



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Università degli studi di Brescia
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Civile,
Architettura, Territorio e Ambiente

Modello di indagine per la valutazione della fattibilità del riuso delle acque reflue depurate





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Università degli studi di Brescia
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Civile,
Architettura, Territorio e Ambiente

Modello di indagine per la valutazione della fattibilità del riuso delle acque reflue depurate

Informazioni legali

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

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008 n.112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n.195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.it

ISPRA, Manuali e Linee Guida 80/2012
ISBN 978-88-448-0547-0

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica
ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli
Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento editoriale:
Daria Mazzella
ISPRA – Settore Editoria

Giugno 2012

Autori

Università degli Studi di Brescia – Facoltà di Ingegneria – Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente:

Prof. Ing. Carlo Collivignarelli (Responsabile scientifico)

Prof. Ing. Giorgio Bertanza (Coordinatore operativo)

Dott. Ing. Matteo Papa

Dott. Ing. Fausta Prandini

Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale:

Prof. Ing. Sergio Papiri

Dott. Ing. Alessandro Abbà

Dott. Agr. Renato Corradini, agronomo, libero professionista, Mortara (PV)

Referente tecnico per ISPRA:

Dott. Arch. Silvia Pietra – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine

Gli autori desiderano ringraziare i Responsabili degli impianti di depurazione di Acqua dei Corsari (PA), Alghero (SS), Baciacavallo (PO), Cremona, Fasano (BR), Fregene (RM), Locate Triulzi (MI), Peschiera del Garda (VR), Stintino (SS), Udine ed, anche, l'ing. Gladys Lizzi di Arpa Friuli Venezia Giulia, l'ing. Severino Marasca del Consorzio di bonifica Tevere e Agro romano, l'ing. Stefano Bongiovanni del Consorzio di bonifica Ledra Tagliamento, per aver fornito le informazioni necessarie alla stesura del lavoro.

PRESENTAZIONE

Nell'ambito delle attività di analisi, valutazione, promozione di strategie di gestione sostenibile delle risorse naturali al fine di garantirne la salvaguardia, la tutela e la valorizzazione, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) con il Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine, rivolge particolare attenzione alle strategie di gestione sostenibile della risorsa acqua.

La disponibilità nel futuro di tale risorsa, fondamentale per la vita e lo sviluppo delle popolazioni, dipende fortemente dal passaggio, dall'attuale, a una gestione che deve prevedere la riduzione dei consumi, degli sprechi e delle perdite, ma soprattutto il passaggio del ciclo delle acque da "ciclo aperto" a "ciclo chiuso".

Il "ciclo chiuso" prevede il ricorso sistematico al riciclo e riutilizzo, nelle attività agricole, nei processi industriali, negli usi civili consentiti, diminuendo il prelievo delle risorse idriche naturali superficiali e sotterranee. La normativa di riferimento (D.Lgs. n. 152/2006) 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.

E' quindi importante che gli impianti di depurazione siano in grado di produrre acqua che possa essere riutilizzata. Il traguardo del riutilizzo può fungere da stimolo per avviare un processo di progressiva ottimizzazione del funzionamento degli impianti, che investa dapprima le procedure gestionali e in secondo luogo, se necessario, porti all'upgrading strutturale.

Sui criteri per l'adeguamento, miglioramento e razionalizzazione del servizio di depurazione delle acque di scarico urbane è stata avviata, nel corso del 2004, la collaborazione tra ISPRA (già APAT) e il Gruppo di ricerca di Ingegneria Sanitaria – Ambientale del Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente (DICATA) dell'Università degli Studi di Brescia, con l'affidamento da parte di ISPRA di un incarico di ricerca per l'analisi di dati disponibili sugli impianti di depurazione di reflui urbani, individuazione di una "casistica" di riferimento e approfondimento di alcuni casi di studio per la definizione di criteri per il migliore utilizzo delle strutture esistenti e dei migliori interventi di upgrading.

L'indagine condotta nell'ambito della collaborazione di cui sopra ha evidenziato come la funzionalità degli impianti di depurazione assuma dimensioni significative, spesso a causa di carenze gestionali, altre volte per malfunzionamenti delle fasi di trattamento dovuti a non corrette valutazioni effettuate in sede progettuale (di solito in relazione alla stima del carico inquinante/idraulico).

Peraltro, l'indagine ha evidenziato come, in diversi casi, esistano significativi margini di miglioramento delle prestazioni degli impianti. In molti casi, ai malfunzionamenti degli impianti si fa fronte con interventi di ampliamento che richiedono forti investimenti e che non sempre garantiscono la rimozione del problema.

La buona prassi di gestione degli impianti presuppone invece che per garantire con continuità rendimenti di depurazione accettabili, il rispetto di limiti normativi più restrittivi, il raggiungimento di obiettivi di qualità per l'effluente particolarmente "ambiziosi", quali quelli richiesti per il riutilizzo delle acque depurate, sia conseguito, in primis, il corretto funzionamento dell'impianto così da poterne sfruttare al massimo le potenzialità nella configurazione esistente. Solo una volta raggiunto questo primo traguardo (peraltro, con ciò riducendo i costi di trattamento, che rappresentano uno dei principali ostacoli alla diffusione del riutilizzo) potranno essere intraprese le iniziative di upgrading (anche strutturale) per garantire i limiti di emissione particolarmente restrittivi.

Successivamente al lavoro sopra descritto, ISPRA ha assegnato al DICATA un secondo incarico di ricerca che si è concluso con la pubblicazione, nel 2009, del rapporto 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*" (Rapporti, ISPRA, vol. 93), nel quale sono stati approfonditi i criteri e le modalità di intervento per il recupero ottimale della risorsa (acque e fanghi) e la riduzione dei consumi energetici degli impianti.

Il lavoro svolto ha, inoltre, evidenziato come il riutilizzo delle acque depurate sia un argomento che registra un livello crescente di interesse, richiedendo approfondimenti di natura tecnico – economica e gestionale.

Per quanto sopra, l'ISPRA, nel 2010, ha avviato una nuova collaborazione con il DICATA per l'elaborazione del *Modello di indagine per la valutazione della fattibilità del riuso delle acque reflue depurate*, i cui risultati sono riportati nel presente documento.

Il volume illustra lo studio finalizzato alla definizione di un modello di indagine per la valutazione della reale fattibilità del riuso delle acque reflue depurate da parte dei soggetti preposti alla pianificazione/progettazione degli interventi nel settore idrico e si pone quale strumento di indubbia validità per orientare gli operatori del settore nella scelta del riutilizzo.

Stefano Laporta
Direttore generale ISPRA

INTRODUZIONE

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha stipulato con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente (DICATA) dell'Università degli Studi di Brescia una convenzione per uno studio sul tema "*Modello di indagine per la valutazione della fattibilità del riuso delle acque reflue depurate*".

La ricerca ha avuto come obiettivo generale l'elaborazione di uno strumento metodologico (modello) che potrà essere utilizzato per valutare la fattibilità del riuso delle acque reflue depurate, da parte dei Soggetti preposti alla pianificazione/progettazione degli interventi nel settore idrico.

Principali destinatari dello studio sono:

- le Regioni che hanno compiti di indirizzo e controllo;
- le Province, i Comuni e le Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale, cui spetta l'organizzazione e l'affidamento della gestione del servizio idrico, l'attività di controllo sul gestore per verificare la corrispondenza agli obiettivi e ai livelli di servizio stabiliti nel Piano d'ambito;
- i tecnici gestori degli impianti che potranno essere direttamente interessati all'applicazione pratica delle tecniche di verifica proposte.

Il lavoro è stato svolto da un gruppo interdisciplinare, essendo stati coinvolti esperti dei settori: Ingegneria sanitaria-ambientale, Ingegneria idraulica, Agronomia.

Nella prima fase dell'attività è stata definita la metodologia di valutazione, basata sulla individuazione di criteri, indicatori e indici numerici, utili a formulare un giudizio oggettivo sulla funzionalità degli impianti di depurazione e sulla fattibilità tecnico-economica del riutilizzo. I risultati di quest'attività, ovvero la formulazione del modello di valutazione, sono oggetto dei capitoli 1 e 2.

Più nel dettaglio, il capitolo 1 definisce i criteri da adottare per una corretta elaborazione dei dati gestionali di un impianto di depurazione (che costituiscono la base di partenza per ogni ulteriore valutazione): si tratta di una fase fondamentale in quanto gli impianti di depurazione non operano mai in condizioni di regime stazionario, per cui risulta essenziale adottare criteri oggettivi per ricavare dati di riferimento (portate, concentrazioni, rendimenti, ...) attendibili e realmente rappresentativi della realtà studiata.

Nel capitolo 2 si descrive la procedura di valutazione tecnico-economica di fattibilità del riutilizzo. Questa procedura consiste essenzialmente nel calcolo di "indici", ovvero nell'attribuzione di un punteggio ai diversi aspetti tecnici (es. prestazioni del depuratore, fabbisogno idrico dell'utilizzatore, ...) ed economici (es. costo del trattamento e trasporto dell'acqua depurata verso l'utilizzatore) ritenuti importanti per valutare una determinata situazione. Nel capitolo vengono descritte le formule matematiche per il calcolo di questi indici e per la loro interpretazione per pervenire al giudizio di fattibilità.

La metodologia sviluppata (e descritta nel capitolo 2) è stata applicata e verificata su 10 casi di studio:

- impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA);
- impianto di depurazione di Alghero (SS);
- impianto di depurazione di Baciacavallo (PO);
- impianto di depurazione di Cremona;
- impianto di depurazione di Fasano (BR);
- impianto di depurazione di Fregene (RM)

-
- impianto di depurazione di Locate Triulzi (MI);
 - impianto di depurazione di Peschiera del Garda (VR);
 - impianto di depurazione di Stintino (SS);
 - impianto di depurazione di Udine.

La scelta di questi impianti è stata effettuata con l'intento di esaminare casistiche diversificate tra loro in ordine a:

- modalità di riutilizzo (agricolo diretto, agricolo indiretto, industriale);
- dimensione dell'impianto di depurazione (portate riutilizzate o riutilizzabili comprese tra 5.000 e 115.000 m³/d);
- localizzazione geografica;
- stato di fatto del riutilizzo (in previsione oppure in atto).

Per applicare la metodologia proposta ai casi di studio, sono stati acquisiti i dati di funzionamento degli impianti (analisi ARPA e dati gestionali), i dati necessari a valutare l'onere delle opere da realizzare per affinare l'acqua depurata (se necessario) e per trasportare l'acqua all'utilizzatore, sono state acquisite informazioni sulla portata e sulla qualità dell'acqua da fonti naturali normalmente impiegata, sono stati presi contatti con i consorzi di bonifica (in caso di riutilizzo agricolo) per acquisire le necessarie informazioni sul comparto irriguo (estensione dell'area irrigata, tipo di coltura, costo dell'acqua di irrigazione, ecc.). In alcuni casi si sono anche resi necessari dei sopralluoghi.

La descrizione dei casi di studio esaminati (che costituisce l'oggetto del capitolo 3) è, per ogni impianto, come di seguito indicato:

- descrizione dell'impianto di depurazione;
- caratterizzazione del sistema idraulico di trasporto dell'acqua dall'impianto di depurazione all'utilizzatore;
- quantificazione delle opere necessarie per l'eventuale trattamento aggiuntivo dell'acqua e il convogliamento all'utilizzatore;
- valutazione della fattibilità tecnico-economica del riutilizzo.

Il capitolo 4 ("Fattibilità tecnico-economica del riutilizzo") riporta, in sintesi, i risultati emersi dall'esame dei dieci impianti studiati, per evidenziare i punti di forza e le criticità. Quindi è stato possibile esprimere un giudizio finale sulla fattibilità tecnico-economica del riutilizzo nei diversi casi e sono state svolte alcune considerazioni circa l'applicabilità del metodo di valutazione proposto. In particolare, è stato definito il tipo ed il numero minimo di informazioni richieste per poter applicare il modello di valutazione proposto in questo lavoro.

Infine, nel capitolo 5, vengono definiti i criteri per la redazione di un piano di monitoraggio della qualità delle acque reflue recuperate e degli effetti ambientali/vantaggi derivanti dal riutilizzo.

Mauro Bencivenga
Direttore Dipartimento Tutela
delle Acque Interne e Marine

Indice

1. CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE	1
1.1 Calcolo delle portate.....	1
1.2 Calcolo delle concentrazioni	2
1.3 Calcolo dei carichi.....	3
1.4 Calcolo dei rendimenti di rimozione.....	4
1.5 Calcolo dei principali parametri di processo.....	6
1.5.1 <i>Carico del fango</i>	6
1.5.2 <i>Età del fango</i>	6
1.5.3 <i>Carico idraulico superficiale</i>	7
1.5.4 <i>Tempo di permanenza</i>	8
<hr/>	
2. GLI INDICI DI VALUTAZIONE	9
2.1 Impostazione metodologica.....	9
2.2 Gli indicatori	10
2.3 Gli indici.....	11
<hr/>	
3. SCHEDE DEGLI IMPIANTI	19
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI ACQUA DEI CORSARI (PA)	20
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE.....	20
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	20
1.2 Dati gestionali	22
2. CARATTERISTICHE DELLE ACQUE USATE IN AGRICOLTURA.....	24
3. OPERE NECESSARIE PER IL RIUSO IRRIGUO DEI REFLUI DEPURATI	26
3. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	27
4.1 L'impianto di depurazione	27
4.2 Il sistema idraulico	28
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo.....	29
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	31
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI ALGHERO (SS)	32
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE.....	32
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	32
1.2 Dati gestionali	33
2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IRRIGUO	35
3. OPERE REALIZZATE PER IL RIUSO DELLE ACQUE DI SCARICO	37
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	38
4.1 L'impianto di depurazione	38
4.2 Il sistema idraulico	39

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo	40
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	45
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI BACIACAVALLO (PO)	46
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	46
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	46
1.2 Dati gestionali	47
2. L'ACQUEDOTTO INDUSTRIALE DI PRATO	49
3. OPERE REALIZZATE PER IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE DI SCARICO DEPURATE	49
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	49
4.1 L'impianto di depurazione	50
4.2 Il sistema di affinamento e il sistema di distribuzione	51
4.3 L'utilizzatore: il comparto industriale	51
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	52
6. BIBLIOGRAFIA	52
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI CREMONA	53
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	53
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	53
1.2 Dati gestionali	56
2. CARATTERISTICHE DEI CANALI IRRIGUI E UTILIZZO DELL'ACQUA	66
3. OPERE REALIZZATE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEI CANALI IRRIGUI	73
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	73
4.1 L'impianto di depurazione	73
4.2 Il sistema idraulico	75
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo	76
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	81
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI FASANO (BR)	82
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	82
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	82
1.2 Dati gestionali	83
2. CARATTERISTICHE DELLE FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO PER L'IRRIGAZIONE	84
3. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA DEPURATA	85
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	86
4.1 L'impianto di depurazione	86
4.2 Il sistema idraulico	89
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo	90
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	91

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI FREGENE (RM)	92
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	92
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	92
1.2 Dati gestionali	94
2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IRRIGUO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI.....	96
3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEL SISTEMA IRRIGUO PRESENTE	96
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	97
4.1 L'impianto di depurazione	97
4.2 Il sistema idraulico	99
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo.....	99
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	101
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI LOCATE TRIULZI (MI)	102
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	102
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	102
1.2 Dati gestionali	103
2. CARATTERISTICHE DEL CANALE CORIO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI.....	103
3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEL CANALE CORIO	106
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	107
4.1 L'impianto di depurazione	107
4.2 Il sistema idraulico	109
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo.....	109
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	110
IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI PESCHIERA DEL GARDA (VR)	112
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	112
1.1 Assetto impiantistico	112
1.2 Dati gestionali	114
2. CARATTERISTICHE DEL FIUME MINCIO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI.....	116
2.1 Il bacino idrografico Sarca-Garda-Mincio: inquadramento geografico.....	116
2.2 Portate rilasciate dal Lago di Garda	117
2.3 Caratteristiche qualitative del fiume Mincio	124
3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO A MONTE DELLE DERIVAZIONI A FINI IRRIGUI	125
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	125
4.1 L'impianto di depurazione	125
4.2 Il sistema idraulico	127
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo.....	128
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	130

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI STINTINO (SS)	131
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	131
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	131
1.2 Dati gestionali	134
2. ATTUALE FONTE DI APPROVVIGIONAMENTO	136
3. IL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA DEPURATA E I FABBISOGNI IDRICI	137
3.1 Finalità e obiettivi del riutilizzo	137
3.2 Il sistema di distribuzione	138
3.3 La domanda di acqua.....	138
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	140
4.1 L'impianto di depurazione	141
4.2 Il sistema idraulico	142
4.3 L'utilizzatore: il comparto civile/irriguo.....	143
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	143
 IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI UDINE	144
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	144
1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali	144
1.2 Dati gestionali	149
2. SISTEMA IRRIGUO ESISTENTE E CARATTERISTICHE DEL CANALE DI CASTIONS	151
3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO	154
4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	154
4.1 L'impianto di depurazione	155
4.2 Il sistema idraulico	157
4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo.....	157
5. VALUTAZIONE INTEGRATA	159
 4. FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO	160
4.1 Sintesi dei risultati.....	161
4.2 Applicabilità del metodo di valutazione e dati necessari	164
 5. PIANO DI MONITORAGGIO PER IL RIUTILIZZO DI ACQUE REFLUE DEPURATE	167
5.1 Riuso dell'acqua in agricoltura	167
5.2 Riuso in ambito industriale	169
5.3 Riuso in ambito civile	169

1. CRITERI DI ELABORAZIONE DEI DATI GESTIONALI DI UN IMPIANTO DI DEPURAZIONE

La corretta elaborazione dei dati gestionali è un presupposto essenziale per ottenere risultati attendibili. Questo problema si presenta in modo particolare per gli impianti di depurazione, le cui condizioni di funzionamento non sono mai di regime stazionario, bensì continuamente mutevoli in relazione alle numerose variabili esterne. In questo capitolo vengono proposti criteri generali in base ai quali effettuare un'elaborazione dei dati gestionali di un impianto di depurazione.

1.1 Calcolo delle portate

La portata rappresenta uno dei parametri più significativi a livello gestionale, sia per ragioni di controllo fiscale (calcolo del carico inquinante sversato), sia dal punto di vista del controllo del processo.

Inoltre la portata è utile ai fini del calcolo dei parametri operativi e delle rese depurative, della determinazione del carico influente (sia idraulico, sia inquinante) e delle verifiche di funzionalità.

La determinazione della portata media giornaliera (Q_d) è indispensabile per analizzare, seppure in termini generali, lo stato di funzionamento di un impianto di depurazione. Qualora si debbano effettuare valutazioni più approfondite è invece necessario conoscere l'andamento della portata nelle 24 ore; tale informazione richiede però l'esecuzione di un'analisi statistica delle portate ed è necessaria quindi una maggiore disponibilità di dati, che, ad oggi, molti impianti non sono in grado di fornire.

La portata media giornaliera è calcolata effettuando una media aritmetica dei valori giornalieri di portata misurati in un periodo di sufficiente durata (ad esempio il doppio dell'età del fango) con funzionamento dell'impianto in condizioni ragionevolmente stabili (di seguito questo periodo verrà indicato come *periodo di riferimento*). Con tale termine si intende un intervallo di tempo nel quale le variabili prese in considerazione (ad esempio portata, concentrazione dei principali parametri inquinanti, parametri operativi, ecc.) non subiscano variazioni significative.

Per una stima più accurata della portata media giornaliera è necessario eseguire una preventiva "scrematura" dei dati, eliminando, ad esempio, i periodi piovosi, i giorni festivi e i dati relativi a periodi di funzionamento "anomalo" o comunque non significativi.

Laddove non disponibili informazioni dettagliate, la portata giornaliera può essere determinata dai volumi annui trattati, ovvero al netto della portata sfiorata in tempo di pioggia; questo criterio porta ad una leggera sovrastima della portata in tempo asciutto, dovuta al fatto che sono inclusi i giorni di pioggia con portata massima uguale a quella trattabile che ovviamente è superiore a quella in tempo asciutto.

Nel caso in cui non siano disponibili valori di portata per mancanza/malfunzionamento dei dispositivi di misura, la portata può essere stimata attraverso la seguente formula:

$$Q_d = \frac{D.I. \cdot P \cdot \varphi}{1.000}$$

dove:

- Q_d : portata media giornaliera [m³/d];

-
- $D.I.$: dotazione idrica [L/(ab·d)];
 - P : popolazione servita [ab];
 - φ : coefficiente di afflusso in fognatura (circa 0,8).

La stima della dotazione idrica media annua va basata sui dati dei consumi reali del centro urbano; in assenza di tali dati va valutata sulla base della dotazione idrica di centri abitati limitrofi con analoghe caratteristiche.

In assenza di qualsiasi informazione può essere stimata in funzione della popolazione del centro urbano con la seguente relazione empirica:

$$D.I. = 195 \cdot P^{0,144}$$

con P in migliaia di abitanti e assumendo come valore minimo 250 litri/(abitante · giorno).

Per l'effettuazione di alcune elaborazioni (consumi energetici e di reagenti, costi di gestione, ecc.) è necessario prendere in considerazione il volume annuo trattato, che include anche le acque meteoriche addotte al trattamento.

1.2 Calcolo delle concentrazioni

Avendo a disposizione le concentrazioni giornaliere¹ dei diversi parametri (dati gestionali) si può determinare la concentrazione media nel *periodo di riferimento* considerato con due criteri:

1. media di tutti i valori misurati nel *periodo di riferimento*:

$$C_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

dove:

- X_i : concentrazione rilevata nel giorno i -esimo per il parametro X [mg/L];
- n : numero di dati utilizzati.

Anche in questo caso, a seconda dello scopo della stima, potrebbe essere necessario eseguire una preventiva selezione dei dati, eliminando, ad esempio, le concentrazioni relative ai periodi piovosi ed ai periodi di funzionamento "anomalo" o comunque non significativi.

¹ È consigliabile misurare la concentrazione giornaliera su campioni medi ponderali (ad esempio su 3 e 24 ore, come indicato nel D. Lgs. 152/2006); in assenza di tale dato, si può effettuare la misura di concentrazione sul campione istantaneo. In effetti l'opportunità di ricorrere a campioni medi o istantanei dipende anche dal parametro che si considera; questo argomento è approfondito in Collivignarelli *et al.* (2000).

-
2. rapporto tra il carico medio giornaliero e la portata media giornaliera nel *periodo di riferimento* considerato:

$$C_{media} = \frac{Carico_{medio-giornaliero}}{Q_d}$$

dove:

- $Carico_{medio-giornaliero}$: media aritmetica dei carichi giornalieri relativi al *periodo di riferimento* [kg/d] (vedi § 2.3);
- Q_d : portata media giornaliera relativa al medesimo periodo di riferimento [m³/d].

1.3 Calcolo dei carichi

La determinazione dei carichi inquinanti è utile sia per valutare il grado di sovraccarico dell'impianto (ad esempio confrontando i carichi in ingresso con la potenzialità di progetto), sia per la quantificazione dei rendimenti di rimozione degli inquinanti (differenza tra i carichi in ingresso e i carichi in uscita).

Per ogni parametro chimico-fisico, campionato nei diversi punti dell'impianto (ingresso, uscita sedimentazione primaria, uscita impianto, ecc.), è possibile calcolare il carico medio. Il calcolo del carico deve essere riferito ad un periodo ritenuto significativo (tale da rappresentare le condizioni tipiche di tempo asciutto) e nel quale le condizioni di funzionamento non subiscano variazioni sostanziali (*periodo di riferimento*). In genere il calcolo dei carichi viene effettuato su un periodo temporale di almeno un mese; in particolare l'elaborazione viene effettuata sulla base dei carichi giornalieri.

Il carico giornaliero (espresso in kg/d) è definito come prodotto tra la concentrazione del generico parametro X in un determinato giorno (vedi § 2.2) e la relativa portata giornaliera.

$$Carico_{giornaliero} = \frac{C \cdot Q_d}{1.000}$$

dove:

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

Nel caso in cui l'impianto sia dotato di più linee, il carico medio delle singole vasche di ogni comparto va calcolato tenendo conto delle giuste proporzioni tra le portate di ciascuna, cosicché il carico totale risulta:

$$Carico_{giornaliero} = \sum_{i=1}^k \frac{C_i \cdot Q_{d,i}}{1.000}$$

dove:

- C_i : concentrazione vasca i-esima [mg/L];
- $Q_{d,i}$: portata media giornaliera vasca i-esima [m³/d];
- k : numero di linee.

Una volta ottenuti tutti i valori dei carichi per tutti i giorni di un *periodo di riferimento* si può calcolare il carico medio giornaliero riferito al periodo (espresso sempre in kg/d) eseguendo la media aritmetica dei carichi giornalieri calcolati come sopra:

$$Carico_{medio-giornaliero} = \frac{\sum_{i=1}^n Carico_i}{n}$$

dove:

- $Carico_i$: carico giornaliero i-esimo [kg/d];
- n : numero di dati utilizzati.

A seconda dello scopo per cui viene effettuato il calcolo del carico medio giornaliero, gli n giorni del *periodo di riferimento* possono essere selezionati eliminando, ad esempio, quelli relativi ai periodi piovosi ed ai periodi di funzionamento “anomalo” o comunque non significativi.

1.4 Calcolo dei rendimenti di rimozione

Una volta determinati i carichi medi relativi ad un determinato periodo di riferimento, si può calcolare il rendimento di rimozione per ciascun parametro.

Il rendimento può essere calcolato considerando l'intera linea di trattamento (rendimento globale), oppure facendo riferimento ad ogni singola fase.

Il rendimento (in termini percentuali) si determina in base alla seguente espressione:

$$\eta = \frac{X_{IN} - X_{OUT}}{X_{IN}} \cdot 100$$

dove:

- X_{IN} : carico medio giornaliero in ingresso all'impianto (o alla fase di trattamento considerata) relativo al parametro X [kg/d];
- X_{OUT} : carico medio giornaliero in uscita dall'impianto (o alla fase di trattamento considerata) relativo al parametro X [kg/d].

In particolare, per quanto riguarda l'azoto, il calcolo del rendimento di rimozione deve tener conto di tutte le forme (azoto organico + azoto inorganico) e viene calcolato nel seguente modo:

$$\eta_{N_{tot}} = \left(\frac{N_{TOT,IN} - N_{TOT,OUT}}{N_{TOT,IN}} \right) \cdot 100$$

dove:

- N_{TOT} : carico medio giornaliero di tutte le forme di azoto ($TKN + N - NO_2^- + N - NO_3^-$), rispettivamente in ingresso ($N_{TOT,IN}$) ed in uscita ($N_{TOT,OUT}$) [kg/d];

Qualora la linea di trattamento presenti una fase di nitrificazione e una di denitrificazione il rendimento dei singoli trattamenti può essere calcolato come segue.

a) Rendimento di nitrificazione

Il rendimento di nitrificazione è dato dal rapporto tra l'azoto nitrificato (ottenuto come differenza tra il TKN in ingresso, il TKN in uscita e l'azoto assimilato dalla biomassa ed eliminato con il fango di supero) e l'azoto che può essere nitrificato (ottenuto come differenza tra il TKN in ingresso e l'azoto assimilato dalla biomassa); in prima approssimazione, può essere calcolato come:

$$\eta_{NT} = \left(\frac{TKN_{IN} - TKN_{OUT} - N_{ass}}{TKN_{IN} - N_{ass}} \right) \cdot 100$$

dove:

- TKN : carico medio giornaliero dell'azoto totale Kjeldahl ($N - NH_4^+ + N_{organico}$) rispettivamente in ingresso (TKN_{IN}) ed in uscita (TKN_{OUT}) [kg/d];
- N_{ass} : carico medio giornaliero di azoto assimilato dalla biomassa, che può essere quantificato, in prima approssimazione, nel 5% del BOD abbattuto [kg/d].

b) Rendimento di denitrificazione

Il rendimento di denitrificazione è dato dal rapporto tra l'azoto denitrificato (ottenuto come differenza tra azoto totale in ingresso, azoto totale in uscita e azoto assimilato dalla biomassa ed eliminato con il fango di supero) e l'azoto che può essere denitrificato (ottenuto come differenza tra azoto totale in ingresso, TKN in uscita e azoto assimilato dalla biomassa ed eliminato con il fango di supero):

$$\eta_{DEN} = \left(\frac{N_{TOT,IN} - N_{TOT,OUT} - N_{ass}}{N_{TOT,IN} - TKN_{OUT} - N_{ass}} \right) \cdot 100$$

dove:

- N_{TOT} : carico medio giornaliero di tutte le forme di azoto ($TKN + N - NO_2^- + N - NO_3^-$), rispettivamente in ingresso ($N_{TOT,IN}$) ed in uscita ($N_{TOT,OUT}$) [kg/d];
- TKN_{OUT} : carico medio giornaliero dell'azoto totale Kjeldahl ($N - NH_4^+ + N_{organico}$) in uscita [kg/d];
- N_{ass} : carico medio giornaliero di azoto assimilato dalla biomassa ed estratto dal sistema con il fango di supero, che può essere quantificato, in prima approssimazione, nel 5% del BOD abbattuto [kg/d].

1.5 Calcolo dei principali parametri di processo

Di seguito sono riportati i criteri per il calcolo dei parametri di processo sulla base dei dati gestionali.

1.5.1 Carico del fango

Il carico del fango è definito dal rapporto tra il carico di substrato alimentato al comparto biologico ed il quantitativo di biomassa presente nel reattore; il carico del fango riferito al generico giorno i -esimo si calcola nel seguente modo:

$$C_{Fi} = \frac{\text{CaricoBOD}_i}{V \cdot X_i}$$

dove:

- C_{Fi} : carico del fango relativo al giorno i -esimo $\left[\frac{\text{kgBOD}_5}{\text{kgSST} \cdot \text{d}} \right]$
- CaricoBOD_i : carico di BOD₅ in ingresso al comparto biologico² nel giorno i -esimo [kgBOD₅/d];
- X_i : concentrazione della biomassa (solidi sospesi totali) in vasca di ossidazione nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- V : volume del reattore biologico aerobico [m³].

Il carico del fango medio riferito ad un periodo di durata n giorni si determina eseguendo la media aritmetica dei valori giornalieri C_{Fi} .

$$C_{F\text{medio-periodo}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{Fi}}{n}$$

dove n rappresenta il numero di dati utilizzati.

1.5.2 Età del fango

L'età del fango, che rappresenta il tempo di ritenzione media del fango nel reattore biologico, è strettamente correlato al carico del fango; la definizione è la seguente:

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{W \cdot X_r + Q_d \cdot X_e}$$

dove:

- θ_c : età del fango [d];
- V : volume del reattore biologico [m³];

² In presenza della sedimentazione primaria, il carico in ingresso al comparto biologico può essere determinato, in assenza di dati specifici, a partire dal carico influente all'impianto e applicando una riduzione del 30% circa. In mancanza di dati sul BOD può essere stimato pari a 0,5 volte il carico di COD (sia in riferimento al carico in ingresso, sia in riferimento al carico a valle della eventuale sedimentazione primaria).

- X : concentrazione dei solidi sospesi totali in vasca di ossidazione [kgSST/m³];
- W : portata di fango di supero [m³/d];
- X_r : concentrazione dei solidi sospesi totali nel ricircolo [kgSST/m³];
- Q_d : portata media giornaliera [m³/d];
- X_e : concentrazione dei solidi sospesi totali nell'effluente [kgSST/m³].

L'età del fango riferita ad un periodo di durata n giorni si determina secondo la seguente formula:

$$\vartheta_{c \text{ medio-periodo}} = \frac{V \cdot \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}}{\sum_{i=1}^n \frac{W_i X_{ri}}{n} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_{di} X_{ei}}{n}}$$

dove:

- V : volume del reattore biologico [m³];
- X_i : concentrazione dei solidi sospesi totali in vasca di ossidazione relativa al giorno i -esimo [kgSST/m³];
- W_i : portata di fango di supero nel giorno i -esimo [m³/d];
- X_{ri} : concentrazione dei solidi sospesi totali nel ricircolo nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- Q_{di} : portata media giornaliera i -esima [m³/d];
- X_{ei} : concentrazione dei solidi sospesi totali nell'effluente nel giorno i -esimo [kgSST/m³];
- n : numero di dati utilizzati.

Qualora non fosse disponibile il quantitativo di fango estratto, è possibile stimare tale valore sulla base del quantitativo di fango smaltito, considerando il rendimento di stabilizzazione e il dosaggio (se significativo) di condizionanti.

1.5.3 Carico idraulico superficiale

Il carico idraulico c_i (m/h), parametro di processo della sedimentazione, è dato dal rapporto fra la portata media oraria Q_{24} ($= \frac{Q_d}{24}$), espressa in m³/h, e la superficie del decantatore (S_{sed}), espressa in m²:

$$c_i = \frac{Q_{24}}{S_{sed}}$$

Per la metodologia di calcolo della portata media giornaliera si rimanda al paragrafo 2.1.

Poiché il valore del carico idraulico influenza puntualmente le rese di sedimentazione, un'analisi di dettaglio su un periodo di riferimento dovrebbe prevedere la determinazione di questo parametro per tutti i giorni del periodo stesso.

In generale viene anche effettuata la verifica in tempo di pioggia, utilizzando il valore della portata massima trattata dall'impianto.

1.5.4 Tempo di permanenza

Il tempo medio di residenza idraulica (T_p), espresso in ore, in un determinato reattore è dato dal rapporto fra il volume del reattore stesso (V), espresso in m^3 e la portata (espressa in m^3/h) che vi transita

(ad esempio $Q_{24} = \frac{Q_d}{24}$):

$$T_p = \frac{V}{Q_{24}}$$

Anche in questo caso si fa riferimento sia a valori di portata media (vedi § 2.1), sia alla portata massima in tempo di pioggia, ma può essere utile, almeno per alcuni comparti, un'analisi puntuale, ovvero per tutti i giorni di un determinato periodo, presi distintamente.

2. GLI INDICI DI VALUTAZIONE

In questo capitolo si descrive il modello di valutazione della fattibilità del riutilizzo; esso si basa sul calcolo di indicatori e indici definiti mediante formulazioni matematiche, calcolati utilizzando i dati tecnico-economici caratteristici del sistema studiato.

2.1 Impostazione metodologica

Per la valutazione delle prestazioni dei diversi comparti di interesse (impianti di depurazione, sistemi idraulici per il sollevamento e il trasporto dell'acqua, comparto irriguo ecc.) viene utilizzato un metodo di elaborazione il cui schema concettuale è rappresentato nella Figura 1, già adottato dagli scriventi per definire indici prestazionali di impianti di depurazione (Rapporto ISPRA 93/2009). Esso prevede, partendo da alcuni dati che caratterizzano il sistema (indicatori), di calcolare opportuni indici che esprimano, in modo quantitativo, una valutazione di merito relativamente ad un singolo aspetto (es. efficienza di rimozione di un determinato inquinante). La valutazione finale sintetizza i valori numerici attribuiti ai singoli indici.

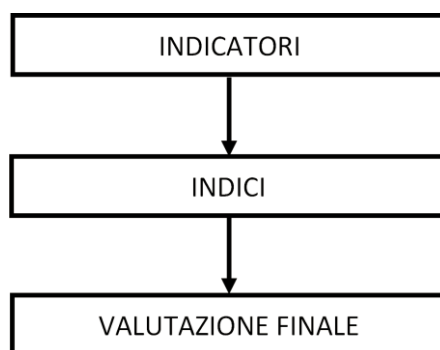


Figura 1. Schema concettuale del metodo per il calcolo della valutazione finale, da applicare ad ogni comparto esaminato.

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 detto, concorrono alla definizione degli indici. In generale, questi derivano da un confronto degli indicatori (così come risultano dall'elaborazione dei dati gestionali) con valori "attesi" o "desiderati" degli indicatori stessi, determinati per situazioni cosiddette "di riferimento", oppure con limiti normativi.

Ad esempio, per quanto concerne un impianto di depurazione, l'indice di efficienza deriverà da un confronto tra le concentrazioni effettive in uscita (indicatore) e le concentrazioni massime ammesse, per i diversi inquinanti, per una certa tipologia di riutilizzo delle acque.

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 I_i (dove il pedice i si riferisce all' i -esimo aspetto considerato). Quindi, per il comparto j -esimo (ad esempio l'impianto di depurazione), si avrà:

$$V_j = \sum_i I_i \cdot p_i$$

La somma di tutti i pesi p_i considerati nella formula riportata in precedenza deve essere uguale ad 1.

Infine, sulla base dei valori ottenuti, si perviene ad un giudizio complessivo di sintesi sulla fattibilità del riuso, che tenga conto delle valutazioni calcolate per i singoli comparti.

Quest'ultima valutazione è bene venga svolta a livello qualitativo, tenendo conto dei risultati ottenuti. Si potrebbe decidere infatti di calcolare un indice complessivo di valutazione, oppure di attribuire un giudizio complessivamente negativo se uno solo dei tre comparti manifesta qualche criticità.

2.2 Gli indicatori

Nella Tabella 1 sono riassunti gli indicatori proposti per la definizione degli indici relativamente agli impianti di depurazione; in particolare, per ciascun indicatore sono riportate la definizione e la simbologia adottata.

Gli indicatori (fatta eccezione per i limiti di emissione) devono essere ricavati dai dati gestionali.

NOME INDICATORE	SIMBOLOGIA ADOTTATA
Concentrazione in uscita del generico parametro i^*	$X_{i, EFF}$
Concentrazione in ingresso del generico parametro i^*	$X_{i, IN}$
Limite di emissione per il generico parametro i^*	$X_{i, LIM}$

* Nel caso di riutilizzo dell'acqua in agricoltura, si possono prendere in considerazione tutti i parametri elencati nel DM 185/03; in caso contrario, si considereranno i parametri di interesse per la forma di riutilizzo prevista

Tabella 1. Indicatori utilizzati per la determinazione degli indici relativi agli impianti depurazione.

In modo analogo, possono essere proposti alcuni indicatori, da utilizzare nella valutazione dei **sistemi di trasporto idraulico** (Tabella 2).

NOME INDICATORE	U.M.	SIMBOLOGIA ADOTTATA
Portata massima da trasportare	m ³ /s	Q_{max}
Lunghezza collettore	m	L
Carico disponibile	m	H
Pendenza disponibile	m/m	H/L
Prevalenza geodetica da vincere	m	H^*
Diametro del collettore	m	D
Potenza installata	kW	P
Numero di manufatti speciali	-	M_i
Volume del bacino di accumulo per compenso	m ³	$V_{acc.}$
Costo di realizzazione dell'impianto	€	C_i
Ammortamento dell'investimento	€/anno	C_a
Energia specifica spesa per il pompaggio	kWh/m ³	EE_{soll}
Costi annui di energia elettrica	€/anno	C_e
Costi annui di manutenzione	€/anno	$C_{manut.}$
Costo specifico di trasporto	€/m ³	$C_{spec.}$

Tabella 2. Indicatori utilizzati per la determinazione degli indici relativi ai sistemi idraulici per la movimentazione delle acque di scarico depurate.

Per quanto riguarda, infine, gli utilizzatori della risorsa (acqua reflua depurata), nel caso del **comparto agricolo** si possono identificare i seguenti indicatori (Tabella 3).

