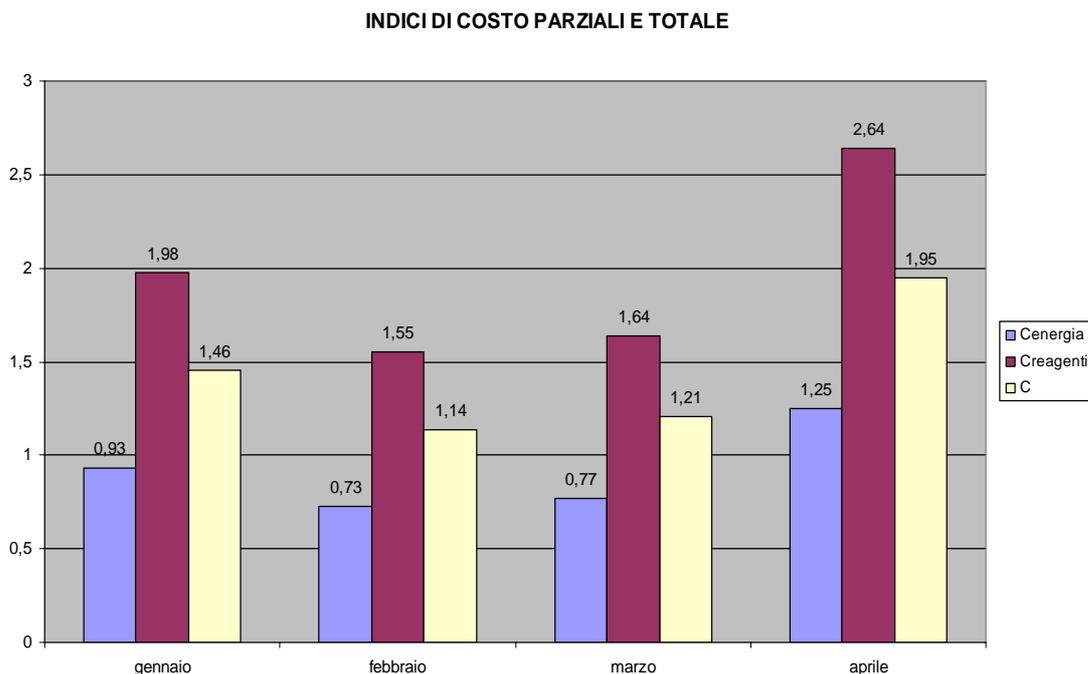


Figura 42 Valori degli indici di costo parziali e totale

11.1 Possibili alternative per il miglioramento energetico

Per migliorare l'efficienza energetica negli impianti si può operare in diverse direzioni, ma principalmente i risparmi energetici possono derivare dall'ottimizzazione dei recuperi, negli impianti predisposti, 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 e la verifica idrodinamica dei bacini di aerazione. Nell'impianto in esame, durante l'intervento di ampliamento e "modernizzazione", avvenuto nel 2005, si è provveduto a modificare l'obsoleto sistema d'aerazione con un sistema di diffusione a bolle fini, che ottimizza l'efficienza di rendimento del processo d'aerazione, tendendo anche a ridurre gli sprechi.

Una volta adottati sistemi di diffusione a maggiore rendimento, si può agire 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. E' il gestore che controlla e modifica, attraverso controlli a distanza, la concentrazione d'ossigeno disciolto nelle vasche d'ossidazione.

11.2 Analisi della gestione energetica: ottimizzazione dei sistemi d'aerazione

Il processo d'aerazione interessa tutte le fasi del trattamento delle acque reflue: dalla fase di pretrattamento al trattamento secondario fino alla digestione e stabilizzazione dei fanghi di supero.

La gestione dei sistemi d'aerazione è uno tra gli aspetti più rilevanti per il funzionamento e l'ottimizzazione dell'intero processo:

- Fondamentale per garantire il processo depurativo: vasca d'ossidazione e

sedimentazione;

- Uno dei fattori chiave per evitare problemi di sedimentabilità dei fanghi – Bulking;
- Energetica: da sola consuma la maggior parte dell'energia elettrica dell'impianto di depurazione (40-60 % dei consumi);
- In generale garantisce da sola anche la miscelazione e l'assenza di depuratori in vasca.

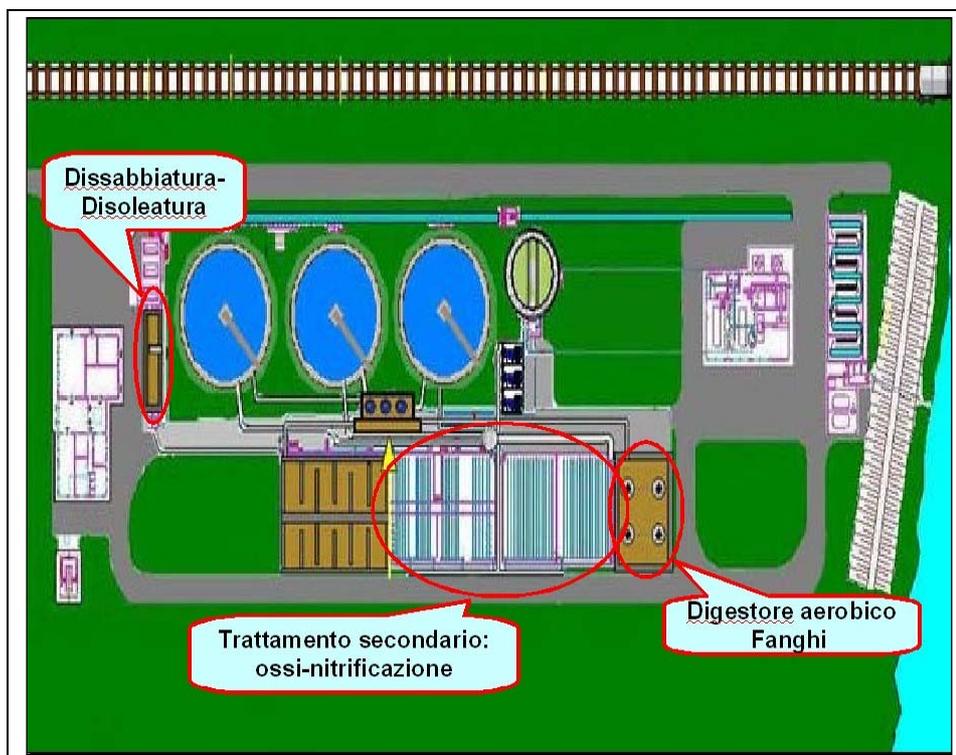


Figura 41 Sistemi a fanghi attivi in un impianto a fanghi attivi

Ottimizzare la gestione dei sistemi d'aerazione si traduce nella riduzione dei consumi energetici, aumentando l'efficienza in aerazione. L'efficienza è misurata attraverso il parametro kgO_2/kWh :

- i kWh sono quelli assorbiti ai morsetti dal sistema d'aerazione
- i kgO_2 forniti dal sistema possono essere riferiti a condizioni reali o a condizioni standard

I sistemi d'aerazione che presentano la maggior efficienza energetica sono i diffusori a disco con piastra a bolle fini, utilizzati nell'impianto in esame: con un'efficienza in condizioni standard pari a 3,4-5 kgO₂/kWh e in condizioni reali di 1,5-2,8 kgO₂/kWh superano nettamente l'efficienza energetica dei diffusori tubolari e degli aeratori meccanici (“Ottimizzazione dei sistemi d’aerazione” M. Leoncavallo, *Water & Wastewater – ITT*).

Dunque per ottimizzare i sistemi d'aerazione si deve cercare di incrementare l'efficienza d'aerazione, che è funzione del rapporto tra contenuto di ossigeno trasferito e il contenuto d'ossigeno in aria.

Per aumentare tale parametro si deve agire su diversi fattori quali:

- aumento della sommergenza: aumenta il tempo di ritenzione delle bolle;
- bolle piccole: l'O₂ trasferito è proporzionale all'area specifica di contatto (ad una bolla con diametro di 1 mm corrisponde una superficie specifica di 6000 m²/m³ mentre le bolle grosse hanno un diametro di 10 mm e una conseguente superficie specifica di 600 m²/m³);
- aumento della densità dei diffusori in vasca: un elevato numero di diffusori controbilancia e contrasta l'effetto di accelerazione delle bolle, riducendo la velocità di risalita
- flusso orizzontale omogeneo.

12 ANALISI DELLA FUNZIONALITA' DELL'IMPIANTO DAL PUNTO DI VISTA DELLA GESTIONE DEI FANGHI

Analogamente alle sezioni precedenti, in questo capitolo si riportano i risultati dell'analisi della gestione dei fanghi, ottenuti dall'applicazione degli indici di all'impianto oggetto di studio.

In particolare vengono analizzati gli indici di funzionalità relativi alla gestione dei fanghi vera e propria, suddivisa dall'analisi dei diversi indici che la caratterizzano.

Non è stato possibile operare in modo analogo all'analisi dei consumi energetici, per la quale si erano confrontati consumi e costi relativi all'energia elettrica, perché, per questioni operative, non si è venuti in possesso dei dati relativi ai costi di smaltimento, anche se, in linea generale, si può affermare che essi incidono in maniera rilevante con una percentuale tra il 30 e il 50% rispetto al costo totale di gestione di un impianto tipo.

L'indice di funzionalità relativo alla gestione dei fanghi (F) è meno variabile rispetto agli altri indici ed è sempre nettamente inferiore a 1, con un valore uguale per i diversi mesi pari a 0,6 circa: questo dato è la conseguenza di un indicatore di produzione di fanghi estremamente basso (0,18), dettata da una produzione reale di fanghi molto più consistente rispetto ai valori di produzioni attesi per impianti simili. Questo significa che, dal punto di vista della produzione, la funzionalità dell'impianto presenta una criticità, forse dovuta al fatto che anche la filiera dello smaltimento dei rifiuti del Comune di Fano, e di conseguenza anche lo smaltimento dei fanghi di trattamento, è gestita dalla medesima società Aset.

Analizzando la Figura 42, nella quale sono riassunti gli indici parziali e gli indici di funzionalità globali relativi alla gestione fanghi, si può osservare che i valori relativi alla produzione sono nettamente inferiori ad 1, mentre i valori relativi al trattamento sono sopra l'unità.

Per il calcolo dell'indice di gestione fanghi non è previsto il calcolo dell'indice di destinazione dei fanghi, perché per l'impianto di Fano, ad oggi, i fanghi vengono unicamente smaltiti in discarica.

VALORI DEGLI INDICI PARZIALI E DI FUNZIONALITA' RELATIVI ALLA PRODUZIONE DI FANGHI (F)

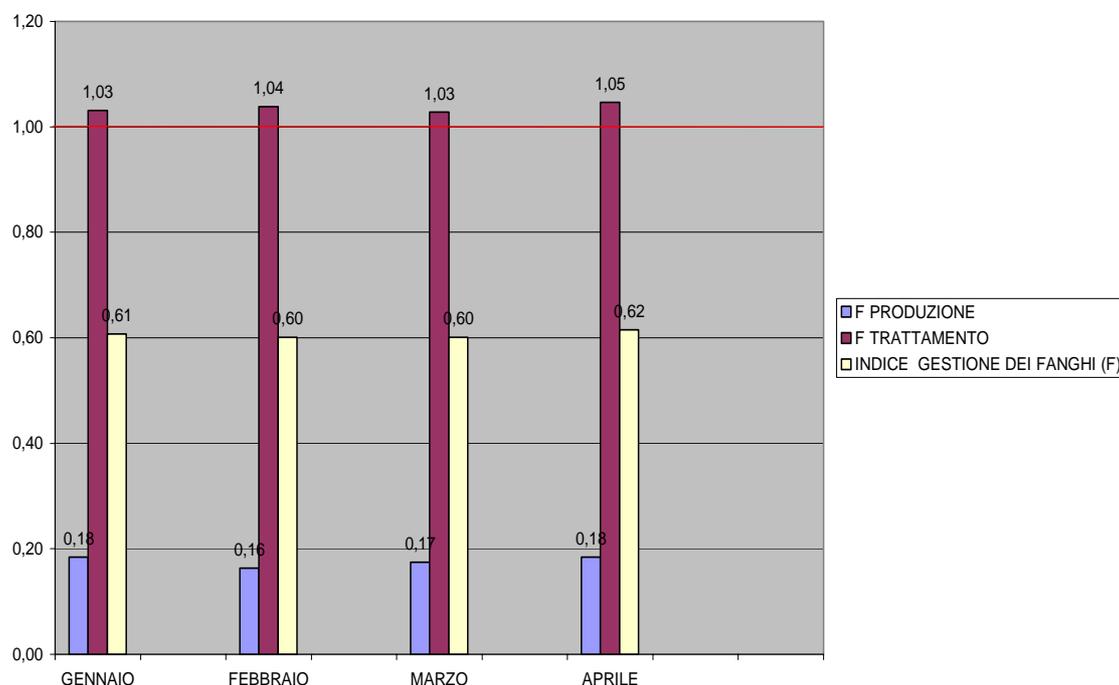


Figura 42 Valori degli indici parziali e totali di gestione dei fanghi

12.1 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. Le verifiche sperimentali di funzionalità, a partire dal monitoraggio dell'impianto, rappresentano quindi 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 indicativo, alcuni possibili esempi:

- Caratteristiche di sedimentabilità dei fanghi.
- Caratteristiche di ispessimento dei fanghi.
- Stabilizzazione biologica dei fanghi.
- Comportamento idrodinamico dei reattori.
- Disidratabilità dei fanghi.

13 RECUPERO DI MATERIA ED ENERGIA DAI FANGHI DI DEPURAZIONE

Per completezza, avendo trattato la problematica della gestione dei fanghi, dalla produzione al trattamento, si vuole analizzare, in chiave generale le alternative impiantistiche per l'ottimizzazione della gestione dei fanghi in uscita da un impianto di depurazione.

Tale argomento verrà esposto in un'ottica non sperimentale, poiché l'impianto di Fano, usato come modello per questo studio, non prevede alcuna soluzione per il recupero di materia o energia dai fanghi.

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. Nella *Comunità Europea* la progressiva attuazione della Direttiva 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, recepita in Italia dal D.Lgs. 152/99, ha comportato e comporterà un costante aumento dei quantitativi di fanghi originati dai processi di depurazione (“Recuperabilità dei fanghi di depurazione”, C. B. Rizzardini, D. Goi, *Ingegneria Ambientale vol. XXXIX n.7-8 2010*).

Le modalità di smaltimento/utilizzo dei fanghi più frequenti sono:

- riutilizzo in agricoltura, direttamente o previo compostaggio;
- smaltimento in discarica;
- incenerimento diretto o co-incenerimento insieme ad altre tipologie di rifiuti.

13.1 Il riuso in agricoltura

Come attività finalizzate al recupero di materia dai fanghi di depurazione, si intende, in prima istanza, il riutilizzo agronomico o genericamente sul suolo, eventualmente previo compostaggio. Lo scopo del riutilizzo agronomico è quello di immettere sui suoli ad uso agricolo o su altri substrati utilizzati sempre per la crescita di specie

vegetali (vivaistica, hobbistica, colture in vaso), sostanza organica, elementi nutrienti e microelementi. Il tutto deve avvenire nel pieno rispetto dell'ambiente nei suoi vari comparti (acqua, suolo, aria) e dei diversi sistemi viventi interessati (piante, animali, uomo). Il riutilizzo agricolo dei fanghi è una pratica molto diffusa nel mondo. Per il prossimo futuro, è atteso un decremento del quantitativo di fanghi smaltito in discarica ed un incremento delle altre opzioni. Tali proiezioni troveranno validità se si confermano alcuni trend quali il miglioramento della qualità del fango, il che consentirà il riutilizzo agricolo e la tendenza a non consentire lo smaltimento di questa biomassa in discarica. Peraltro vi sono elementi che potrebbero determinare una diversa evoluzione della situazione: uno di essi è legato al consistente inasprimento dei limiti normativi futuri sulla qualità dei fanghi, che non dovesse trovare riscontro in un corrispondente analogo miglioramento della qualità dei fanghi prodotti. Un altro aspetto è connesso all'eventuale difficoltà d'accettazione del mondo agricolo o delle industrie del comparto agro-alimentare di tale pratica di riutilizzo, a seguito di considerazioni di tipo ambientale o di qualità del prodotto ottenuto.