NOME INDICATORE	U.M.	SIMBOLOGIA ADOTTATA
Disponibilità idrica attuale	m ³ /d	Q _{ATT}
Fabbisogno idrico delle colture	m ³ /d	Q _{MIN}
Portata del depuratore potenzialmente soggetta a riutilizzo	m ³ /d	Q _{DEP}
Concentrazione di parametri fisici, chimici, microbiologici e torbidità nell'attuale fonte di approvvigionamento	dipendente dal parametro	X _{i, ATT}
Concentrazione di parametri fisici, chimici, microbiologici e torbidità in uscita dall'impianto di depurazione	dipendente dal parametro	X _{i, EFF}
Concentrazione di parametri fisici, chimici, microbiologici e torbidità massime ammesse	dipendente dal parametro	X _{i, MAX}

Tabella 3. Indicatori utilizzati per la determinazione degli indici relativi al comparto agricolo per l'irrigazione.

Analoghi indicatori possono essere elaborati per altre forme di riutilizzo (civile e industriale), in funzione del caso specifico. E' infatti da ritenere che una trattazione generale di queste forme di riutilizzo sia poco significativa, non consentendo di entrare nella specificità di ogni singola situazione. Gli indicatori sono infatti definiti in funzione del riutilizzo che si intende operare, quindi saranno diversi a seconda che l'acqua sia utilizzata, ad esempio, per il raffreddamento, per il lavaggio di tessuti, per il trattamento delle pelli, per lavorazioni meccaniche di metalli, ecc.

2.3 Gli indici

Per gli scopi del presente lavoro, tra i diversi indici che si potrebbero ricavare per gli **impianti di depurazione** (Rapporto ISPRA 93/2009), risultano utili quelli di efficienza depurativa, da valutare, per ciascun parametro inquinante, in riferimento agli standard per il riutilizzo delle acque reflue depurate.

Come inquinanti si prendono in considerazione i parametri del DM 185/03 (Tabella 4), compatibilmente con la disponibilità dei dati gestionali, oppure quelli di interesse per la specifica forma di riutilizzo considerata.

Come visto nel paragrafo precedente, la prestazione dell'impianto si può in generale esprimere attraverso gli indicatori concentrazione in uscita, in ingresso e limite; tali dati sono da intendersi come valori medi riferiti ad un *periodo di riferimento* (vedi § 2). Può essere considerato anche più di un periodo, per esempio nei casi in cui un impianto sia a servizio di centri a vocazione turistica; in questo caso si devono considerare più periodi omogenei associati a condizioni stabili di funzionamento e, in corrispondenza di questi periodi, saranno calcolati indici diversi.

Per ogni parametro inquinante *i* considerato, la procedura di calcolo del relativo indice avviene secondo i seguenti passi.

L'indice *I_i* è dato dalla seguente formula:

$$I_i = \frac{z_i - 1}{z_i \cdot (z_i - 2)}, \text{ con } -2 \leq I_i \leq +2$$

dove il valore di z_i dipende dalla concentrazione in uscita $x_{i, \text{EFF}}$:

$$\begin{aligned} \text{se: } \quad x_{i, \text{EFF}} \leq x_{i, \text{LIM}} &\rightarrow z_i = x_{i, \text{EFF}} / x_{i, \text{LIM}} \\ x_{i, \text{EFF}} > x_{i, \text{LIM}} &\rightarrow z_i = (x_{i, \text{EFF}} + x_{i, \text{IN}} - 2 \cdot x_{i, \text{LIM}}) / (x_{i, \text{IN}} - x_{i, \text{LIM}}) \end{aligned}$$

La formula restituisce un valore numerico positivo se la concentrazione in uscita $x_{i, \text{EFF}}$ è inferiore al rispettivo limite $x_{i, \text{LIM}}$; viceversa, restituisce un valore negativo. Il valore nullo indica una situazione in cui la concentrazione in uscita coincide con il limite di emissione.

Una volta calcolati gli indici relativi ai singoli parametri inquinanti, si calcola la valutazione finale relativa all'impianto di depurazione, V_D , con la seguente formula:

$$V_D = \sum p_i \cdot I_i$$

dove:

- I_i : indice di efficienza depurativa relativo al parametro i-esimo;
- p_i : peso dell'indice di efficienza depurativa relativo al parametro i-esimo;

La somma dei pesi di tutti i parametri considerati deve essere uguale ad 1.

Come meglio illustrato nella discussione dei casi di studio, il calcolo della valutazione finale V_D può essere anche effettuato utilizzando, per le concentrazioni in uscita $x_{i, \text{EFF}}$, anziché il valore medio, un valore (come ad esempio la concentrazione massima o il 95° percentile) che permetta di evidenziare condizioni di funzionamento sfavorevoli. Ciò al fine di avere una valutazione della "affidabilità" di funzionamento dell'impianto di depurazione.

Come già segnalato, l'impianto di depurazione potrà anche essere caratterizzato in modo più completo, sulla base di tutti gli indicatori definiti nel precedente lavoro (Rapporto ISPRA 93/2009). Questa valutazione più completa potrebbe servire a esprimere un giudizio circa il "costo" al quale determinate prestazioni vengono raggiunte.

	Parametro	Unità di misura	Valore limite
Parametri chimico fisici	pH		6-9,5
	SAR		10
	Materiali grossolani		Assenti
	Solidi sospesi totali	mg/L	10
	BOD5	mg O2/L	20
	COD	mg O2/L	100
	Fosforo totale	mg P/L	2
	Azoto totale	mg N/L	15
	Azoto ammoniacale	mg NH4/L	2
	Conducibilità elettrica	µS/cm	3000
	Alluminio	mg/L	1
	Arsenico	mg/L	0,02
	Bario	mg/L	10
	Berillio	mg/L	0,1
	Boro	mg/L	1,0
	Cadmio	mg/L	0,005
	Cobalto	mg/L	0,05
	Cromo totale	mg/L	0,1
	Cromo VI	mg/L	0,005
	Ferro	mg/L	2
	Manganese	mg/L	0,2
	Mercurio	mg/L	0,001
	Nichel	mg/L	0,2
	Piombo	mg/L	0,1
	Rame	mg/L	1
	Selenio	mg/L	0,01
	Stagno	mg/L	3
	Tallio	mg/L	0,001
	Vanadio	mg/L	0,1
	Zinco	mg/L	0,5
	Cianuri totali (come CN)	mg/L	0,05
	Solfuri	mgH2S/L	0,5
	Solfiti	mgSO3/L	0,5
Solfati	mgSO4/L	500	
Cloro attivo	mg/l	0,2	
Cloruri	mg Cl/L	250	
Fluoruri	mg F/L	1,5	

	Grassi e oli animali/vegetali	mg/L	10
	Oli minerali	mg/L	0,05
	Nota 1		
	Fenoli totali	mg/L	0,1
	Pentaclorofenolo	mg/L	0,003
	Aldeidi totali	mg/L	0,5
	Tetracloroetilene, tricloroetilene (somma delle concentrazioni dei parametri specifici)	mg/L	0,01
	Solventi clorurati totali	mg/L	0,04
	Triometani (somma delle concentrazioni)	mg/L	0,03
	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,01
	Benzene	mg/L	0,001
	Benzo(a)pirene	mg/L	0,00001
	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,01
	Tensioattivi totali	mg/L	0,5
	Pesticidi clorurati (ciascuno)	mg/L	0,0001
	Nota 2		
	Pesticidi fosforati (ciascuno)	mg/L	0,0001
	Altri pesticidi totali	mg/L	0,05
			10 (80% dei campioni)
Parametri microbiologici			
	Escherichia coli	UFC/100mL	100 valore puntuale
	Nota 3		max
	Salmonella		Assente
<p>Nota 1. Tale sostanza deve essere assente dalle acque reflue recuperate destinate al riutilizzo, secondo quanto previsto al paragrafo 2.1 dell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 1999 per gli scarichi sul suolo. Tale prescrizione si intende rispettata quando la sostanza è presente in concentrazioni non superiori ai limiti di rilevanza delle metodiche analitiche di riferimento, definite e aggiornate con apposito decreto ministeriale, ai sensi del paragrafo 4 dell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 1999. Nelle more di tale definizione, si applicano i limiti di rilevanza riportati in tabella.</p>			
<p>Nota 2. Il valore di parametro si riferisce ad ogni singolo pesticida. Nel caso di Aldrina, Dieldrina, Eptacloro ed Eptacloro epossido, il valore parametrico è pari a 0,030 µg/l.</p>			
<p>Nota 3. Per le acque reflue recuperate provenienti da lagunaggio o fitodepurazione valgono i limiti di 50 (80% dei campioni) e 200 UFC/100 ml (valore puntuale massimo)</p>			

Tabella 4. Concentrazioni in uscita massime per il riutilizzo (D.M. 185/2003).

Per i **sistemi di trasporto idraulico**, la caratterizzazione “fisica” del contesto, che si riassume negli indicatori precedentemente descritti, viene utilizzata per calcolare un indice di costo (€/m^3).

La valutazione finale esprime il confronto con la situazione di riferimento, che è rappresentata dalla forma di approvvigionamento idrico in atto in una determinata area.

In questo caso, la valutazione è di tipo ON-OFF, cioè non si applica una formula che restituisce un numero più o meno positivo. Si ritiene, infatti, che solo nel caso in cui l’acqua di scarico possa essere fornita a un costo inferiore a quello della risorsa già disponibile avrà senso valutare anche tutti gli altri fattori. In caso contrario, la mancata sostenibilità economica renderebbe non fattibile il riutilizzo.

In situazioni di assenza di acqua, cioè dove la disponibilità della risorsa potrebbe consentire un’attività (ad esempio quella agricola) oggi assente, il costo per il trasporto dell’acqua andrà confrontato con il valore del mercato indotto con la possibilità offerta dalla nuova situazione.

Per il calcolo dell’indice di costo si procede come segue.

I costi di sollevamento delle acque reflue trattate per consentirne il riutilizzo irriguo comprendono costi di investimento per la realizzazione della stazione di sollevamento e costi di esercizio per la sua gestione.

I costi di investimento, in euro, comprensivi di opere civili ed equipaggiamento elettromeccanico sono esprimibili, in prima approssimazione, in funzione della potenza P_i (kW) installata con la relazione:

$$C_i = 40.000 + 1.100 P_i$$

La potenza installata si può ragionevolmente assumere pari a 2,5 volte la potenza assorbita (nell’ipotesi di installare due elettropompe di cui una con funzione di riserva attiva).

La potenza assorbita P_a è espressa dalla relazione:

$$P_a = 9,81 Q \cdot H / \eta$$

dove Q è la portata (m^3/s), H è la prevalenza totale da vincere ed η è il rendimento dell’elettropompa.

Indicato con C_i il debito contratto al tasso i per realizzare l’impianto, le corrispondenti annualità rC_i necessarie ad estinguere in n anni il debito contratto, si calcolano con l’espressione:

$$a_n = rC_i = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} C_i$$

Assumendo $i = 0,05$ ed $n = 15$ si ottiene $r = 0,096$ che si può arrotondare a $0,10$.

Ne discende che il costo annuo in euro dell’investimento può essere stimato, in funzione della potenza P_a con l’espressione:

$$a_n = 4.000 + 275 P_i$$

Se si considera una durata della stagione irrigua di 4 mesi, il volume distribuito V_d (m^3) in un anno risulta pari a:

$$V_d = 3.600 \cdot 24 \cdot 120 \cdot Q = 10.368.000 \cdot Q$$

Assumendo un rendimento del gruppo elettropompa pari a $0,5$, il costo annuo in euro dell’investimento è fornito dall’espressione:

$$a_n = 4.000 + 5395 \cdot Q \cdot H$$

$$a_n/Q = 4.000/Q + 5395 \cdot H$$

Tenendo presente il legame fra V_d e Q , risulta:

$$\frac{a_n}{V_d} = \frac{1}{Q} \frac{4000}{10368000} + \frac{5395}{10368000} H$$

Il costo annuo, in euro, dell'investimento per m^3 di acqua fornita può quindi essere dedotto in funzione della portata dell'impianto e della prevalenza H con l'espressione :

$$a_n^* = 0,0004/Q + 0,0005 H$$

con Q in m^3/s e H in m.

I costi annui di esercizio, in euro, per personale, manutenzione ordinaria e straordinaria in funzione della potenza assorbita possono essere stimati con l'espressione:

$$C_{1e} = 2.700 + 82,5 P_a$$

Se si considera una durata della stagione irrigua di 4 mesi,

il costo annuo di esercizio per personale, manutenzione ordinaria e straordinaria per m^3 di acqua fornita può essere dedotto in funzione della portata dell'impianto e della prevalenza H con l'espressione:

$$C_{1e}^* = 0,00025/Q + 0,00015 \cdot H$$

Il consumo di energia elettrica in kWh per m^3 di acqua fornita può essere quantificato in funzione della prevalenza H con l'espressione con l'espressione:

$$\text{Cons.} = 0,0056 H \text{ (kWh/m}^3\text{)}$$

Considerando un costo medio dell'energia elettrica di 0,12 euro/kWh,

il costo annuo di esercizio per consumo di energia per m^3 di acqua fornita può essere dedotto in funzione della prevalenza H dell'impianto con l'espressione :

$$C_{2e}^* = 0,00067 H$$

In base a quanto sopra, la formula per il calcolo del costo totale (in €/m³) risulta la seguente:

$$C_{\text{tot}}^* = a_n^* + C_{1e}^* + C_{2e}^* = 0,00065/Q + 0,00132 H$$

con Q in m^3/s e H in m.

Nel caso in cui l'utilizzazione irrigua sia limitata ad un periodo di due mesi, i termini a_n^* e C_{1e}^* ovviamente raddoppiano e, in tal caso, risulta:

$$C_{\text{tot}}^* = 0,0013/Q + 0,002 H.$$

Per il comparto agricolo, le acque reflue sono un beneficio se vengono rispettate determinate caratteristiche fisico- chimiche- biologiche, tali da poterla utilizzare con profitto nelle coltivazioni e non appesantire il sistema suolo-coltura con elementi o composti non biosostenibili.

Dette acque, oltre a rispettare i limiti di legge per i diversi elementi e composti elencati nelle apposite tabelle (e di questo aspetto si tiene già conto nelle valutazioni riferite all'impianto di depurazione), sono soggette ad altre valutazioni delle loro caratteristiche quali-quantitative. Queste caratteristiche servono a definire indici di idoneità del riutilizzo, se confrontate con la situazione attuale di una determinata area (caratteristiche quali-quantitative della fonte di approvvigionamento).

In generale, nel caso di riutilizzo agricolo, valgono le seguenti considerazioni:

- disponibilità della risorsa: la quantità di acqua reflua disponibile va valutata in relazione alla disponibilità di risorsa e ai fabbisogni delle colture;
- temperatura dell'acqua (sempre in relazione a quella della risorsa normalmente utilizzata): acque eccessivamente fredde possono causare danni alle colture e tale dato è diverso tra le zone climatiche. Al Sud una temperatura dell'acqua < 15-20° C negli agrumeti è considerata fredda, mentre al Nord si scende sotto i 12° C;
- torbidità, intesa come contenuto e tipo di sostanze sospese: è un altro parametro importante per l'uso irriguo, in conseguenza dell'apporto di tali sedimenti nella rete irrigua e suolo;
- rapporto sodio- assorbimento (SAR): è un indice dell'idoneità per l'irrigazione;
- contenuto di cloruri: sono mal tollerati dalle coltivazioni;
- pH e salinità dell'acqua: sono parametri che limitano l'uso in agricoltura di acque reflue;
- contenuto in metalli pesanti: è un altro parametro da considerare, insieme allo strato pedologico, dove sarà utilizzata l'irrigazione, al fine di evitare accumuli dannosi in zone di colture di pregio o biologiche.
- nitrati e composti ammoniacali: sono, secondo le aree territoriali, da valutare in relazione al tipo di agricoltura (allevamenti, colture intensive ecc.) da sostenere, per evitare nel contempo i successivi dilavamenti ed accumuli nelle falde.
- contenuto in gas, in genere azoto, ossigeno ed anidride carbonica: è un altro indice importante per il riutilizzo di dette acque. L'uso di acque povere di ossigeno espone la coltura a danni, con possibili asfissie radicali, dato l'ambiente riducente;
- contenuto di sostanze organiche, tipo il benzene e altri composti aromatici o derivati da idrocarburi e oli, che, a concentrazioni anche modeste, possono arrecare danni alle coltivazioni ed alla zootecnia;
- contaminazione microbiologica: le acque in questione devono avere una modesta carica batterica, controllando *E. coli* ed altri batteri dannosi per l'uomo, visto che dette acque possono essere utilizzate anche per irrigare prodotti destinati all'alimentazione umana, come i prodotti orticoli in genere.

Gli indici corrispondenti alle voci di cui sopra, dove sono preferibili valori bassi (es. concentrazione di cloruri), avranno una formulazione matematica del tipo:

$$I_Q = (p_1 y_1 + p_2 y_2)_i$$

dove p_1 e p_2 sono pesi la cui somma è pari ad 1 e y_1 e y_2 hanno il significato di seguito illustrato:

y_1 rappresenta il confronto con la situazione attuale (ad esempio, la concentrazione di inquinanti nell'acqua oggi usata):

$$y_1 = \frac{z_1 - 1}{z_1 \cdot (z_1 - 2)}, \text{ con } -2 \leq y_1 \leq +2$$

dove il valore di z_1 dipende dalla concentrazione nell'ipotesi di riuso ($x_{i, \text{RIUSO}}$) rispetto allo stato attuale ($x_{i, \text{ATT}}$):

$$\text{se: } x_{i, \text{RIUSO}} \leq x_{i, \text{ATT}} \rightarrow z_1 = x_{i, \text{RIUSO}} / x_{i, \text{ATT}}$$

$$x_{i, \text{RIUSO}} > x_{i, \text{ATT}} \rightarrow z_1 = (x_{i, \text{RIUSO}} + 8 \cdot x_{i, \text{ATT}}) / 9 \cdot x_{i, \text{ATT}}$$

$$\text{dove } x_{i, \text{RIUSO}} = (x_{i, \text{ATT}} \cdot Q'_{\text{ATT}} + x_{i, \text{EFF}} \cdot Q_{\text{DEP}}) / (Q'_{\text{ATT}} + Q_{\text{DEP}})$$

con Q'_{ATT} che rappresenta la portata dell'attuale fonte di approvvigionamento che, in caso di riuso, verrebbe comunque utilizzata. Nel caso in cui $Q'_{\text{ATT}} = 0$, cioè nel caso di completa "sostituzione" della portata attuale con lo scarico depurato, $z_1 = x_{i, \text{ATT}} / x_{i, \text{RIUSO}}$ e y_1 viene invertito di segno.

La formula restituisce un valore numerico positivo se lo scarico del depuratore rappresenta una situazione migliorativa rispetto a quella attuale, cioè se per esempio la concentrazione di un determinato inquinante è più bassa nell'effluente del depuratore piuttosto che nell'attuale fonte di approvvigionamento.

y_2 rappresenta invece il confronto con la concentrazione massima ammissibile per l'utilizzo previsto (ad esempio, nel caso di riuso irriguo, i limiti del DM 185/2003):

$$y_2 = \frac{z_2 - 1}{z_2 \cdot (z_2 - 2)}, \text{ con } -2 \leq y_2 \leq +2$$

dove il valore di z_2 dipende dalla concentrazione nell'ipotesi di riuso ($x_{i, \text{RIUSO}}$) rispetto alla massima ammissibile ($x_{i, \text{MAX}}$):

$$\text{se: } x_{i, \text{RIUSO}} \leq x_{i, \text{MAX}} \rightarrow z_2 = x_{i, \text{RIUSO}} / x_{i, \text{MAX}}$$

$$x_{i, \text{RIUSO}} > x_{i, \text{MAX}} \rightarrow z_2 = (x_{i, \text{RIUSO}} + x_{i, \text{EFF}} - 2 \cdot x_{i, \text{MAX}}) / (x_{i, \text{EFF}} - x_{i, \text{MAX}}) \text{ se } x_{i, \text{ATT}} \leq x_{i, \text{EFF}}$$

$$z_2 = (x_{i, \text{RIUSO}} + x_{i, \text{ATT}} - 2 \cdot x_{i, \text{MAX}}) / (x_{i, \text{ATT}} - x_{i, \text{MAX}}) \text{ se } x_{i, \text{ATT}} > x_{i, \text{EFF}}$$

La formula restituisce un valore numerico positivo se, ad esempio, la concentrazione di un inquinante nell'acqua destinata a riutilizzo è inferiore al limite massimo ammesso; altrimenti il risultato è negativo.

Per la disponibilità di risorsa idrica, per cui sono preferibili valori alti, la formulazione dell'indice diviene:

$$I_D = p_3 y_3 + p_4 y_4$$

y_3 rappresenta il confronto con la situazione attuale (portata emunta dall'attuale fonte di approvvigionamento):

$$y_3 = \frac{z_3 - 1}{z_3 \cdot (z_3 - 2)}, \text{ con } 0 \leq y_3 \leq +2$$

dove il valore di z_3 è pari al rapporto tra la portata attuale (Q_{ATT}) e quella in caso di riuso:

$$z_3 = Q_{\text{ATT}} / (Q'_{\text{ATT}} + Q_{\text{DEP}})$$

con Q'_{ATT} che rappresenta la portata dell'attuale fonte di approvvigionamento che, in caso di riuso, verrebbe comunque utilizzata.

La formula restituisce un valore tanto più positivo quanto più si incrementa, rispetto alla situazione attuale, la disponibilità di acqua grazie al riuso.

y_4 rappresenta il confronto con il fabbisogno idrico (nell'ipotesi che oltre ad una portata doppia rispetto al fabbisogno delle colture non vi sia alcun guadagno aggiuntivo):

$$y_4 = -\frac{z_4 - 1}{z_4 \cdot (z_4 - 2)} \quad , \text{con } -2 \leq y_4 \leq +2$$

dove il valore di z_4 è pari al rapporto tra la portata in caso di riuso ($Q'_{ATT} + Q_{DEP}$) e la portata minima che garantisce il fabbisogno delle colture (Q_{MIN}):

$$z_4 = (Q'_{ATT} + Q_{DEP}) / Q_{MIN}$$

con Q'_{ATT} che rappresenta la portata dell'attuale fonte di approvvigionamento che, in caso di riuso, verrebbe comunque utilizzata.

Al solito, un valore positivo del risultato indica una situazione positiva, ovvero che la disponibilità di acqua supera il fabbisogno delle colture.

In generale, per i parametri microbiologici, può essere più appropriato l'uso delle concentrazioni espresse in forma logaritmica.

3. SCHEDE DEGLI IMPIANTI

In questo capitolo sono riportate le schede elaborate per ognuno dei dieci impianti analizzati in questa ricerca, ed in particolare vengono presentati nell'ordine i casi di:

1. Acqua dei Corsari (PA);
2. Alghero (SS);
3. Baciacavallo (PO);
4. Cremona;
5. Fasano (BR);
6. Fregene (RM);
7. Locate Triulzi (MI);
8. Peschiera del Garda (VR);
9. Stintino (SS);
10. Udine.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI ACQUA DEI CORSARI (PA)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari di Palermo è un impianto di tipo biologico con una capacità di trattamento di 440.000 AE, anche se attualmente è impegnato per circa 200.000 AE trattando una portata di circa 64.300 m³/d (valore misurato nel 2010).

L'impianto, gestito da A.M.A.P. SpA, tratta le acque reflue prodotte nei comuni di Ficarazzi, Villabate, parte del comune di Misilmeri e il comune di Palermo per il solo territorio che va dalla sponda destra del fiume Oreto all'impianto (Figura 1). Resta non servito il bacino posto sulla sponda sinistra del fiume per mancanza del collettore emissario.

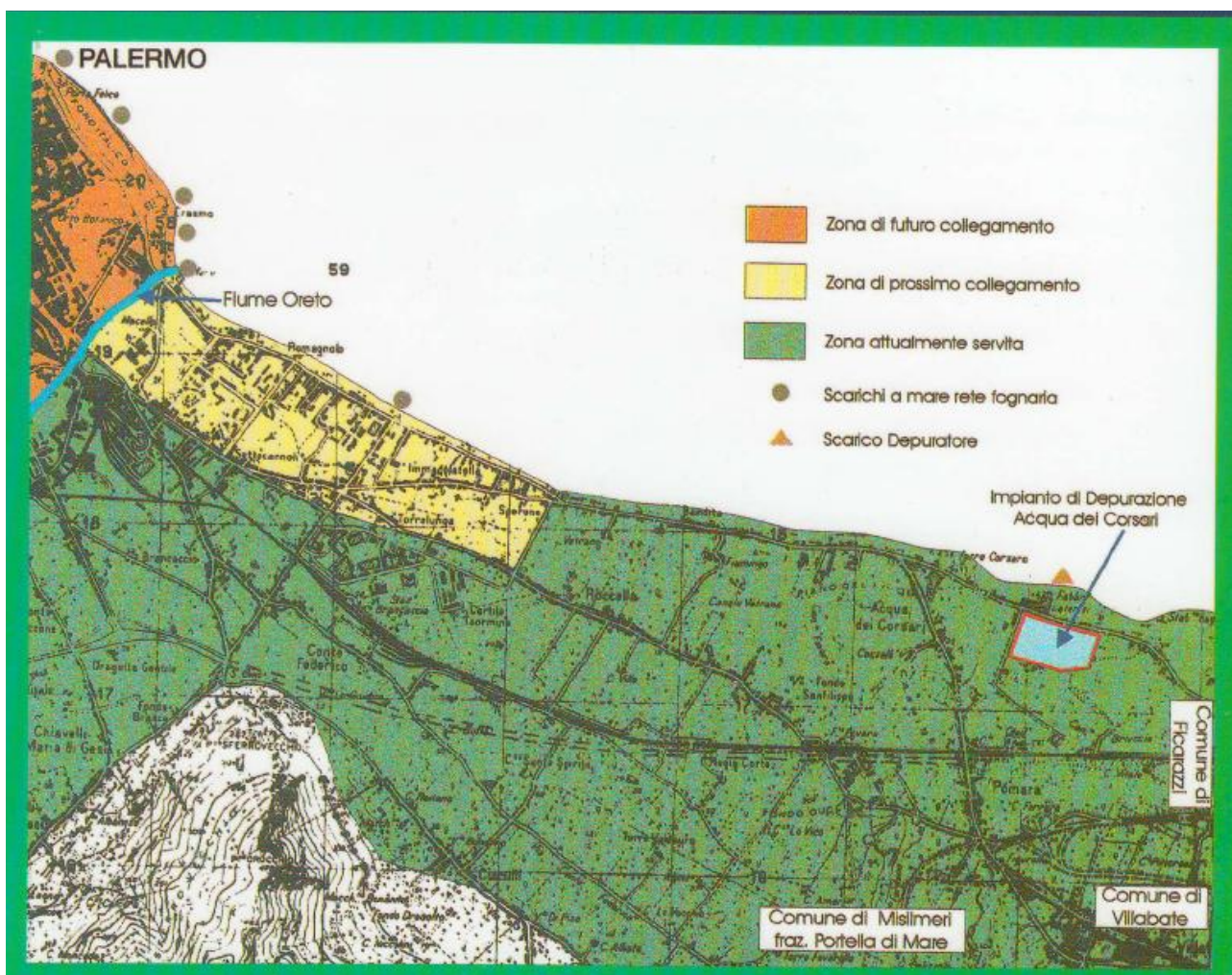


Figura 1. Porzione di territorio servita dall'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA).

Lo schema di processo del depuratore si articola nelle seguenti fasi:

- linea liquami: grigliatura grossolana, sollevamento, grigliatura fine, dissabbiatura-disoleatura e preareazione, sedimentazione primaria, trattamento biologico mediante letti percolatori e fanghi attivi, sedimentazione finale e disinfezione;
- linea fanghi: ispessimento, digestione anaerobica, condizionamento chimico e disidratazione meccanica del fango;
- linea biogas: desolfurazione, stoccaggio biogas e produzione di calore ed energia elettrica per usi interni ed esterni all'impianto.

Inoltre, per permettere il riutilizzo agricolo, è prevista la realizzazione di un primo modulo, che tratterà una portata di 320 L/s, di una sezione di affinamento che avrà, una volta conclusa, una potenzialità globale di 950 L/s. La stazione di affinamento sarà costituita da: sollevamento, chiariflocculazione, filtrazione rapida e disinfezione a due stadi. I reflui così affinati saranno destinati all'irrigazione degli agrumeti posti nei comprensori irrigui di Villabate, sezione ovest ed est, e dell'Eleuterio.

In [Figura 2](#) è riportata una vista aerea dell'impianto di depurazione, mentre in [Figura 3](#) sono riportate le caratteristiche generali della parte di impianto eseguita e in progetto di realizzazione con potenziamento fino a 880.000 AE.



Figura 2. *Fotografia aerea dell'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA).*

		I ^a FASE ESEGUITA	II ^a FASE DA PROGETTO	III ^a FASE DA PROGETTO
Abitanti serviti	n.	440.000	660.000	880.000
Dotazioni idrica x coeff. afflusso	l/abxd	432	432	432
Coefficiente di portata minima		0,5	0,5	0,5
Coefficiente punta a tempo asciutto		1,5	1,5	1,5
Coefficiente punta pioggia		3,4	3,4	3,4
Coefficiente riduzione pioggia al biologico		2,5	2,5	2,5
Carico inquinante BOD ₅	g/abxd	70	70	70
Sostanze sospese	g/abxd	90	90	90
Azoto (NTK) come (N)	g/abxd	13	13	13
Fosforo	g/abxd	4	4	4
Portata media Q ₂₄	m ³ /d	152.064	228.096	304.128
	m ³ /h	6.336	9.504	12.672
	m ³ /s	1,76	2,64	3,52
Portata di punta di tempo asciutto Q _P = 1,5 Q ₂₄	m ³ /d	228.096	342.144	456.192
	m ³ /h	9.504	14.256	19.008
	m ³ /s	2,64	3,96	5,28
Portata minima Q _{min} = 0,5 Q ₂₄	m ³ /d	76.032	114.048	152.064
	m ³ /h	3.168	4.752	6.336
	m ³ /s	0,88	1,32	1,76
Portata di punta pioggia Q _{pp}	m ³ /d	517.008	775.536	1.034.016
	m ³ /h	21.542	32.314	43.084
	m ³ /s	5,98	8,98	11,97
Portata punta pioggia al biologico Q _{ppb}	m ³ /d	380.160	570.240	760.320
	m ³ /h	15.840	23.760	31.680
	m ³ /s	4,4	6,6	8,8
Carico inquinante BOD ₅	Kg/d	30.800	46.200	61.600
Concentrazione BOD ₅	mg/l	203	203	203
Carico solidi sospesi	Kg/d	39.600	59.400	79.200
Concentrazione solidi sospesi	mg/l	260	260	260
Azoto (NTK) come (N)	Kg/d	5.720	8.580	11.440
Concentrazione azoto	mg/l	38	38	38
Fosforo	Kg/d	1.760	2.640	3.520
Concentrazione fosforo	mg/l	12	12	12

Figura 3. Scheda tecnica con le caratteristiche generali dell'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA).

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata media in tempo asciutto nel periodo del riutilizzo e le caratteristiche qualitative dell'acqua in ingresso al depuratore e di quella depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata in tempo asciutto è di circa 50.000 m³/d (= 0,579 m³/s). Una quota di questa portata, pari a 0,320 m³/s, destinata al riutilizzo a fine irriguo, sarà affinata tramite il primo modulo della stazione di affinamento, ora in fase di realizzazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dell'acqua di scarico, le Figure 4 e 5 riportano i valori medi, massimi e minimi registrati nell'anno 2010 per i principali parametri chimico-fisici e chimici misurati all'ingresso e all'uscita dell'impianto di depurazione.

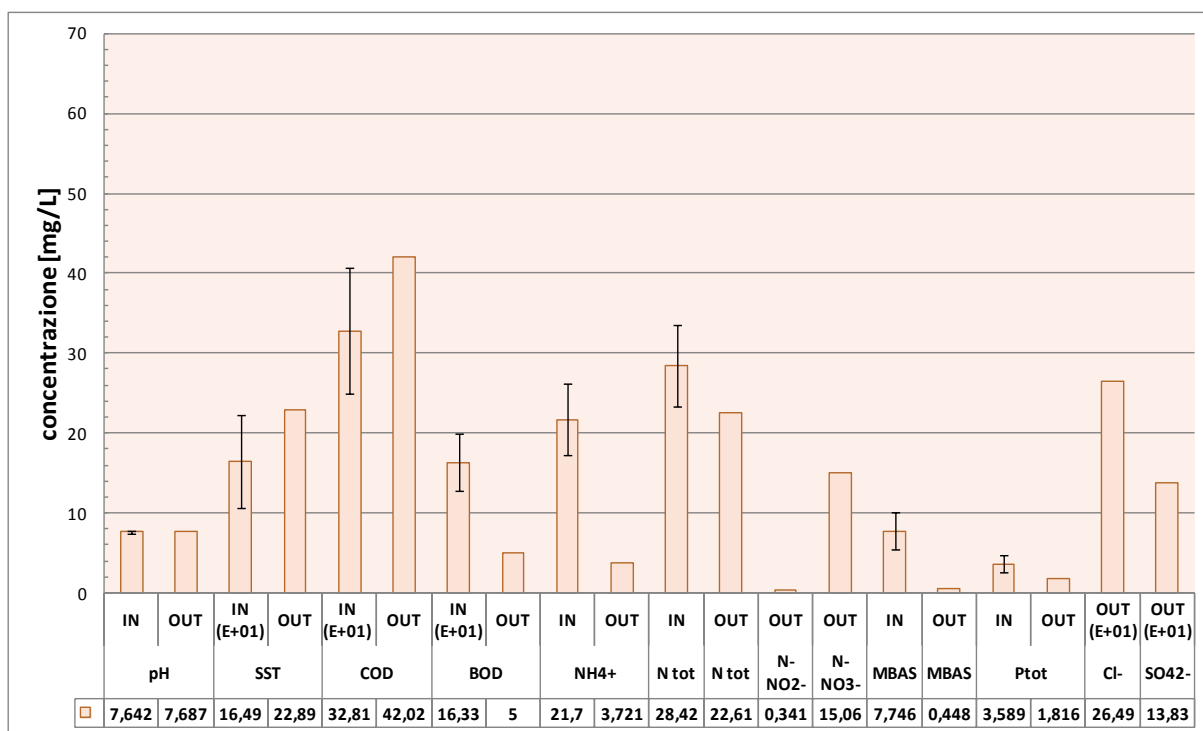


Figura 4. Valori medi, massimi e minimi per i principali parametri chimico-fisici e chimici misurati in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA).

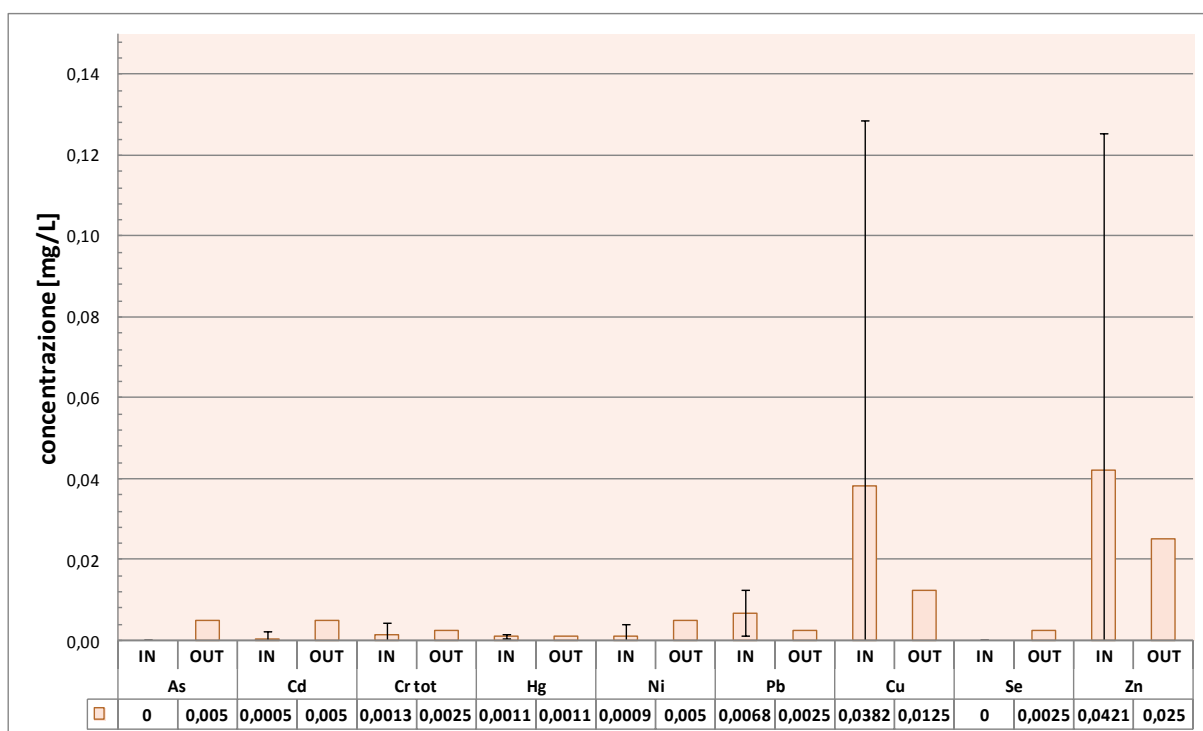


Figura 5. Valori medi, massimi e minimi per i principali parametri chimici misurati in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA).

La qualità microbiologica, valutata nell'anno 2010, dell'effluente del depuratore è riportata in Tabella 1.

E. coli	
UFC/100mL	
Media	1,3E+5
Minimo	4,5E+3
Massimo	8,6E+5
75° percentile	2,1E+5
95° percentile	3,8E+5

Tabella 1. Valori medi, massimi e minimi per il parametro *E. coli* misurato in uscita dall'impianto di depurazione di *Acqua dei Corsari (PA)*.

2. CARATTERISTICHE DELLE ACQUE USATE IN AGRICOLTURA

Le aree presenti nei comprensori irrigui di Villabate, sezione ovest ed est, e dell'Eleuterio sono in parte irrigate da acque provenienti da pozzi attingenti da falde in esaurimento e/o già inquinate, e servite da consorzi irrigui di antica costruzione dotati di reti di distribuzione con notevoli perdite.

Come descritto nel par. 3 è in previsione l'uso di parte dell'acqua proveniente dal serbatoio Rosamarina miscelata con l'acqua depurata ed affinata in uscita dal depuratore di *Acqua dei Corsari (PA)*.

In mancanza di dati qualitativi sulle attuali fonti utilizzate si può fare riferimento alla qualità dell'acqua del serbatoio Rosamarina che, come indicato dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Sicilia, si trova in classe A2 del D.lgs 152/99. Le caratteristiche di qualità per acque superficiali rientranti in classe A2 secondo D.lgs. 152/99 e s.m.i. sono riportate in Tabella 2.

PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	CLASSE A2
<i>pH</i>	Unità pH	5,5-9
<i>colore</i>	mg/L	50
<i>Temp.</i>	°C	22
<i>conduttività</i>	µS/cm	1000
<i>Odore</i>	fattore di diluizione a 25°C	10
<i>Nitrati</i>	mg/L NO ₃	50
<i>Fluoruri</i>	mg/L F	0,7
<i>Ferro disciolto</i>	mg/L Fe	1
<i>Manganese</i>	mg/L Mn	0,1
<i>Rame</i>	mg/L Cu	0,05
<i>Zinco</i>	mg/L Zn	1
<i>Boro</i>	mg/L B	1
<i>Arsenico</i>	mg/L As	0,05
<i>Cadmio</i>	mg/L Cd	0,001
<i>Cromo tot.</i>	mg/L Cr	0,05
<i>Piombo</i>	mg/L Pb	0,05
<i>Selenio</i>	mg/L Se	0,01
<i>Mercurio</i>	mg/L Hg	0,001
<i>Bario</i>	mg/L Ba	1
<i>Cianuro</i>	mg/L CN	0,05
<i>Solfati</i>	mg/L SO ₄	150
<i>Cloruri</i>	mg/L Cl	200
<i>Tensioattivi</i>	mg/L	0,2
<i>Fosfati</i>	mg/L P ₂ O ₅	0,7
<i>Fenoli</i>	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,001
<i>Idrocarburi disciolti o emulsionati</i>	mg/L	0,2
<i>Idrocarburi policiclici aromatici</i>	mg/L	0,0002
<i>Antiparassitari tot</i>	mg/L	0,0025
<i>OD</i>	%O ₂	> 50
<i>BOD5</i>	mg/L O ₂	< 5
<i>Azoto Kjeldal</i>	mg/L N	2
<i>Ammoniaca</i>	mg/L NH ₄	1
<i>Sost. estraibili al cloroformio</i>	mg/L SEC	0,2
<i>Coliformi tot</i>	CFU/100 mL	5000
<i>Coliformi fecali</i>	CFU/100 mL	2000
<i>Streptococchi fecali</i>	CFU/100 mL	1000
<i>Salmonelle</i>	-	Assenza in 1000 mL

Tabella 2. Caratteristiche di qualità per acque superficiali rientranti in classe A2 secondo il D.lgs. 152/99 e s.m.i. (sono considerati i valori minimi tra quelli guida ed imperativi indicati nel Decreto).

3. OPERE NECESSARIE PER IL RIUSO IRRIGUO DEI REFLUI DEPURATI

Per soddisfare una domanda (idropotabile, industriale ed irrigua) di 108,3 Mm³/anno è emerso che l'attuale sistema di fornitura non è sufficiente e quindi è in progetto il completamento dell'acquedotto promiscuo che consentirà di sfruttare le risorse invasate del serbatoio Rosamarina per gli usi idropotabili, industriali ed irrigui (portata disponibile pari a 57 Mm³/anno) e di sfruttare le acque trattate dal depuratore Acqua dei Corsari (PA) per scopi irrigui per 11 Mm³/anno.

Con il progetto di riuso irriguo si vuole alimentare la vasca a servizio di Villabate (già realizzata) con la portata del primo modulo pilota. Una volta completata l'opera di distribuzione delle acque provenienti dal serbatoio Rosamarina utilizzando i manufatti già realizzati si procederà alla miscelazione delle acque depurate con quelle del serbatoio Rosamarina.

Le opere per il riutilizzo in agricoltura dovranno integrarsi con il servizio di fornitura di acqua alle reti irrigue che la distribuiscono all'utente finale.

Le infrastrutture irrigue più vicine al depuratore di Acqua dei Corsari sono:

a) il sistema irriguo "San Leonardo", destinato a distribuire le acque invasate nel serbatoio Rosamarina. Le opere sono in corso di realizzazione da parte dell'Ente di Sviluppo Agricolo. Il sistema complessivamente servirà 15.200 ha tra Cefalù e Villabate ed è costituito da 2 adduttori che alimentano 7 distretti irrigui. Le aree servite sono per metà di nuova irrigazione e per metà già irrigate con pozzi attingenti da falde in esaurimento e/o già inquinate, e servite da consorzi irrigui di antica costruzione. Tra i suddetti distretti irrigui quelli interessati dall'impianto di depurazione sono il comprensorio Villabate e il comprensorio Eleuterio.

b) il canale irriguo "ex Sasi" che viene alimentato da acque provenienti dal Serbatoio Piana degli Albanesi.

L'effluente del depuratore dovrebbe interessare solo il sistema irriguo "San Leonardo" ed in particolare i comprensori Villabate e Eleuterio per una superficie irrigua complessiva di 2.200 ha ed una portata complessiva, a regime (v. Tabella 3), di 950 L/s. La realizzazione delle opere relative alla rete di distribuzione è in fase avanzata.

FASE DELL'INTERVENTO	SUP. IRRIGUA NETTA (ha)	PORTATA MEDIA PER 24 h (l/s)	VOLUME ANNUO (Mm ³)
1 ^a	600	300	4,666
2 ^a	500	200	3,110
3 ^a	1.000	450	6,998
Totale a regime	2.200	950	14,774

Tabella 3. Parametri relativi al riutilizzo irriguo suddivisi per fasi (AMAP Palermo).

3. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di distribuzione delle acque depurate all'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare un'acqua con caratteristiche diverse dall'attuale e con maggiore disponibilità.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando:

1. la sua qualità in relazione ai limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio.

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione applicato all'effluente del depuratore porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 4.

Dalla Tabella 4 si può osservare che diversi parametri, in particolare solidi sospesi, azoto totale, ammoniaca, cloruri e *E. coli* sono caratterizzati da indici negativi. Ciò conferma la necessità, come del resto già previsto, di procedere con la realizzazione della stazione di affinamento.

In mancanza di dati sulle reali prestazioni di quest'ultima, si possono considerare i valori di progetto, che sono i seguenti:

- concentrazione massima di BOD₅: 10 mgO₂/L;
 - concentrazione massima di SST: 10 mgSST/L;
 - SAR: 15;
 - Coliformi totali: 2 MPN/100 mL.
- Il confronto con i limiti del D.M. 185/2003 evidenzia come l'impianto dovrebbe produrre un'acqua di adeguata qualità con la prevedibile eccezione del parametro cloruri (e SAR), sul quale l'impianto previsto non avrà efficacia. Si ricorda però che il valore dei cloruri indicato dal D.M. 185/03 è un valore guida (art. 15, comma 3. *Nelle acque all'uscita dell'impianto di recupero, fatto salvo quanto previsto al paragrafo 2, i limiti per pH, azoto ammoniacale, conducibilità elettrica specifica, alluminio, ferro, manganese, cloruri, solfati di cui alla tabella dell'allegato rappresentano valori guida*). In prima approssimazione, comunque, e in via cautelativa, si può adottare il valore V_D che deriva dalle assunzioni riportate nella Tabella 4 cioè non considerando i benefici che deriveranno dai trattamenti terziari.

- Per quanto riguarda l’affidabilità delle prestazioni, si può presumere che l’affinamento, come visto in altri casi, garantirà ottime prestazioni.

INDICI	IMPIANTO DI ACQUA DEI CORSARI (PALERMO)
I _{BOD}	1,71
I _{COD}	0,87
I _{SS}	-0,08
I _{NH4+}	-0,09
I _{Ntot}	-0,84
I _{Ptot}	0,09
I _{Tensioattivi tot}	0,10
I _{Cl⁻}	-0,33
I _{SO4²⁻}	1,52
I _{E.Coli}	-1,30
I _{AS}	1,71
I _{Cd}	0,00
I _{Cr tot}	2,00
I _{Ni}	2,00
I _{Pb}	2,00
I _{Cu}	2,00
I _{Se}	1,71
I _{Zn}	2,00
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,84

Tabella 4. Valori degli indici per la valutazione dell’efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico (effluente del depuratore).

4.2 Il sistema idraulico

Le opere da realizzare per il riutilizzo irriguo dell’effluente depurato del depuratore nella rete irrigua S. Leonardo sono indicate di seguito e suddivise in tre distinte fasi operative:

- prima fase: utilizzo della portata di 300 L/s prodotta dal depuratore che alimenterà un tratto del sistema S. Leonardo con una superficie irrigua di 600 ha circa. Per questo saranno realizzati: il modulo di affinamento delle acque depurate dall’impianto di Acqua dei Corsari per una potenzialità di 320 L/s; il primo modulo di sollevamento per alimentare la condotta di mandata verso la zona irrigua; la prima condotta di mandata della lunghezza di circa 5.340 m.

- seconda fase: realizzazione del secondo modulo di affinamento e di sollevamento e la seconda condotta di mandata della lunghezza di 5.192 m. Questo permetterà l’irrigazione di altri 500 ha di territorio.

- terza fase: realizzazione del terzo modulo di affinamento e di sollevamento e una condotta DN 600 di collegamento tra due nodi. Questa realizzazione permetterà l’irrigazione di altri 1.100 ha di territorio.

È stato stimato un costo dell’impianto di sollevamento, affinamento e distribuzione pari a 23.000.000 €.

Essendo disponibili i dati dimensionali del sistema richiesto, è possibile ricavare direttamente il costo al metro cubo di acqua da sollevare:

1) l'ammortamento di 15 anni per le strutture inciderebbe per 0,15 Euro/m³.

2) L'esercizio della stazione di affinamento si può ritenere che possa incidere, in base ad esperienze analoghe, per 0,1 Euro/m³.

3) Ipotizzando la necessità di sollevare l'acqua per un'altezza $H = 5$ m, l'ammortamento e l'esercizio della stazione di sollevamento inciderebbero per ulteriori:

$$0,00044/Q + 0,0011H = 0,00044/0,950 + 0,0011 * 5 = 0,006 \text{ Euro/m}^3.$$

In complesso, risulta un costo di circa 0,25 Euro/m³. Questo costo è di per sé piuttosto elevato.

La disponibilità della risorsa, però, consentirebbe l'attività agricola con modalità (e quindi con una resa economica) diversa da quella oggi possibile. Occorrerebbe dunque valutare il margine dell'economia agricola e confrontarlo con il costo dell'operazione. In questa sede non è stato possibile procedere con questo tipo di verifica, che coinvolge questioni di rilevanza economica e di mercato. Si rileva però che, in assenza di apporto idrico, la produzione di agrumi si riduce di oltre il 40-60%.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Il fabbisogno per gli agrumeti è pari a 4000-6000 m³/(ha y) in funzione del tipo di terreno e coltivazione, per un periodo che va da aprile a settembre. Considerato in favore di sicurezza l'estremo superiore di questo intervallo, ne risulta un fabbisogno istantaneo di 0,39 L/(ha s).

Ciò significa che l'area di interesse (2.200 ha) ha un fabbisogno irriguo di circa 860 L/s, che in effetti è del tutto compatibile con la portata di 950 L/s che si prevede di derivare dal depuratore.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa”, in questo caso, è un aspetto cruciale: attualmente, infatti, non vi è sufficiente disponibilità di acqua (v. par. 3). Lo scarico del depuratore consentirebbe invece di irrigare un'area di significativa estensione. Applicando l'indice di valutazione risulta dunque: $y_3 = 2$ e $y_4 = 0,11$, per un risultato complessivo $I_D = 1,06$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, anche se oggi non è di fatto presente una rete irrigua vera e propria, in favore di sicurezza si è operato un confronto:

- per quanto riguarda la situazione attuale, con la qualità ipotizzata dell'acqua del bacino Rosamarina;
- per quanto riguarda la situazione prevista, confrontando la qualità dello scarico con i limiti del D.M. 185/2003; ciò pone ulteriormente in favore di sicurezza, non considerandosi, in questo caso, eventuali benefici dovuti alla possibile miscelazione dello scarico con l'acqua prelevata dall'invaso Rosamarina. Per le caratteristiche dell'effluente affinato, si è ipotizzato, rispetto alle concentrazioni attuali dell'effluente secondario, un abbattimento del 20% sia per l'azoto totale che per il fosforo totale e si è assunta una concentrazione di *E. coli* di 10 UFC/100 mL.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 5 e nella Figura 6.

Risulta evidente come la qualità dello scarico sia conforme rispetto ai parametri del DM 185/03, con l'eccezione dell'azoto, totale ed ammoniacale, e dei cloruri. L'utilizzo dell'acqua depurata rappresenterebbe però una situazione peggiorativa rispetto al caso di impiego dell'acqua superficiale. La valutazione complessiva corrisponde di fatto ad una situazione di neutralità. Va ribadito però che il confronto con la situazione attuale rappresenta un caso teorico, perché oggi la risorsa "naturale" non è disponibile. Inoltre non è stato considerato il beneficio che potrebbe derivare dalla miscelazione dello scarico con l'acqua prelevata dal bacino Rosamarina

INDICI	IMPIANTO DI ACQUA DEI CORSARI (PALERMO)		
	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA DELL'ACQUA DELL'INVASO ROSAMARINA	MEDIA
I_{BOD}	1,71	-0,67	0,52
I_{NH4+}	-0,09	-1,57	-0,83
I_{Ntot}	-0,24	-0,28	-0,26
I_{Ptot}	0,30	-0,71	-0,21
I_{Tensioattivi totali}	0,10	-0,80	-0,35
I_{Cl⁻}	-0,33	-0,26	-0,29
I_{SO4²⁻}	1,52	0,08	0,80
I_{E.Coli}	0,00	1,04	0,52
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	0,37	-0,40	-0,01

Tabella 5. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico (dopo affinamento secondo dati di progetto) per il riuso agricolo.

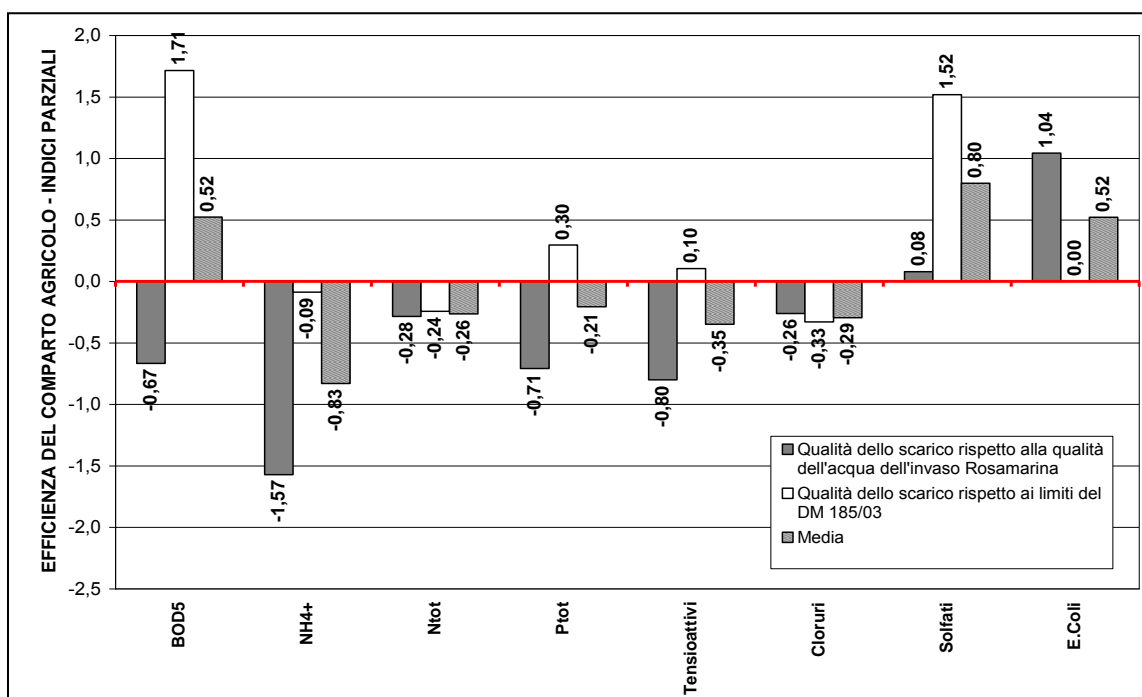


Figura 6. Indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto i limiti di cui al D.M. 185/03, confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dall'invaso Rosamarina, valutazione complessiva.

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari (PA) evidenzia i seguenti risultati:

- 1) dal punto di vista economico, l'operazione è stata valutata (dagli Enti proponenti) conveniente essendo i costi da sostenere compensati dal margine economico connesso con le modalità colturali rese possibili dalla disponibilità di acqua;
- 2) l'impianto presenta elevate rese di rimozione ($V_D = 0,84$) e la prevista realizzazione di una stazione di affinamento dovrebbe garantire un'idonea affidabilità di funzionamento;
- 3) la disponibilità di acqua, per gli aspetti sia quantitativi che qualitativi, è valutata positivamente per l'utilizzatore ($V_u = 0,53$).

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI ALGHERO (SS)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'agglomerato di Alghero (Sassari) è dotato di un sistema fognario di tipo misto collegato ad alcune vasche di prima pioggia realizzate in diverse zone dell'abitato in grado di controllare gli afflussi in periodo di pioggia.

Le acque reflue sono convogliate in 2 depuratori: il principale, il depuratore San Marco, a servizio del nucleo abitato e il depuratore di Santa Maria la Palma, a servizio di piccoli agglomerati.

La popolazione allacciata, al gennaio 2010, ad entrambi i depuratori è pari a 40.803 abitanti.

Dopo il trattamento i reflui sono scaricati per una certa quota nel Rio Filibertu con recapito finale, circa 8 km più a valle, nello stagno del Calich e per la restante parte, nel periodo irriguo, nel sistema irriguo del Consorzio di Bonifica della Nurra. Nel periodo non irriguo l'intera quota dei reflui trattati viene scaricata nel Rio Filibertu.

Le informazioni riportate di seguito si riferiscono al depuratore San Marco che è mostrato in [Figura 1](#).



Figura 1. Fotografia aerea dell'impianto di depurazione San Marco di Alghero (SS).

L'impianto di depurazione San Marco di Alghero, funzionante dal marzo 2010, è un classico impianto a fanghi attivi dotato di decantazione primaria e di un trattamento dei fanghi per via anaerobica.

Lo schema di trattamento della linea acque può essere schematizzato come segue:

- pretrattamenti;
- decantazione primaria;
- sezione biologica costituita da un selettore anossico, predenitrificazione e fase ossidativa;
- decantazione secondaria.

I reflui così trattati, se smaltiti nello stagno Calich, subiscono un trattamento di affinamento con rimozione del fosforo (denominato "ACTIFLO"), con un processo di flocculazione chimica seguita da una decantazione accelerata e da disinfezione con acido peracetico; la quota di refluo destinata al riutilizzo irriguo viene invece sottoposta a filtrazione a tele e disinfezione con raggi UV, così da contenere il valore dei solidi sospesi ed evitare la formazione di sottoprodotti di disinfezione; l'acqua deve poi essere sollevata per l'immissione nella rete irrigua.

Nei periodi di consumi irrigui nulli o assai scarsi (Dicembre-Marzo) tutta o gran parte della portata in uscita dal depuratore è convogliata al di fuori del sistema irriguo della Nurra perché non esiste la possibilità tecnica di alcuno stoccaggio stagionale.

I fanghi prodotti subiscono un trattamento mediante:

- pre-ispessitore;
- digestore anaerobico;
- post-ispessitore;
- disidratazione con centrifuga.

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata trattata in tempo estivo (stagione irrigua) e le caratteristiche qualitative dell'acqua depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, la portata media giornaliera trattata nel 2010 è stata di circa 20.000 m³/d (= 0,232 m³/s).

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dello scarico, la Tabella 1 riporta i valori medi, registrati per diversi parametri nel periodo 2010, relativamente all'effluente secondario; per l'effluente del trattamento di affinamento destinato all'agricoltura, si riportano i risultati di due distinti campionamenti.

PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	LIQUAME GREZZO	LIQUAME IN USCITA DAL TRATTAMENTO SECONDARIO	LIQUAME IN USCITA DAL TRATTAMENTO DI AFFINAMENTO
pH	/	7,3	7,03	7,28-7,30
Cond. elettrica	µS/cm	-	1224,25	995-1050
SST	mg/L	70,9	8,45	9-10
Sost. oleose tot.	mg/L	10,4	3,5	-
BOD ₅	mg/L	100,9	9,09	8-11
COD	mg/L	191,0	37,59	10-38
NH ₄ ⁺	mg/L	19,9	1,42	0,2-1
NO ₂ ⁻	mg/L	0,01	0,17	-
NO ₃ ⁻	mg/L	0,54	4,22	-
N tot	mg/L	21,5	6,15	4,2-4,5
P tot	mg/L	2,1	1,85	0,05-1,9
Tens. totali	mg/L	13,9	0,71	0,2
Cl ⁻	mg/L	-	267,54	174-177
SO ₄ ²⁻	mg/L	-	105,735	55-57,3
Ca	mg/L	-	54,53	
Mg	mg/L	-	18,67	
Na	mg/L	-	135,64	
SAR	/	-	3,98	2,9-2,91
Salmonella	UFC/100 mL	-	assenti	assenti
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	-	3225	6-73

Tabella 1. Valori medi di alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici del liquame grezzo, del liquame in uscita dal trattamento secondario e del liquame in uscita dal trattamento di affinamento del depuratore San Marco di Alghero (SS).

Nota: i dati riguardanti il liquame grezzo e in uscita dal trattamento secondario sono stati desunti dal “Piano di Gestione: riutilizzo delle acque reflue depurate del comune di Alghero” e si riferiscono al 2010, mentre i valori riguardanti il liquame in uscita dal trattamento di affinamento sono stati forniti da Abbanoa S.p.A (Gestore unico del servizio idrico integrato dell'autorità d'ambito della Sardegna) e si riferiscono a due campionamenti effettuati in data 24/08/2011 e 30/08/2011.

L'esame dei valori medi delle acque grezze conferma, in linea generale, l'origine prettamente urbana con prevalenza domestica delle acque, rilevando comunque l'effetto di diluizione provocato dagli apporti eccessivi di acque bianche.

Dalla tabella si evidenzia che, a parte l'*Escherichia Coli*, per il quale è richiesto il trattamento aggiuntivo di disinfezione, ed i cloruri, i parametri determinati rispettano, come valore medio, i valori richiesti per il riutilizzo anche già a monte del trattamento terziario di affinamento.

Come descritto nel paragrafo precedente, la quota di acqua da destinare al riuso è filtrata e disinfettata tramite UV e tale trattamento consente di ridurre il parametro *Escherichia Coli* entro i limiti del D.M. 185/2003, mentre i cloruri, associati a cospicui apporti di acque salmastre nelle fognature cittadine, non sono eliminabili tramite il processo di depurazione adottato. Comunque, gli interventi di rifacimento ed adeguamento della rete fognaria cittadina hanno permesso di ridurre i valori dello ione cloruro, tanto che già nel secondo semestre 2010 si è assistito al rientro del parametro nei valori normativi vigenti (valori raggiunti pari a circa 200 mg/L).

Come richiesto dalla normativa regionale è stata effettuata durante la campagna irrigua 2010 un'analisi su tutti i parametri previsti, riscontrando il rispetto dei singoli valori puntuali.

L'eventuale superamento del limite puntuale del parametro ione cloruro, che comunque non pregiudica l'utilizzo irriguo dei reflui depurati (in quanto i valori limite sono da riferirsi a valori medi su base annua o, nel solo caso del riutilizzo irriguo, della singola campagna irrigua), verrà comunque controbilanciato con la normale miscelazione che viene obbligatoriamente effettuata all'atto dell'immissione in rete per il rispetto delle condizioni di cui all' art. 9, comma 3, della Direttiva Regionale (DGR n. 75/15 del 30/12/2008), che prevede un rapporto di miscelazione 1:1 tra le acque reflue depurate ed affinate e le acque grezze immesse nella rete irrigua. Queste ultime derivano da un sistema di regimazione di acque superficiali descritto nel successivo cap. 2. Tale aspetto consente di garantire costantemente l'approvvigionamento all'utenza finale con un'acqua di ottima qualità che non risente di eventuali piccoli superamenti (puntuali o temporanei) dei valori di qualità previsti dal D.M. 185/2003, da intendersi comunque, come detto in precedenza, quali valori medi su base annua o della singola campagna irrigua.

2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IRRIGUO

Il sistema irriguo di riferimento è quello del Consorzio di Bonifica della Nurra.

Il Consorzio di Bonifica della Nurra presenta una superficie territoriale di 83.574 ettari che ricade nei Comuni di Alghero, Sassari, Olmedo, Porto Torres, Stintino e Uri.

Gli impianti di irrigazione della Nurra servono circa 3.600 utenti per una superficie territoriale di quasi 28.000 ettari, suddivisa in 5 lotti realizzati in tempi diversi.

Il Comprensorio irriguo è infatti suddiviso convenzionalmente in cinque lotti irrigui per una superficie attrezzata di 27.607 ettari, una superficie irrigabile, al netto delle parzializzazioni, di 15.500 ettari.

I distretti irrigui del Consorzio di Bonifica della Nurra sono alimentati principalmente dalle risorse del sistema Temo-Cuga.

La risorsa a servizio del distretto irriguo della Nurra viene regolata dall'invaso del Cuga. La diga del Cuga, in pietrame a secco con nucleo di terra per la tenuta, di 45,4 m d'altezza, ultimata nel 1974 e gestita dal Consorzio di Bonifica, determina un vaso con volume utile per la regolazione di 34,2 Mm³.

L'invaso ha una limitazione della capacità di accumulo determinata dalla necessità di adeguamento degli organi di scarico, per cui attualmente il volume autorizzato è pari a 25 Mm³.

Dalla diga si diparte il canale adduttore di 7 km di lunghezza in grado di veicolare una portata di 10 m³/s.

Il canale termina in corrispondenza dell'abitato di Olmedo dove alimenta una vasca di compenso in località Monte Baranta che alimenta a sua volta le condotte adduttrici a servizio dei vari utenti agricoli.

La diga è parte di un sistema di bacini interconnessi (Temo - Cuga – Bidighinzu - Coghinas) e le opere appartengono al Sistema Idrico Multisetoriale Regionale.

L'invaso, oltre alla regolazione dei deflussi del bacino idrografico diretto, regola anche quelli dell'alto Temo attraverso l'interconnessione idraulica Temo – Cuga che consta di quattro gallerie e tre traverse, oltre all'opera di sbarramento Alto Temo (Monteleone Rocca Doria); le suddette infrastrutture idrauliche appartengono al Sistema Idrico Multisetoriale.

La potenzialità del sistema di trasferimento Temo-Cuga è pari a 10 m³/s. Il sistema è costituito da un primo tratto di galleria, lungo circa 10 km che rilascia sul rio Sette Ortas, intercettato più a valle dall'omonima traversa, da questa opera si diparte il secondo tratto di galleria, lungo circa 5,6 km, che consegna nell'invaso

determinato dalla traversa sul rio Badde de Jana, da cui a sua volta parte il terzo tratto di galleria che consegna sul piccolo invaso determinato dalla traversa S'Olia. Da quest'ultima traversa del sistema parte il quarto ed ultimo tratto del collegamento, sempre in galleria, di circa 1,3 km di sviluppo, che versa nell'invaso del Cuga.

La diga Alto Temo sul fiume Temo, presso Montaleone Rocca Doria, è a gravità e costruita in calcestruzzo alleggerito di 54,1 m d'altezza. Ultimata nel 1984, determina un invaso con volume utile per la regolazione di 81,4 Mm³. L'invaso è utilizzato anche per la regolazione delle piene del fiume Temo a salvaguardia dell'abitato di Bosa e il volume attualmente autorizzato è pari a 58,8 Mm³.

L'opera regola anche i deflussi del bacino idrografico del medio Temo mediante la derivazione della risorsa intercettata dalle traverse Cumone e Badu Crabolu sugli omonimi corsi d'acqua, affluenti in sinistra idraulica del fiume Temo.

La traversa Cumone convoglia la risorsa verso l'invaso di Monteleone Rocca Doria tramite il collegamento realizzato con un primo tronco di condotta, un sollevamento vicino all'abitato di Padria e un secondo tronco di condotta con tratto terminale in galleria.

La traversa Badu Crabolu deriva la risorsa tramite una condotta, che si innesta sul primo tronco del collegamento Medio - Alto Temo.

Anche le infrastrutture precedentemente descritte, costituenti il collegamento idraulico Medio – Alto Temo, sono da classificare tra le opere appartenenti al Sistema Idrico Multisetoriale.

Tutte le aree servite dall'irrigazione sono di proprietà dei consorziati, soggetti privati che, per legge, aderiscono al Consorzio e sono tenuti al pagamento dei tributi consortili.

Il sistema d'irrigazione consortile, così come previsto nei progetti originari, è a pioggia con una pressione di 2,5-3,0 bar.

Schematicamente la rete irrigua della Nurra può essere suddivisa in comprensorio Nord e comprensorio Sud.

Il comprensorio Nord è servito da una condotta (DN 2000) che, partendo dalla vasca di Monte Baranta ed attraversando tutto il terzo lotto, si dirige verso Nord per alimentare, oltre al terzo, anche il quarto e parte del quinto lotto. Detta condotta alimenta le varie condotte principali che da essa derivano ed i due impianti di sollevamento di Brunestica e di Monte Uccari terminando in corrispondenza di quest'ultimo.

Lo schema distributivo del comprensorio Sud viene alimentato da due condotte adduttrici gemelle con presa nella stessa vasca di compenso di Monte Baranta. Tale doppia condotta (DN 1300), si divide, dopo l'attraversamento con la ferrovia Alghero-Sassari, in due adduttrici (Principale Alta e Principale Bassa) rispettivamente al servizio delle due parti, alta e bassa, del comprensorio Sud.

I distretti irrigui del terzo e quarto lotto nella zona Nord-Orientale del Consorzio vengono alimentati da una ulteriore condotta (DN 2000) con presa nella stessa vasca di Monte Baranta.

La zona irrigua di Bancali (Comune di Sassari) facente parte del quinto lotto, originariamente era servita solamente dal ramo S. Marco dell'Acquedotto industriale Coghinas 2° proveniente dallo schema idraulico Coghinas – Mannu di Porto Torres che ha origine dalle due opere di sbarramento sul lago Coghinas a Muzzone e a Casteldoria.

Successivamente tale comprensorio, in aggiunta, è stato alimentato, mediante sollevamento, dai deflussi derivati dalla traversa La Crucca sul Rio Mannu di Porto Torres.

Ancora più recentemente, mediante la presa idrica per uso irriguo in uscita dal partitore San Marco, collegato alla vasca irrigua Tottubella a servizio del Consorzio, sempre sul ramo S. Marco dell'Acquedotto industriale Coghinas 2°, con funzionamento al contrario tale comprensorio viene alimentato dal sistema Temo-Cuga, pur avendo a disposizione, a seconda delle necessità od opportunità, i precedenti collegamenti.

Le caratteristiche qualitative dell'acqua grezza proveniente dall'invaso della Cuga sono state fornite da Abbanoa S.p.A. (Tabella 2).

PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	ACQUA PROVENIENTE DALL' INVASO DELLA CUGA
pH	/	7,51
T	°C	21,2
Cond. elettrica	µS/cm	365
SST	mg/L	4
BOD	mg/L	< 5
COD	mg/L	< 20
NH ₄ ⁺	mg/L	1,3
N-NO ₂ ⁻	mg/L	0,3
N-NO ₃ ⁻	mg/L	0,02
N tot	mg/L	1,3
P tot	mg/L	< 0,1
Cl ⁻	mg/L	58
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	130

Tabella 2. Valori di alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici dell'acqua proveniente dall'invaso della Cuga prelevata da Abbanoa S.p.A. in data 24/08/2011.

3. OPERE REALIZZATE PER IL RIUSO DELLE ACQUE DI SCARICO

Come riportato nel paragrafo 1.1, l'effluente del depuratore viene sottoposto a un affinamento costituito da una filtrazione su tele e da una disinfezione con raggi UV. I reflui affinati sono poi immessi nella rete di distribuzione del Consorzio di Bonifica della Nurra mediante un sollevamento di circa 48 metri.

Il collegamento con l'impianto di depurazione S. Marco avviene sulla condotta adduttrice Principale Alta (DN 1400) che costituisce un ramo dell'anello a servizio del compresorio Sud.

Per le caratteristiche funzionali e distributive del sistema irriguo del Consorzio di Bonifica della Nurra, la cui realizzazione ha avuto inizio negli anni '60, il punto di immissione dei reflui affinati (parte centrale della rete bassa, Compresorio Sud, servita a gravità dalla vasca di accumulo e compenso sito a Monte Baranta – Olmedo con quota idraulica massima m s.l.m. 86) è tale che teoricamente possa alimentare tutta la rete irrigua del Consorzio, compresa la parte alta della rete, alimentata con i sollevamenti di Olmedo, Monte Uccari – Tottubella e Campanedda in quanto, a ritroso, i reflui affinati possono alimentare la vasca di Monte Baranta che a sua volta alimenta tutti i sollevamenti citati.

L'unica zona isolabile funzionalmente da tale apporto è quella di Bancali che può usufruire di altre due fonti di approvvigionamento quali l'Acquedotto Industriale Coghinas II e il Rio Mannu di Porto Torres ma attualmente la stessa è comunque alimentata dal sollevamento di Monte Uccari – Tottubella.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si trova ad usare l'acqua reflua depurata.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa andrebbe valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio.

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in [Tabella 3](#).

INDICI	IMPIANTO DI ALGHERO
I _{BOD}	0,72
I _{COD}	1,80
I _{SS}	0,05
I _{NH4+}	1,37
I _{Ntot}	1,43
I _{Ptot}	0,70
I _{Tensioattivi tot}	0,94
I _{Cl⁻}	0,33
I _{SO4²⁻}	2,00
I _{E.Coli}	-0,10
I _{EC}	1,17
I _{SAR}	1,43
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,99

Tabella 3. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

Si vede come in generale gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni misurate nell'effluente dal trattamento di affinamento sono inferiori ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03, a meno del parametro *E. coli* che risulta essere di poco negativo.

Per i cloruri va evidenziato che gli interventi strutturali effettuati sulla fognatura hanno permesso di ridurre i valori fino al rispetto del limite di 250 mg/L, come indicato dall'indice positivo e dalla [Figura 2](#).

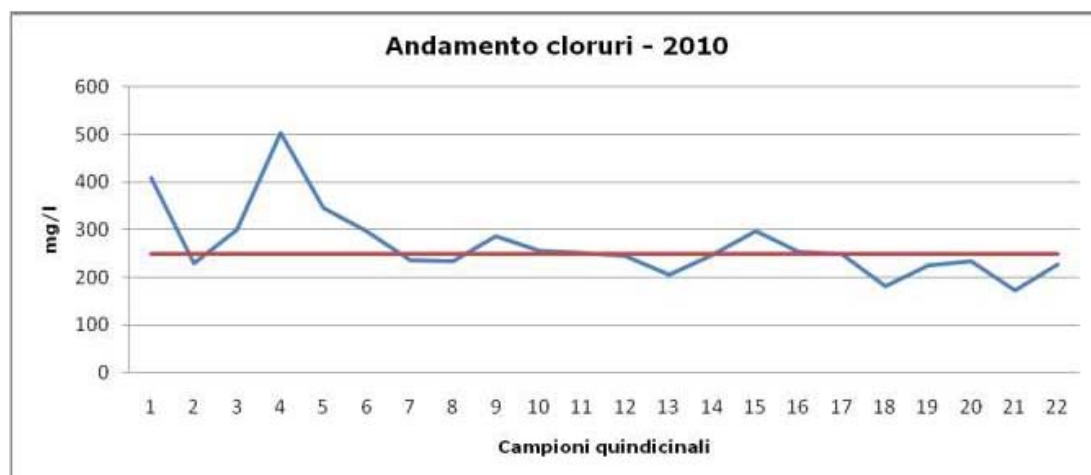


Figura 2. Andamento del parametro cloruri durante il 2010 misurato in fognatura.

Per quanto riguarda l'affidabilità di funzionamento dell'impianto, la stessa può essere ritenuta elevata, anche in assenza di dati per poter effettuare una verifica. La presenza dell'affinamento, infatti, come dimostrato in altri casi, offre garanzia in tal senso.

4.2 Il sistema idraulico

In base ai dati fondamentali (prevalenza e portata) che caratterizzano il sistema di sollevamento delle acque depurate alla rete irrigua, è possibile stimare direttamente il costo al metro cubo di acqua da sollevare.

Essendo 48 m la prevalenza geodetica che si può assumere coincidente con la prevalenza totale, con una portata $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, risulta un costo al metro cubo sollevato pari a $0,055 \text{ €/m}^3$ se si considera il periodo di 6 mesi in cui si recuperano i maggiori volumi di acqua (v. [Tabella 7](#)). Il costo dell'affinamento non viene viceversa conteggiato perché è comunque da sostenere anche in caso di scarico dell'effluente in corpo idrico superficiale. Questo valore è da confrontare con il costo dell'acqua oggi usata. Nel caso in esame, il prezzo riconosciuto per il prelievo di acqua per uso irriguo ai Consorzi di Bonifica è compreso tra $0,005$ e $0,015 \text{ €/m}^3$. Questo valore è inferiore al costo da sostenere per il sollevamento dell'acqua depurata. Si deve però tenere presente che l'alternativa del riuso permette di evitare la defosfatazione chimica, che invece viene praticata per scaricare in corpo idrico superficiale.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Nella Tabella 4 sono riportate le superfici irrigate dal Consorzio di Bonifica della Nurra, in funzione della tipologia colturale, per gli anni compresi tra il 2005 e il 2010. Si può osservare che dal 2005 al 2010 la superficie irrigata è passata rispettivamente da 4.681,56 ha a 4.100,10 ha di cui, al 2010, il 25% è utilizzata per l'irrigazione dei vigneti.

COLTURA	HA 2005	HA 2006	HA 2007	HA 2008	HA 2009	HA 2010
BARB AUTUNNALE	25,00					
BARB PRIMAVERILE	195,84	1,00				
CARCIOFO	249,14	261,44	230,24	193,44	189,96	159,57
CARCIOFO A G.	50,98	23,09	21,29	18,35	15,20	16,73
CEREALI			14,95			
COLT. PROTETTE	9,80	10,78	9,33	9,83	8,53	9,48
ERBAI AUT. VERNINI	170,30	210,05	136,40	148,90	166,50	139,45
EXTRA AGRIC.	10,93	15,19	0,00			0,70
FLOREALI A G.	3,86	4,26	1,96	0,46	16,88	17,75
FLOREALI P. CAMPO	6,45	3,55	3,15	2,05	2,80	5,32
FORAGGERE	33,80	15,80	15,30	7,10	12,80	9,68
FORESTALI	5,75	4,50	4,80	4,05	4,54	2,80
FORESTALI A G.	25,19	25,46	24,86	23,46	9,45	9,30
FRUTTETI	88,05	99,22	116,21	114,43	108,94	121,47
FRUTTETI A G.	75,31	76,87	72,96	77,07	77,40	61,56
MAIS	909,14	784,83	701,60	948,48	854,06	473,23
MAIS A G.	3,00					
MEDICA	728,11	777,39	705,91	787,77	921,20	810,73
OFFICINALI		4,00	1,30	1,30	2,30	2,30
OFFICINALI A G.			0,20			0,20
OLEAGINOSE		1,87				0,40
OLIVO	77,73	72,34	79,41	91,24	93,52	120,48
OLIVO A G.	107,94	119,50	110,35	132,60	155,23	126,56
ORTIVE A G.	267,35	209,34	252,29	222,15	207,89	205,16
ORTIVE AVV	413,19	470,68	429,76	466,84	461,33	445,90
POMODORO	0,65	0,15	1,00	1,24	0,24	0,05
POMODORO A G.	1,06	1,01	1,71	0,20	2,85	0,21
PRATI POL E MON	183,77	229,18	251,12	252,85	209,47	241,15
SORGO	121,70	91,09	64,80	50,50	61,60	64,20
VIGNETI	191,41	197,76	189,06	173,15	163,70	163,86
VIGNETI A G.	726,11	822,94	851,08	868,00	899,01	891,86
TOTALI	4.681,56	4.533,27	4.291,05	4.595,45	4.645,38	4.100,10

Tabella 4. Superfici irrigate dal Consorzio di Bonifica della Nurra in funzione della tipologia colturale.