Le strategie di gestione dei fanghi di depurazione a livello di Comunità Europea suggeriscono la necessità di ispirare tale pratica agronomica ai principi "dell'uso sostenibile" e di "precauzione", intendendo con questo la minimizzazione del rischio mediante una valutazione di pericolosità preventiva elaborata su basi scientifiche. Sebbene venga riconosciuta una certa importanza al recupero dei fanghi in ambito agricolo quale pratica volta al riutilizzo di risorse (sostanza organica in particolare ed elementi nutritivi), tale modalità di utilizzo deve intendersi quale alternativa, e quindi non esclusiva, ad altre forme di smaltimento. Per questa ragione risulta di estrema importanza definire le cautele per prevenire rischi dovuti alle sostanze pericolose presenti nei fanghi di depurazione. La documentazione tecnico-scientifica di settore delle CE (revisione della direttiva 86/278/CEE) indica la necessità di prevedere per i fanghi non più limiti solo per i metalli pesanti, ma anche per altri composti organici tra cui i bifenilipoliclorurati, le diossine ed i benzofurani, i composti alogenati e gli ftalati.

L'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura trova applicazione in virtù delle proprietà fertilizzanti di queste biomasse, con particolare riferimento al contenuto ed

alla disponibilità per la nutrizione vegetale di azoto e fosforo, ed al basso rapporto C/N (Boyd *et al.*, 1980; Iakimenko *et al.*, 1996); non vi è da trascurare, inoltre, che i fanghi di depurazione, grazie al loro elevato contenuto di carbonio, contribuiscono, sia in termini quantitativi sia qualitativi, al bilancio unico del suolo (Boyd *et al.*, 1980). Effetti positivi sono stati evidenziati sulle caratteristiche fisiche dei suoli (Navas *et al.*, 1998; Sort and Alcaniz, 1999) e su quelle chimiche (Navas *et al.*, 1998), nonché sulle sue proprietà nutritive (Bramryd, 2001; Nyamangara and Mzezewa, 2001) e biologiche (Banerjee *et al.*, 1997; Wong *et al.*, 1998): i fanghi di depurazione vengono utilizzati in agricoltura per il loro contenuto di sostanze nutritive, come il fosforo e l'azoto, oltre che di carbonio organico; possono tuttavia altresì comportare dei rischi per l'ambiente - principalmente riconducibili al loro contenuto, spesso non trascurabile, di metalli pesanti e di altre sostanze indesiderate - e per la salute - possibile diffusione di patogeni - risultando a tal fine determinante il trattamento cui sono sottoposti prima di un loro utilizzo praticato nel pieno rispetto della normativa. Le problematiche ambientali che possono essere associate all'utilizzo in agricoltura dei fanghi di depurazione riguardano principalmente i derivanti apporti di:

- metalli pesanti;
- composti organici nocivi;
- azoto (da cui il rischio nitrati);
- microorganismi patogeni

13.2 Aspetti normativi

La Direttiva 86/278/CEE è stata recepita in Italia con il D.lgs. n. 99 del 27 gennaio 1992 che, in particolare, fissa:

- valori limite di concentrazione per alcuni metalli pesanti che devono essere rispettati nei suoli e nei fanghi;

- caratteristiche agronomiche e microbiologiche dei fanghi (limiti inferiori di concentrazione di carbonio organico, fosforo e azoto totale, nonché valori massimi di salmonella);
- quantità massime dei fanghi che possono essere applicate sui terreni.

La Commissione Ambiente dell'Unione Europea ha avviato la preparazione della nuova Direttiva comunitaria e ha elaborato un documento di lavoro grazie alla consultazione di vari esperti degli Stati Membri; l'ultimo *draft* è tuttavia aggiornato al 2000 perché la complessità del tema pone al confronto posizioni ed esigenze estremamente diverse nello scenario europeo. Sebbene non sia sicuro alcun divieto, le prescrizioni previste potranno essere molto inasprite mediante l'introduzione di requisiti qualitativi più severi (valori limite per gli inquinanti contenuti nei fanghi, limitazioni d'impiego sui campi coltivati a foraggio ecc.). D'altra parte il fango è assimilato a rifiuto prodotto nel processo di depurazione, e la normativa sui rifiuti ha nel frattempo introdotto divieti/limitazioni per bloccare/ridurre la messa a discarica di "rifiuti organici recuperabili" fra i quali proprio i fanghi di depurazione.

In ambito regionale, la Regione Marche ha regolamentato il riutilizzo ed il recupero dei fanghi di depurazione in agricoltura ed il compostaggio, nella "Delibera n. 2557/93 sul riuso dei fanghi di depurazione" e nel CER 19 08 05 (fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane). L'interesse per questa categoria di rifiuti è determinato anzitutto dalla rilevante quantità prodotta e dalla "inevitabilità" della produzione in quanto strettamente connessi con la depurazione delle acque reflue urbane e con la costante crescita, man mano che aumenta l'efficienza di collettamento dei reflui fognari.

Si aggiunga che nella regione Marche in pratica lo smaltimento in discarica è l'unico modo con cui si gestisce questo particolare tipo di rifiuti: dai dati relativi allo smaltimento e recupero dei fanghi di depurazione, si vede che gran parte del fango prodotto viene inviato in discarica. Solo una piccola percentuale viene recuperata per la produzione di compost e di questa piccola quantità solo 1/8 circa viene applicato come fertilizzante e concimante nei terreni agricoli.

Nel PPOR - piano provinciale operativo sulla gestione rifiuti - si sottolinea la necessità di “incrementare la produzione di compost di qualità essendo i terreni della provincia di Pesaro e Urbino estremamente carenti di sostanza organica nei suoli (fonte ASSAM)”.

Dal Report sui rifiuti 2009 redatto dall'ARPA Marche:

PROVINCIA	ANNO	RIFIUTI PRODOTTI t/a
<i>Ancona</i>	<i>2006</i>	<i>17.536,010</i>
	<i>2007</i>	<i>17.859,185</i>
<i>Pesaro & Urbino</i>	<i>2006</i>	<i>10.650,057</i>
	<i>2007</i>	<i>14.202,952</i>
<i>Macerata</i>	<i>2006</i>	<i>11.141,030</i>
	<i>2007</i>	<i>17.674,932</i>
<i>Ascoli Piceno</i>	<i>2006</i>	<i>17.933,730</i>
	<i>2007</i>	<i>21.584,460</i>
TOTALE MARCHE	2006	57.260,827
	2007	71.321,529

Tabella 6: dati sulla raccolta differenziata

Dati non aggiornati dell'ARPAM mostrano una quantità di fanghi smaltita nella discarica di Monteschantello del comune di Fano pari a 3750 t/anno.

13.3 Sviluppi e alternative impiantistiche: l'integrazione dei cicli di trattamento delle acque e dei rifiuti organici attraverso la codigestione anaerobica dei fanghi di supero e delle frazioni organiche degli RSU - FORSU- per la produzione di energia rinnovabile

La più recente letteratura scientifica elenca i vantaggi che possono derivare dal trattamento congiunto di più residui organici per via anaerobica, la migliore resa specifica del processo di digestione e la riduzione dei costi di investimento e di esercizio degli impianti.

La depurazione delle acque reflue urbane sta attraversando un periodo di grossa crisi legato al costo dell'energia e all'aumento dei costi di smaltimento dei fanghi. In

quest'ultimo caso, il problema più pressante è costituito dalla mancanza di ricettività delle discariche e dalla riduzione progressiva delle quantità smaltibili in agricoltura. Nel contempo sono disponibili tecnologie innovative in grado di offrire una depurazione di qualità ed il riutilizzo delle acque, la riduzione dei consumi energetici e la rimozione dell'azoto con elevate prestazioni, la riduzione dei fanghi con metodi chimico-fisici o biologici.

In questo scenario, il ciclo delle acque non si è mai fuso con quello dei rifiuti ed in particolare con la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) oggi disponibile in quantità grazie al diffondersi delle raccolte differenziate. La FORSU è una biomassa che può produrre energia prima di produrre compost se sottoposta a digestione anaerobica; può, inoltre, fornire carbonio facilmente degradabile per supportare i processi di rimozione dei nutrienti e smaltire molta dell'acqua contenuta con i residui di fermentazione (carbonio, azoto e fosforo) in impianti di depurazione attrezzati per riceverli e trattarli.

Oggi i cicli delle acque reflue urbane e della FORSU dispongono dei requisiti per fondersi sviluppando le sinergie operative per il recupero dei rifiuti, la depurazione delle acque e la produzione di energia.

Infine, attraverso un ciclo integrato anaerobico/aerobico è possibile la produzione di compost con filiere semplificate e non onerose. L'organizzazione delle raccolte differenziate delle frazioni organiche dei rifiuti urbani, secondo metodi rigorosi, consentirà di alimentare gli impianti di digestione anaerobica con substrati più adeguati alle esigenze operative. D'altra parte i processi di fermentazione aerobica delle frazioni organiche possono dare un deciso contributo alla reale applicabilità delle direttive che impediscono il deposito in discarica dei rifiuti, in particolare delle frazioni organiche, se non preventivamente trattati e resi inerti.