La ripartizione in percentuale delle diverse tipologie colturali, irrigate all'interno del Comprensorio irriguo nel corso della stagione irrigua 2010, è riportata nella Tabella 5.

COLTURA	%	COLTURA	%
CARCIOFO	3,89%	OFFICINALI	0,06%
CARCIOFO A G.	0,41%	OFFICINALI A G.	0,00%
COLT. PROTETTE	0,23%	OLEAGINOSE	0,01%
ERBAI AUT. VERNINI	3,40%	OLIVO	2,94%
EXTRA AGRIC.	0,02%	OLIVO A G.	3,09%
FLOREALI A G.	0,43%	ORTIVE	10,88%
FLOREALI P. CAMPO	0,13%	ORTIVE A G.	5,00%
FORAGGERE	0,24%	POMODORO	0,00%
FORESTALI	0,07%	POMODORO A G.	0,01%
FORESTALI A G.	0,23%	PRATI POL E MON	5,88%
FRUTTETI	2,96%	SORGO	1,57%
FRUTTETI A G.	1,50%	VIGNETI	4,00%
MAIS	11,54%	VIGNETI A G.	21,75%
MEDICA	19,77%		

Tabella 5. Ripartizione percentuale delle superfici irrigate dal Consorzio di Bonifica della Nurra in funzione della tipologia culturale.

A partire dal 2002 il Consorzio di Bonifica della Nurra controlla i volumi irrigui distribuiti in campo mediante contatori volumetrici installati a livello aziendale. I consumi irrigui medi nei periodi di irrigazione sono riportati in Tabella 6.

COLTURA	MEDIA m ³ /ha	PERIODO IRRIGAZIONE
CARCIOFO	5.946	luglio - ottobre
CARCIOFO A G.	2.668	luglio - ottobre
ERBAI AUTUNNO VERNINI	2.614	agosto - novembre
FLOREALI P.C.	6.720	intero periodo
FLOREALI A G.	3.249	intero periodo
FORESTALI	3.585	giugno - agosto
FRUTTETI	3.671	giugno - agosto
FRUTTETI A G.	2.765	giugno - agosto
MAIS	6.374	aprile - agosto
MEDICA	6.085	aprile - agosto
OFFICINALI	3.484	giugno - agosto
OLIVO	3.480	giugno - agosto
OLIVO A G.	2.131	giugno - agosto
ORTIVE A G.	3.579	aprile - agosto
ORTIVE AVV	6.239	aprile - agosto
POMODORO	4.175	aprile - agosto
PRATI POLIFITI E MONOFITI	5.770	aprile - agosto
SORGO	3.452	aprile - agosto
VIGNETI	3.525	giugno - agosto
VIGNETI A G.	1.999	giugno - agosto

Tabella 6. Consumo irriguo medio per le diverse colture presenti nel Comprensorio irriguo della Nurra.

Dai dati della distribuzione delle superfici delle domande irrigue del 2010 si è stabilito che su 4.100,10 ettari di tutto il comprensorio irriguo, 2.617,21 ettari sono quelli facenti parte del Comprensorio Sud alimentato dal relativo anello di distribuzione.

Considerando una distribuzione delle varie colture in maniera omogenea tra comprensori sia in termini geografici che di utilizzo temporale, si può ipotizzare che una quota pari a 0,638 (quale rapporto tra 2.617,21 ha di superficie afferente al Comprensorio Sud e 4.100,10 ha di superficie complessiva) del consumo globale annuale sia di pertinenza della zona irrigua che può venire alimentata in integrazione dai reflui di S. Marco.

In tale ipotesi il fabbisogno annuale riferito al comprensorio Sud del Consorzio della Nurra è stimato in 16.262.620 m³/anno mentre il volume di acque reflue affinate è di circa 7.450.000 m³/anno. Tuttavia, per il riutilizzo nella Direttiva Regionale (DGR n. 75/15 del 30/12/2008) è richiesta la miscelazione con rapporto 1:1 tra l'acqua depurata e l'acqua prelevata dalle risorse naturali. Il surplus annuo di acque depurate (ed affinate) immesse nell'ambiente è pari a 2.414.640 m³/anno che si aggiunge, ovviamente, alla quota già recapitante nel Rio Filiberto (si veda [Tabella 7](#)).

	Distribuzione irrigua ¹	Reflui affinati S. Marco ²	Ipotesi utilizzo irriguo reflui affinati ³	Ipotesi Surplus reflui affinati recapitati in ambiente ³
Mesi	m ³	m ³	m ³	m ³
Gennaio	287.100	650.000	143.550	506.450
Febbraio	255.200	400.000	127.600	272.400
Marzo	510.400	500.000	255.200	244.800
Aprile	593.340	600.000	296.670	303.330
Maggio	1.531.200	650.000	650.000	0
Giugno	2.169.200	650.000	650.000	0
Luglio	3.177.240	650.000	650.000	0
Agosto	3.745.060	700.000	700.000	0
Settembre	2.169.200	650.000	650.000	0
Ottobre	1.084.600	700.000	542.300	157.700
Novembre	625.240	650.000	312.620	337.380
Dicembre	114.840	650.000	57.420	592.580
TOTALE	16.262.620	7.450.000	5.035.360	2.414.640

¹ Dato relativo al comprensorio sud del Consorzio di Bonifica della Nurra per l'anno 2010

² Dato fornito da ABBANOVA e relativo all'ultimo anno di gestione

³ Ipotesi di rispetto, nella miscelazione acque reflue recuperate / acque grezze immesse in rete, del rapporto 1:1.

Tabella 7. Scenario ipotetico di recapito dei reflui depurati ed affinati individuato in base alla domanda della risorsa idrica dal Consorzio di Bonifica.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore "disponibilità di risorsa", in questo caso, non è un aspetto critico: il fabbisogno attuale è, infatti, già soddisfatto dalla disponibilità di acque superficiali grazie al sistema irriguo basato su sistemi di accumulo importanti. La portata di refluo depurato sostituisce una equivalente quantità di acque superficiali, pertanto risulta $y_3 = 0$. Analogamente, il confronto con il fabbisogno delle colture porta ad un valore $y_4 = 0$, con ciò ad indicare che la disponibilità dell'acqua non altera la situazione attuale. Nel complesso risulta $I_D = 0$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione di riferimento (indica cioè se la qualità dell'acqua fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella superficiale) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella [Tabella 8](#) e nella [Figura 3](#).

Risulta chiaro, dall'esame dei dati, come lo scarico tenda a peggiorare la qualità dell'acqua rispetto a quella prelevata dall'invaso Cuga: la colonna "*Qualità dell'acqua destinata a riuso rispetto alla qualità dell'acqua dell'invaso Cuga*" indica, infatti, questo confronto e gli indici sono tendenzialmente negativi. Tuttavia, il confronto con i valori del D.M. 185/03 (colonna "*Qualità dell'acqua destinata a riuso rispetto ai limiti del DM 185/03*"), evidenzia come di fatto l'unico parametro inadeguato sia l'indicatore di contaminazione microbiologica *E. coli*. Si rileva peraltro che la situazione esaminata è la meno favorevole, cioè la valutazione è effettuata in favore di sicurezza. Infatti, per calcolare gli indici relativi alla qualità si è considerato il minor grado di diluizione dell'acqua di scarico che può essere adottato nell'ambito delle diverse situazioni che si possono verificare durante l'anno (si veda [Tabella 7](#)).

IMPIANTO DI ALGHERO			
INDICI	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA' DELL'ACQUA DELL'INVASO CUGA	MEDIA
I_{BOD}	1,37	-0,16	0,61
I_{COD}	2,00	-0,08	0,96
I_{SS}	0,36	-0,08	0,14
I_{NH4+}	0,72	0,29	0,51
I_{Ntot}	2,00	-0,13	0,93
I_{Ptot}	1,66	-2,00	-0,17
I_{Cl⁻}	0,74	-0,11	0,32
I_{E.Coli}	-1,87	0,12	-0,87
I_{EC}	1,88	-0,10	0,89
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	0,99	-0,25	0,37

Tabella 8. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.

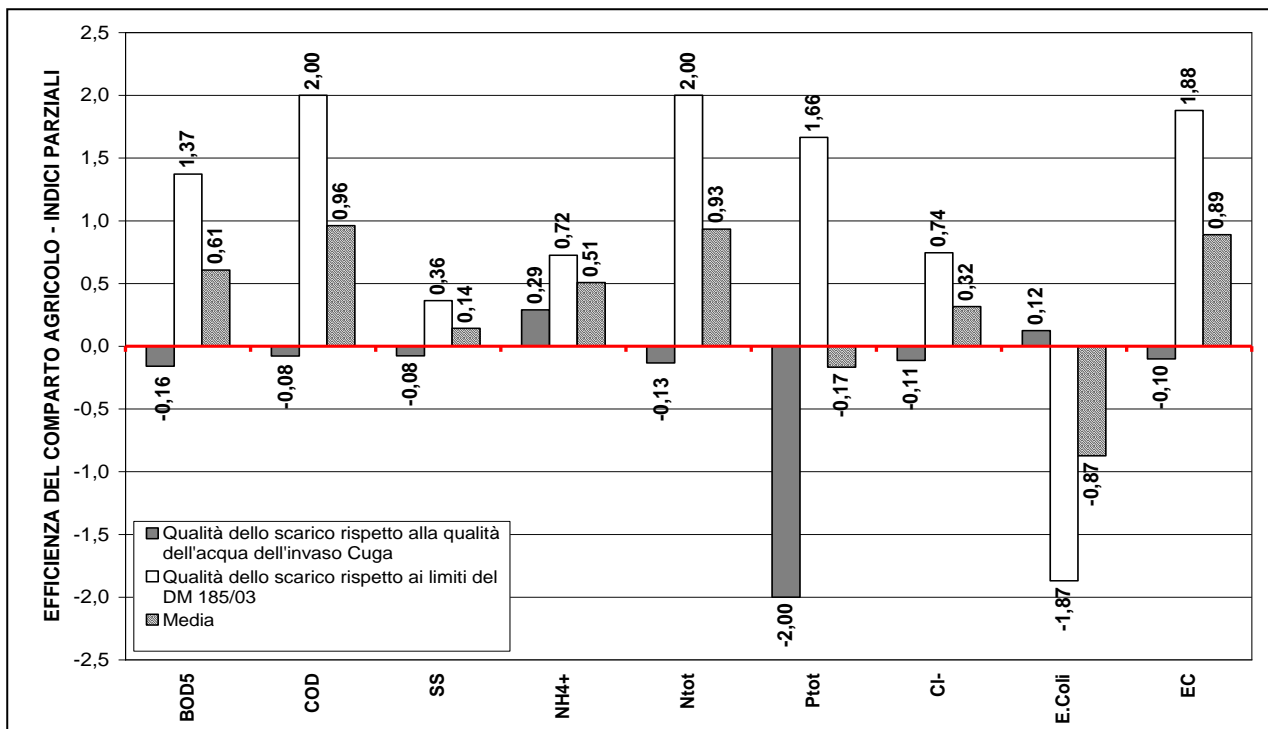


Figura 3. Indici per la valutazione dell' idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo indiretto (dopo miscelazione 1:1 con acqua superficiale): confronto con i limiti di cui al D.M. 185/03, con la qualità dell'acqua oggi prelevata dall'invaso Cuga e valutazione complessiva.

La valutazione finale, per il comparto irriguo (utilizzatore), risulta lievemente positiva:
 $V_u = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot (0,37) = 0,185$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Alghero (SS) evidenzia le seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, il sollevamento dello scarico alla rete irrigua è superiore al costo attualmente riconosciuto ai Consorzi di Bonifica;
- 2) l'impianto dimostra un buon funzionamento, essendo in grado di garantire caratteristiche medie dello scarico compatibili con i limiti del D.M. 185/03 ($V_D = 0,99$);
- 3) l'uso dell'acqua di scarico in aggiunta a quella attualmente disponibile nel canale rappresenterebbe una situazione nel complesso positiva ($V_u = 0,185$).

Secondo le valutazioni svolte, quindi, il riutilizzo risulta praticabile dal punto di vista tecnico, ma non sono soddisfatti i requisiti di convenienza economica. A questo punto intervengono altri fattori, più direttamente connessi con la salvaguardia ambientale, che giustificano la fattibilità dell'operazione, peraltro dimostrata dal fatto che il riuso è già in atto, a partire dal 2010. Gli Enti coinvolti hanno infatti evidenziato, e ritengono questo un aspetto decisivo, che il riutilizzo dei reflui contribuisce al raggiungimento degli obiettivi di tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche, attraverso:

- la limitazione dei prelievi di “risorsa fresca” dalle acque superficiali;
- la riduzione degli impatti degli scarichi sui corpi idrici recettori.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI BACIACAVALLO (PO)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

La linea acque dell'impianto di depurazione è costituita sostanzialmente da: equalizzazione, sedimentazione primaria, ossidazione biologica, sedimentazione secondaria, chiariflocculazione ed ozonizzazione. Il refluo depurato subisce successivamente un affinamento per un riuso industriale costituito da chiariflocculazione, filtrazione ed ossidazione con ozono, per l'abbattimento del colore e dei tensioattivi residui. Inoltre, il contenimento della salinità dell'acqua riciclata si ottiene mediante la miscelazione di quest'ultima con il 30% circa di acqua derivata dal fiume Bisenzio (quando è disponibile) (Valeri et al., 2007).

Uno schema sintetico dell'impianto di affinamento dell'acqua depurata è riportato in [Figura 1](#), dove sono anche indicati i volumi di acqua trattati e distribuiti nel 2010, mentre in [Figura 2](#) è riportata una veduta aerea dell'impianto di depurazione di Baciacavallo.

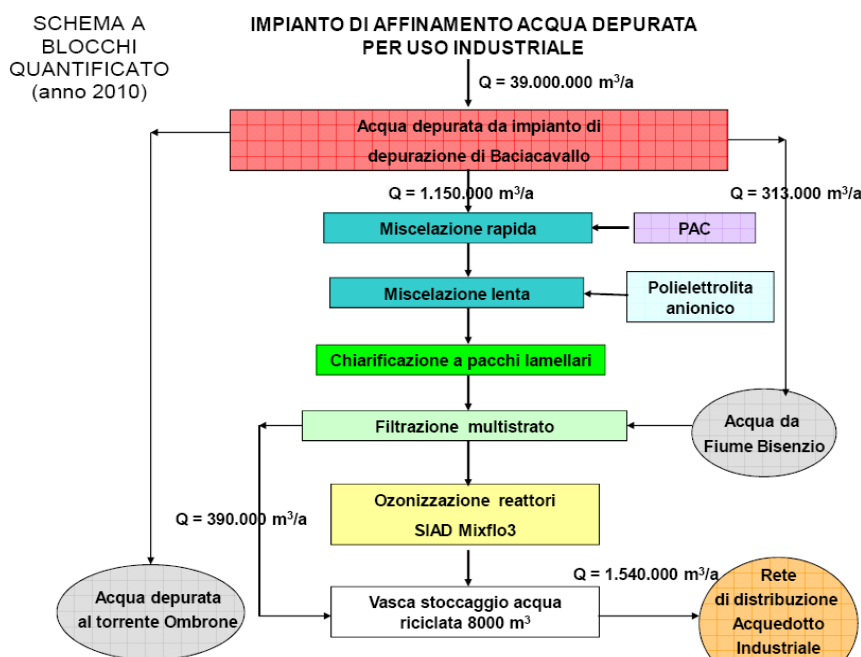


Figura 1. Schema a blocchi dell'impianto di depurazione di Baciacavallo (Prato). Nello schema a blocchi la portata dell'acqua prelevata dal Bisenzio è la stessa di quella restituita fino ad un massimo di 500.000 m³/anno, quindi la quantità prelevata e restituita è pari a 390.000 m³/anno



Figura 2. Veduta aerea dell'impianto di depurazione di Baciacavallo (Prato).

La linea fanghi è composta da ispessimento a gravità, disidratazione meccanica con centrifughe ed incenerimento dei fanghi. Quest'ultima sezione comprende un inceneritore a piani da 100 t/d, provvisto di post combustione, torre di lavaggio dei fumi ad umido, depolveratore a maniche e analizzatore in continuo delle emissioni. I fanghi di risulta del processo depurativo ammontano a circa 24.000-25.000 t/a al 25% di SS, che vengono inceneriti.

Nei giorni feriali l'impianto tratta circa 100.000 m³/d, abbattendo circa 25.000 kg/d di COD e circa 1.000 kg/d di tensioattivi.

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata media in tempo asciutto nel periodo del riutilizzo e le caratteristiche qualitative dell'acqua in ingresso al depuratore e di quella depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata in tempo asciutto è di circa 6.000 m³/d (= 0,069 m³/s), mentre la potenzialità dell'impianto di affinamento è di 5.000.000 m³/anno, di cui quella attualmente richiesta e prodotta è pari a circa 1.500.000 m³/anno.

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dell'acqua recuperata, le Figure 3 e 4 riportano i valori medi registrati nell'anno 2010 per i principali parametri chimico-fisici e microbiologici misurati all'ingresso (uscita depuratore) e all'uscita dell'impianto di affinamento (quest'ultima comprende l'acqua prelevata dal fiume Bisenzio).

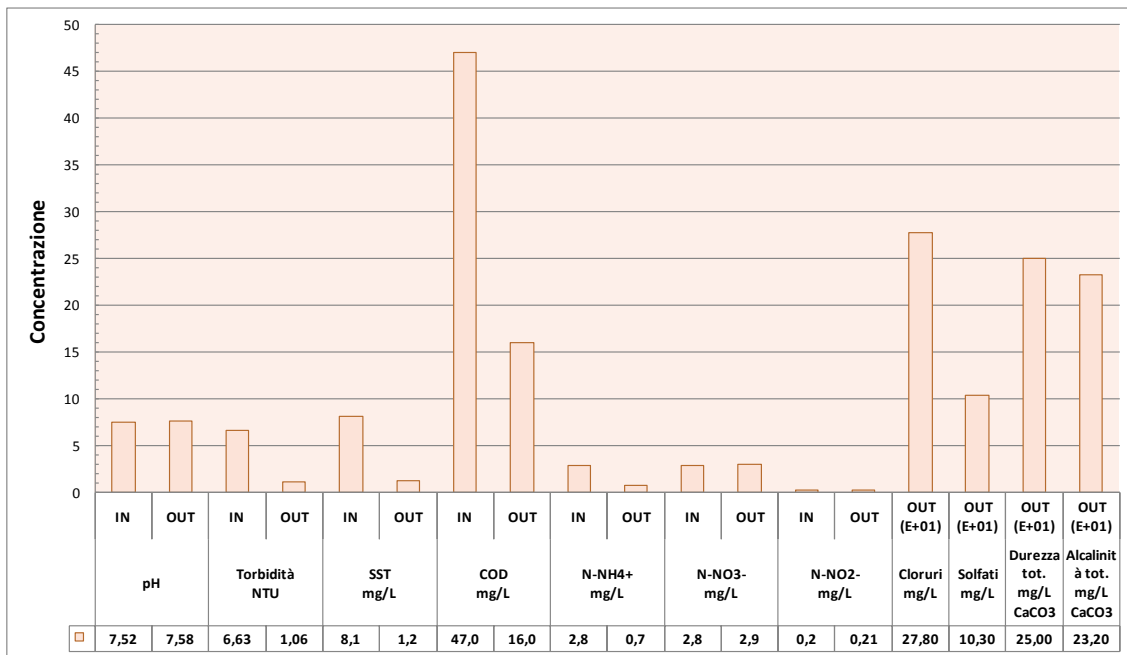


Figura 3. Valori medi per i principali parametri chimico-fisici dell'acqua in ingresso (uscita depuratore) ed in uscita (comprende l'acqua prelevata dal fiume Bisenzio) dall'impianto di Baciacavallo (Prato).

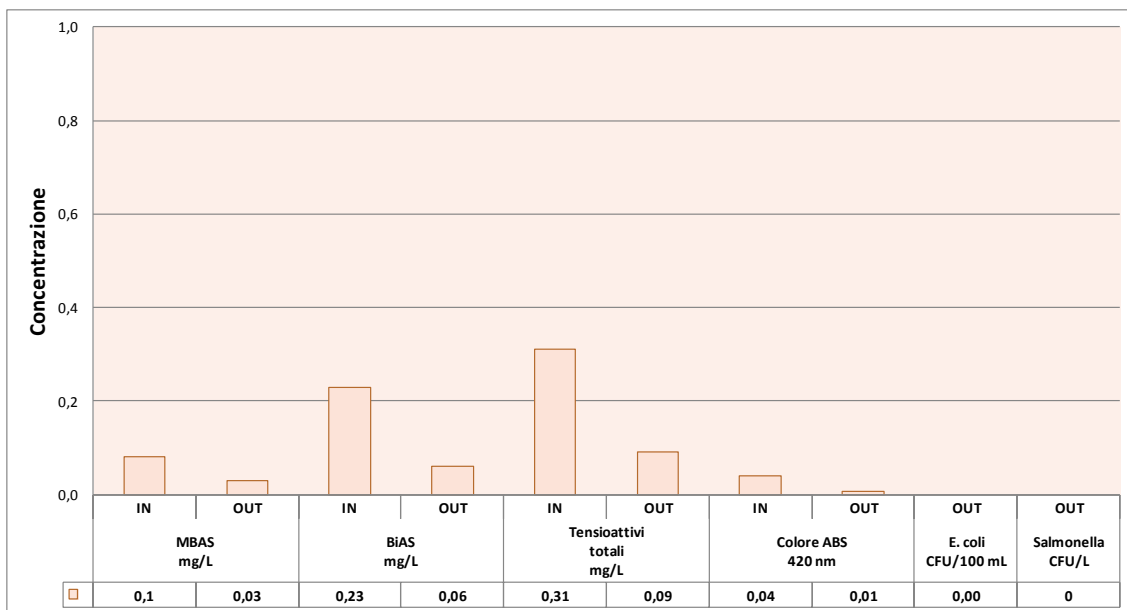


Figura 4. Valori medi per i principali parametri chimico-fisici e microbiologici dell'acqua in ingresso (uscita depuratore) ed in uscita (comprende l'acqua prelevata dal fiume Bisenzio) dall'impianto di Baciacavallo (Prato).

2. L'ACQUEDOTTO INDUSTRIALE DI PRATO

Il Gestore, insieme agli organi istituzionali e ai soggetti interessati ha predisposto un “Piano di produzione e distribuzione comprensoriale di acqua per usi produttivi”. Il progetto prevede il post trattamento di un'aliquota di acqua depurata dall'impianto di Baciacavallo e si pone il fine di garantire una risorsa idrica che, per qualità, quantità e costo rappresenta una soluzione efficiente per le esigenze del sistema produttivo pratese. Attualmente, circa 1.150.000 m³ all'anno di acqua depurata sono affinati dall'impianto di post trattamento gestito da GIDA e circa 2.700.000 m³ da un impianto di post trattamento privato. L'Acquedotto Industriale di Prato è costituito dal depuratore di Baciacavallo, dall'impianto di captazione e di filtrazione di acque superficiali (necessarie a contenere entro limiti accettabili la salinità), per un quantitativo di circa 390.000 m³/a nel 2010 (autorizzazione fino a 500.000 m³/anno), dalla rete di distribuzione cittadina e dalle reti di distribuzione nei due macrolotti industriali.

L'acqua depurata ed affinata dopo essere immessa nella rete dell'acquedotto industriale è utilizzata per:

- uso antincendio: parte dell'acqua nella rete industriale è utilizzata per garantire il servizio antincendio con un fabbisogno idrico prossimo allo zero;
- uso produttivo destinato all'industria tessile pratese (ogni tipo di utilizzo industriale dove è necessaria acqua).

Per quanto riguarda la qualità dell'acqua erogata dal sistema di riutilizzo, i dati sono riportati in [Figura 3 e 4](#).

3. OPERE REALIZZATE PER IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE DI SCARICO DEPURATE

Per consentire il riuso delle acque di scarico è stato realizzato l'impianto di affinamento descritto nel punto 1.

L'acqua depurata ed affinata viene accumulata in due vasche da 4000 m³ ciascuna e successivamente immessa nella rete dell'acquedotto industriale. Tale rete ha una lunghezza di 60 km circa, con collettori aventi diametro compreso tra 200 e 700 mm.

La rete è dotata di 5 pompe con funzionamento automatizzato per mantenere costante la pressione di mandata a 4 bar (normalmente ne funziona una alla volta).

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione e affinamento, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento;
- 2) il sistema idraulico di distribuzione delle acque depurate;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore tessile.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti riportati in [Tabella 1](#), desunti dalle fonti bibliografiche indicate;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie.

PARAMETRI	VALORI DI RIFERIMENTO	FONTE BIBLIOGRAFICA
COD	30 mg/L	Rozzi et al., 1999
SS	10 mg/L	Rozzi et al., 1999
NH₄⁺	2 mg/L	D.M. 185/2003
N_{tot}	30 mg/L	Ferrero e Rovero, 2006
Tensioattivi totali	0,525 mg/L	Rozzi et al., 1999
Cloruri	300 mg/L	Valeri et al., 2007
E. Coli	10 UFC/100 mL	D.M. 185/2003
Durezza	100 mg CaCO ₃ /L	Valeri et al., 2007
Torbidità	5 NTU	U.S.E.P.A, 1992

Tabella 1. Valori di riferimento utilizzati per il calcolo degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa.

Per quanto riguarda il punto 1, l'elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in [Tabella 2](#).

INDICI	IMPIANTO DI BACIACAVALLO
I_{COD}	0,60
I_{SS}	2,00
I_{NH₄⁺}	0,75
I_{N_{tot}}	2,00
I_{Tensioattivi}	2,00
I_{Cl⁻}	0,07
I_{E.Coli}	0,00
I_{Durezza}	-2,00
I_{Torbidità}	2,00
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,82

Tabella 2. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico (dopo affinamento e miscelazione con le acque del fiume Bisenzio).

Si vede come gli indici siano positivi, con l'unica eccezione della durezza, ciò che impone alle aziende utilizzatrici un trattamento di addolcimento.

Per quanto riguarda l'affidabilità di funzionamento dell'impianto, si può ritenere, in prima approssimazione e in assenza di dati più dettagliati, che la stessa sia elevata grazie alla presenza della stazione di affinamento a tale scopo realizzata.

4.2 Il sistema di affinamento e il sistema di distribuzione

Il Gestore ha stimato il costo attuale di produzione (affinamento) e distribuzione dell'acqua pari a poco meno di 0,24 €/m³, mentre il costo dell'acqua all'utente è di 0,135 €/m³. La quota di costo non coperta dall'utilizzatore finale è sostenuta dal sistema integrato di depurazione ed è compensata con una maggiorazione della tariffa di depurazione, distribuita su tutti gli utenti, anche se non usufruiscono dell'acqua depurata distribuita. Ciò garantisce la sostenibilità economica dell'operazione.

4.3 L'utilizzatore: il comparto industriale

Il fabbisogno idrico attuale è soddisfatto con una portata media giornaliera di circa 6.000 m³/d (per 250 d/anno), concentrato prevalentemente dal lunedì al venerdì, dalle ore 6 alle 22, con particolare utilizzo nei mesi di marzo – aprile, giugno-luglio e settembre-ottobre. Ciò equivale a una fornitura attuale di circa 1.500.000 m³/a, a fronte, però, di una potenzialità dell'impianto di affinamento di 4.000.000 m³/a.

Il fattore “disponibilità di risorsa”, in questo caso, non è quindi un aspetto critico; complice la congiuntura economica che ha ridotto la produttività industriale.

Applicando l'indice di valutazione risulta: $y_3 = 0$, perché la disponibilità di acqua depurata non varia di fatto la disponibilità di risorsa idrica, e $y_4 = 0$, perché il fabbisogno coincide con la disponibilità, per un risultato complessivo $I_D = 0$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità si è già visto (v. Tabella 2) che la qualità dell'acqua depurata è compatibile con i limiti di riferimento del settore tessile.

Per quanto riguarda il confronto con la fonte di approvvigionamento alternativa (falda) è stato riferito che la medesima ha una durezza di 400-450 mg CaCO₃/L (Valeri et al., 2007), cioè più elevata rispetto all'acqua di recupero. Ciò porterebbe a un indice positivo che però, in favore di sicurezza, non viene considerato, non essendo disponibili risultati analitici su altri parametri.

Complessivamente, quindi, l'indice I_Q coincide con l'indice $V_D = 0,82$.

La valutazione finale, per il comparto industriale (utilizzatore), risulta positiva:

$$V_u = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot (0,82) = 0,41$$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

L'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Baciacavallo porta alle seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, un particolare meccanismo di tariffazione del servizio di approvvigionamento e depurazione rende sostenibile il riutilizzo delle acque depurate;
- 2) la depurazione, seguita da affinamento e miscelazione con acqua prelevata dal fiume Bisenzio, garantisce un livello di qualità compatibile con il riutilizzo nel settore tessile ($V_D = 0,82$). Il sistema dei trattamenti terziari garantisce anche l'affidabilità di funzionamento e quindi la stabilità delle prestazioni;
- 3) la disponibilità dell'acqua riciclata viene valutata positivamente anche dal punto di vista dell'utilizzatore, in relazione agli aspetti della disponibilità e del livello qualitativo della risorsa ($V_U = 0,41$).

Nel complesso, quindi, il criterio di valutazione adottato, portando ad un giudizio positivo per tutti gli aspetti considerati, conferma la fattibilità del riutilizzo, che, del resto, viene già effettuato da alcuni anni. Va sottolineato, però, che è stato adottato un meccanismo di incentivazione/tariffazione, che distribuisce i costi del riuso anche sugli utenti che non ricorrono a questa opportunità. Ciò si è reso indispensabile per garantire la sostenibilità economica dell'operazione.

6. BIBLIOGRAFIA

Valeri R., Coppini E., Basetti C., Caregnato F., Borchetti F. e Allocca M. (2007). Riutilizzo e riciclo di acqua nell'industria tessile. In: Il trattamento dei reflui industriali e dei rifiuti liquidi, a cura di Claudio Lubello. McGraw-Hill edizioni.

U.S.E.P.A. (1992). Manual guidelines for water reuse, EPA625/R-92/004. Cit. in: Fiore S. (2006). Caratteristiche e problematiche delle acque utilizzate in diversi processi industriali. 32° Giornata di Studio in Ingegneria Sanitaria Ambientale, Torino, 14/7/2006.

Ferrero F. e Rovero G. (2006). Trattamento delle acque e riduzione dei consumi nell'industria tessile. 32° Giornata di Studio in Ingegneria Sanitaria Ambientale, Torino, 14/7/2006.

Rozzi A., Malpei F., Bonomo L., Bianchi R. (1999). Textile wastewater reuse in northern Italy (COMO). *Water Science and Technology*, Volume 39, Issue 5, pp. 121-128.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI CREMONA

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'impianto di depurazione di Cremona è di tipo biologico e tratta reflui di origine urbana per il 60% e di origine industriale per il 40% (l'impianto è autorizzato al trattamento di rifiuti liquidi e fanghi).

Il sistema fognario convoglia sia le acque reflue della città di Cremona, sia quelle provenienti dai comuni limitrofi, per i quali è in corso il progressivo collettamento al sistema di depurazione centralizzato.

Il collettamento dovrebbe riguardare in tutto sedici comuni; attualmente ne risultano serviti dal depuratore, oltre a Cremona, otto: Bonemerse, Castelverde, Gadesco Pieve Delmona, Gerre de' Caprioli, Malagnino, Pieve d'Olmi, Spinadesco, Stagno L.do. Sono in fase di avviamento Sesto, Grumello e Acquanegra e sono in fase di appalto Persico, Olmenetta, Corte de' Frati e Pozzaglio.

L'impianto è di tipo convenzionale a fanghi attivi ed ha una potenzialità di progetto di 180.000 A.E.; è in funzione dal 1985 ed ha subito nel tempo una serie di modifiche strutturali ed impiantistiche. La configurazione attuale (Figura 1) prevede tre linee operanti in parallelo; in particolare la terza linea è entrata in funzione nel 2003, per far fronte al progressivo incremento dei carichi.

I dati di progetto sono:

- portata media (Q_d): 51.000 m³/d;
- portata massima (Q_{max}): 5.600 m³/h;
- carico di BOD₅: 10.800 kg/d (3.600 kg/d per ogni linea).

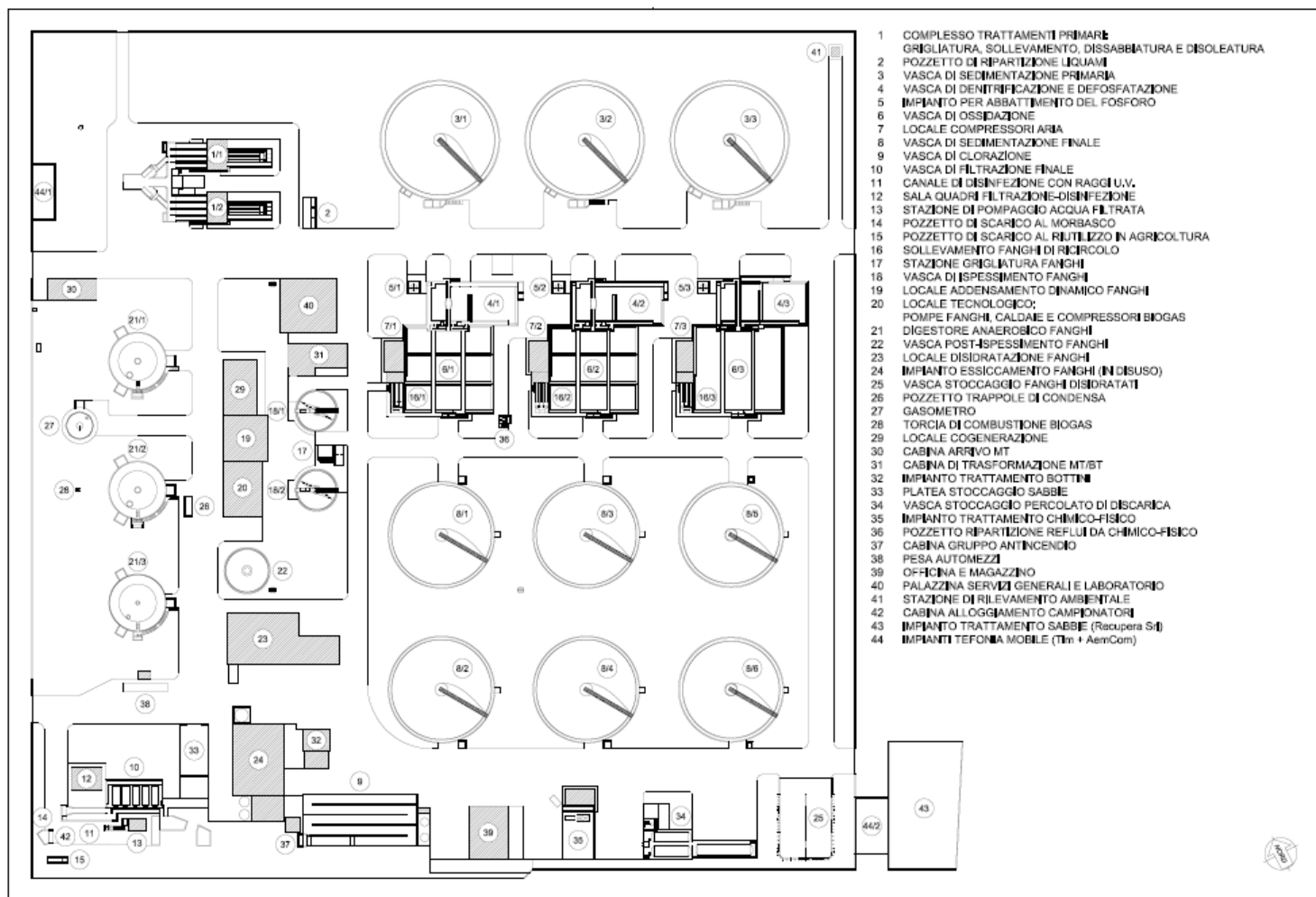


Figura 1. Planimetria dell'impianto di Cremona (configurazione precedente all'ampliamento della denitrificazione).

Dal gennaio 2003 (data di entrata in funzione della terza linea) ad oggi l'impianto ha subito alcune modifiche, in particolare si segnala, per quanto riguarda la linea acque:

1. l'entrata in funzione dei trattamenti terziari (filtrazione e disinfezione con UV) nel 2006;
2. l'adeguamento delle vasche di denitrificazione e nitrificazione nel 2008/2009;
3. l'inserimento della defosfatazione chimica.

La linea acque dell'impianto ([Figura 2](#)), attualmente, prevede i seguenti trattamenti:

- grigliatura;
- sollevamento;
- dissabbiatura/disoleatura;
- sedimentazione primaria;
- predenitrificazione;
- ossidazione-nitrificazione;
- sedimentazione secondaria;
- clorazione;
- filtrazione;
- disinfezione UV.

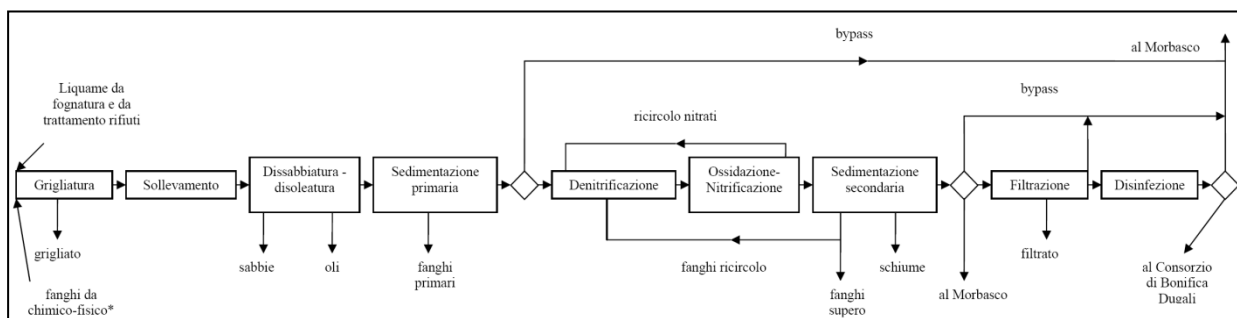


Figura 2. Schema a blocchi della linea di trattamento acque.

Attualmente le due fasi di trattamento terziario sono state realizzate per trattare metà della portata in arrivo in tempo di pioggia ($2.800 \text{ m}^3/\text{h}$), con possibilità di raddoppio di entrambe in modo da convogliare l'intera portata sollevata dalle coclee in testa al depuratore ($5.600 \text{ m}^3/\text{h}$).

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche dei principali comparti.

- Sedimentazione primaria: 3 vasche circolari caratterizzate, ciascuna, dalle seguenti dimensioni: superficie = 907 m^2 ; volume = 2.902 m^3 (superficie totale = 2.721 m^2 ; volume totale = 8.706 m^3).

-
- Comparto aerobico+anossico: costituito da tre linee operanti in parallelo, ognuna costituita da una vasca di predenitrificazione e da tre vasche di nitrificazione (a loro volta in parallelo) aventi le seguenti caratteristiche:
 - denitrificazione: superficie = 370 m²; volume = 1.530 m³ (linee 1 e 2); superficie = 370 m²; volume = 1.628 m³ (linea 3);
 - ossidazione-nitrificazione (9 vasche – tre per linea): superficie = 729 m² e volume = 2.808 m³ (linee 1 e 2); superficie = 729 m² e volume = 3.536 m³ (linea 3).
 - Sedimentazione secondaria: 6 vasche caratterizzate, ciascuna, dalle seguenti dimensioni: superficie = 707 m²/cad; volume = 1.770 m³/cad.
 - Ricircolo del fango biologico: per il ricircolo del fango sono presenti 2 coclee per ogni linea da 400 m³/h ciascuna (normalmente risulta funzionante una sola coclea per linea);
 - Ricircolo della miscela aerata in denitrificazione: ogni linea è equipaggiata con una pompa da 1.000 m³/h;

La linea fanghi prevede i seguenti trattamenti:

- grigliatura;
- addensamento e/o pre-ispessimento;
- digestione anaerobica;
- post-ispessimento;
- disidratazione meccanica;
- essiccamento termico.

Attualmente la fase di essiccamento termico risulta disattivata.

La linea fanghi viene alimentata, oltre che con il fango primario e di supero, anche con i fanghi conferiti da clienti industriali o da altri impianti di depurazione

L'impianto è anche dotato di una stazione di pre-trattamento dei rifiuti liquidi. Il trattamento è di tipo chimico-fisico convenzionale.

1.2 Dati gestionali

➤ *Portate*

Nella Figura 3 è riportato l'andamento della portata media giornaliera in uscita dall'impianto di depurazione. In particolare, i valori di portata nel diagramma comprendono, oltre al liquame fognario, anche i rifiuti liquidi pre-trattati e scaricati in fognatura e le acque di ricircolo dalla linea fanghi. Peraltro tali quantitativi sono trascurabili rispetto al refluo fognario (nel 2009 il volume di rifiuti ammontava a circa 38.800 m³, pari a circa 150 m³/d per 5 giorni alla settimana).

Nella Figura 3 sono state eliminate le portate corrispondenti ai giorni piovosi, ai periodi di funzionamento anomali, ai giorni di sabato e domenica.

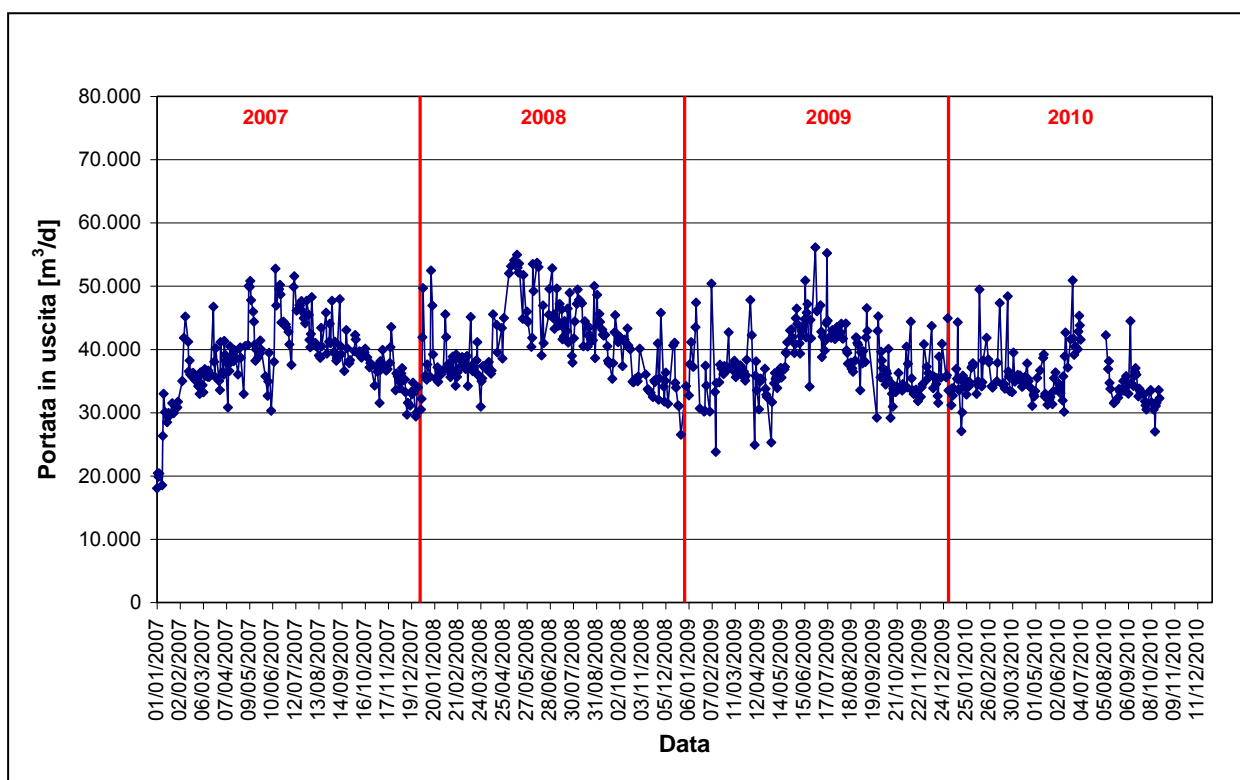


Figura 3. Andamento della portata in uscita dall'impianto di depurazione di Cremona.

Analizzando l'andamento della portata, si possono individuare, per ciascun anno, un periodo invernale ed uno estivo, nel quale la portata media assume, rispettivamente, un valore inferiore ed uno superiore.

Nella Tabella 1 sono indicate le portate medie rilevate nei due periodi di riferimento di ogni anno. Le medie di tali dati assumono un valore pari a 35.634 m³/d, nel periodo invernale, e 41.857 m³/d, nel periodo estivo.

PERIODI DI RIFERIMENTO		PORTATA MEDIA [m ³ /d]
2007	Febbraio – Maggio	38.558
	Giugno – Settembre	42.771
2008	Gennaio – Aprile	38.226
	Giugno – Settembre	44.002
2009	Gennaio – Aprile	35.977
	Giugno – Settembre	41.857
2010	Gennaio – Aprile	35.634
	Giugno – Luglio	42.525

Tabella 1. Portate medie rilevate nei periodi invernali ed estivi di ciascun anno.

Nella Tabella 2 sono inoltre riportati, per i periodi estivi di ciascun anno, il 75° ed il 95° percentile.

PERIODI DI RIFERIMENTO		PORTATA [m ³ /d]
2007	75° percentile	46.183
	95° percentile	49.832
2008	75° percentile	46.821
	95° percentile	52.125
2009	75° percentile	44.031
	95° percentile	47.042
2010	75° percentile	43.320
	95° percentile	48.131

Tabella 2. Valori al 75° ed al 95° percentile calcolati nei periodi estivi di ciascun anno.

I dati sono piuttosto regolari. In particolare, sono molto simili i dati del 2008 e del 2009. Da questi si possono dedurre i seguenti valori di riferimento:

- portata media invernale: 36.000 m³/d;
- portata media estiva: 42.000 m³/d (75° percentile: 44.000 m³/d; 95° percentile: 48.000 m³/d).

➤ *Principali parametri chimici*

Nelle Figure 4 - 11 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere in uscita dall'impianto dei parametri COD, BOD₅, NH₄⁺, N-NH₄⁺/N_{tot}, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N_{tot} e P_{tot}. Sono riportati inoltre i limiti allo scarico (alcuni dei quali variati dal 01/01/2009, a seguito dell'entrata in vigore del Regolamento Regionale n. 3/2006).

Analizzando i grafici si nota che:

- le concentrazioni di COD e BOD₅ in uscita dall'impianto sono molto basse; nel 2010, inoltre, sono diminuiti i valori medi annuali. È evidente, nel 2009, il periodo in cui sono stati effettuati gli interventi che hanno richiesto il funzionamento parziale dell'impianto, ciò che ha causato l'incremento delle concentrazioni in uscita. Si rileva anche per il 2010 il sostanziale rispetto dei limiti che saranno in futuro adottati (60 mgCOD/L e 10 mgBOD₅/L).
- La concentrazione in uscita di azoto totale nel biennio 2009 – 2010, rispetto agli anni precedenti, è diminuita: si è passati da un valore medio, nel 2007 – 2008, di circa 14 mg/L a valori pari a 10,1 e 9,3 mg/L nei due anni successivi. In effetti, bisogna sottolineare il fatto che nel 2008 – 2009 sono stati effettuati lavori di adeguamento delle vasche di denitrificazione e ossidazione, proprio al fine di aumentare i rendimenti di rimozione dell'azoto, in seguito all'introduzione dei limiti allo scarico in area sensibile stabiliti dalla Regione a partire dal 2009.
- L'ammonio presenta concentrazioni in uscita basse; nel 2010 il valore medio è ulteriormente diminuito portandosi ad un valore medio annuale pari a 0,7 mg/L. Come già osservato per il COD ed il BOD₅, si vedono chiaramente gli effetti negativi sull'efficienza di nitrificazione della parzializzazione dei comparti aerati nei primi mesi del 2009.
- Anche le concentrazioni di azoto nitrico e nitroso sono diminuite nel biennio 2009 – 2010. L'azoto nitroso indica, a partire da maggio-giugno 2009, una condizione molto più stabile dei comparti di nitrificazione e denitrificazione.

- A partire dal 2009, il rapporto tra le concentrazioni in uscita di azoto ammoniacale e di azoto totale si mantiene inferiore a 0,3 (limite indicato nel Regolamento Regionale 3/2006), ad eccezione di qualche superamento, soprattutto nel periodo iniziale del 2009, dovuto agli interventi di manutenzione sulle linee 1 e 2.
- La concentrazione di fosforo totale, negli ultimi due anni di monitoraggio, è diminuita in seguito all'inserimento della defosfatizzazione chimica.

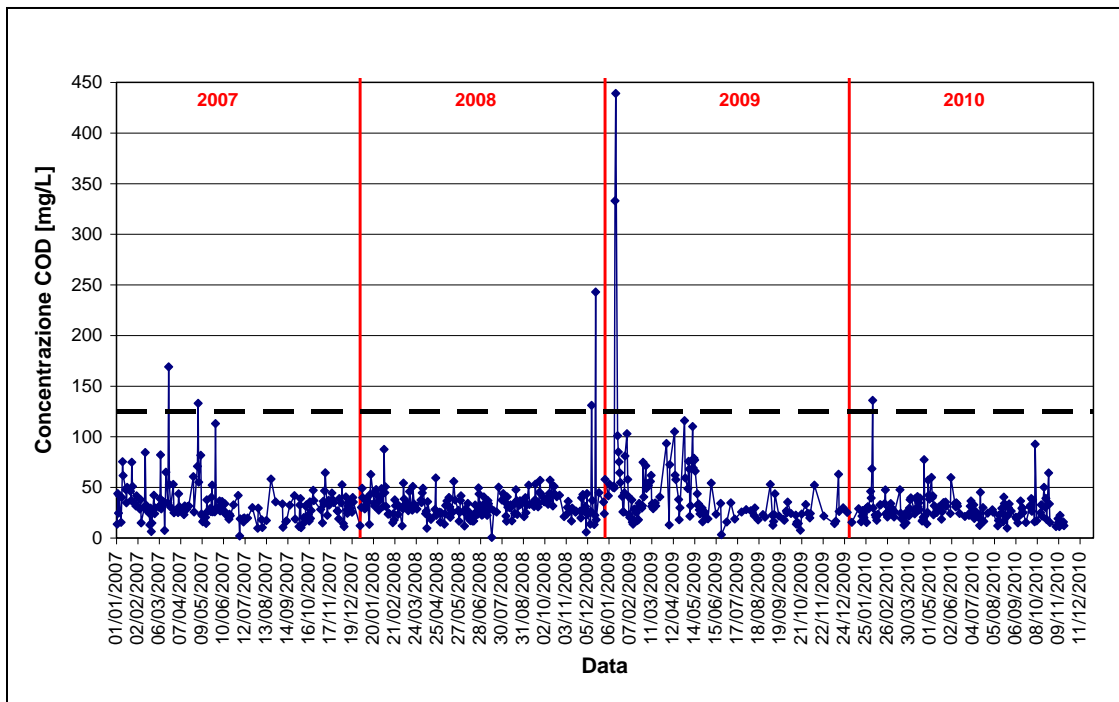


Figura 4. Andamento della concentrazione di COD in uscita dall'impianto.

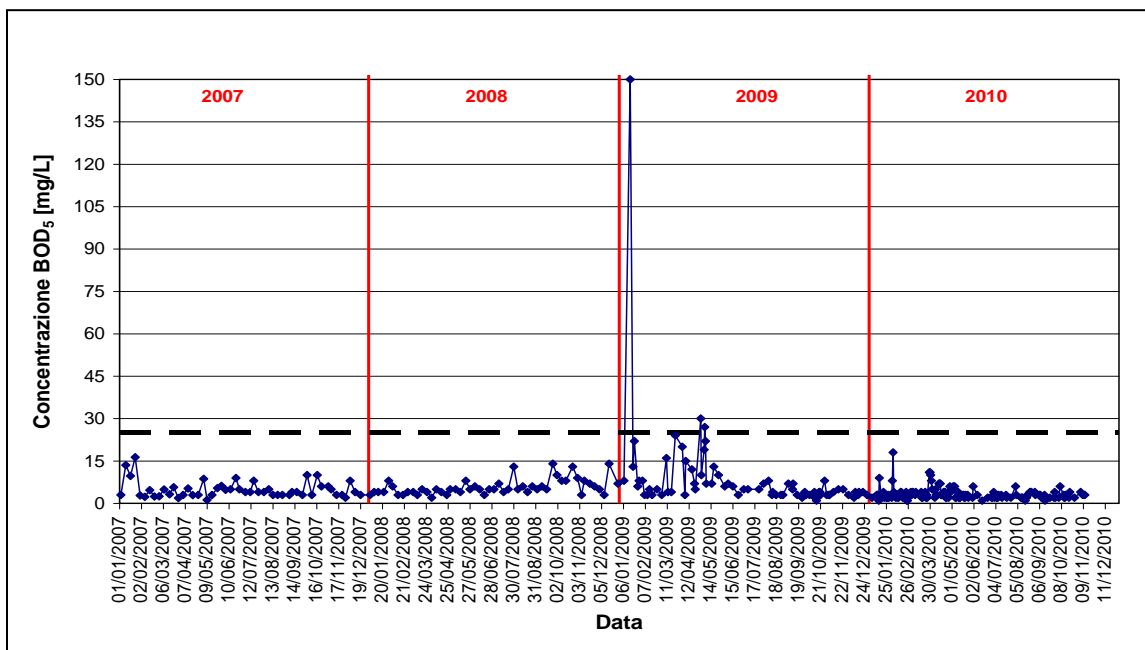


Figura 5. Andamento della concentrazione di BOD₅ in uscita dall'impianto.

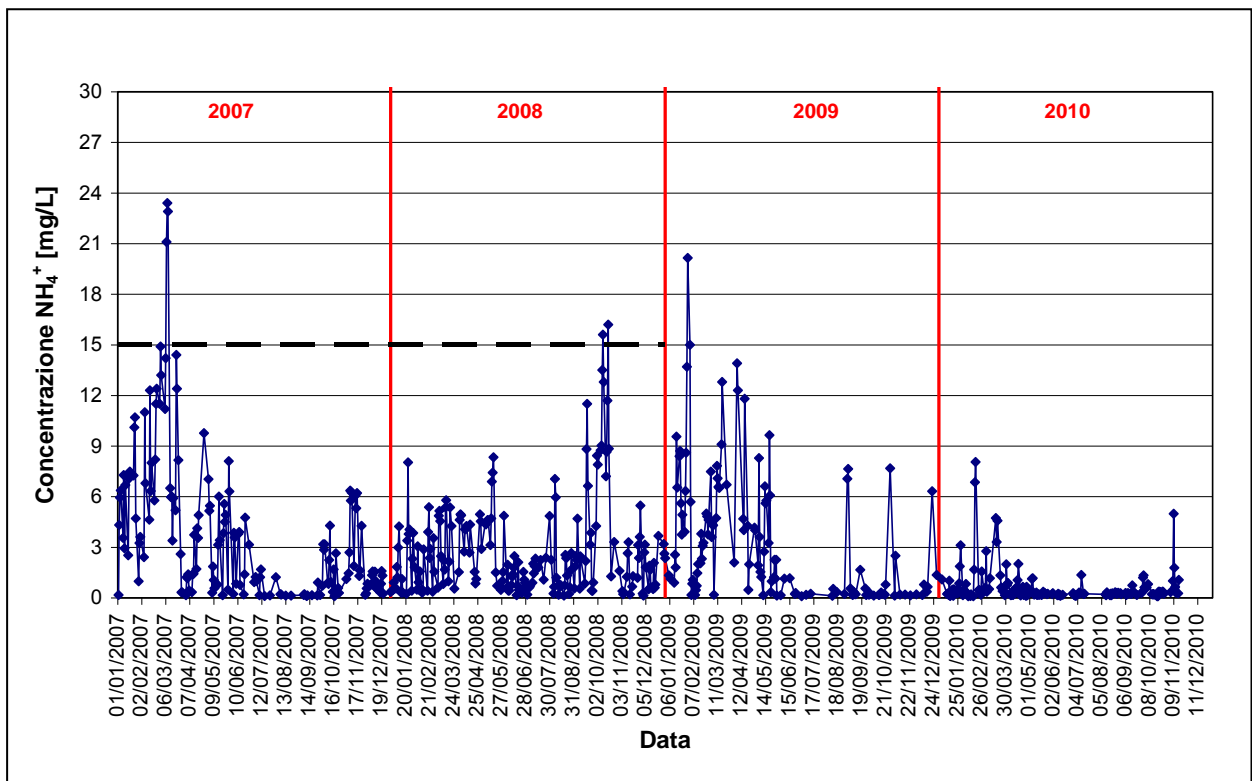


Figura 6. Andamento della concentrazione di NH_4^+ in uscita dall'impianto.

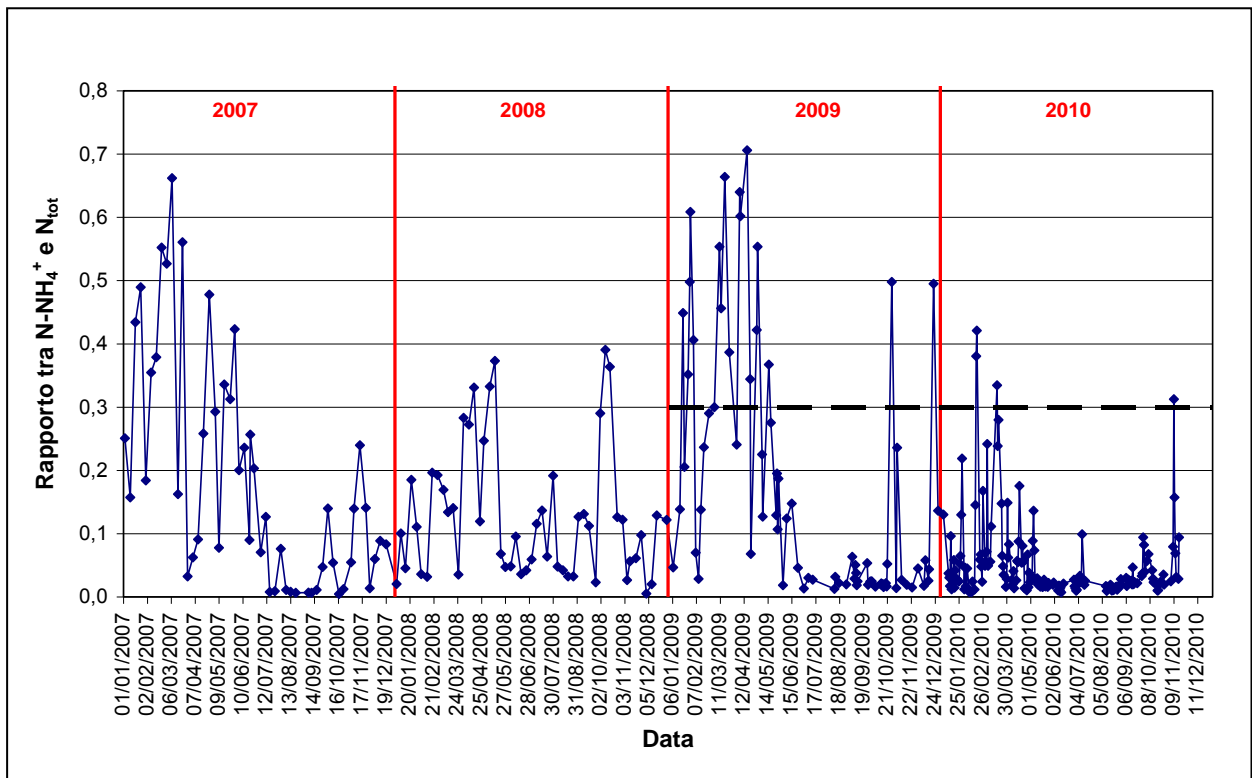


Figura 7. Andamento del rapporto tra la concentrazione di N-NH_4^+ ed N_{tot} in uscita dall'impianto.

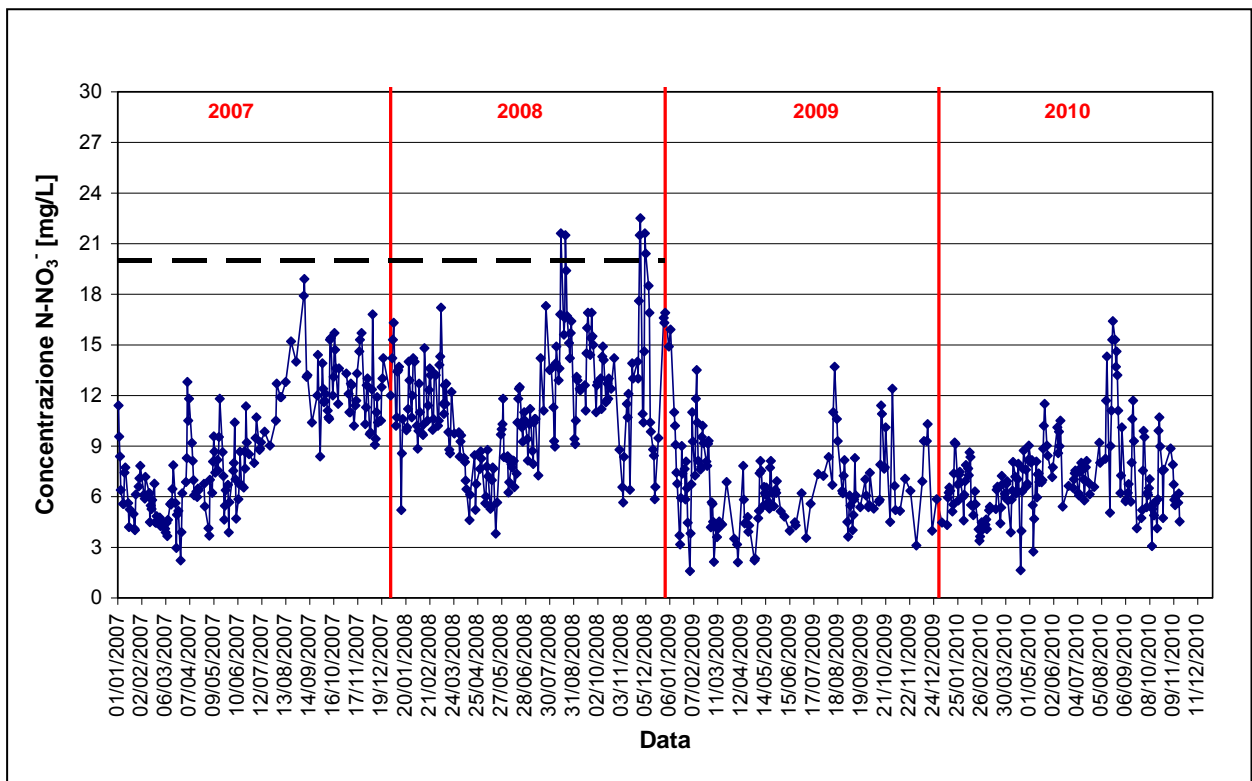


Figura 8. Andamento della concentrazione di N-NO₃⁻ in uscita dall'impianto.

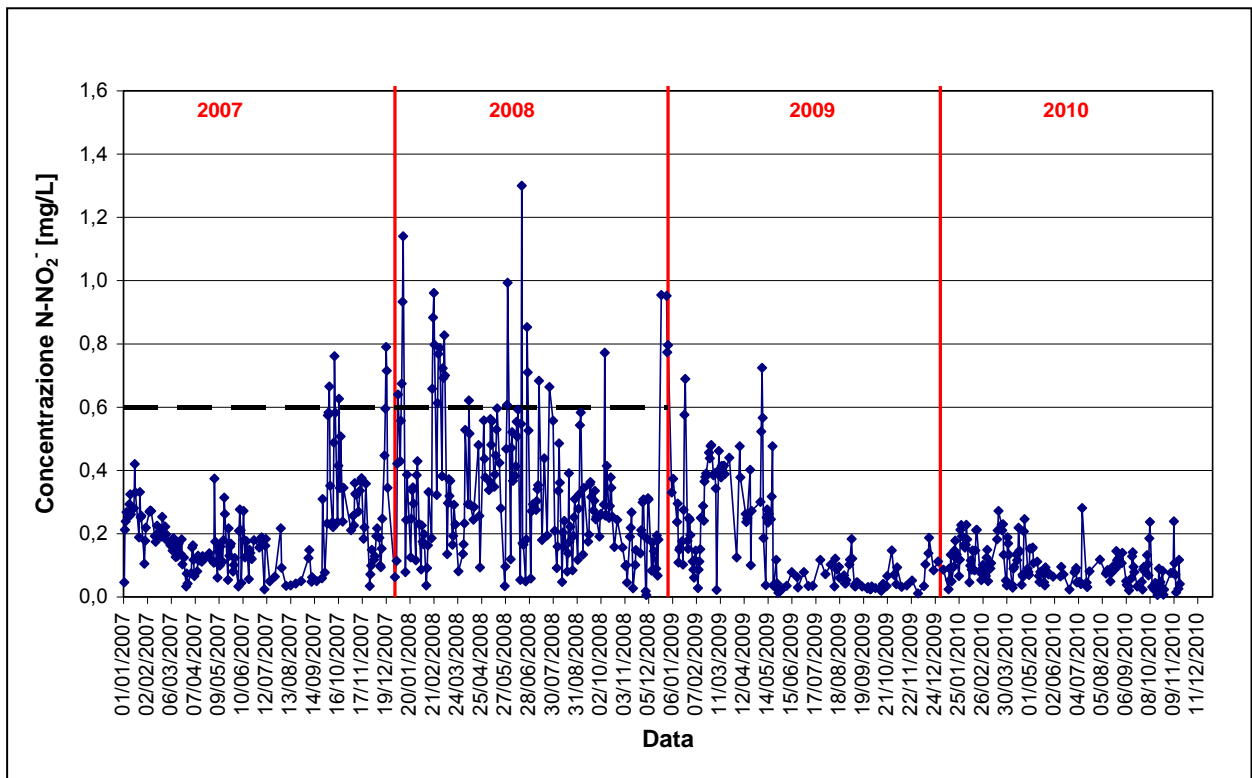


Figura 9. Andamento della concentrazione di N-NO₂⁻ in uscita dall'impianto.

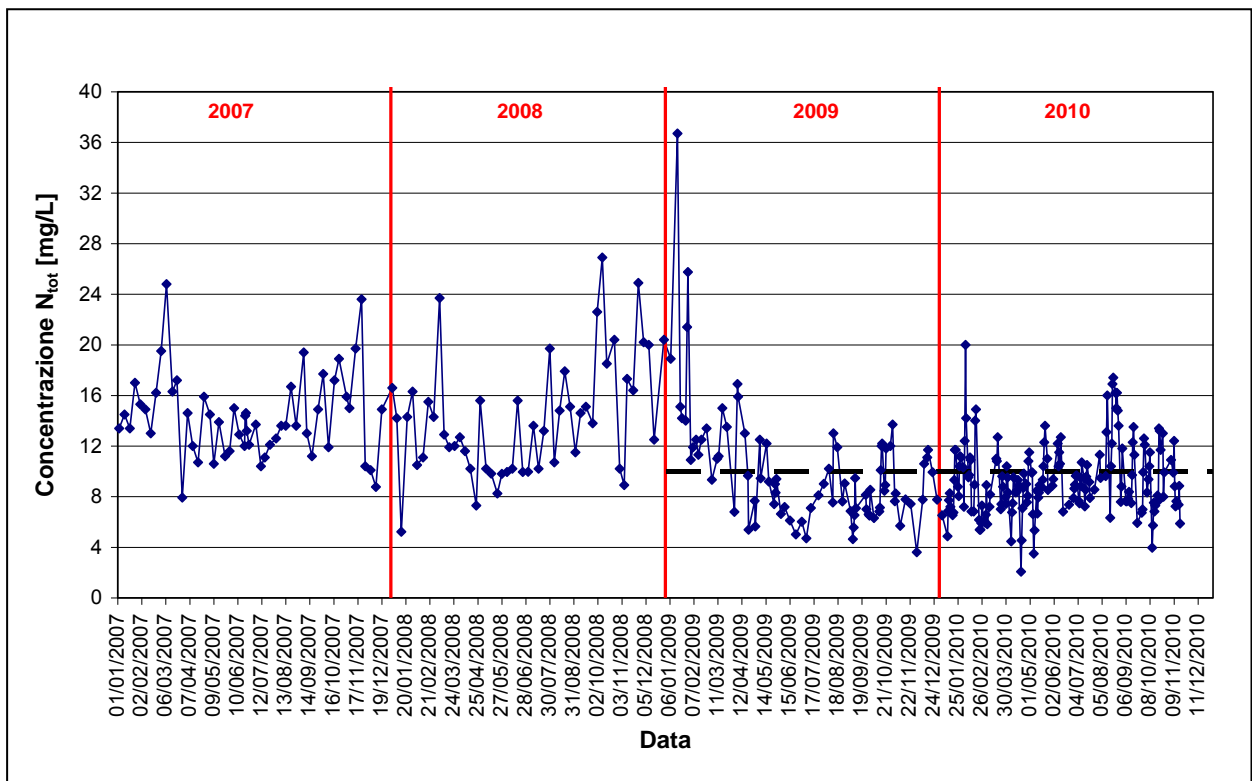


Figura 10. Andamento della concentrazione di N_{tot} in uscita dall'impianto.

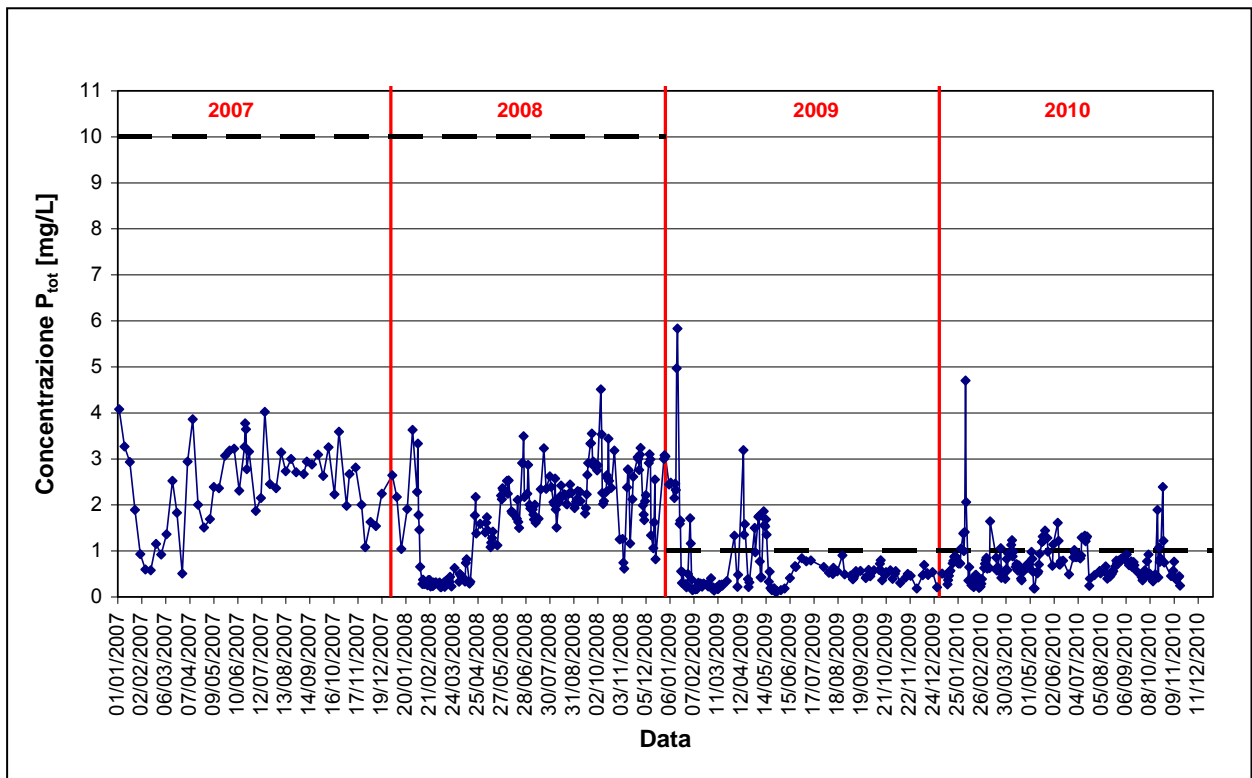


Figura 11. Andamento della concentrazione di P_{tot} in uscita dall'impianto.

Nella Tabella 3 sono evidenziati, per tutti i parametri riportati in precedenza, i superamenti del limite allo scarico in rapporto al numero di analisi disponibili; tale elaborazione è stata fatta per ciascun anno di monitoraggio.

Si osserva che i superamenti dei limiti sono sporadici (l'unica eccezione è rappresentata dall'ammonio agli inizi del 2009, in seguito agli interventi di manutenzione straordinaria sui comparti di ossidazione), quindi decisamente trascurabili. Per azoto totale e fosforo totale, occorre considerare (a partire dal 2009) la media annua. Nel 2009, i valori medi annuali si attestano rispettivamente a 10,15 e 0,7 mg/L, mentre nel 2010 a 9,29 e 0,75 mg/L.

PARAMETRO	ANNO DI MONITORAGGIO			
	2007	2008	2009	2010 ^
COD	1,2% (168*)	1% (201)	1,6% (128)	0,6% (161)
BOD₅	0% (51)	0% (52)	3,8% (78)	0% (145)
NH₄⁺	1,9% (162)	1% (200)	21,8% (78)	2,5% (160)
N-NO₃⁻	0% (172)	3% (202)	-	-
N-NO₂⁻	2,9% (171)	13,4% (202)	-	-
P_{tot}	0% (54)	0% (174)	-	-

* per il calcolo di tale valore è stato eliminato un dato di concentrazione palesemente errato.

^ fino al mese di ottobre.

Tabella 3. *Superamenti del limite allo scarico in rapporto al numero di analisi disponibili (valori espressi in percentuale; tra parentesi il numero di analisi effettuate).*

Nelle Tabelle 4 e 5 sono riportati i risultati dei campionamenti condotti da ARPA e dal Gestore durante la “Sperimentazione delle procedure per il rilascio dell’autorizzazione allo scarico delle acque reflue depurate per il loro riutilizzo in agricoltura” (Progetto Riuso, ottobre 2010).

Osservando i risultati analitici si evince in particolare che in nessun caso i valori di cloruri o di boro risultano eccessivi e quindi potenzialmente tossici.

Per quanto riguarda le analisi microbiologiche, non appaiono critiche le condizioni rilevate sulle acque reflue depurate dell’impianto di Cremona: sebbene le analisi condotte dal Dipartimento ARPA di Cremona evidenzino un caso di superamento del limite massimo puntuale, il limite di 10 UFC/100 mL viene rispettato in più dell’80% dei campioni. Per contro, le analisi condotte dal Gestore dell’impianto di depurazione mostrano una situazione leggermente più negativa in quanto tale limite viene rispettato nel 33% dei campionamenti (stagione irrigua). In nessun caso si riscontra la presenza di salmonella.

Per quanto concerne infine il parametro SAR, si osserva che i valori medi ottenuti sperimentalmente ricadono nella classe di “pericolo nullo”, ovvero SAR < 3 (Tabella 9).

Relazionando i valori medi ottenuti per la conducibilità specifica (EC) con questa classe di SAR, si evince che essi ricadono nelle aree a “pericolo nullo”.