L'interesse per lo sfruttamento di tutte le potenzialità energetiche dei rifiuti solidi urbani, incluse le frazioni ad elevato contenuto organico, è confermato dalla realizzazione e dallo sviluppo di importanti e significativi impianti. Per quel che riguarda la realtà italiana si possono prendere come esempi operativi l'impianto di

trattamento delle acque reflue di Treviso e l'impianto di produzione di Camposampiero (PD), tra i principali esempi di trattamento integrato di acque di scarico domestiche e di FORSU oggi operanti nel nostro Paese.

13.4 Dati sulla raccolta differenziata

In conclusione, si può affermare che le prospettive di sviluppo e larga applicazione delle tecnologie per la valorizzazione energetica della FORSU e di altre biomasse, mediante processi di digestione anaerobica con recupero di biogas, sono legate a diversi fattori di carattere organizzativo e, in primo luogo, ad un efficiente sistema di raccolta differenziata presso i singoli cittadini e i grandi centri di produzione e distribuzione dei generi alimentari (mercati, mense, centri commerciali ecc.): le stime sulla raccolta differenziata dei rifiuti variano a seconda delle aree geografiche considerate e per la FORSU risultano comunque di difficile quantificazione. Nel PPOR della provincia di Pesaro-Urbino l'analisi sulla raccolta differenziata è fatta su dati non aggiornati, nel PRGR - Piano regionale sulla gestione dei rifiuti- i dati sono aggiornati al 2008: nella fascia costiera del nord della regione la percentuale di RD rientrava nelle due fasce tra 20-35% e 35-40%. L'Osservatorio provinciale sui rifiuti fornisce i dati, aggiornati al 2008: il comune di Fano e l'ambito territoriale provinciale n. 5 hanno prodotto una percentuale di RD del 20,8%, ancora nettamente distante dagli obiettivi europei, anche se in questi ultimi anni è cambiata drasticamente la politica e la gestione dei rifiuti e della raccolta differenziata, di carta, plastica, vetro e verde (I dati 2009 riguardanti solo il comune di Fano forniti dall'azienda AsetServizi mostrano una percentuale di RD arrivata al 28%).

Inoltre a livello regionale la situazione appare decisamente diversificata passando da percentuali di 0,77% in alcune zone appenniniche a percentuali di eccellenza intorno al 70% di RD. Tali differenze trovano riscontro anche a livello nazionale: analizzando le tre macroaree, si comprende come il Nord abbia raggiunto livelli di raccolta in linea con le direttive europee mentre il Sud sia decisamente distante da tali obiettivi avendo una media di RD tra il 10-15 %.

Dai dati ISPRA (ex APAT), aggiornati al 2007 e relativi alle percentuali di frazione umida proveniente da RD, si ritrovano le rilevanti differenze tra le regioni del Nord e del Mezzogiorno. Tutte le regioni del Nord presentano valori più elevati della media italiana, con incrementi medi di circa 18 punti percentuali tra 2001 e 2007, ad eccezione della Liguria con valori intorno al 4,4 %. Nel Mezzogiorno, la distanza che separa dal raggiungimento del valore target, stabilito dal Qsn per il 2013, è ancora molto elevata, se si considera che nel 2007 solo in Sardegna e Abruzzo si è superato il 10% di frazione umida trattata., seguono Calabria e Puglia (rispettivamente 8,1 e 4,8). Le restanti regioni meridionali non raggiungono l'1%.

Dall'analisi dei dati, è chiaro che esistono ancora problemi di natura organizzativa delle raccolte differenziate, che potrebbero condizionare sia le fasi di trasporto e stoccaggio delle frazioni umide, sia le fasi finali di trattamento e di valorizzazione energetica del biogas da esse recuperabile. Oltre a tale criticità, devono essere ancora migliorati alcuni aspetti legati all'affidabilità delle tecnologie di digestione anaerobica e soprattutto alla loro convenienza economica, quest'ultima fortemente dipendente da incentivi sulla cessione di energia elettrica prodotta dal recupero del biogas: i costi di investimento sono alti, per la sostenibilità economica dell'intervento sono necessarie (in assenza di finanziamenti a fondo perduto) economie di scala significative (nell'ordine di 80-100.000 ton/anno) e integrazioni con il ciclo di trattamento delle acque. Il fattore che presenta la maggiore criticità è rappresentato dal contenimento degli scarti di trattamento.

Per quanto riguarda la situazione locale l'azienda Aset ha pubblicato il progetto di massima per la realizzazione di un impianto di compostaggio all'interno della discarica in gestione in località Monteschiantello.

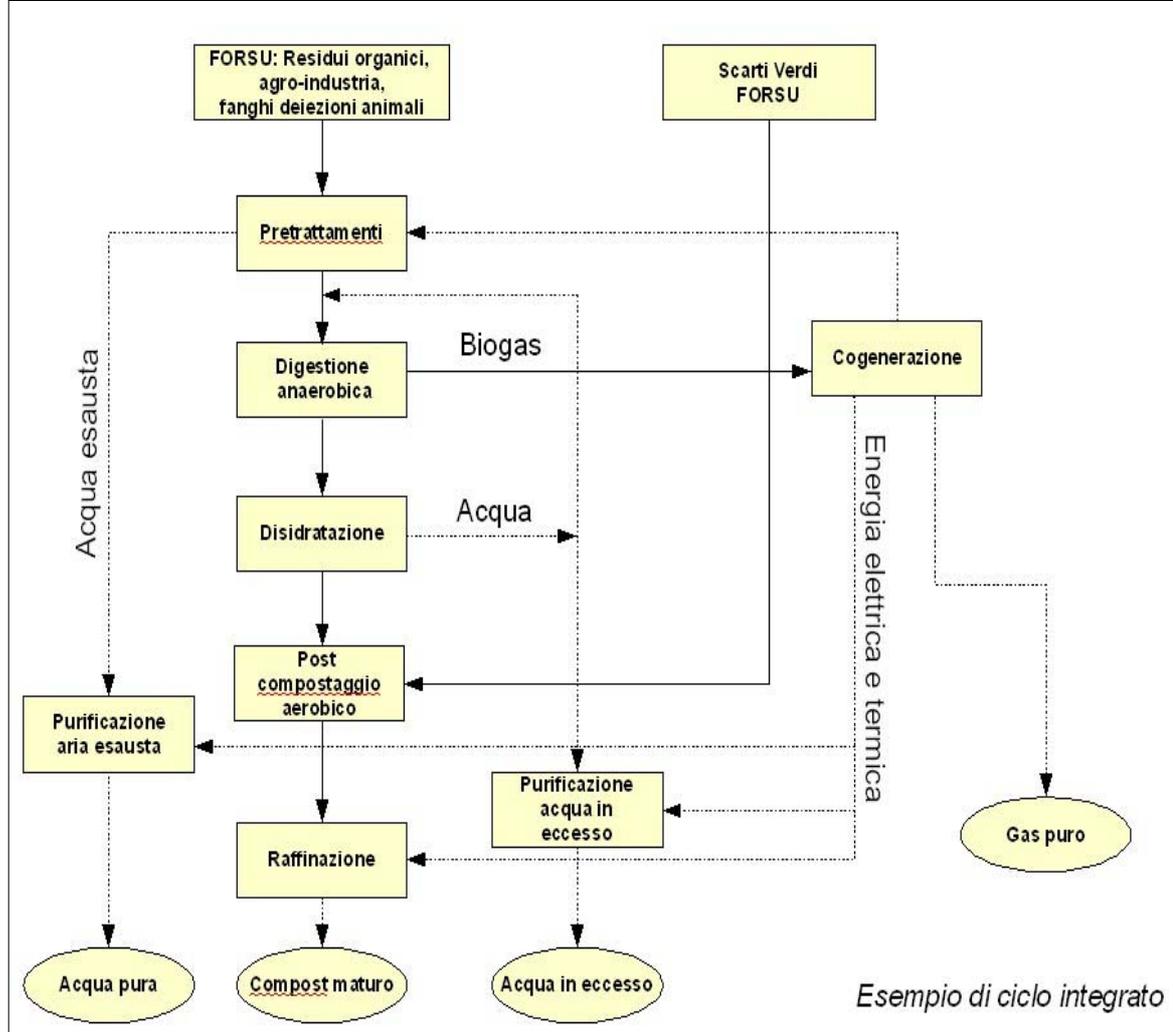


Figura 43 Esempio di ciclo integrato

13.5 Conclusioni

Di seguito si riporta un elenco di problematiche/aspetti tratte dal rapporto ISPRA, già citato in precedenza, “L’ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici”.