P.P.	LAB. ANALISI	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa)	VALORE MEDIO (NR. CAMPIONI)	Q media giornaliera [m³/d]	BOD5 [mg/L] O ₂	COD [mg/L] O ₂	Solidi sospesi totali [mg/L]	Fosforo totale [mg/L] P	Azoto totale [mg/L] N	pH	Temperatura (°C)	Cloro attivo libero [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	Cl [mg/L]	F [mg/L]	N-NH ₄ [mg/L]	N-NO ₃ [mg/L]	Idrocarburi totali [mg/L]	Tensioattivi (totale) [mg/L]	Solventi clorurati [mg/L]	SAR	Cond. (us/cm) 20°C	
				DM 185/03	20	100	<10	2	<15			<0,2	<500	<250	<1,5	<2		<0,05	<0,5	<0,04	10	3000	
				D.Lgs. 152/06, * R.R. 03/06 Tab. 6	≤25	≤125	≤35	* 1 (BG-CR)	* 10 (BG-CR)			≤0,2	≤1000	≤1200	≤6	≤15	≤20	≤5	≤2	≤1			
								* 2 (MI)	* 15 (MI)														
Uscita dep. Cremona	ARPA-CR	02/09-04/10	INTERO PERIODO (8)		6	21	9	0,5	5,9	7,7		0,03	42	67		0,8	4,4	0,03	0,2	0,0004		730	
		06/09-08/09	ST. IRRIGUA (2)		6	18	8	0,6	6,4	7,7		0,03	48	60		0,2	5,0	0,03	0,0	0,0001		806	
	AEM CR	04/09-05/10	INTERO PERIODO (23)	39,010	4	20	6	0,5	7,3	7,8	20,2		49	83	0,1	0,6	5,8	0,03	0,4	0,0500	2,7	821	
		05/09-09/09	ST. IRRIGUA (9)	45,257	5	21	7	0,5	7,8	7,8	24,0		54	83	0,1	0,5	6,4	0,03	0,4		2,7	865	
P.P.	LAB. ANALISI	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa)	VALORE MEDIO (NR. CAMPIONI)	Q media giornaliera [m³/d]	Al [mg/L]	As [mg/L]	Ba [mg/L]	B [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cr-VI [mg/L]	Fe [mg/L]	Mn [mg/L]	Hg [mg/L]	Ni [mg/L]	Pb [mg/L]	Cu [mg/L]	Se [mg/L]	Sn [mg/L]	Zn [mg/L]	salmonella (pres. camp.)	E.Coli [UJFC/100 ml]	
				DM 185/03	<1	<0,02	<10	<1	<0,005	<0,1	<0,005	<2	<0,2	<0,001	<0,2	<0,1	<1	<0,01	<3	<0,5	0	10'100	
				D.Lgs. 152/06	≤1	≤0,5	≤20	≤2	≤0,02	≤2	≤0,2	≤2	≤2	≤0,005	≤2	≤0,2	≤0,1	≤0,03	≤10	≤0,5		5000	
Uscita dep. Cremona	ARPA-CR	02/09-04/10	INTERO PERIODO (8)		0,043	0,067 ²			0,031 ²	0,063		0,04	0,02		0,06	0,06	0,064			0,031	0/1	24	
		06/09-08/09	ST. IRRIGUA (2)		0,051	0,006			0,000	0,001		0,03	0,01		0,00	0,00	0,001			0,018	0/0	5	
	AEM CR	04/09-05/10	INTERO PERIODO (23)	39,010	0,154	0,020	0,03	0,10	0,001	0,003	0,005	0,06	0,03	0,0003	0,01	0,00	0,005	0,001	0,003	0,035	0/5	176	
		05/09-09/09	ST. IRRIGUA (9)	45,257	0,140	0,021 ²	0,03	0,11	0,001	0,003	0,005	0,04	0,01	0,0003	0,01	0,00	0,003	0,001	0,003	0,038	0/4	184	

SUPERAMENTI	
DM 185/03	
D.Lgs. 152/06 oppure	R.R. 03/06
entrambi	

SALMONELLA	
NI: Non Richiesta	0: ASSENTE
NE: Non Eseguita	1: PRESENTE
nd: non disponibile	

Tabella 4. Valori medi dei parametri ricercati nelle acque di scarico dell'impianto di depurazione di Cremona durante la sperimentazione condotta da ARPA ad ottobre 2010 (ARPA e Gestori).

LAB. ANALISI	Data prelievo	s. attore (n°)	E.Coli (UFC/100 ml)
	DM 185/03	0	70700
	D.Lgs. 152/06		5000
Dip. ARPA Cremona	17/03/2009	N.R.	< 10
Dip. ARPA Cremona	21/04/2009	N.R.	< 10
Dip. ARPA Cremona	23/06/2009	N.R.	< 10
Dip. ARPA Cremona	11/08/2009	N.R.	< 10
Dip. ARPA Cremona	13/10/2009	N.E.	160
Dip. ARPA Cremona	01/12/2009	0	< 10
Dip. ARPA Cremona	23/02/2010	N.E.	< 10
Dip. ARPA Cremona	19/04/2010	N.E.	< 10
VALORE MEDIO INTERO PERIODO			24
CASI DI RISPETTO			1/0
VALORE MEDIO ST. IRRIGUA			8
CASI DI RISPETTO			0/0
			100%
AEM CR	21/04/2009	N.R.	5
AEM CR	25/05/2009	N.R.	97
AEM CR	08/06/2009	N.R.	0
AEM CR	23/06/2009	N.R.	1
AEM CR	13/07/2009	N.R.	42
AEM CR	30/07/2009	0	153
AEM CR	11/08/2009	0	1
AEM CR	27/08/2009	0	143
AEM CR	10/09/2009	0	420
AEM CR	24/09/2009	N.E.	800
AEM CR	19/10/2009	N.E.	129
AEM CR	16/11/2009	0	1100
AEM CR	01/12/2009	N.E.	0
AEM CR	22/12/2009	N.E.	22
AEM CR	11/01/2010	N.E.	N.E.
AEM CR	25/01/2010	N.E.	83
AEM CR	08/02/2010	N.E.	N.E.
AEM CR	23/02/2010	N.E.	0
AEM CR	08/03/2010	N.E.	N.E.
AEM CR	29/03/2010	N.E.	N.E.
AEM CR	19/04/2010	N.E.	0
AEM CR	26/04/2010	N.E.	N.E.
AEM CR	10/05/2010	N.E.	N.E.
VALORE MEDIO INTERO PERIODO			176
CASI DI RISPETTO			5/5
VALORE MEDIO ST. IRRIGUA			184
CASI DI RISPETTO			4/5
			33%

Nota: le caselle evidenziate indicano il superamento del limite imposto dal D.M. 185/2003.

Tabella 5. Dati analitici microbiologici relativi alle acque reflue urbane depurate dell'impianto di Cremona (ARPA, 2010).

USCITA Impianto di CR			USCITA DEPURATORE		
Lab. Analisti AEM CR			SAR	EC [$\mu\text{S}/\text{m}$]	EC [dS/m]
data	SAR	EC [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Cremona		
21/04/09	1,9	493			
25/05/09	2,9	937			
09/06/09	2,9	793			
23/08/09	2,9	793			
13/07/09	2,5	793			
30/07/09	3,0	967			
11/08/09	2,2	778			
12/08/09	2,2	808			
27/08/09	2,9	903			
10/09/09	3,7	927			
24/09/09	3,0	912			
16/11/09	2,9	798			
01/12/09	2,3	580			
22/12/09	4,4	1193			
11/01/10	1,5	447			
25/01/10	3,2	1003			
09/02/10	2,5	719			
23/02/10	2,9	754			
09/03/10	2,9	768			
23/03/10	3,3	1074			
19/04/10	1,9	548			
26/04/10	3,1	873			
10/05/10	2,9	882			
media	2,7	812,7			

* stagione non irrigua




SAR	EC
 Pericolo nullo	 Pericolo nullo
	 Pericolo da moderato a debole

Tabella 6. Valori di SAR e EC riscontrati nello scarico del depuratore (ARPA, 2010).

2. CARATTERISTICHE DEI CANALI IRRIGUI E UTILIZZO DELL'ACQUA

Lo scarico dell'acqua depurata è autorizzato in 4 corpi idrici differenti: Colatore Morbasco, Colo Reale, Cavo Cerca e Cavo Morta. Nella stagione autunnale e invernale lo scarico perviene interamente nel Colatore Morbasco. Nella stagione primaverile ed estiva, le acque di scarico del depuratore vengono immesse in una tubazione gestita dal Consorzio di Bonifica Dugali, che può a sua volta scaricare nel Cavo Cerca, nel Cavo Morta e nel Colo Reale. In ogni caso, la quasi totalità delle acque reflue depurate viene per lo più scaricata nel Colo Reale. In Figura 12 è visibile il depuratore nel suo contesto territoriale ed i punti del monitoraggio condotto da ARPA durante la "Sperimentazione delle procedure per il rilascio dell'autorizzazione allo scarico delle acque reflue depurate per il loro riutilizzo in agricoltura" (Progetto Riuso, ottobre 2010).

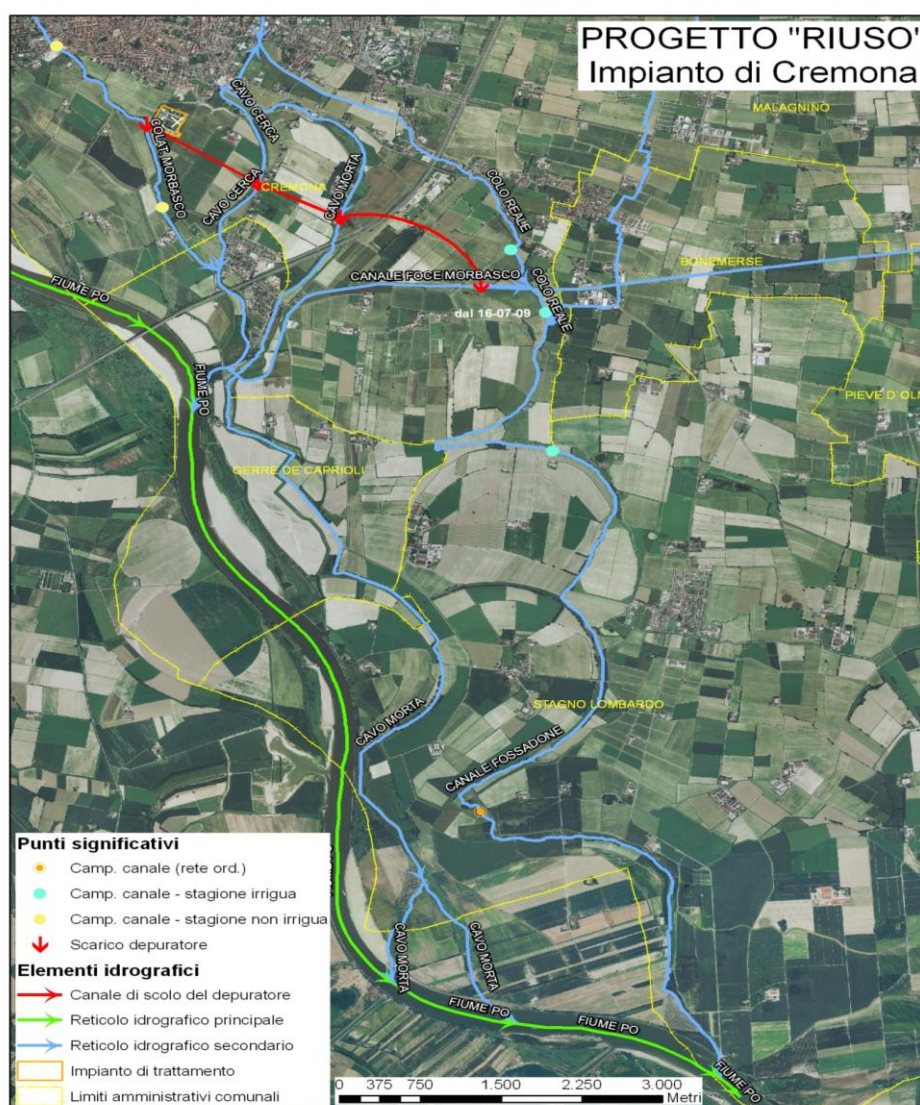


Figura 12. Inquadramento territoriale dell'impianto di depurazione di Cremona (ARPA, 2010).

Il comprensorio del Consorzio Dugali ha una superficie complessiva di 54.478 ettari che ricadono nel territorio di 42 Comuni delle province di Cremona (40) e di Mantova (2). Quest'area è interamente compresa nell'ambito che, per le sue caratteristiche socio-economiche (tendenziale diminuzione della popolazione) e per il modello di sviluppo territoriale che fa registrare (limitata attività edilizia di nuova edificazione, sottoutilizzo o abbandono di manufatti rurali), è definito come "pianura irrigua a bassa densità".

L'area del comprensorio è delimitata approssimativamente dal confine con l'Emilia-Romagna e da una serie di canali a ovest, dal Fiume Oglio a nord, dal confine con la provincia di Mantova a est e dal Fiume Po a sud (Figura 13).

Le opere di bonifica idraulica gestite attualmente dal Consorzio constano di una rete di canali principali, secondari e terziari per un totale di 457 chilometri, mentre le opere di bonifica irrigua sono costituite da una rete di 678 chilometri di canali principali e distributori.

Tale rete è alimentata da due impianti di sollevamento dal Fiume Po, da un impianto di sollevamento dal Fiume Oglio, da una serie di impianti secondari per il sollevamento o risollevamento da canali promiscui e da una serie di canali della rete di antica irrigazione con derivazione dai canali Ciria e Naviglio Civico.

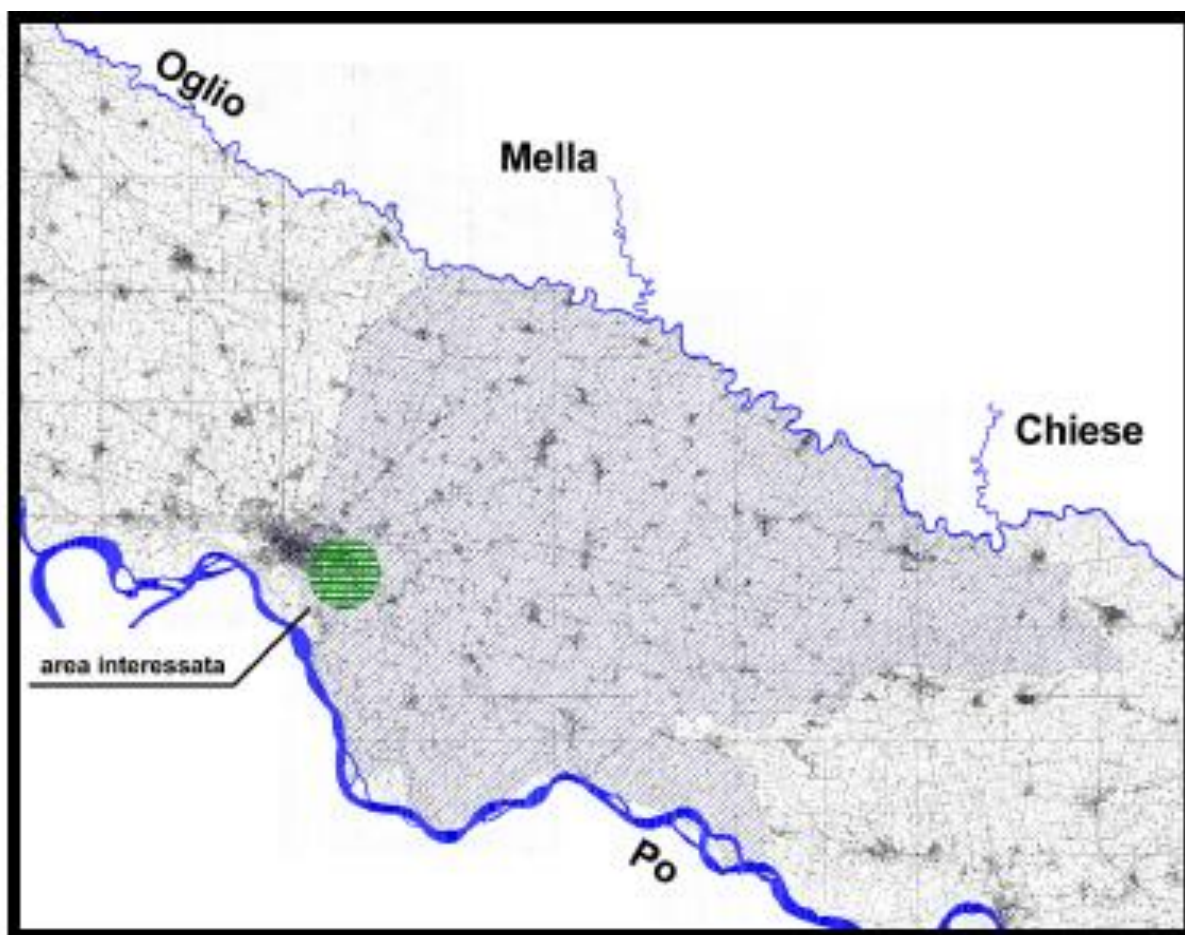


Figura 13. Territorio del Consorzio di Bonifica Dugali (ARPA, 2010).

Il corpo idrico ricevente monitorato durante lo studio Arpa di Ottobre 2010, con frequenza quindicinale, è il Colo Reale. Il punto a monte dello scarico è localizzato nella città di Cremona. Analizzando la Tabella 7, riferita al Colo Reale, si può osservare come per i SS vi sia un considerevole superamento del valore

limite previsto dal D.M.185/03 e, più precisamente, di quasi 10 volte. Rispetto ai valori indicati dal D.Lgs. 152/99 (All. 1, Tab. 7, livello 3 “sufficiente”) si verifica il superamento per COD (del 66%), per P_{tot} (del 6%), per NH_4 (di oltre il doppio) e, infine, rispetto alle prescrizioni del D.M. 56/09, per l’arsenico (del 10%).

Per quanto riguarda il Colatore Morbasco (Tabella 8), ricevente lo scarico del depuratore di Cremona durante la stagione non irrigua, si nota il superamento dei valori presi a confronto del D.Lgs. 152/99 rispetto al parametro NH_4^+ (del 58%). Rispetto alle indicazioni del D.M. 185/03 si verifica il superamento per il selenio (del 30%).

Relativamente ai parametri microbiologici, ad esclusione del Colatore Morbasco, si osservano valori elevati di *E.coli* che superano non solo il requisito minimo molto restrittivo del D.M. 185/03 ma anche il valore di 5.000 UFC/100 mL indicato nel D.Lgs 152/99, Tab. 7, livello 3 “sufficiente”. Non si riscontra in nessun caso presenza di salmonella nel canale ricettore dello scarico del depuratore di Cremona.

P.P.	Monte / Valle (M/V)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campioni	Q media giornaliera [m³/d]	BOD5 [mg/L] O ₂	COD [mg/L] O ₂	Solidi sospesi totali [mg/L]	Fosforo totale [mg/L] P	Azoto totale [mg/L] N	pH	Temperatura (°C)	Cloro attivo libero [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	Cl [mg/L]	F [mg/L]	NH ₄ [mg/L]	N-NO ₃ [mg/L]	Idrocarburi totali [mg/L]	Tensioattivi (totale) [mg/L]	Solventi clorurati [mg/L]	SAR	Cond. (us/cm) 20 °C
			DM 185/03	20	100	<10	2	<15			<0,2	<500	<250	<1,5	<2		<0,05	<0,5	<0,04	10	3000
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3	*≤8	*≤15		*≤0,30								*≤0,50	*≤5					
CR - C. Reale, CREMONA	M	05/09-09/09 (10)	11.477	7	25	109	0,32	2,9	8,0		0,03	12	22	0,12	1,66		0,02	0,06	0,0001	0,8	492

P.P.	Monte / Valle (M/V)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campioni	Q media giornaliera [m³/d]	Al [mg/L]	As [mg/L]	Ba [mg/L]	B [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cr VI [mg/L]	Fe [mg/L]	Mn [mg/L]	Hg [mg/L]	Ni [mg/L]	Pb [mg/L]	Cu [mg/L]	Se [mg/L]	Sn [mg/L]	Zn [mg/L]	salmonella (pres./camp.)	E. Coli (UFC/100 ml)	
			DM 185/03	<1	<0,02	<10	<1	<0,005	<0,1	<0,005	<2	<0,2	<0,001	<0,2	<0,1	<1	<0,01	<3	<0,5	0	100	
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3		≤0,01			≤0,00008	≤0,007				≤0,00003	≤0,02	≤0,0072							*≤5000
CR - C. Reale, CREMONA	M	05/09-09/09 (10)	11.477	0,92	0,011	0,06		0,00025*	0,001	0,003	1,28	0,142	0,00012*	0,002	0,004	0,005	0,005	0,001	0,02	0/6	19.970	

* Causa LOQ superiore al limite di legge in parte o nel totale dei campionamenti

SUPERAMENTI	
DM 185/03	
DM 56/09, D.Lgs. 152/99	
entrambi	

SALMONELLA	
NP: Non Richiesta	0: ASSENTE
NE: Non Eseguita	1: PRESENTE
nd: non disponibile	

Tabella 7. Prospetto analitico complessivo del monitoraggio qualitativo condotto sul canale irriguo ricettore durante la stagione irrigua 2009: sezione a monte dello scarico del depuratore (ARPA, 2010).

P.P.	Monte / Valle (MV)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campioni	Q media giornaliera [m ³ /d]	BOD5 [mg/L] O ₂	COD [mg/L] O ₂	Solidi sospesi totali [mg/L]	Fosforo totale [mg/L] P	Azoto totale [mg/L] N	pH	Temperatura (°C)	Cloro attivo libero [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	Cl [mg/L]	F [mg/L]	NH ₄ [mg/L]	N-NO ₃ [mg/L]	Idrocarburi totali [mg/L]	Tensioattivi (totale) [mg/L]	Solventi clorurati [mg/L]	SAR	Cond. (us/cm) 20 °C
			DM 185/03	20	100	<10	2	<15			<0,2	<500	<250	<1,5	<2		<0,05	<0,5	<0,04	10	3000
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3	* ≤8	* ≤15		* ≤0,30								* ≤0,50	* ≤5					
CR - R. Morbasco, CREMONA	M	10/09-05/10 (8)	16.513	3	11	6	0,15	5,8	8,1		0,03	49	26	0,10	0,79		0,02	0,15	0,001	0,7	696

P.P.	Monte / Valle (MV)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campioni	Q media giornaliera [m ³ /d]	Al [mg/L]	As [mg/L]	Ba [mg/L]	B [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cr VI [mg/L]	Fe [mg/L]	Mn [mg/L]	Hg [mg/L]	Ni [mg/L]	Pb [mg/L]	Cu [mg/L]	Se [mg/L]	Sr [mg/L]	Zn [mg/L]	salmonella (pres./camp.)	E.Coli [UFC/100 ml]
			DM 185/03	<1	<0,02	<10	<1	<0,005	<0,1	<0,005	<2	<0,2	<0,001	<0,2	<0,1	<1	<0,01	<3	<0,5	0	100
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3		≤0,01			≤0,00008	≤0,007				≤0,00003	≤0,02	≤0,0072						* ≤5000
CR - C. Morbasco, CREMONA	M	10/09-05/10 (8)	16.513	0,13	0,004	0,05		0,00025 ²	0,001	0,003	0,22	0,08	0,00024 ²	0,001	0,0011	0,002	0,013	0,01	0,01	0/7	3.743

SUPERAMENTI	
DM 185/03	
DM 56/09, D.Lgs. 152/99	
entrambi	

SALMONELLA	
NR: Non Richiesta	0: ASSENTE
NE: Non Eseguita	1: PRESENTE
nd: non disponibile	

Tabella 8. Prospetto analitico complessivo del monitoraggio qualitativo condotto sul canale ricettore durante la stagione non irrigua 2009-2010: sezione a monte dello scarico del depuratore (ARPA, 2010).

➤ **SAR**

Durante la stagione irrigua (Tabella 9), i valori di SAR nelle acque del canale ricettore (Roggia Reale) a monte dell'impianto sono tutti nella fascia di "pericolo da moderato a debole". Le misurazioni condotte durante la stagione non irrigua (sul Colatore Morbasco) mostrano che i valori di SAR, in corrispondenza del punto a monte dell'impianto, sono distribuiti tra la fascia di "pericolo da moderato a debole" e la fascia di "pericolo nullo".

monte R. REALE - Cremona			VALORI MEDI		
Lab. Analisi: ARPA			CANALE - MONTE		
data	SAR	EC [µS/cm]	SAR	EC [µS/m]	EC [dS/m]
21/05/09	1,46	610	0,77	492,3	0,49
04/06/09	0,93	442	0,722*	696,0*	0,70*
18/06/09	0,89	580			
02/07/09	0,34	407			
16/07/09	0,5	536			
30/07/09	0,82	528			
12/08/09	0,3	341			
27/08/09	0,69	442			
10/09/09	0,87	515			
24/09/09	0,91	544			
media	0,8	492,3			
monte C. MORBASCO - Cremona					
Lab. Analisi: ARPA					
data	SAR	EC [µS/cm]			
21/10/09	2,25	582			
18/11/09	0,18	559			
16/12/09	0,54	649			
20/01/10	0,65	754			
17/02/10	0,50	752			
17/03/10	0,58	870			
21/04/10	0,63	628			
19/05/10	0,45	780			
media	0,7	698			

SAR	EC
Pericolo nullo	Pericolo nullo
	Pericolo da moderato a debole

Tabella 9. Valori medi di SAR e EC riscontrati nelle acque dei canali recettori dell'effluente del depuratore di Cremona: sezioni a monte dello scarico (ARPA, 2010).

➤ **Portate**

Durante la stagione irrigua le portate vengono misurate dal Consorzio di Bonifica Dugali in corrispondenza del punto a monte dello scarico del depuratore posto sul Colo Reale e dei due punti a valle dello scarico posti sul Colatore Morbasco e sul Colo Reale. I dati misurati sono riportati in Tabella 10. Durante la stagione non irrigua le portate vengono misurate sul Colatore Morbasco, in quanto il Colo Reale è privo d'acqua (Tabella 11).

data	ora	monte	valle	
		COLO REALE	COLATORE MORBASCO	COLO REALE
		m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d
16/07/09	10.00	864	673.920	47.520
30/07/09	14.00	1.728	660.960	44.064
12/08/09	10.30-12.00	18.749	665.280	52.272
27/08/09	10.30-11.30	17.971	397.440	49.680
10/09/09	10.30-11.45	19.440	324.000	57.456
24/09/09	10.30-11.30	10.109	0	34.387

Tabella 10. Valori di portata misurati dal Consorzio di Bonifica Dugali durante la stagione irrigua (ARPA, 2010).

data	ora	monte	valle
		COLATORE MORBASCO	
		m ³ /d	m ³ /d
21/10/09	14.30-16.00	5.011	33.869
18/11/09	15.00-16.00	13.910	48.730
16/12/09	14.45-15.30	16.330	50.890
20/01/10	14.00-15.00	13.824	49.248
17/02/10	15.00-16.00	15.206	54.864
17/03/10	15.00-15.45	10.886	52.445
21/04/10	15.30-16.15	9.850	50.717
19/05/10	15.30-16.30	47.088	102.816

Tabella 11. Valori di portata misurati dal Consorzio di Bonifica Dugali durante la stagione non irrigua (ARPA, 2010).

3. OPERE REALIZZATE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEI CANALI IRRIGUI

Come già riportato, lo scarico del depuratore è inviato interamente nel Colatore Morbasco nella stagione autunnale ed invernale e in una tubazione gestita dal Consorzio di Bonifica Dugali nella stagione primaverile ed estiva. In questo ultimo caso lo scarico può a sua volta scaricare nel Cavo Cerca, nel Cavo Morta e nel Colo Reale. In generale, la quasi totalità delle acque reflue depurate viene per lo più scaricata nel Colo Reale.

L'immissione nel condotto può avvenire a gravità oppure previa pressurizzazione (3 m c.a.) per consentire l'irrigazione a pioggia.

L'intervento di costruzione dell'opera gestita dal Consorzio di Bonifica Dugali (comprensivo di manufatto partitore, tubazione e sistema di pressurizzazione iniziale) è stato finanziato dall'Autorità di Bacino del fiume Po e realizzato dal Consorzio stesso. Lo scopo di tale opera è quello, nella stagione estiva, di favorire un riutilizzo dell'acqua depurata, mentre, nella stagione invernale, di mantenere una portata minima nei colli Morta e Reale.

Gli interventi resisi necessari sono i seguenti:

- adeguamento dell'impianto di depurazione con trattamenti di filtrazione finale e disinfezione con raggi UV;
- realizzazione della tubazione di collegamento: diametro 100 cm, lunghezza 3.800 m;
- impianto di pressurizzazione.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare un'acqua con caratteristiche diverse dall'attuale e con maggiore disponibilità.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;

2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio. A seconda del numero di dati disponibili si considerano la concentrazione massima nel periodo esaminato o un indice statistico (es. 75° o 95° percentile).

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 12.

INDICI	IMPIANTO DI CREMONA
I _{BOD}	2,00
I _{COD}	1,51
I _{NH4+}	2,00
I _{Ntot}	0,38
I _{Ptot}	0,95
I _{SAR}	1,56
I _{EC}	1,56
VALUTAZIONE FINALE V_D	1,43

Tabella 12. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

Si osserva che tutti gli indici presi in considerazione sono positivi ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03.

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in Tabella 13 e Figura 14.

I dati evidenziano, in generale, un peggioramento della situazione, sebbene ciò non comporti, ad eccezione dell'azoto totale, indici inferiori all'unità. Ciò denota una buona affidabilità dell'impianto nel garantire determinate prestazioni depurative.

Siccome di fatto il riutilizzo delle acque di scarico del depuratore di Cremona è già in atto, si può dedurre che l'affidabilità del processo depurativo è ritenuta soddisfacente da parte degli utilizzatori della risorsa. Quindi, anche valori di poco negativi per gli indici di 95° percentile e di concentrazione massima per il parametro azoto sono evidentemente ben tollerati.

INDICI	IMPIANTO DI CREMONA		
	MASSIMA	95° PERCENTILE	75° PERCENTILE
I _{BOD}	1,37	1,37	2,00
I _{COD}	0,48	0,91	1,26
I _{NH4+}	0,36	0,52	2,00
I _{Ntot}	-0,25	-0,10	0,26
I _{Ptot}	0,20	0,39	0,74
I _{SAR}	0,82	1,07	1,37
I _{EC}	0,95	1,10	1,34
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,57	0,76	1,29

Tabella 13. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

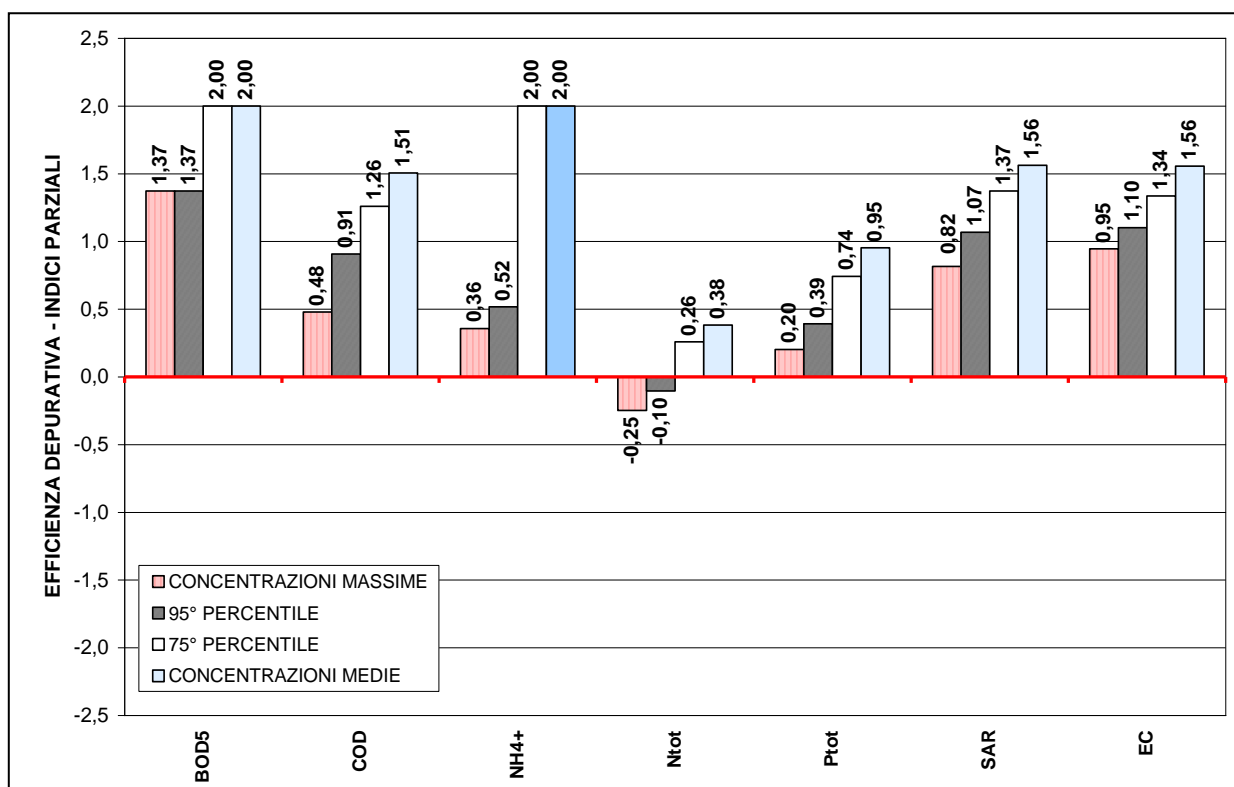


Figura 14. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

4.2 Il sistema idraulico

Le opere realizzate per il convogliamento dello scarico nel canale Reale consistono in:

- manufatti di imbocco e scarico;
- tubazione ($\Phi = 100$ cm, $L = 3800$ m)
- sollevamento meccanico (prevalenza: 3 m c.a.).

Poiché le alternative di riutilizzo dello scarico sono diverse (in relazione alla possibilità di convogliare i reflui per gravità oppure con sollevamento meccanico ai canali irrigui con diverse percentuali di ripartizione dell'acqua tra gli stessi), per semplicità si considera di seguito come scenario di riferimento il trasporto dell'intera portata, con sollevamento meccanico, al cavo Reale.

Si può stimare che il costo delle opere realizzate (eccetto quindi il sistema di pressurizzazione, previsto per consentire l'irrigazione a pioggia, ma non realizzato) sia pari a € 1.500.000,00, che equivalgono ad un costo per l'acqua riutilizzata (2.275.000 m³/anno) pari a 0,043 €/ m³.

Ciò deriva dall'aver assunto, per gli investimenti, un periodo di ammortamento di 30 anni ed un tasso di interesse del 5%, da cui deriva un rateo annuo di € 97.500,00.

L'incidenza dei costi di esercizio del sollevamento meccanico con prevalenza 3 m sul m³ di acqua riutilizzata sono stati trascurati, essendo quantificabili in circa 0,003 €/m³ e quindi rientranti nell'incertezza di stima complessiva.

Il fabbisogno di acqua, ipotizzando che lo scarico venga interamente riversato nel cavo Reale per consentire il deflusso nel canale Fossadone, risulta pari a:

910 ha * 2500 m³/ha/y (coltura prevalente: mais ceroso) = 2.275.000 m³/y.

Il periodo irriguo si intende esteso per 90 d/y (da cui si ottiene un fabbisogno di 293 L/s), mentre

la portata dello scarico risulta pari a 486 L/s.

Questo costo deve essere confrontato, per valutare la sostenibilità economica, con il costo sostenuto dal Consorzio per sollevare l'acqua dal fiume Po. In mancanza di questo dato, si consideri comunque che il costo sostenuto dagli utilizzatori (che include il costo di sollevamento) è pari a 120-140 €/(ha·y), cioè circa 0,05 €/m³.

Questo costo è analogo a quello stimato per l'acqua depurata. Si consideri però che l'opera è stata interamente finanziata dall'Autorità di Bacino del fiume Po, per cui è oggi a carico del consorzio solo la manutenzione, per un importo stimabile in meno di 0,01 €/m³.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Prima di valutare il comparto irriguo con gli indici e la metodologia proposti in questo lavoro, è interessante commentare i risultati ottenuti dal già citato studio di ARPA, che ha monitorato, durante la stagione irrigua 2009, con frequenza quindicinale, il Colo Reale. Vi sono due punti di campionamento a valle dello scarico: uno a Stagno Lombardo, individuato inizialmente, ma successivamente ritenuto troppo distante dal punto di immissione delle acque reflue depurate e, quindi, integrato con un ulteriore punto (a partire dal mese di luglio 2009) situato a Cremona, più prossimo a tale immissione (cfr [Figura 12](#)).

Analizzando la [Tabella 14](#), riferita al Colo Reale, si può osservare come per SS vi sia un considerevole superamento del valore limite previsto dal D.M.185/03 e, più precisamente, di oltre il doppio nel punto di valle a Cremona e di 3,5 volte nel punto di valle a Stagno Lombardo. Si nota inoltre che nel punto di valle a Cremona il selenio presenta un valore medio pari al limite. Rispetto ai valori indicati dal D.Lgs. 152/99 (All. 1, Tab. 7, livello 3 "sufficiente") si verifica il superamento per COD (del 40% in entrambi i punti di valle), per P_{tot} (del 63% nel punto di valle a Cremona e del 37% nel punto di valle a Stagno Lombardo), per NH₄ (del 94% nel punto di valle a Stagno Lombardo) e, infine, rispetto alle prescrizioni del D.M. 56/09, per l'arsenico (del 20% nel punto di valle a Cremona).

In sostanza, secondo i risultati dello studio ARPA, le condizioni qualitative decisamente buone delle acque dello scarico in uscita dal depuratore di Cremona non determinano un significativo peggioramento relativo delle acque del canale nel punto di valle rispetto a quello di monte.

P.P.	Monte / Valle (M/V)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campionamenti	Q media giornaliera [m ³ /d]	BOD5 [mg/L] O ₂	COD [mg/L] O ₂	Solidi sospesi totali [mg/L]	Fosforo totale [mg/L] P	Azoto totale [mg/L] N	pH	Temperatura (°C)	Cloro attivo libero [mg/L]	SO ₄ [mg/L]	Cl [mg/L]	F [mg/L]	NH ₄ [mg/L]	N-NO ₃ [mg/L]	Idrocarburi totali [mg/L]	Tensioattivi (totale) [mg/L]	Solventi clorurati [mg/L]	SAR	Cond. (us/cm) 20 °C	
			DM 185/03	20	100	<10	2	<15			<0,2	<500	<250	<1,5	<2		<0,05	<0,5	<0,04	10	3000	
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3	* ≤8	* ≤15		* ≤0,30								* ≤0,50	* ≤5						
CR - C. Reale, CREMONA	V	07/09-09/09 (7)	38.371	6	21	32	0,49	8,4	7,8		0,03	43	69	0,13	0,39		0,03	0,04	0,0002	2,3	821	
CR - C. Reale, STAGNO L.	V	05/09-09/09 (10)		6	21	45	0,41	5,8	7,8		0,03	39	52	0,10	0,97		0,02	0,06	0,0001	1,3	645	
P.P.	Monte / Valle (M/V)	Periodo di monitoraggio (da mm/aa a mm/aa) e nr. campionamenti	Q media giornaliera [m ³ /d]	Al [mg/L]	As [mg/L]	Ba [mg/L]	B [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Cr VI [mg/L]	Fe [mg/L]	Mn [mg/L]	Hg [mg/L]	Ni [mg/L]	Pb [mg/L]	Cu [mg/L]	Se [mg/L]	Sn [mg/L]	Zn [mg/L]	salmonella (pres./camp.)	E. Coli [UFC/100 ml]	
			DM 185/03	<1	<0,02	<10	<1	<0,005	<0,1	<0,005	<2	<0,2	<0,001	<0,2	<0,1	<1	<0,01	<3	<0,5	0	100	
			DM 56/09 - * D.Lgs. 152/99 tab 7 cl 3		≤0,01			≤0,00008	≤0,007				≤0,00003	≤0,02	≤0,0072							* ≤5000
CR - C. Reale, CREMONA	V	07/09-09/09 (7)	38.371	0,50	0,012	0,03		0,00025*	0,001	0,003	0,72	0,072	0,00009*	0,002	0,002	0,004	0,010	0,001	0,03	0/7	5.386	
CR - C. Reale, STAGNO L.	V	05/09-09/09 (10)		0,62	0,009	0,04		0,00048*	0,001	0,003	0,91	0,094	0,00005*	0,001	0,003	0,005	0,005	0,001	0,03	0/0	5.330	

* Causa LOQ superiore al limite di legge in parte o nel totale dei campionamenti

SUPERAMENTI	
DM 185/03	
DM 56/09, D.Lgs. 152/99	
entrambi	

SALMONELLA	
NR: Non Richiesta	0: ASSENTE
NE: Non Eseguita	1: PRESENTE
nd: non disponibile	

Tabella 14. Prospetto analitico complessivo del monitoraggio qualitativo condotto sul canale irriguo ricettore durante la stagione irrigua 2009: sezioni a valle dello scarico del depuratore (ARPA, 2010).