Dall’analisi svolta in questo capitolo si è giunti, schematicamente, alle seguenti conclusioni:

- 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.

14 RIUTILIZZO DELLE ACQUE IN USCITA DALL'IMPIANTO: RICICLO – RIUSO – RISPARMIO DELLA RISORSA IDRICA

Come è stato fatto nel capitolo 15, anche per quanto riguarda la problematica del riuso delle acque trattate in uscita da un impianto, la questione sarà affrontata sotto un'ottica divulgativa senza poter fare riferimento allo specifico caso di studio, non essendo ad oggi prevista alcuna alternativa allo scarico.

Le acque reflue depurate dall'impianto di Ponte Metauro sono scaricate direttamente alla foce del fiume e dopo pochi metri si immettono nel mare Adriatico. Così facendo, il “ciclo di vita” delle acque trattate, per ciò che concerne il loro utilizzo, termina dopo il trattamento terziario all'uscita dall'impianto.

Il costante aumento del fabbisogno di acqua per usi civili e produttivi ha imposto negli ultimi decenni l'adozione di norme sempre più articolate e funzionali al duplice obiettivo di garantire qualità adeguata ai diversi usi idrici e massimizzare l'efficienza nell'impiego e il risparmio di una risorsa sempre più scarsa e preziosa.

Un approccio sostenibile alla gestione delle risorse idriche deve necessariamente prendere in considerazione anche le acque reflue depurate, che costituiscono una risorsa disponibile costantemente nell'arco dell'anno. Da un punto di vista tecnologico non esistono limiti alla produzione di “acque seconde” di elevata qualità mentre in relazione agli standards richiesti dalle normative potrebbero evidenziarsi limitazioni di tipo economico. Le tecnologie di post-trattamento applicabili per il recupero delle acque reflue pre-depurate consentono anche di ottenere un significativo effetto migliorativo della qualità dei corpi idrici ricettori, per la riduzione dei carichi residui immessi.

14.1 Analisi del consumo idrico

In molte regioni europee come in Italia l'offerta di risorse idriche sarebbe sufficiente a far fronte alla domanda, a prescindere da scarsità locali, abbastanza compensabili con trasferimenti (acquedotti) e con la razionalizzazione dei consumi. Il problema principale dell'economia delle acque è di natura qualitativa poiché le qualità idriche

necessarie per le più importanti forme di utilizzazione non sono più disponibili in misura sufficiente: le acque reflue e di prima pioggia provenienti da reti urbane di drenaggio sia unitario che separato opportunamente trattate possono rappresentare una risorsa integrativa utilizzabile: il riciclo e riutilizzo delle acque reflue depurate, nelle attività agricole, nei processi industriali, negli usi civili ammessi, consentono di diminuire il prelievo delle risorse idriche naturali superficiali e sotterranee.

A livello nazionale gli apporti idrici naturali sono dell'ordine di $290 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$ (valor medio decennale) di cui poco più del 50% rientra in ciclo per evaporazione e evapotraspirazione. Si può ritenere che in un anno standard l'ammontare teorico globale dell'apporto idrico sia pari a circa $140 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$.

La disponibilità effettiva d'acqua per il consumo è stimata attorno a $50 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$, ma la distribuzione è diversificata sul territorio nazionale in relazione al regime di precipitazioni: a fronte di un valor medio nazionale di circa 1000 mm/anno, esiste una fascia di variabilità indicativamente compresa tra 400 e 1800 mm/anno, con lunghi picchi di siccità estiva nelle aree meridionali. I consumi si aggirano intorno a $42 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$, ma la loro distribuzione è geograficamente diversificata. Nelle regioni settentrionali la disponibilità intrinseca di risorse idriche è maggiore: in quest'area si concentrano anche i maggiori consumi civili, industriali e irrigui (questi ultimi sono la voce quantitativamente più importante). Va peraltro sottolineato come la sempre più frequente adozione di pratiche di ricircolo interno, combinate con l'impiego di nuove tecnologie di produzione, stia portando ad un progressivo contenimento dei consumi idrici in ambito industriale.

Per quanto riguarda il prelievo e il consumo per uso civile, nel 2008 il prelievo d'acqua a uso potabile ammontava, a livello nazionale, a 9,1 miliardi di m^3 , l'1,7% in più rispetto al 2005, il 2,6% in più dal 1999. L'acqua prelevata pro capite ammonta a circa 152 m^3 per abitante: gli aumenti più significativi si registrano nelle regioni del Nord-Est e del Centro, mentre nelle altre ripartizioni si osservano riduzioni dovute probabilmente alla carenza generalizzata di precipitazioni negli anni centrali del periodo 1999-2008.

Dal confronto della quantità di acqua prelevata per abitante in alcuni grandi paesi della Unione Europea, l'Italia, con prelievi pari a 152 m³ per abitante, supera nettamente la Spagna (127 m³ per abitante), il Regno Unito (113 m³ per abitante) e la Germania (62 m³ per abitante). Nel 2008 il 32,2% dell'acqua prelevata è stata sottoposta a trattamenti di potabilizzazione. Tale quota è sostanzialmente in linea con quella rilevata nel 2005, mentre nel 1999 si potabilizzava il 26,3%, pari a 5,9 punti percentuali in meno. Naturalmente, la quota di acqua potabilizzata risente delle caratteristiche idrogeologiche dei territori da cui sono captate le acque. Infatti, dove sono disponibili una pluralità di fonti vengono *in primis* utilizzate le acque sotterranee, che sono di migliore qualità e non richiedono, di norma, processi di potabilizzazione. Le acque superficiali, invece, devono essere sottoposte a trattamenti di potabilizzazione nella quasi totalità dei casi. Sardegna (89,2%) e Basilicata (80,5%) sono le regioni dove una quota maggiore di acqua viene potabilizzata, mentre Lazio (2,9%) e Molise (8,9%) presentano i livelli più bassi perché sono disponibili risorse sotterranee idropotabili di buona qualità. L'89,4% dell'acqua prelevata a uso potabile, pari a circa 8,1 milioni di m³, viene effettivamente immessa nelle reti comunali di distribuzione. Complessivamente vengono immessi in rete 136 m³ di acqua per abitante, valore rimasto sostanzialmente invariato negli ultimi dieci anni. Le regioni che immettono nelle reti comunali più acqua potabile per abitante sono Valle d'Aosta e Lazio (rispettivamente 182 e 172 m³ per abitante). Umbria e Marche, con poco più di 100 m³ per abitante, sono quelle che ne immettono meno. (Fonte ISTAT “Giornata mondiale dell'acqua”)

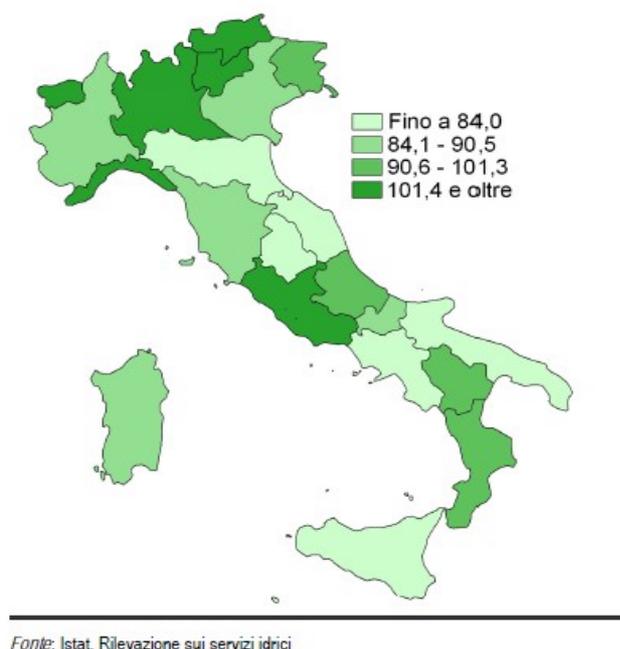


Figura 44 Acqua erogata per Regione

Anche tenendo conto dell'attuale indirizzo delle politiche di gestione delle risorse idriche, le acque reflue depurate costituiscono una valida risorsa, per di più continuamente disponibile: su un totale di acque reflue prodotte dell'ordine di $6 \cdot 10^9$ m³/anno, circa $4 \cdot 10^9$ m³/anno derivano da impianti di potenzialità tale da renderne proponibile il recupero, con una disponibilità d'acqua di 200-250 l/pro capite.

Da tavoli tecnici tenuti dalle APAT e ARPA di diverse regioni italiane, che hanno analizzato gli aspetti e le questioni legate al riuso delle acque, è emerso che tra i fattori geografici più significativi che possono influenzare la scelta del ricorso al riutilizzo delle acque reflue vi è la scarsità di acqua, che risulta essere un problema endemico per alcune zone delle regioni del Sud Italia (Puglia e Sicilia); in altre regioni, pur non sussistendo una grave carenza di risorse idriche, un incremento del riuso nel periodo estivo a fini agricoli (anche a causa del progressivo aumento della siccità che registrata negli ultimi anni) potrebbe permettere di ridurre il prelievo di acque di falda. Ciò consentirebbe anche di limitare il fenomeno della intrusione salina, che viene indicata come problematica sentita in Liguria e lungo la costa ionica.

La convenienza di tale recupero nasce dalla possibilità di destinare tali acque a usi diversi:

- civile: per lavaggio stradale; alimentazione di circuiti di raffreddamento/riscaldamento;
- industriale: acqua antincendio, di processo, di lavaggio, per cicli termici dei processi industriali (con l'esclusione degli usi che comportano un contatto tra le acque reflue depurate e gli alimenti o i prodotti farmaceutici e cosmetici);
- agricolo: per l'irrigazione di colture destinate alla produzione di alimenti per il consumo umano ed animale, per l'irrigazione di colture destinate alla produzione di alimenti a fini non alimentare, per l'irrigazione di aree destinate al verde o ad attività ricreative o sportive.

14.2 Aspetti normativi

Anche sul piano normativo la direttiva quadro 2000/60/CE ha individuato come prioritaria l'esigenza di elaborare una strategia di pianificazione integrata tra i diversi usi della risorsa idrica e uno stretto coordinamento tra i numerosi soggetti istituzionali coinvolti nella pianificazione, programmazione e gestione della risorsa idrica. Il Decreto Legislativo 152/2006 recante “Norme in materia ambientale” prevede che coloro che gestiscono o utilizzano la risorsa idrica e in particolare le Regioni adottino norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate. Più concretamente la possibilità di recuperare e utilizzare i reflui, previo adeguato trattamento, è stata resa possibile dal DM 185/03 e successivamente dal Regolamento attuativo sul riutilizzo delle acque del 2/5/06. In ambito regionale è il Piano di Tutela delle acque che traccia le linee guida e le indicazioni generali per l'individuazione di impianti adatti al riuso dei reflui depurati, compito che in ultima analisi spetta alle ATO: l'Ambito Territoriale Ottimale è una delimitazione del territorio nazionale definita dalle autorità regionali e costituita allo scopo di organizzare la gestione unitaria dei servizi idrici di competenza delle Regioni.

Gli impianti di depurazione devono, quindi, essere considerati veri e propri “processi produttivi” in grado di produrre acqua che possa essere riutilizzata. Di contro il traguardo del riutilizzo può fungere da stimolo per avviare un processo di progressiva ottimizzazione del funzionamento degli impianti.

In primo luogo va richiamata la finalità del riutilizzo delle acque reflue depurate: tale azione conclude e fa parte integrante del “ciclo idrico” secondo l’accezione che sottintende l’uso della risorsa idrica. In tal senso, prima della restituzione di acque comunque utilizzate, compatibilmente ai requisiti qualitativi dei corpi ricettori e dell’ambiente in generale, devono essere moltiplicati e ottimizzati gli usi “secondi” delle acque prelevate dall’ambiente, secondo il principio del massimo risparmio di acqua prelevata. Ciò sottintende le politiche e le azioni concrete di abbassamento della pressione antropica relativa all’uso di acqua, diminuendo lo stress quantitativo e qualitativo dei corpi idrici in generale e degli acquiferi in particolare.

Esistono in Italia, già da diversi anni, numerosi esempi di riuso delle acque reflue, sia per fini irrigui che per fini industriali. Il quadro complessivo presenta nette differenze tra regione e regione anche se si può dedurre la seguente considerazione generale: il ricorso alle acque reflue per scopi irrigui e industriali è avvenuto quasi esclusivamente in situazioni di “emergenza idrica” quali:

- Carenza di disponibilità idrica
- Elevata esigenza di acqua in porzioni di territorio limitate

D'altronde appare evidente che le scelte e le strategie di riutilizzo delle acque reflue depurate non possano essere valutate esclusivamente nell'ottica di un eventuale beneficio economico connesso al risparmio di acqua, pur se di elevata qualità: i limiti previsti dal D.M. 185/03 e la conseguente necessità di affinare il trattamento depurativo, richiedono consistenti investimenti e costi di esercizio più elevati, sia per gli adeguamenti dei depuratori individuati, sia per la realizzazione di reti di distribuzione dedicate.

Una prima valutazione dei rapporti costi-benefici per attuare il D.M. 185/03 evidenzia che l'incentivo al riutilizzo è giustificato solo se si considera la doppia valenza

ambientale di una simile scelta, con una visione più ampia, tenendo conto dei vantaggi indiretti di tale pratica quali:

- Beneficio ambientale del “non scarico”
- Possibilità di non far ricorso ad acque qualitativamente migliori, soprattutto di falda.

In quest'ottica il recupero ed il reimpiego delle acque reflue depurate deve essere considerato non un optional nell'uso della risorsa idrica, ma un vero e proprio principio imperativo da estendere a tutti gli usi primari e per tutti gli usi secondari.

Le potenzialità del riutilizzo di acque reflue recuperate sono notevoli, ma le effettive e concrete condizioni di un suo sviluppo sono fortemente condizionate dalle peculiari e rigorose disposizioni normative.

Un freno all'estensione del riutilizzo, comunque, al di là delle condizioni interne dei servizi idrici (rigore della norma sulla qualità delle acque, sovraccarico dei costi di impianto e di gestione che non gravano sugli utilizzatori) è rappresentato dal basso costo del prelievo delle acque di primo impiego. A questo riguardo un incentivo alla diffusione ed all'affermazione del riutilizzo, che può produrre effetti anche sul piano della perequazione del costo dell'acqua comunque utilizzata, è rappresentato da un processo di evoluzione del costo di concessione al prelievo, soprattutto da falda, ancorché collocato secondo un percorso temporale non certo drastico e repentino (data anche la negativa congiuntura economica). Si conferma, con queste considerazioni che, anche per un aspetto particolare come il riutilizzo delle acque reflue, così come per la tutela della risorsa, l'unica strada di successo può essere rappresentata da una organica e integrata politica per l'acqua che si colleghi strettamente alle politiche di tutela e sostegno dell'assetto territoriale, economico e sociale: non vi è infatti aspetto del governo dell'acqua che non vada ad incidere pesantemente su tutti gli aspetti del governo di una comunità. Emerge in ogni caso la necessità di precisi adattamenti alla realtà locale, intesa come condizioni socio-economiche e di disponibilità della risorsa primaria: clima, suolo, colture agrarie di maggior rilievo e abitudine alla fruizione del verde.

Nel D.Lgs 152/06, nel DM 185/03, nel PTA Marche e nel APQ sulla tutela delle acque trovano particolari attenzioni le questioni riguardanti le possibili alternative allo scarico delle acque reflue. Il loro riutilizzo può essere considerato componente fondamentale di una strategia di gestione delle risorse idriche che preveda non soltanto il contenimento degli usi, la riduzione degli sprechi e dei processi di degrado, ma anche lo sviluppo di nuove possibilità e alternative gestionali per passare da un ciclo delle acque aperto ad un ciclo il più possibile chiuso, analizzandone aspetti e impatti in un'ottica di LCA (*Life Cycle Assessment*): il Servizio Idrico Integrato deve inquadrarsi in tale contesto, che preveda una gestione delle risorse idriche con un approccio integrato e con logica industriale.