Di seguito si applica la procedura di valutazione oggetto del presente studio.

Il fabbisogno per le colture in atto è pari a $2500 \text{ m}^3/(\text{ha y})$, concentrato in 90 d/y, equivalente ad un fabbisogno istantaneo di $0,3215 \text{ L}/(\text{ha s})$.

Ciò significa che l'area di interesse (910 ha) ha un fabbisogno irriguo di circa 293 L/s.

Di contro, la portata del cavo Reale è variata, nel corso della stagione irrigua 2009, da 10 a 225 L/s (133 L/s in media). Anche considerando il massimo valore, quindi, la disponibilità non è sufficiente a garantire il fabbisogno. Viceversa, lo scarico del depuratore (486 L/s in media) soddisfa la richiesta.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa” viene valutato confrontando la disponibilità in caso di riuso dell'acqua depurata con:

- la situazione attuale: $y_3 = 2$
- il fabbisogno delle colture: $y_4 = 2$

Ciò si traduce in un valore dell'indice I_D pari a 2

Questo valore evidenzia “numericamente” il beneficio che deriva dalla possibilità di disporre di maggiori volumi di acqua per l'irrigazione.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

Si è considerato il grado di diluizione medio conseguibile dalla miscelazione dell'effluente del depuratore con la portata media registrata nel canale.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 15 e nella Figura 15.

Risulta evidente come la qualità dello scarico sia conforme, con buoni margini, rispetto ai parametri del DM 185/03. Uniche eccezioni sono rappresentate dai solidi sospesi e dall'arsenico. Addirittura, l'acqua scaricata dal depuratore risulta meno contaminata di quella del Colo Reale per alcuni parametri (BOD, N-NH₄⁺, *E.coli*, SS, Se). In ogni caso, la valutazione complessiva è nettamente positiva, ad indicare l'idoneità al riutilizzo dell'acqua depurata.

INDICI	IMPIANTO DI CREMONA		
	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA DELL' ACQUA DEL CAVO REALE ^c	MEDIA
	IBOD	2,00	0,61
ICOD	1,55	-0,01	0,77
INH4+	1,85	0,74	1,29
INtot	0,54	-0,22	0,16
IPtot	1,15	-0,13	0,51
IE.Coli	-0,20	1,01	0,40
Iss	-0,20	1,57	0,68
ICI-	1,72	-0,21	0,76
ISO4²⁻	2,00	-0,28	0,86
ITensioattivi totali	0,88	-0,30	0,29
IAs	-0,77	-0,14	-0,45
Ise	2,00	1,04	1,52
IEC	1,56	-0,0008	0,78
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I₀	1,09	0,29	0,69

Tabella 15. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.

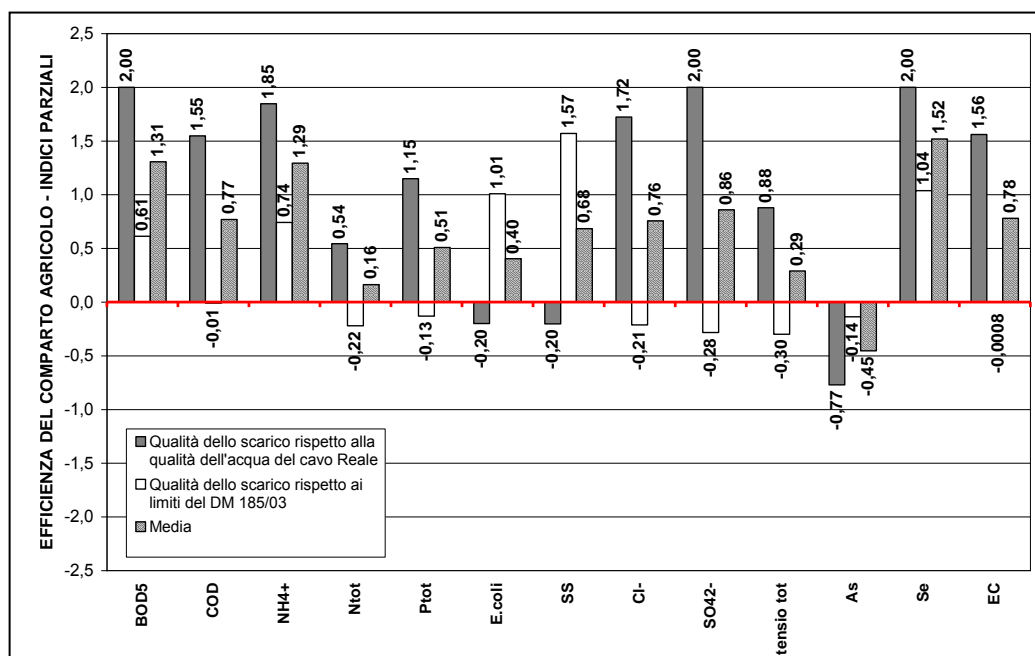


Figura 15. Indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dal cavo Reale, con i limiti di cui al D.M. 185/03 e valutazione complessiva.

La valutazione finale, per il comparto utilizzatore, risulta ampiamente positiva: $Vu = 0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 0,69 = 1,35$

➤ **SAR e Conducibilità elettrica specifica**

Infine, è interessante valutare, questa volta solo sulla base dei riscontri analitici, l'effetto della miscelazione cavo Reale - scarico del depuratore sul SAR e sulla conducibilità elettrica specifica. Si riporta, di seguito, l'esito dello studio ARPA 2010.

A valle dell'impianto, i valori di SAR sono distribuiti sulle fasce di "pericolo da moderato a debole" e di "pericolo nullo" (Figura 16 e Tabella 16).

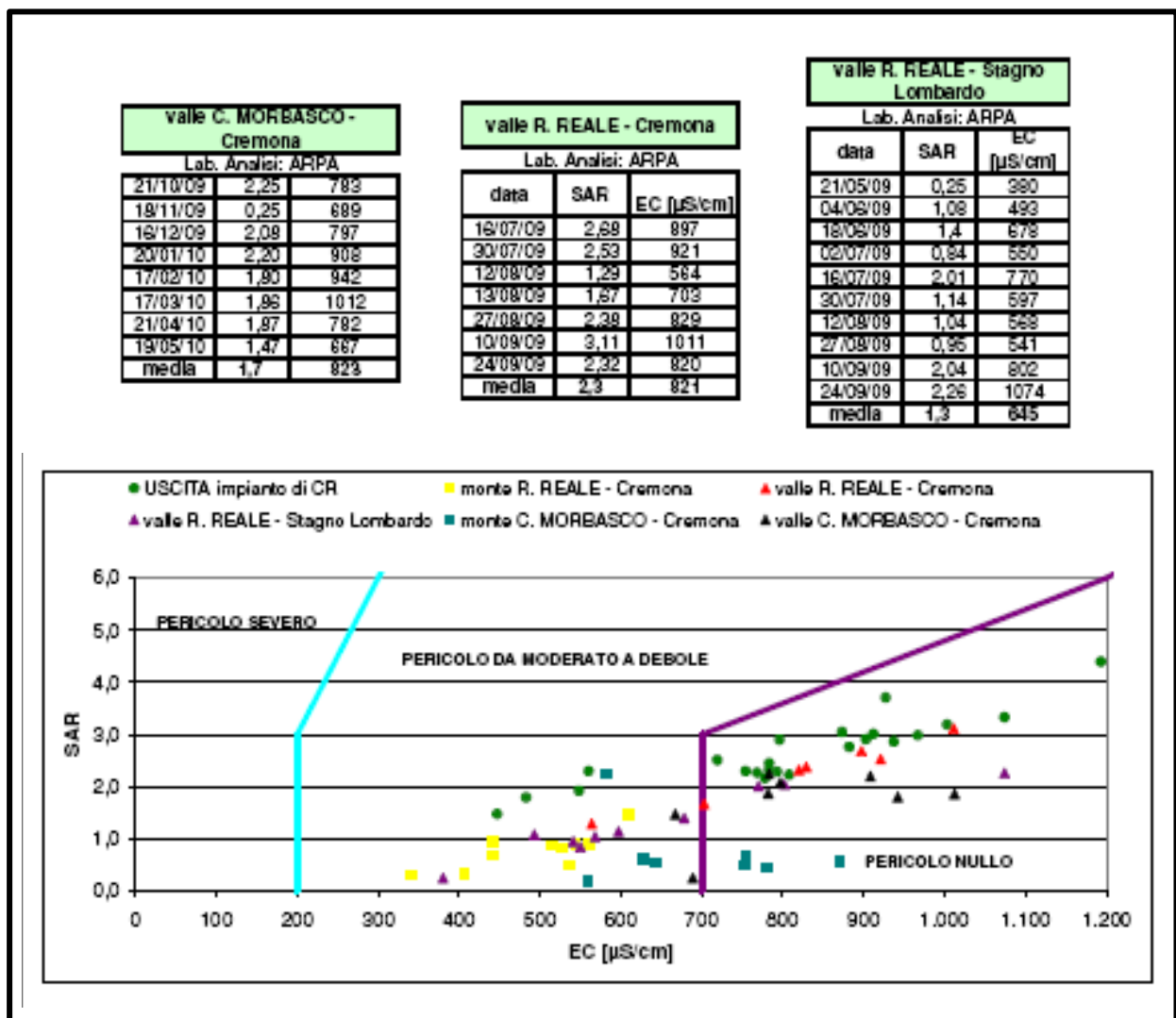


Figura 16. Valori di SAR e EC riscontrati nelle acque del canale ricettore del depuratore di Cremona a valle del punto di scarico e grafico delle limitazioni d'uso (ARPA, 2010).

CANALE - VALLE		
SAR	EC [$\mu\text{S}/\text{m}$]	EC [dS/m]
1,30	645,3	0,65
1.72*	822.5*	0.822*




* stagione non irrigua	
SAR	EC
 Pericolo nullo	 Pericolo nullo
	 Pericolo da moderato a debole

Tabella 16. Valori medi di SAR e EC riscontrati nelle acque del canale ricettore del depuratore di Cremona (ARPA, 2010).

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Cremona evidenzia i seguenti risultati:

- 1) dal punto di vista economico, il suo convogliamento nel canale Reale è sostenibile; peraltro l'investimento è stato finanziato dall'Autorità di Bacino del fiume Po;
- 2) l'impianto dimostra affidabilità di funzionamento, essendo in grado di garantire, con costanza, le caratteristiche medie dello scarico che sono in linea con i limiti del D.M. 185/03 ($V_D = 1,43$);
- 3) l'uso dell'acqua di scarico in aggiunta a quella attualmente disponibile nel canale rappresenta una situazione decisamente migliorativa ($V_u = 1,35$).

Nel complesso, dunque, la valutazione numerica svolta conferma la situazione reale che vede il riutilizzo praticato con soddisfazione da parte di tutti gli Enti coinvolti.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI FASANO (BR)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'impianto di depurazione di Fasano (località Forcatella - BR, 50.000 AE) è in grado di trattare circa 8.500 m³ di reflui urbani al giorno. L'impianto di depurazione si può schematizzare come segue:

- 1) fanghi attivi con pre-denitrificazione e disinfezione con ipoclorito di sodio;
- 2) trattamenti terziari (in grado di trattare fino a 2.800 m³/d):
 - pre-disinfezione con acido peracetico o sodio ipoclorito;
 - coagulazione-flocculazione con policloruro di alluminio e sedimentazione lenta;
 - post-disinfezione con acido peracetico o sodio ipoclorito;
 - post disinfezione fisica (opzionale) con UV (in-linea o con ricircolo in vasca), che agisce da effetto barriera in caso di shock-loadings microbici in ingresso all'affinamento.

In particolare, i trattamenti terziari hanno luogo in un bacino combinato di accumulo e trattamento da 6.000 m³ (Figura 1), in cui avvengono trattamenti terziari di tipo chimico-fisico-biologico e di disinfezione. La rilevante volumetria disponibile in vasca consente una triplice azione:

- i. equalizzatrice rispetto alla naturale variabilità quali/quantitativa giornaliera del refluo in ingresso;
- ii. di efficace trattamento in relazione agli elevati tempi di residenza del refluo nel sistema (12 ore in relazione alla portata massima);
- iii. di accumulo nelle ore notturne di minore richiesta.

Il reattore, di tipo *plug-flow*, consta di tre differenti sezioni di trattamento: chiariflocculazione, sedimentazione e disinfezione. Lungo il percorso il refluo transita nelle diverse sezioni di processo: nella parte iniziale prevalgono i processi di coagulazione e flocculazione, nella parte intermedia avviene la sedimentazione ed accumulo fanghi e nella parte finale il refluo è soggetto a disinfezione.

Un moderno sistema di telecontrollo consente di gestire in automatico, mediante uno specifico software, il funzionamento di dosaggi e misure ed è in grado di immagazzinare i dati rilevati da diversi sensori ubicati lungo la vasca di affinamento.

Si precisa che i trattamenti terziari di affinamento per il riutilizzo agricolo sono gestiti da soggetto (Aguasol) diverso dal Gestore dell'impianto di depurazione (AqP).

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata trattata in tempo estivo (stagione irrigua: giugno-dicembre) e le caratteristiche qualitative dell'acqua in ingresso al depuratore e di quella depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata effettiva scaricata nel periodo irriguo è di circa $8.400 \text{ m}^3/\text{d}$ ($= 0,097 \text{ m}^3/\text{s}$) per quanto riguarda l'impianto convenzionale, mentre di circa $2.500 \text{ m}^3/\text{d}$ ($= 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$) per quanto riguarda l'impianto di affinamento.

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative del liquame, la Figura 2 riporta i valori registrati nell'anno 2010 per alcuni parametri chimico-fisici all'uscita dai trattamenti terziari del depuratore.

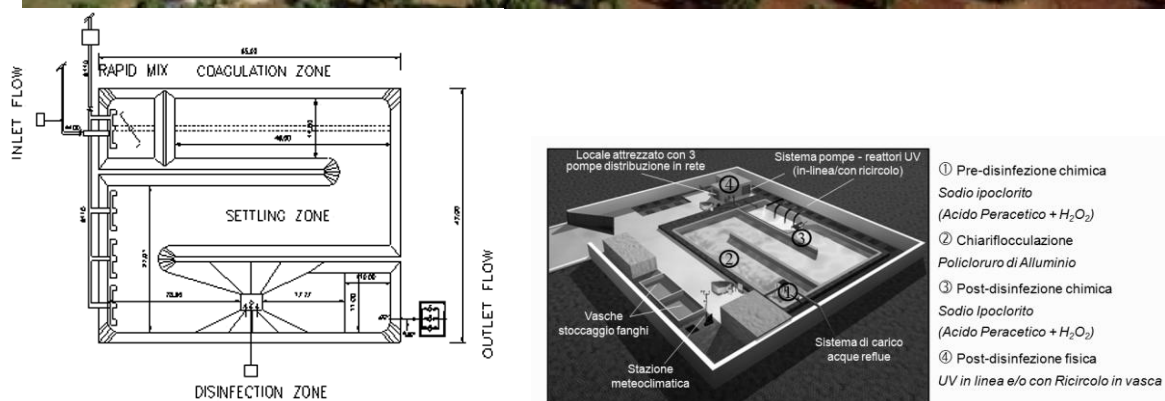


Figura 1. Impianto di depurazione di Fasano (BR) - in alto -, con particolari dei trattamenti terziari - in basso (Santoro et al., 2007³).

³ O. Santoro, P. Lorusso, T. Pastore, D. Santoro, 2007. Best Practices nel riutilizzo delle acque reflue urbane: tre anni di gestione del sistema integrato di affinamento di Fasano (Br). Atti dei seminari Ecomondo 2007, 7-10 novembre 2007, Rimini.

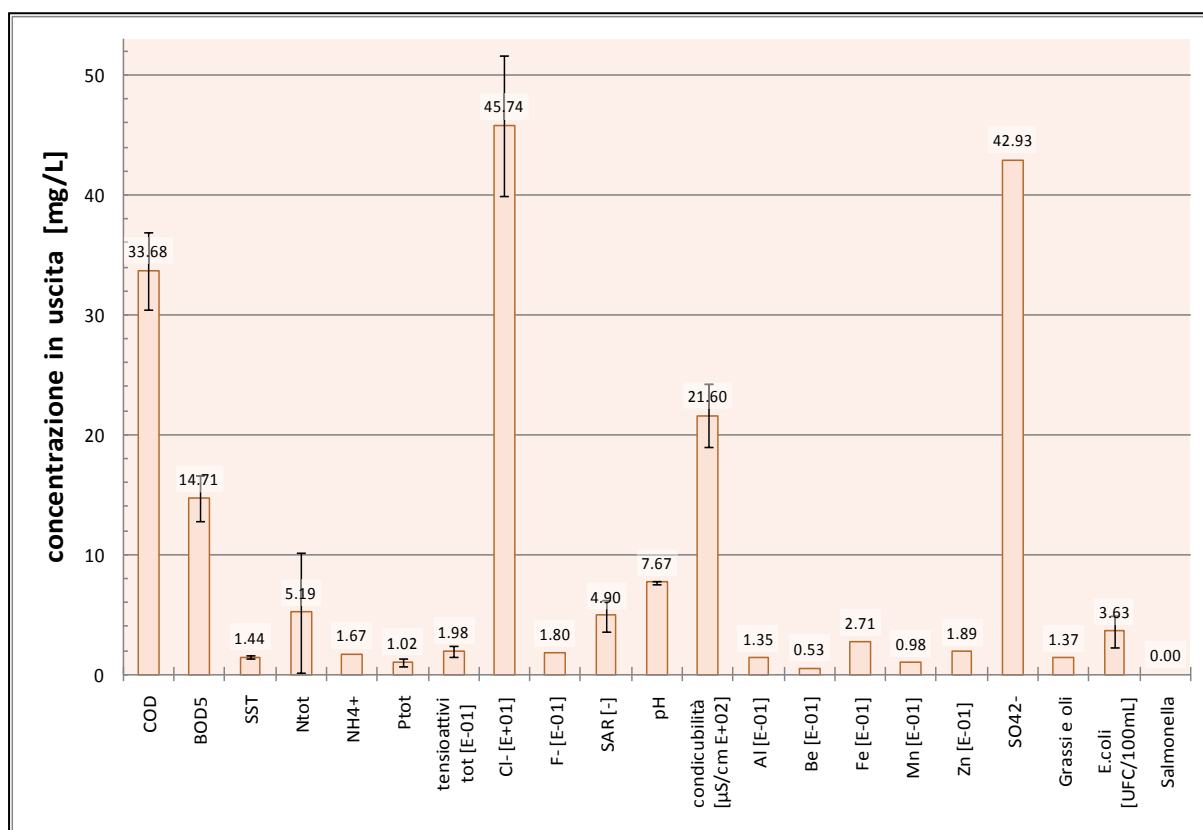


Figura 2. Valori registrati per alcuni parametri chimico-fisici dell'effluente in uscita dal trattamento di affinamento dell'impianto di Fasano, con indicazione della deviazione standard.

2. CARATTERISTICHE DELLE FONTI DI APPROVVIGIONAMENTO PER L'IRRIGAZIONE

Il comparto irriguo si sviluppa per circa 1.000 ettari (per un fabbisogno idrico di circa 2.500 m³/d) e risulta carente di risorse idriche convenzionali direttamente utilizzabili in agricoltura. Del tutto assenti sono, infatti, le risorse superficiali (a causa della natura geomorfologica e carsica del territorio) mentre le risorse idriche sotterranee risultano non utilizzabili per l'elevato tenore salino, dovuto a significativi processi di intrusione marina. Le piogge, scarse e mal distribuite, si concentrano nel semestre autunno-inverno ed insistono su terreni a prevalente matrice sabbiosa che ne determinano un rapido assorbimento nel sottosuolo.

3. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA DEPURATA

Le acque provenienti dall'impianto di affinamento vengono distribuite in un comparto di circa 1000 ettari attraverso 2 stazioni di pompaggio (rete bassa e rete alta) ed una rete di distribuzione.

Alla portata effluente dalla vasca di accumulo e trattamento si ha la possibilità di aggiungere, in linea e in varie dosi di miscelazione, nei momenti di picco della domanda irrigua, delle quote derivanti dall'acquifero locale attraverso una rete collegata a quattro pozzi trivellati nella falda profonda. Una linea di consegna porta le acque verso un modulo sperimentale di circa 4 ettari che rappresenta il campo prova in cui si studiano e mettono a punto i processi in funzione delle specifiche esigenze irrigue e delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica distribuita.

La rete di distribuzione (Figura 3) è sezionata da un'elettrovalvola principale di regolazione a tre vie che consente di gestire la consegna alternativamente in rete bassa e rete alta o contemporaneamente. Ulteriori valvole di sezionamento a funzionamento manuale sono disposte in vari punti della rete di distribuzione, e consentono di ottimizzare l'erogazione in relazione a specifici rami di rete.

Una rete di distribuzione lunga circa 30 km ed in grado di consegnare alle molteplici utenze acqua affinata con pressione pari a circa 3 atm, ha consentito di erogare (su oltre 500 ettari aziendali attualmente allacciati) circa 70.000 m³ di acque affinate nel 2005, 240.000 m³ nel 2006 e circa 700.000 m³ nel 2007. Nelle attuali condizioni di sistema (erogazione diretta a domanda) l'impianto può sostenere, senza raggiungere il cosiddetto limite strutturale, una domanda di acqua affinata fino ad un massimo di circa 1.000.000 m³/anno.

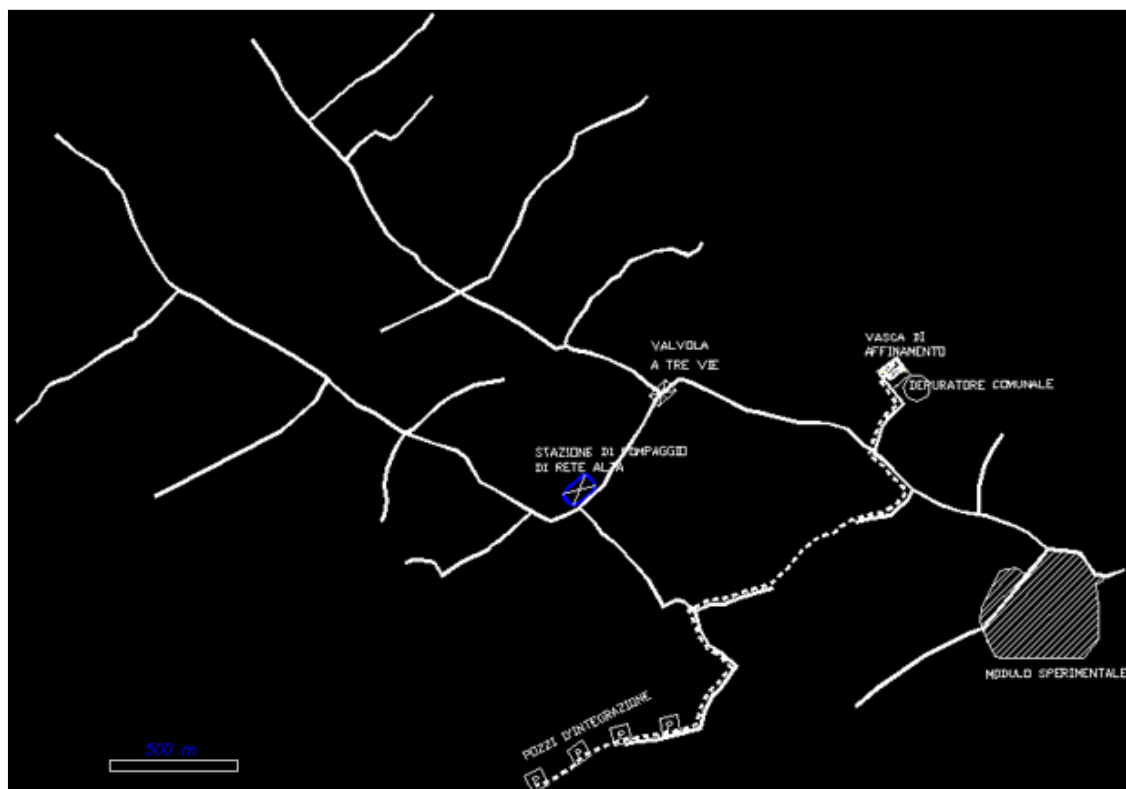


Figura 3. Schema della rete di distribuzione.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

1. l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
2. il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore, cioè le opere installate e il loro costo di realizzazione e gestione;
3. l'utilizzatore agricolo.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio. A seconda del numero di dati disponibili si considerano la concentrazione massima nel periodo esaminato o un indice statistico (es. 75° o 95° percentile).

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 1.

Si vede come in generale gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori ai rispettivi limiti D.M. 185/03. Esiste però una criticità rappresentata dal parametro cloruri. Va però precisato che nel D.M. 185/03 la concentrazione riportata per tale parametro è da intendersi come valore guida (art. 15, comma 3).

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in Tabella 2 e Figura 4. In quest'ultima si mette a confronto la situazione tipica (concentrazioni medie) con la situazione peggiore (concentrazioni massime) e con le condizioni rappresentate rispettivamente dal 75° e 95° percentile.

I dati evidenziano che, con l'unica eccezione (non grave, per quanto detto sopra) dei cloruri, anche nelle peggiori condizioni di funzionamento, gli indici rimangono positivi. Ciò denota grande affidabilità di funzionamento; un ruolo importante, in tal senso, è sicuramente giocato dai trattamenti terziari.

INDICI	IMPIANTO DI FASANO
I _{BOD}	0,28
I _{COD}	1,18
I _{SS}	2,00
I _{NH4+}	0,17
I _{Ntot}	1,14
I _{Ptot}	0,65
I _{Tensioattivi tot}	0,95
I _{Cl⁻}	-0,91
I _{F⁻}	2,00
I _{SAR}	0,69
I _{EC}	0,30
I _{Al}	2,00
I _{Be}	0,60
I _{Fe}	2,00
I _{Mn}	0,69
I _{Zn}	1,02
I _{SO4²⁻}	2,00
I _{Grassi e oli}	2,00
I _{E.Coli}	0,55
VALUTAZIONE FINALE V_D	1,01

Tabella 1. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

INDICI	IMPIANTO DI FASANO		
	MASSIMA	95° PERCENTILE	75° PERCENTILE
I _{BOD}	0,08	0,13	0,24
I _{COD}	0,99	1,01	1,08
I _{SS}	2,00	2,00	2,00
I _{NH4+}	0,05	-	-
I _{Ntot}	0,05	0,10	0,60
I _{Ptot}	0,27	0,31	0,51
I _{Tensioattivi tot}	0,62	0,64	0,82
I _{Cl⁻}	-2,00	-2,00	-1,07
I _{F⁻}	2,00	-	-
I _{SAR}	0,39	0,43	0,54
I _{EC}	0,14	0,16	0,23
I _{Al}	2,00	-	-
I _{Be}	0,46	-	-
I _{Fe}	2,00	-	-
I _{Mn}	0,64	-	-
I _{Zn}	0,87	-	-
I _{SO4²⁻}	2,00	-	-
I _{Grassi e oli}	2,00	-	-
I _{E.Coli}	0,33	0,33	0,43
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,78	0,31	0,54

Tabella 2. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

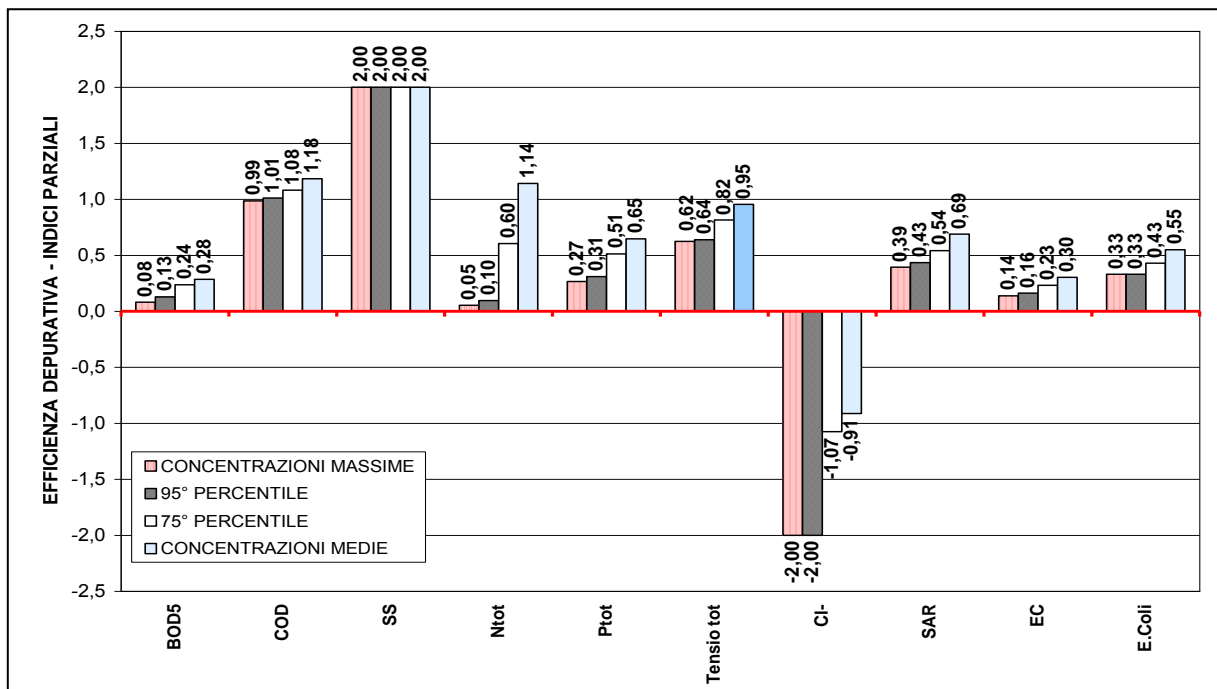


Figura 4. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

4.2 Il sistema idraulico

La sostenibilità economica del sistema di riutilizzo è stata valutata da Santoro *et al.*, 2007.

In un'area studio di circa 164 ettari aziendali allacciati nel 2006 e circa 500 ettari aziendali nel 2007 (30% della superficie coltivata ad orto, 70% coltivata ad uliveto), si sono monitorati i consumi mensili negli anni di riferimento e sono stati quantificati i relativi costi mensili e annuali di produzione della risorsa e del servizio. La struttura della domanda irrigua (Figura 5A) assume un ruolo essenziale nelle buone prassi di gestione, in quanto da essa dipende il ruolo funzionale dei processi di trattamento ed accumulo ed i relativi costi specifici di acqua affinata e consegnata alle utenze.

La Figura 5B evidenzia, invece, i costi al m³ di acqua affinata e distribuita, in funzione del totale annuale dei volumi erogati (ammortamento escluso).

Appare evidente come la dinamica dei costi sia fortemente determinata dai volumi mensili di acqua affinata ed erogata e, nella logica della gestione annuale del servizio, dai volumi annuali. E' da evidenziare come nel corso del triennio il costo annuale reale del servizio al punto di consegna delle utenze sia passato da 0,93 €/m³ nel 2005 a 0,5 €/m³ nel 2006 ed ancora agli attuali 0,3 €/m³, di cui circa 0,15 €/m³ quale costo specifico di affinamento. Si evidenzia che sul costo reale al m³ il costo specifico di affinamento è sostenuto dalle utenze ed i costi energetici e di manutenzione straordinaria sono sostenuti dall'Amministrazione Comunale di Fasano.

Poiché in assenza dell'acqua del depuratore non sarebbe praticabile questo tipo di agricoltura, è evidente che i costi sono sostenibili, cioè, in senso lato, sono compensati dai ricavi dell'attività agricola.

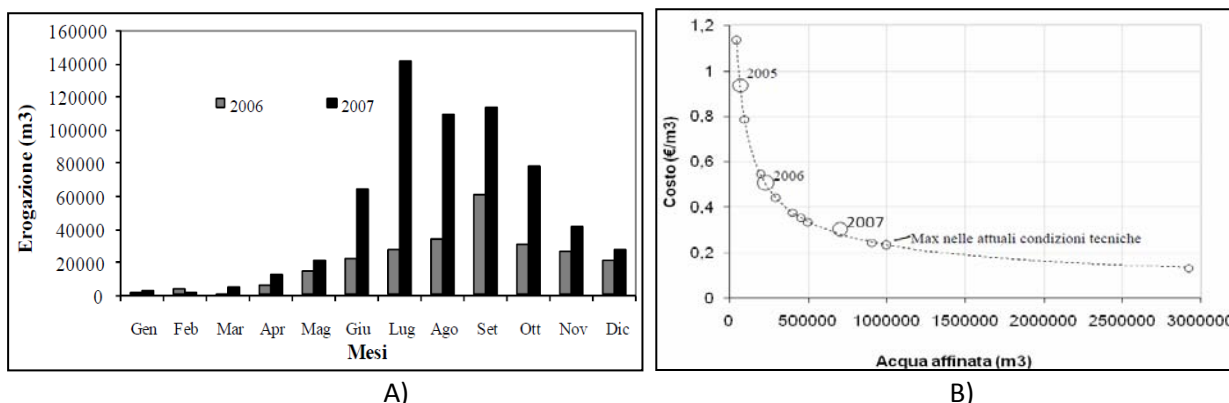


Figura 5. Dinamica della domanda irrigua nelle stagioni 2006 e 2007 (A) e andamento del costo specifico della risorsa idrica affinata (B).

4.3 L'utente: il comparto irriguo

Applicando gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa” si calcola considerando che $y_3 = 2$ (in assenza di riutilizzo la disponibilità idrica è nulla) e $y_4 = 0$ (la fornitura equivale al fabbisogno), per un risultato complessivo $I_D = 1$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

La verifica è stata effettuata nell'ipotesi di utilizzo esclusivo dello scarico affinato del depuratore. Ciò rappresenta una semplificazione di ciò che potrebbe avvenire nella realtà, che, dal punto di vista della presente verifica, pone in favore di sicurezza, non considerandosi, in questo caso, eventuali benefici dovuti alla miscelazione dello scarico con l'acqua emunta dalla falda (con l'unica eccezione del parametro salinità).

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

Il primo fattore è inapplicabile nella fattispecie, non essendo oggi disponibile acqua per l'agricoltura. Il secondo coincide con quanto già calcolato per caratterizzare l'effluente affinato del depuratore (Tabella 1). Risulta chiara, dunque, l'idoneità dell'acqua al riutilizzo.

La valutazione finale, per il comparto irriguo (utente), risulta nel complesso positiva:

$$V_u = 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1,01 = 1$$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

L'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Fasano evidenzia le seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, il sistema risulta sostenibile, in quanto consente di praticare un'attività agricola laddove non esistono fonti naturali di approvvigionamento idrico;
- 2) l'impianto dimostra notevole affidabilità di funzionamento (grazie alla presenza di un "poderoso" affinamento), garantendo, con costanza, le caratteristiche medie dello scarico; nella situazione peggiore, considerando le concentrazioni massime, V_D è pari a 0,78, cioè positivo e poco diverso dal valore calcolato per le condizioni tipiche di funzionamento ($V_D = 1,01$);
- 3) l'uso dell'acqua di scarico è anche compatibile, per qualità e quantità, con i fabbisogni irrigui ($V_u = 1,0$).

Nel complesso, la fattibilità del riutilizzo è chiara e ciò è dimostrato dalla pratica in corso.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI FREGENE (RM)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'impianto di depurazione di Fregene è situato in località Fregene nel comune di Fiumicino (RM); esso è attualmente autorizzato allo scarico nel corpo idrico superficiale denominato "fiume Arrone" per una portata di 29.064 m³/d (riferita a 76.000 abitanti equivalenti) e tratta i liquami provenienti, oltre che dallo stesso centro abitato, anche da gran parte delle località costiere dell'esteso Comune di Fiumicino, quali Palidoro, Torrimpietra, Passoscuro, Maccarese e Focene. Oltre ai liquami civili l'impianto tratta i liquami provenienti da alcuni insediamenti produttivi, agricoli e zootecnici della zona e riveste quindi notevole importanza per la salvaguardia della zona costiera che ospita la riserva naturale statale del Litorale Romano.

La sua ubicazione sul litorale romano, soggetto ai flussi stagionali della popolazione, è causa di forti differenze nella quantità in termini di abitanti allacciati e conseguentemente di liquame trattato. Si registrano le seguenti fluttuazioni tra stagione invernale (da Gennaio a Maggio e da Ottobre a Dicembre) ed estiva (da Giugno a Settembre): abitanti equivalenti da 33.000 a 76.000, portata media giornaliera da 12.619 a 29.062 m³/d e carico di COD da 3.795 a 8.813 kg/d.

L'impianto si compone di una linea liquami costituita dai pretrattamenti (grigliatura media e dissabbiatura di tipo pista), da due unità di sedimentazione primaria, da un trattamento ossidativo a fanghi attivi suddiviso in quattro vasche (mentre una quinta vasca viene utilizzata per la denitrificazione) e da due sedimentatori secondari. Segue una vasca per la disinfezione del liquame depurato realizzata con dosaggio di ipoclorito di sodio in una vasca a serpentina, nella quale è inoltre alloggiato un sistema di disinfezione a raggi UV-C.

La linea fanghi è costituita da una vasca di ispessimento statico e da una centrifuga per la disidratazione meccanica del fango. È presente inoltre un'unità di digestione anaerobica da tempo fuori servizio.

È in programma la ristrutturazione dell'impianto con l'inserimento di due unità in parallelo per la grigliatura media e fine, la conversione dei due sedimentatori primari in vasche di denitrificazione, la sostituzione delle turbine superficiali presenti nelle vasche di aerazione con un sistema di piattelli sommersi di tipo a membrana. Per quanto riguarda i trattamenti terziari sarà introdotto un sistema di filtrazione a sabbia a monte di un trattamento di disinfezione mediante UV-C. Per la linea fanghi si prevede di convertire i due pre-ispessitori a semplici fasi di accumulo che si collocheranno a monte di un trattamento costituito da un ispessitore dinamico (da realizzare), digestione aerobica (da realizzare) e centrifuga di disidratazione.



Figura 1. Aree drenanti relative all'impianto di depurazione di Fregene (RM).



Figura 2. Fotografia aerea dell'impianto di depurazione di Fregene (RM).

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata trattata nel periodo irriguo (da Marzo ad Ottobre) e le caratteristiche qualitative dell'acqua depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, la portata media giornaliera trattata nel 2008 è stata di circa 29.062 m³/d (= 0,336 m³/s) nel periodo estivo (da Giugno a Settembre) e di 12.619 m³/d (= 0,146 m³/s) nel periodo invernale (da Gennaio a Maggio e da Ottobre a Dicembre).

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dell'acqua di scarico, le Figure 3 e 4 riportano i valori medi, massimi e minimi registrati nell'anno 2009 per i principali parametri chimico-fisici e chimici misurati all'ingresso e all'uscita dall'impianto di depurazione.