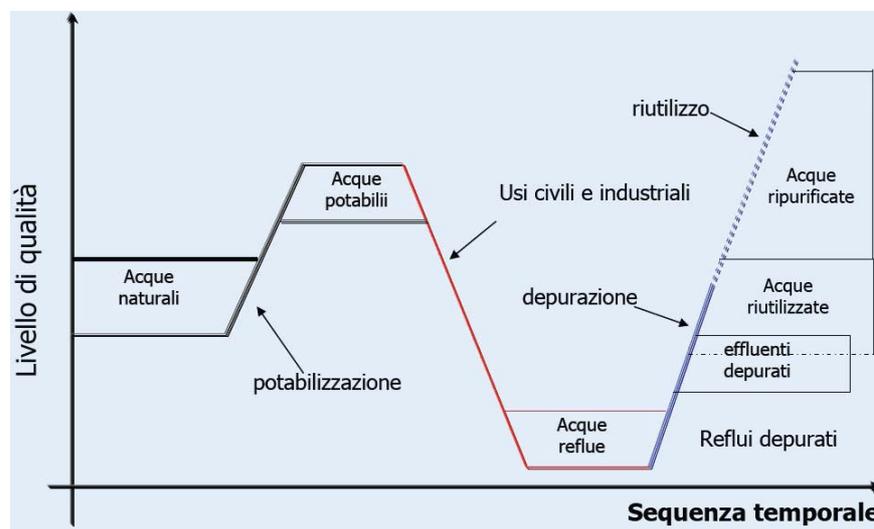


Figura 45 Sistema Idrico Integrato

14.3 Riutilizzo delle acque reflue in agricoltura: l'uso irriguo

In Italia l'agricoltura è il settore produttivo che presenta il maggior consumo d'acqua, destinata all'irrigazione. Le aziende che utilizzano l'acqua a fini irrigui sono oltre 503 mila e rappresentano oltre il 29% della superficie agricola utilizzata - SAU -(dati del Ministero dell'Ambiente: Relazione sullo stato dell'Ambiente 2009). La superficie irrigata (pari ad oltre 2 milioni e 600 mila ettari) rappresenta il 20,4% della superficie coltivata.

Il riutilizzo in agricoltura è l'applicazione più naturale nelle regioni mediterranee in quanto consente nell'arco dell'anno:

- la sicura disponibilità d'acqua e di una frazione di nutrienti
- un minor grado d'inquinamento del corpo idrico ricettore
- il risparmio di risorse idriche naturali disponibili per altri scopi.

Per quanto riguarda gli usi civili nel corso del 2007, i consumi pro capite di acqua per uso domestico, considerando le 14 aree metropolitane, sono stati di circa 70 m³/anno per abitante e mostrano in media un andamento decrescente negli ultimi 6 anni.

Nel PTA Marche è specificato che il riutilizzo ad uso irriguo è da considerarsi preferenziale in relazione alla possibile domanda e alla presenza di una rete di distribuzione esistente (canali irrigui, reti di distribuzione dei Consorzi di bonifica).

E' inoltre necessario ricordare quanto previsto dalle legge regionale 9 giugno 2006 n. 5 sulla disciplina delle derivazioni: l'art.12 relativo alla domanda di nuove piccole derivazioni, al comma 5 prevede il rigetto della domanda "...quando, al fine di garantire il risparmio idrico ed il minimo deflusso vitale, è possibile assicurare l'approvvigionamento richiesto per gli usi compatibili a mezzo di impianti esistenti di riutilizzo delle acque reflue."

Infine, la recente crisi idrica 2006-2007 ha determinato la necessità – oltre naturalmente di misure atte a fronteggiare tale emergenza – di "...azioni volte all'obiettivo di concretizzare, in un quadro generale di cambiamento climatico, condizioni idonee alla messa a regime di un sistema efficiente ed armonico nella distribuzione ottimale e permanente della risorsa per i suoi molteplici usi" (dalla Relazione preliminare di sintesi e prime proposte a cura del Dipartimento per le Politiche Integrate di Sicurezza e per la Protezione Civile della Regione Marche).

E' evidente che la messa in atto delle suddette azioni richiede dei tempi medio-lunghi; appaiono pertanto necessarie valutazioni sotto il profilo programmatico molto più decise in ordine alla possibilità del riutilizzo delle acque depurate, la cui importanza strategica non è finora stata adeguatamente compresa.

Ciò premesso, l'avvio degli interventi per adeguare i sistemi di fognatura e depurazione alle esigenze del riutilizzo irriguo, deve essere strettamente correlato alla preliminare individuazione dell'area disponibile da irrigare che deve essere sufficientemente ampia e prossima al depuratore, onde evitare il ricorso ai sollevamenti del refluo depurato. Oltre alla disponibilità di superficie irrigabile, devono essere valutate attentamente le caratteristiche di vulnerabilità dell'area, in particolare per evitare un possibile inquinamento delle falde (il riutilizzo irriguo è vietato nella fascia di ricarica degli acquiferi).

Per quanto riguarda l'uso irriguo esistono diverse criticità (“ Le acque per uso industriale e agricolo”, F.Conti):

- composizione ionica delle acque reflue (ricche di composti azotati, fosfati e sostanze organiche) diversa da quella richiesta dal suolo e dalle piante (prevalenza di sodio e calcio su potassio e magnesio);
- possibile modificazione della permeabilità del suolo e arricchimento in cloruri delle falde superficiali:
- rischi legati alla presenza, oltre certi limiti, di sostanze tossiche (litio, boro, cloro, metalli pesanti, residui fitofarmaceutici), che può dare origine a fenomeni di tossicità in alcune specie vegetali sensibili.

I rischi potenziali prevalenti sono associati alla carica microbiologica residua in funzione delle concentrazioni iniziali e dei metodi d'irrigazione (spruzzo, scorrimento, goccia a goccia) e del tipo di consumo del prodotto nonché degli aspetti legati al rischio di tossicità.

La normativa di riferimento per il riuso è il DM 185/03 che, oltre ai normali parametri di controllo (pH, TSS, COD, BOD), norma la concentrazione ammissibile di alcuni parametri d'importanza agronomica quali Boro, alcuni metalli e il SAR (Sodium Adsorption Ratio).

Il recupero delle acque reflue depurate richiede un processo di affinamento la cui complessità (e quindi i costi) dipende in primis dalla qualità degli effluenti depurati: la

costanza della qualità è molto importante, soprattutto nel caso del riuso industriale. La possibilità pratica del recupero di acque reflue depurate soprattutto per il reimpiego irriguo, può essere condizionata da alcuni aspetti specifici, non tanto per impossibilità tecnica di rispettare i limiti imposti, quanto per i costi di trattamenti avanzati da prevedere in alcuni casi come ad esempio:

- forti concentrazioni di Na e Cl, ad esempio in zone costiere;
- alte concentrazioni di Boro (limite vigente 1 mg/l), dovute all'impiego di prodotti detergenti sbiancanti, anche in ambito domestico;
- elevate concentrazioni di tensioattivi totali.

In estrema sintesi il DM 185/2003 prevede il rispetto di 54 parametri di cui il 20% richiede la stessa qualità delle acque potabili e il 37% non è previsto per le acque potabili. In questo quadro i costi di affinamento e distribuzione (costruzione, esercizio, gestione) potrebbero risultare tali da poter essere sostenuti solo per gli impianti più grandi, riducendo quindi i benefici di una presenza diffusa della pratica di recupero delle acque reflue.

14.4 *Analisi dei fattori di riuso*

Le problematiche legate al riuso delle acque reflue uscenti dall'impianto di trattamento sono legate a molteplici fattori: un approccio olistico ha portato alla determinazione dei cosiddetti “fattori di riuso” (sociali, economici, ambientali e tecnici). Solo attraverso un'analisi globale costi/benefici si può giungere alla valutazione della fattibilità di progetti di riuso.

Analisi dei fattori di riuso (“Alternative di riuso di acque reflue e meteoriche in ambiente urbano” – V giornata di studio sul drenaggio urbano sostenibile):

- fattori politico-decisionali: normativa, pianificazione esistente, disponibilità di fondi;

- fattori socio-economici: costi di trattamento, costi di monitoraggio, richiesta d'acqua per alternative di riuso, contesto socio-economico, disponibilità di risorse idriche;
- fattori ambientali: caratteristiche pedologiche del terreno, habitat naturale, vincoli presenti, disponibilità di risorse idriche;
- fattori impiantistici: disponibilità di aree di espansione, facilità gestionale, tipologie impiantistiche esistenti;
- fattori relativi alla distribuzione: tipo di rete di distribuzione, presenza di invasi, tipologie di colture.

Dunque, parlando di riuso si dovrà anche valutare il sistema di infrastrutture esistenti o necessarie per pianificare interventi nel settore, bisognerà avere un quadro completo del sistema depurativo esistente (tipologia dei trattamenti utilizzati), delle infrastrutture di adduzione e di distribuzione da realizzare, il tutto in relazione alla “domanda” di risorsa alternativa espressa dagli utilizzatori, dagli organismi decisori e più in generale dall’opinione pubblica.

A livello economico-sociale molti sono gli elementi che possono favorire od ostacolare iniziative di riuso. Tra i primi sono stati segnalati:

- l’elevata densità abitativa e delle attività produttive che permette, generalmente, una maggiore dimensione degli impianti di depurazione e quindi semplifica il riuso della risorsa idrica;
- i carichi di punta turistici caratteristici in particolar modo nelle zone costiere di alcune regioni, che determinano un incremento improvviso della richiesta idrica e quindi delle necessità di depurazione. A fronte di una necessaria maggiore flessibilità degli impianti di depurazione, si potrebbe beneficiare del riuso dei reflui a fini agricoli o per altri usi.

In generale i fattori impiantistici che potrebbero ostacolare il riutilizzo idrico sono principalmente due:

- La frammentazione della gestione delle infrastrutture per la depurazione: la presenza di molti piccoli impianti gestiti da enti diversi rende più critica l'organizzazione efficiente e soprattutto economicamente vantaggiosa del riuso idrico
- Le condotte a mare: storicamente in alcune regioni si è ritenuto più economico e semplice costruire delle condotte che recapitano direttamente in mare i reflui trattati in impianti di depurazione spesso dotati solamente di trattamento primario. In questi casi, qualora per la scarsità di risorse idriche risultasse opportuno il riuso dei reflui, tale semplicità impiantistica si tradurrebbe in un maggior investimento tecnico ed economico per l'up-grading di tali impianti in confronto ad impianti che effettuino già un trattamento secondario.

14.5 Conclusioni

Il recupero delle acque reflue consentirebbe in molte situazioni di ottenere significativi vantaggi sia in termini di disponibilità di risorse aggiuntive, sia dal punto di vista del bilancio ambientale complessivo. Acque conformi alle richieste normative possono essere ottenute con schemi di trattamento complessivamente semplici (filtrazione per contatto e disinfezione o, per impianti di dimensioni medio-piccole, metodi naturali). Tali schemi consentono una buona rimozione di TSS e carica microbiologica (incluse le frazioni resistenti alla disinfezione) a costi ragionevoli, soprattutto se gli impianti di depurazione sono già dotati di una fase di filtrazione. Solo nel caso di specifiche richieste di qualità è necessario far ricorso ai cosiddetti trattamenti avanzati

15 CONCLUSIONI

In questo lavoro si è voluto affrontare la questione complessa e ramificata della gestione del servizio di depurazione delle acque reflue urbane: con una logica di ampio respiro si è scelto, come riferimento per le successive applicazioni di modelli e analisi, di prendere come oggetto di studio l'impianto di depurazione delle acque reflue urbane del Comune di Fano, ubicato in località Ponte Metauro, in una zona a vocazione fortemente turistica.

Dopo una dettagliata analisi delle diverse fasi che caratterizzano l'impianto, si è affrontata la questione della gestione tecnica dell'impianto stesso, considerando le specifiche modalità di monitoraggio, di manutenzione e di controllo.

Avendo poi analizzato i diversi parametri di processo si è passati all'applicazione dei criteri per la caratterizzazione dell'impianto: si è preso come riferimento operativo il metodo per la valutazione degli indici di funzionalità per la gestione di un depuratore proposto nel rapporto redatto da ISPRA (ex APAT) 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”* del 2009. In tale pubblicazione viene descritta la metodologia generale di approccio al problema, gli indici di funzionalità veri e propri e lo schema operativo per la valutazione dell'efficienza globale dell'impianto.

Attraverso la rielaborazione del metodo e la sua applicazione ad un caso reale si è giunti alla rappresentazione sintetica ed immediata delle condizioni di funzionamento e delle prestazioni dell'impianto di Fano: dalla rielaborazione dei dati gestionali si sono evidenziati i suoi “punti” d'eccellenza e i “punti” critici e si sono proposte delle soluzioni di verifica gestionale. Riportando i grafici dedotti dall'applicazione degli indici di funzionalità si evidenzia nel complesso un impianto efficiente con ottimi indici depurativi, anche se con carenze evidenti nella sovrabbondante produzione di fanghi e nel consumo elevato di energia elettrica.

Infine si è preso spunto dall'analisi dell'indice di gestione fanghi e dall'analisi dell'indice di efficienza depurativa per affrontare, in chiave generale, le tematiche del recupero di materia ed energia dai fanghi di depurazione e delle alternative al riuso delle acque depurate in uscita dall'impianto.

BIBLIOGRAFIA

- Andreattola Gianni, *Trattamento della frazione liquida derivante da digestione anaerobica*, Università degli Studi di Trento
- Andreattola Gianni, Foladori Paola, Ziglio Giuliano, *Dal monitoraggio convenzionale alla verifica avanzata del processo a fanghi attivi*, Quaderni del Dipartimento SAN 4, Università degli Studi di Trento
- APAT, *Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle Acque reflue urbane*, Manuali e Linee Guida 1, Edizioni APAT - I.G.E.R., Roma, 2001
- Bertanza G., Collivignarelli C.: *Le verifiche di funzionalità per l'ottimizzazione della depurazione delle acque di scarico urbane*. Collana ambiente, vol. 28, ISSN 1121-8215, CIPA ed., Milano, 2006
- Collivignarelli C., Bertanza G.: *Guida per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane*, 2005
- Collivignarelli Carlo, *Atti 43° Giornata di Studio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale, Le verifiche di funzionalità come strumento per l'ottimizzazione di impianti e infrastrutture del Servizio Idrico Integrato*, gennaio 2011
- C. Vignarelli, V. Riganti, M. Pergetti, *La gestione degli impianti di depurazione delle acque di scarico*, Ed. Il Sole 24 Ore, Milano, 2000
- ENEA, *Tecnologie emergenti e gestione odori nel compostaggio*, 2001
- Colombo: *Manuale dell'ingegnere*. 84° edizione – Ed. Hoepli, 2003
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – "Norme in materia ambientale"
- DM 185/2003
- Maria Serena Gironi, *Analizzatori e sistemi di controllo modulari per l'ottimizzazione del processo di trattamento delle acque reflue*, Ecomondo, Rimini 2009
- Fanizzi Luigi, Saverio Misceo, *Il drenaggio delle acque meteoriche negli agglomerati urbani*, da L'Ambiente 3/10
- Fanizzi Luigi, *Il controllo e la gestione degli impianti biologici avanzati*, da L'Ambiente 6/05

- INEA, *Rapporto sullo stato d'irrigazione nelle Marche*, Edizioni INEA, 2009
- IRER, *Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione*, Volume 2: *Utilizzo razionale e sostenibile dei fanghi di depurazione*, 2007
- ISPRA, Università degli Studi di Brescia, *L'ottimizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane: massimizzazione dei recuperi di risorsa (acque e fanghi) e riduzione dei consumi energetici*, Ed. ISPRA Rapporti 93/2009
- ISTAT: *Il sistema di indagini sulle acque – Anno 2005*
- Leoncavallo Marco, *Ottimizzazione dei sistemi di aerazione*, ITT Water & Wastewater
- Metcalf & Eddy: *Ingegneria delle acque reflue – Trattamento e riuso*. IV edizione –Ed. McGraw-Hill, 2006
- Nurizzo Costantino, Antonelli Manuela, *Il riuso delle acque reflue: requisiti qualitativi e tecniche di recupero*, Ecomondo 2009
- Paoloni Gisperto, direttore generale ARPAM, *Elementi chimici utili in agricoltura: fitodepurazione e fertirrigazione utilizzo dei fanghi*, 2004
- PEAR, Piano energetico ambientale regionale, Regione Marche, Capitolo 4 e 5
- PTA, Piano di Tutela Acque della Regione Marche
- Tavolo Tecnico Interagenziale “Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche”, *Analisi di casi studio diversificati di riutilizzo delle acque reflue*, 2006
- Tavolo Tecnico Interagenziale “Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche”, *Rapporto sulle attività di recupero di materia ed energia dai fanghi prodotti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane*, 2006
- Tavolo Tecnico Interagenziale “Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche”, *Relazione di ARPA Marche*, 2006
- 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.
- Vismara R. e Butelli P., *La gestione degli impianti a fanghi attivi, manuali d'ingegneria ambientale*, Ed. CIPA, Milano, 1999