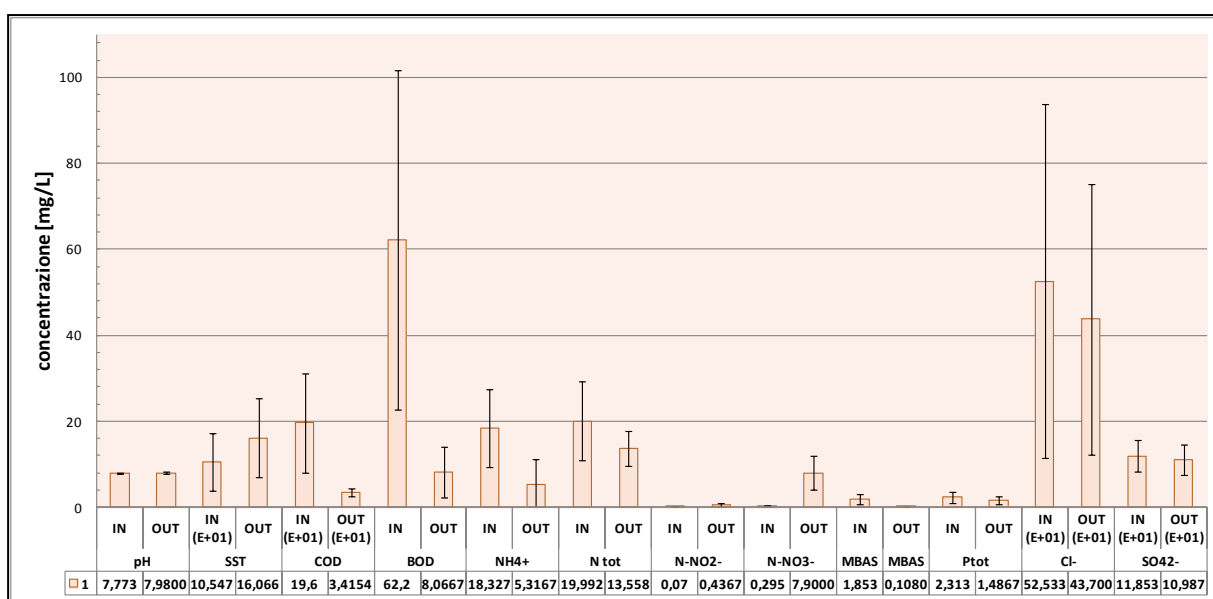


Figura 3. Valori medi, massimi e minimi per i principali parametri chimico-fisici e chimici misurati in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione di Fregene (RM).

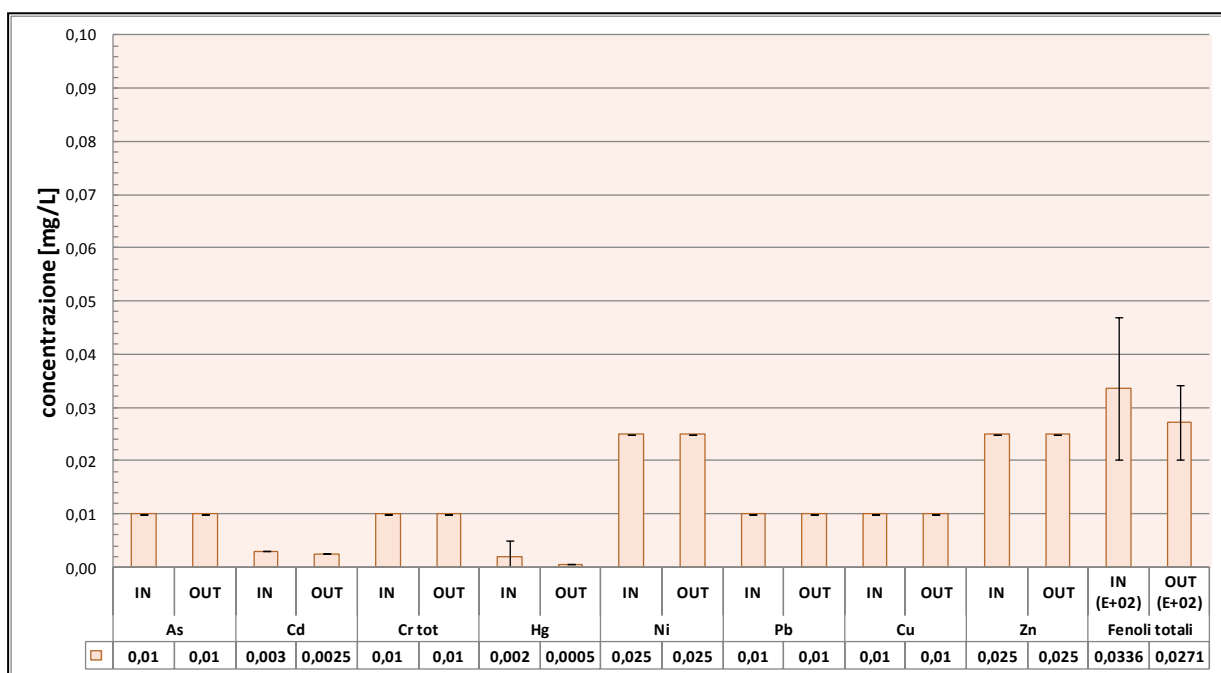


Figura 4. Valori medi, massimi e minimi per i principali parametri misurati in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione di Fregene (RM).

La qualità microbiologica, valutata nell'anno 2009, del liquame in ingresso e in uscita dal depuratore è riportata in Tabella 1.

	E. coli INGRESSO IMPIANTO	E. coli USCITA IMPIANTO
	UFC/100mL	UFC/100mL
Media	2,34E+05	1,17E+04
Minimo	3,00E+04	5,00E+00
Massimo	3,30E+05	5,40E+04
75° percentile	3,20E+05	1,41E+04
95° percentile	3,28E+05	4,37E+04

Tabella 1. Valori medi, massimi e minimi per il parametro *E. coli* misurato in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione di Fregene (RM).

2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IRRIGUO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI

Il sistema irriguo di riferimento è quello del Consorzio del Tevere Agro Romano.

Il Consorzio gestisce numerosi impianti irrigui sia tramite sollevamento delle acque in tubazioni in pressione che tramite canalette a pelo libero. Inoltre, il Consorzio è titolare di alcune concessioni demaniali per il prelievo delle acque essenzialmente dal fiume Tevere.

La quantità prelevata, pari a circa 15-20 milioni di metri cubi nella stagione irrigua (marzo-ottobre), è sufficiente al fabbisogno irriguo attuale. Queste acque sono inviate agli impianti irrigui che servono una superficie di circa 15.000 ha coltivati con numerose tipologie culturali.

Le caratteristiche qualitative dell'acqua attualmente usata a fini irrigui sono desumibili dalle analisi effettuate da ARPA su campioni prelevati dal fiume Tevere.

Le analisi ARPA sono quelle finalizzate alla classificazione dei corpi idrici. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei dati disponibili, per l'anno 2007 (Tabella 2).

	100-ODs%	BOD ₅	COD	<i>E. coli</i>	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P _{tot}
anno	%	mg/L	mg/L	UFC/100mL	mg/L	mg/L	mg/L
2007	32,75	2	-	7,8E+04	1,5	1,7	0,23

Tabella 2. *Caratteristiche qualitative del Fiume Tevere nel punto di prelievo denominato "Ponte di Mezzocammino" a Roma (dati ARPA 2007).*

Inoltre dall'analisi del rapporto ambientale per l'anno 2007 redatto da Arpa Lazio emerge uno stato ecologico scadente ed uno stato chimico buono per il punto di prelievo denominato "Ponte di Mezzocammino" relativo al Fiume Tevere.

3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEL SISTEMA IRRIGUO PRESENTE

Attualmente non viene praticato il riutilizzo delle acque di scarico depurate che, viceversa, sono, come detto, sversate nel fiume Arrone.

L'opera che si potrebbe ipotizzare per il recupero irriguo delle acque reflue depurate in uscita dall'impianto di depurazione di Fregene riguarderebbe: una piccola stazione di sollevamento con una prevalenza sufficiente a vincere le perdite di carico della tubazione utilizzata e una tubazione della lunghezza di circa 3 km per convogliare lo scarico al canale irriguo denominato "canale F", posto nei pressi dell'abitato di Maccarese e che rappresenta il canale di adduzione delle acque verso un centro di sollevamento denominato Monti dell'Ara, per la distribuzione delle acque nel territorio pedecollinare Palidoro-S. Severa.

Questa ipotesi di riutilizzo indiretto a fini irrigui è stata discussa con i responsabili del Consorzio del Tevere Agro Romano e con i Gestori dell'impianto di depurazione (ACEA).

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare l'acqua reflua depurata, miscelata con quella prelevata dal fiume Tevere e già distribuita dal Consorzio irriguo.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio.

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 3.

Si vede come in generale gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni misurate nell'effluente sono già ora (in assenza cioè dei previsti trattamenti terziari) inferiori ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03, a meno di alcuni parametri come ammoniaca, cloruri, solidi sospesi, fenoli ed *E. coli*, i cui indici risultano negativi.

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in Tabella 4 e Figura 5. In quest'ultima si mette a confronto la situazione tipica (concentrazioni medie) con la situazione peggiore (concentrazioni massime) e con le condizioni rappresentate rispettivamente dal 75° e 95° percentile.

I dati evidenziano un sensibile peggioramento, rispetto ai dati medi, con la maggior parte degli indici che, usando i valori massimi e il 95° percentile, sono negativi. Ciò denota una scarsa affidabilità dell'impianto nel garantire prestazioni depurative in linea con gli standard di qualità per il riutilizzo. Chiaramente questa valutazione ha unicamente valore in riferimento al potenziale riutilizzo dell'acqua depurata. Non si riferisce cioè alle condizioni di funzionamento dell'impianto rispetto ai limiti per lo scarico in acque superficiali. D'altro canto l'impianto non è oggi dotato dell'affinamento terziario.

INDICI	IMPIANTO DI FREGENE
I _{BOD}	0,93
I _{COD}	1,16
I _{SS}	-0,06
I _{NH4+}	-0,21
I _{Ntot}	0,10
I _{Ptot}	0,27
I _{Tensioattivi}	2,00
I _{Cl⁻}	-1,26
I _{SO4²⁻}	1,99
I _{E.Coli}	-1,39
I _{As}	0,67
I _{Cd}	0,67
I _{Cr}	2,00
I _{Hg}	0,67
I _{Ni}	2,00
I _{Pb}	2,00
I _{Cu}	2,00
I _{Zn}	2,00
I _{Fenoli}	-2,00
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,71

^ Situazione attuale, ovvero in assenza dei previsti trattamenti terziari.

Tabella 3. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico^.

INDICI	IMPIANTO DI FREGENE		
	MASSIMA	95° PERCENTILE	75° PERCENTILE
I _{BOD}	0,00	0,07	0,61
I _{COD}	0,56	0,68	1,01
I _{SS}	-0,11	-0,11	-0,07
I _{NH4+}	-0,44	-0,47	-0,49
I _{Ntot}	-0,17	-0,19	-0,18
I _{Ptot}	-0,71	-0,62	0,15
I _{Tensioattivi}	0,08	0,25	2,00
I _{Cl⁻}	-1,60	-1,57	-1,33
I _{SO4²⁻}	1,36	1,43	1,78
I _{E.Coli}	-2,00	-2,00	-1,37
I _{Fenoli}	-0,99	-1,30	-2,00
VALUTAZIONE FINALE V_D	-0,36	-0,35	0,01

Tabella 4. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

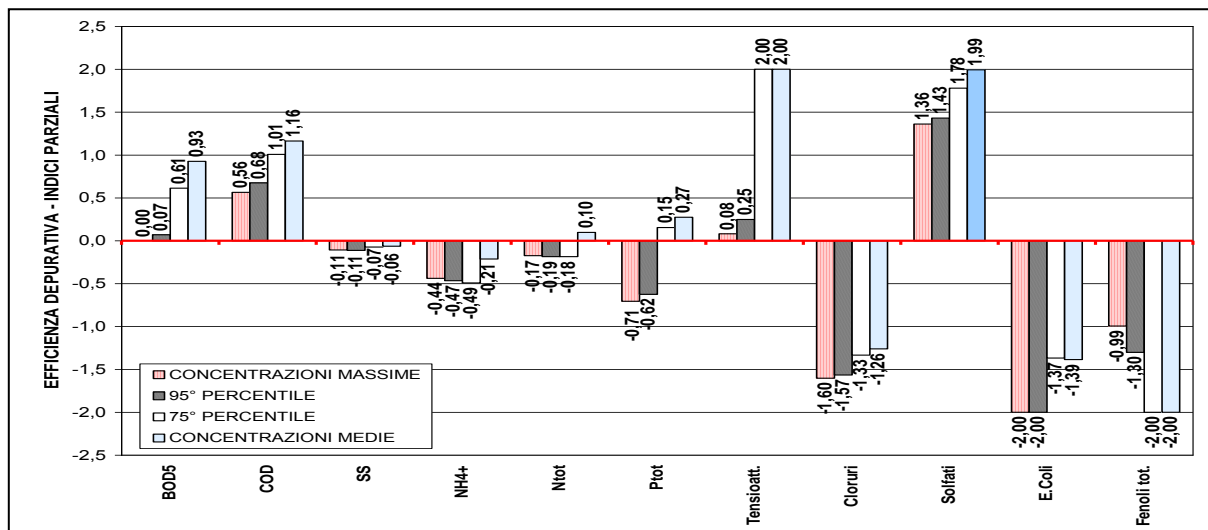


Figura 5. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

4.2 Il sistema idraulico

Le opere da realizzare per il convogliamento dell'effluente depurato nella rete irrigua del Consorzio del Tevere Agro Romano ("canale F") consistono nella costruzione di una piccola stazione di sollevamento, con una prevalenza sufficiente a vincere le perdite di carico della tubazione utilizzata, e una tubazione della lunghezza di circa 3 km.

In base ai dati fondamentali (prevalenza e portata) che caratterizzano il sistema di trasporto delle acque depurate alla rete irrigua, è possibile stimare direttamente il costo al metro cubo di acqua da sollevare.

Essendo trascurabile la prevalenza geodetica, con una portata $Q = 0,336 \text{ m}^3/\text{s}$, risulta un costo al metro cubo sollevato pari a $0,03 \text{ €/m}^3$ (per la stazione di sollevamento e la condotta di trasporto) se si considera il periodo di 8 mesi della stagione irrigua.

Il costo dell'affinamento non viene viceversa conteggiato perché la realizzazione dei trattamenti terziari è già prevista anche per il solo scarico in corpo idrico superficiale.

Questo valore è da confrontare con il costo dell'acqua oggi usata. Nel caso in esame, il prezzo riconosciuto per il prelievo di acqua per uso irriguo è pari a $0,15 \text{ €/m}^3$, di gran lunga al costo da sostenere per il sollevamento e il trasporto dell'acqua depurata.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

La superficie irrigata dal Consorzio del Tevere Agro Romano è di circa 15.000 ha ed è caratterizzata da una ampia varietà di specie coltivate e di una quantità di acqua destinata all'irrigazione (nel periodo irriguo da marzo ad ottobre) di circa 15-20 milioni di metri cubi.

Ciò significa che l'area di interesse ha un fabbisogno irriguo di circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata di scarico utilizzabile, in estate, è di 0,336 m³/s. Il riutilizzo potrebbe consentire il mancato emungimento della medesima portata dal fiume Tevere.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa”, in questo caso, non è un aspetto critico: il fabbisogno attuale è, infatti, già soddisfatto dal prelievo di acque superficiali; se parte dell’acqua del canale venisse “sostituita” con lo scarico del depuratore, non si avrebbe alcun beneficio in termini quantitativi, perché, di fatto, la disponibilità attuale di acqua soddisfa i fabbisogni delle colture. Applicando l’indice di valutazione risulta: $y_3 = 0$ e $y_4 = 0$, per un risultato complessivo $I_D = 0$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

La verifica è stata effettuata ipotizzando di “sostituire” 0,336 m³/s di acque superficiali (prelevate dal fiume Tevere) con lo scarico del depuratore per garantire un approvvigionamento totale di 1 m³/s. Ciò rappresenta una schematizzazione di ciò che potrebbe avvenire nella realtà, che, dal punto di vista della presente verifica, pone in favore di sicurezza, non considerandosi, in questo caso, eventuali benefici dovuti alla miscelazione dello scarico con una maggiore quantità di acqua che potrebbe comunque essere veicolata dal canale.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell’acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 5 e nella Figura 6.

Risulta, dall’esame dei dati, come la presenza dello scarico sia lievemente peggiorativa, rispetto alla situazione attuale, pur ottenendosi complessivamente un giudizio positivo.

IMPIANTO DI FREGENE			
INDICI	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA' DELL'ACQUA DEL FIUME TEVERE	MEDIA
I_{BOD}	2,00	-0,11	0,94
I_{NH4+}	-0,25	-0,10	-0,17
I_{Ptot}	1,23	-0,21	0,51
I_{E.Coli}	-2,00	0,04	-0,98
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	0,25	-0,09	0,08

Tabella 5. Valori degli indici per la valutazione dell’idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.

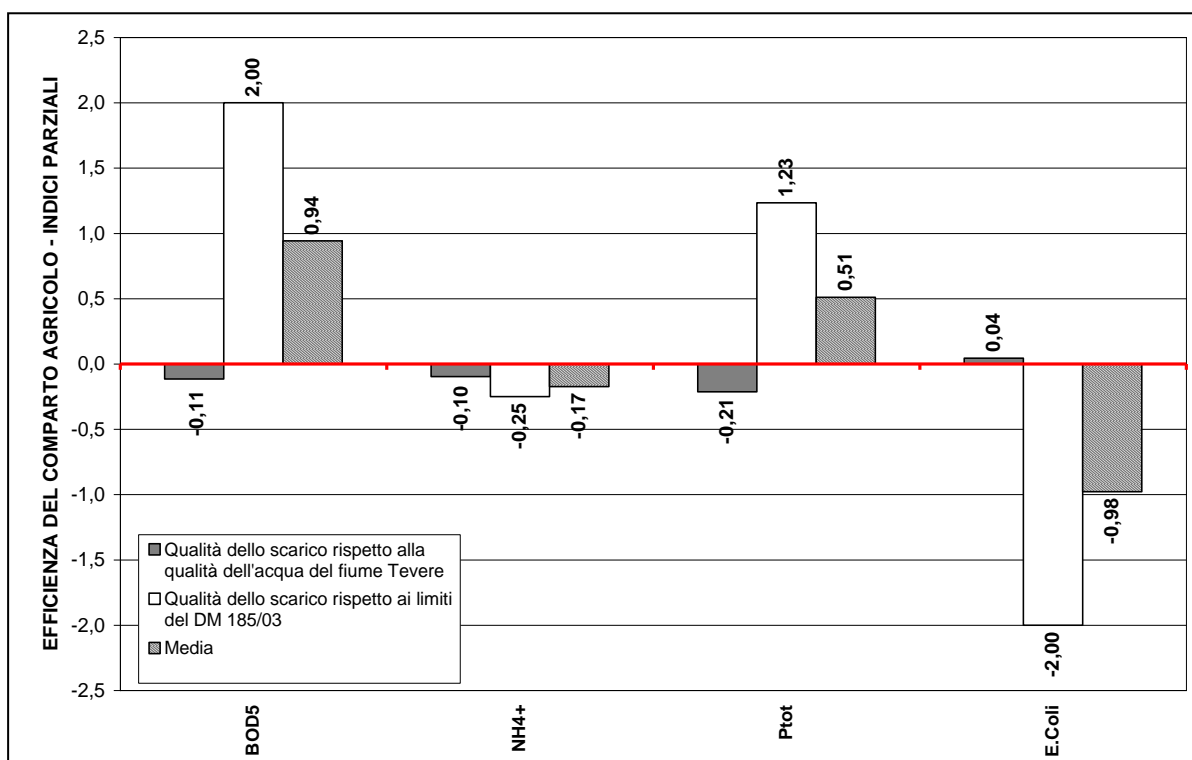


Figura 6. Indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto i limiti di cui al D.M. 185/03, confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dal cavo Reale, valutazione complessiva.

La valutazione finale, per il comparto irriguo (utilizzatore), risulta lievemente positiva:
 $V_u = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot (0,08) = 0,04$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

L'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Fregene (RM) evidenzia le seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, il sollevamento dello scarico alla rete irrigua è conveniente, considerando il costo oggi sostenuto per il prelievo dell'acqua del fiume Tevere;
- 2) l'impianto presenta buone rese di rimozione ($V_D = 0,71$) e i previsti interventi migliorativi sul processo a cui verrà aggiunta una stazione di affinamento dovrebbero garantire un'idonea affidabilità di funzionamento;
- 3) per l'utilizzatore potenziale, la presenza dell'acqua di scarico in aggiunta a quella oggi disponibile nel canale rappresenterebbe una situazione non significativamente favorevole nella situazione attuale ($V_u = 0,04$), ma destinata a migliorare a seguito degli interventi previsti sul depuratore.

Secondo le valutazioni svolte, quindi, il riutilizzo risulterebbe certamente praticabile, con vantaggi dal punto di vista tecnico ed economico, una volta realizzati gli interventi previsti sull'impianto di depurazione.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI LOCATE TRIULZI (MI)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

In Figura 1 è riportata la scheda tecnica dell'impianto, con le principali caratteristiche impiantistiche e progettuali.



Figura 1. Scheda tecnica dell'impianto di depurazione di Locate Triulzi.

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata trattata in tempo estivo (stagione irrigua) e le caratteristiche qualitative dell'acqua depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata effettiva scaricata nel periodo irriguo è di circa 30.000 m³/d (= 0,347 m³/s).

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dello scarico, la Figura 2 riporta i valori medi, massimi e minimi registrati per diversi parametri nel periodo 2004-2006. I dati sono desunti da un precedente studio svolto dagli scriventi:

(http://www.irer.it/Rapportifinali/2006B039RapportoFinale/2006B039_RelFin_Volume1.pdf).

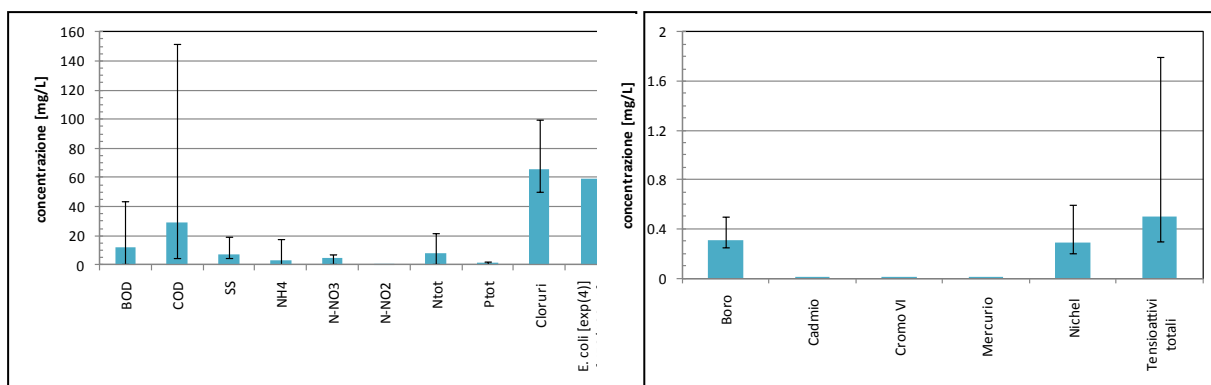


Figura 2. Valori medi, massimi e minimi per i principali parametri chimico-fisici dell'effluente dell'impianto di Locate Triulzi (fonte: ARPA).

Purtroppo non tutti i parametri necessari per una completa valutazione sono disponibili (mancano ad esempio le analisi utili al calcolo del SAR): ciò richiederebbe un'indagine mirata, con l'effettuazione di un'apposita campagna analitica.

Lo scopo di questa prima applicazione è tuttavia quello di verificare l'idoneità del criterio metodologico proposto, piuttosto che lo studio approfondito dei casi esaminati. Anzi, il fatto stesso di evidenziare che la determinazione di alcuni parametri richiede uno sforzo aggiuntivo rispetto alla normale prassi gestionale rappresenta già di per sé un'utile informazione per valutare l'applicabilità del metodo.

2. CARATTERISTICHE DEL CANALE CORIO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI

L'impianto di depurazione riversa il proprio effluente nel fiume Lambro ma, a breve distanza, transita un canale irriguo (canale Corio) che serve un'area agricola di 130 ha coltivata a mais.

La verifica svolta è quindi consistita nella valutazione di fattibilità tecnico-economica del convogliamento dello scarico depurato nel canale Corio, così da effettuare una valorizzazione in agricoltura.

Il canale Corio, gestito dal Consorzio Villorosi, origina dal Naviglio Grande, attraversa Corsico e Assago, sottopassa il Naviglio Pavese e transita da Locate Triulzi (Figura 3).

La portata del Canale Corio, a Locate Triulzi, è di circa 300 L/s.

Le caratteristiche qualitative dell'acqua sono desumibili dalle analisi effettuate da ARPA sul Naviglio Grande, non essendo disponibili analisi specifiche dirette sul Corio.

Le analisi ARPA sono quelle finalizzate alla classificazione dei corpi idrici. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei dati disponibili, per gli anni 2006, 2007 e 2008 (Tabella 1).

	100-ODs%	BOD₅	COD	E. coli	N-NH₄⁺	N-NO₃⁻	P_{tot}	LIM
<i>anno</i>	%	mg/L	mg/L	UFC/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	-
2006	20,5	1	2,5	2,0E+02	0,06	1	0,035	2
2007	13,2	1	5	3,3E+02	0,08	1,3	0,078	2
2008	31,5	1	5	6,0E+02	0,08	1,4	0,23	2
MEDIA	22	1,0	4,2	3,8E+02	0,07	1,2	0,11	2

Tabella 1. *Caratteristiche qualitative del Naviglio Grande (dati ARPA).*

Si osserva un livello di qualità costante corrispondente ad un valore di L.I.M. (Livello Inquinamento Macrodescrittori) pari a 2, ovvero ad uno stato di qualità "buono".

L'acqua viene utilizzata per irrigare circa 130 ha di terreno, coltivati prevalentemente a mais.

Il prezzo sostenuto dalle aziende agricole per il prelievo dell'acqua dal canale è di 115 Euro/ha.

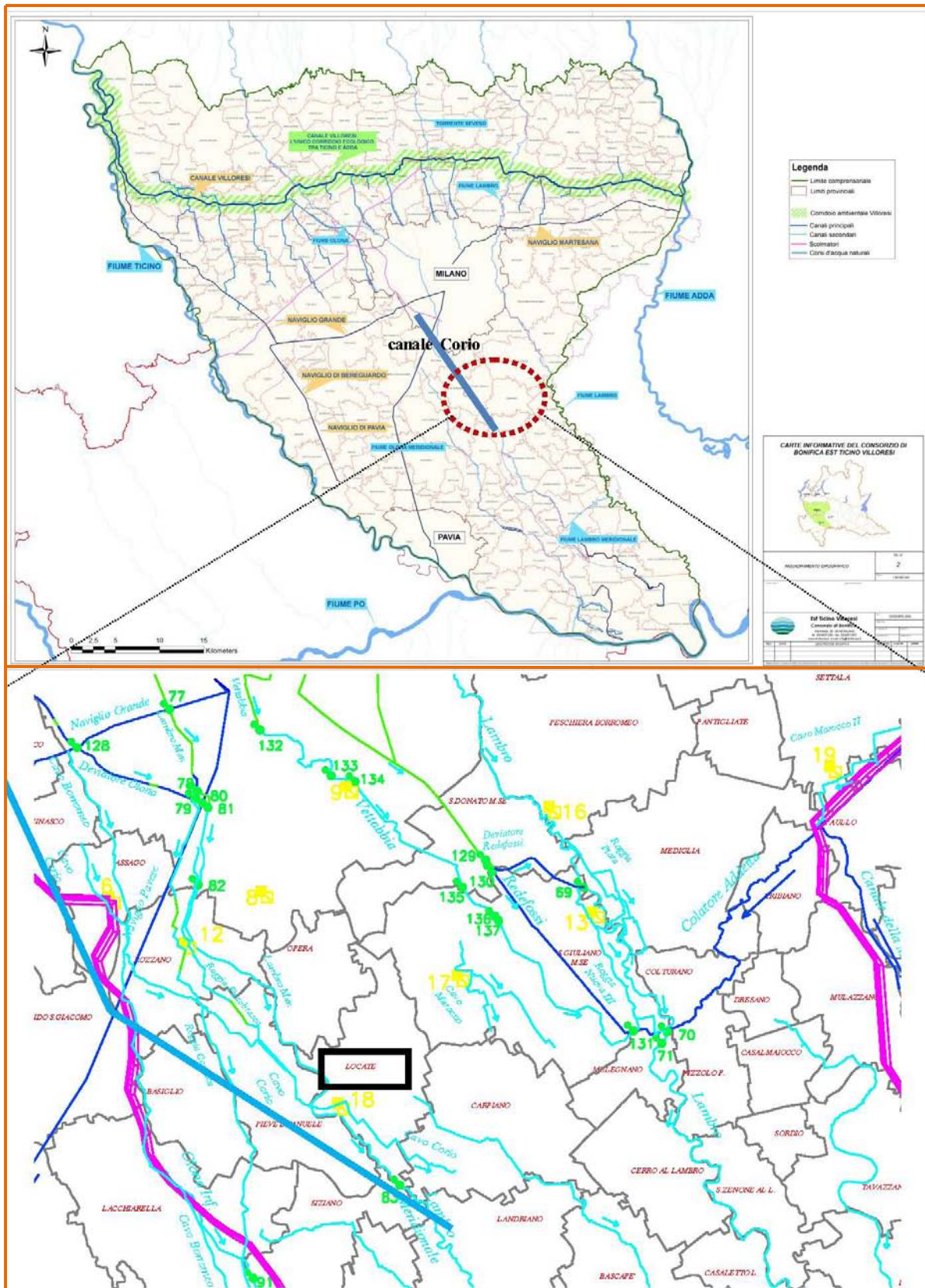


Figura 3. Mappa del reticolo idrografico della provincia di Milano, con indicazione del canale Corio e del comune di Locate Triulzi.

3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO NEL CANALE CORIO

Il canale Corio transita nelle vicinanze dell'impianto di depurazione (Figura 4).

L'impianto è peraltro già dotato di stazione di sollevamento e condotta per l'eventuale scarico nel canale Corio.

Durante il sopralluogo sull'impianto sono state valutate le caratteristiche di questo sistema idraulico, che sono riassumibili nei seguenti dati essenziali:

- prevalenza geodetica: 3 m;
- lunghezza della condotta: 490 m.

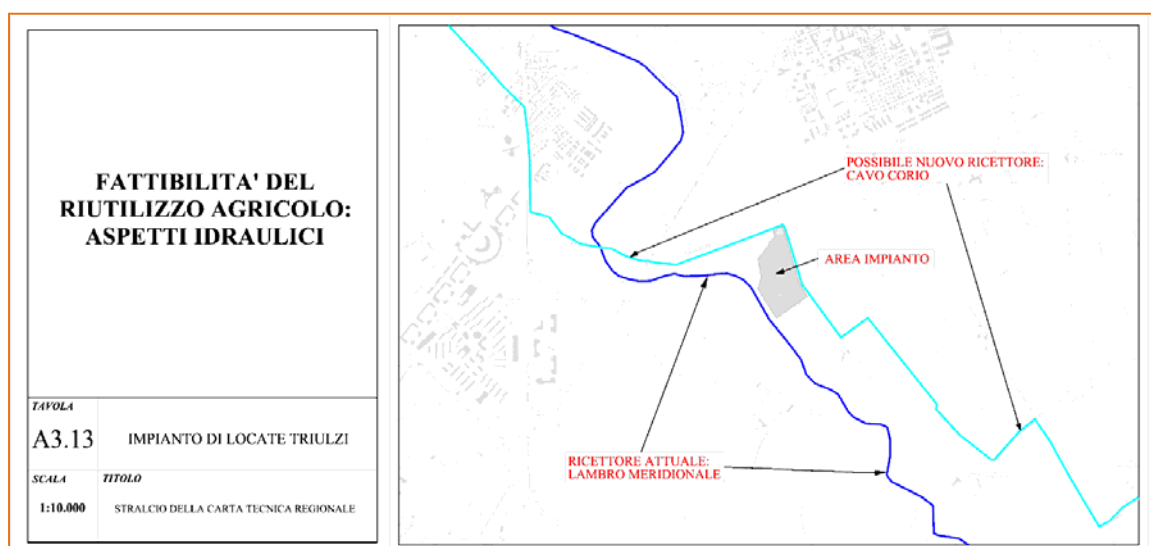


Figura 4. Carta Tecnica Regionale (in alto) e mappa dell'impianto di Locate Triulzi.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare un'acqua con caratteristiche diverse dall'attuale e con maggiore disponibilità.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio. A seconda del numero di dati disponibile si considerano la concentrazione massima nel periodo esaminato o un indice statistico (es. 75° o 95° percentile).

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 2.

INDICI	IMPIANTO DI LOCATE TRIULZI
I _{BOD}	0,46
I _{CO_D}	1,42
I _{SS}	0,26
I _{NH₄⁺}	-0,05
I _{Ntot}	0,59
I _{Ptot}	0,17
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,48

Tabella 2. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

Si vede come in generale gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03. Esiste però una lieve criticità rappresentata dal parametro ammoniaca.

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in Tabella 3 e Figura 5. In quest'ultima si mette a confronto la situazione tipica (concentrazioni medie) con la situazione peggiore (concentrazioni massime) e con le condizioni rappresentate rispettivamente dal 75° e 95° percentile.

I dati evidenziano un sensibile peggioramento, rispetto ai dati medi, con la maggior parte degli indici che, usando i valori massimi e il 95° percentile, sono negativi. Ciò deriva dal fatto che l'impianto viene gestito in modo da rispettare pienamente i limiti per lo scarico in acque superficiali, mentre le condizioni di funzionamento non sono spinte al punto di garantire con continuità i limiti per il riutilizzo, non essendovi oggi questa necessità. In altre parole, l'impianto potrebbe rispettare questi limiti più restrittivi ma a fronte di costi gestionali che, oggi, sarebbero ingiustificati.

INDICI	IMPIANTO DI LOCATE TRIULZI		
	Massima	95° percentile	75° percentile
ID _{BOD}	-0,18	-0,13	-0,03
ID _{COD}	-0,26	0,00	2,00
ID _{SS}	-0,05	-0,04	0,30
ID _{NH4+}	-2,00	-0,71	-0,09
ID _{Ntot}	-0,61	-0,19	0,53
ID _{Ptot}	-0,40	-0,24	0,05
VALUTAZIONE FINALE V_D	-0,57	-0,22	0,47

Tabella 3. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

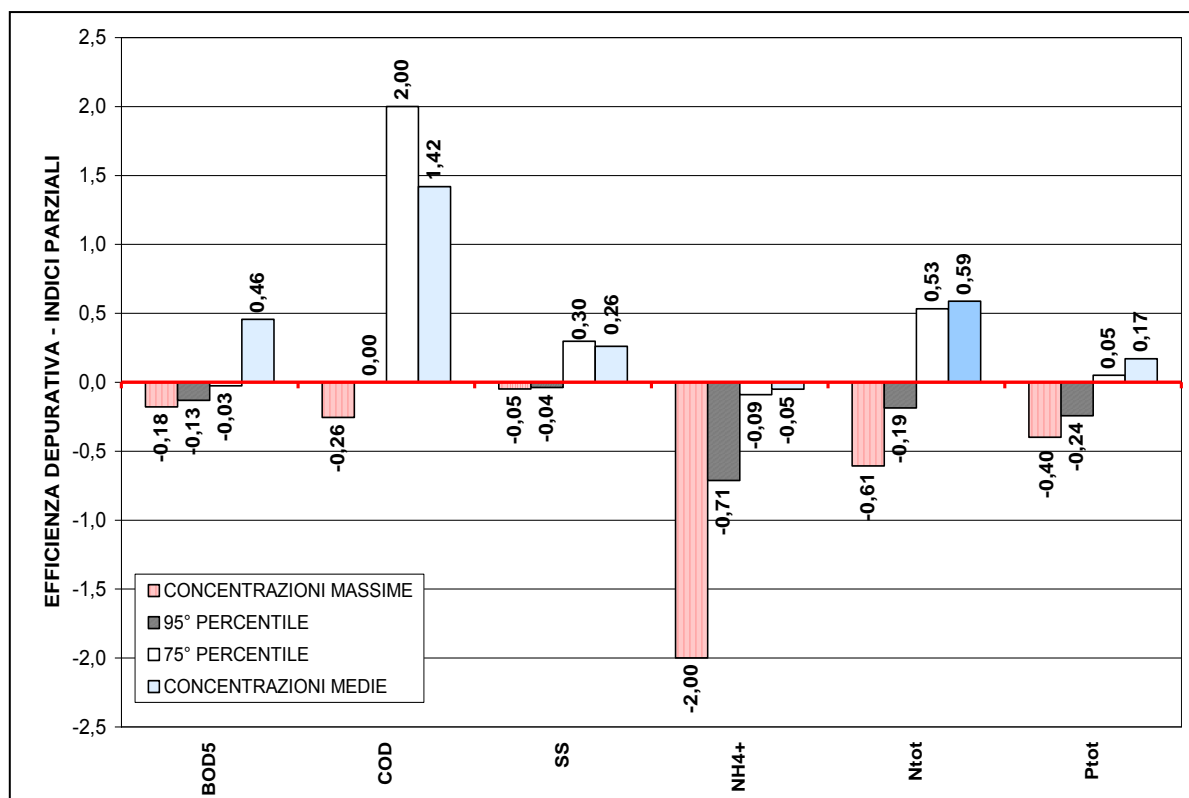


Figura 5. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

4.2 Il sistema idraulico

Essendo disponibili tutti i dati dimensionali del sistema richiesto, è possibile ricavare direttamente il costo al metro cubo di acqua da sollevare.

Essendo 3 m la prevalenza geodetica ed essendo 490 m la lunghezza della condotta premente, si può assumere $H = 5,5$ m (prevalenza totale). Con una portata $Q = 0,347$ m³/s, risulta un costo al metro cubo sollevato pari a 0,0091 €/m³ se il periodo irriguo è pari a 4 mesi e a circa 0,015 €/m³ se il periodo irriguo è di 2 mesi. Questo valore è da confrontare con il costo dell'acqua oggi usata.

Chiaramente il confronto tra il costo della risorsa già disponibile e il costo dell'acqua di scarico rappresenta un primo aspetto determinante. Questa situazione è tipica di realtà, come quella esaminata, caratterizzate da un rapporto disponibilità idrica/fabbisogno molto favorevole.

Nel caso in esame, il prezzo riconosciuto per il prelievo di acqua dal canale irriguo Corio (che coincide con il costo per veicolare l'acqua sostenuto dal Consorzio irriguo, il quale non ha fini di lucro) è pari a 115 €/ha, che, considerando un fabbisogno di 3000 m³/(ha a) (v. paragrafo successivo), equivalgono a 0,0383 €/m³. Questo valore è di molto superiore a quello da sostenere per pompare lo scarico depurato nel canale Corio (rispettivamente 0,0091 o 0,015 €/m³, dipendentemente dalla durata del periodo irriguo) e ciò indica la fattibilità economica dell'operazione. Si deve ipotizzare che la disponibilità dell'acqua di scarico consenta di evitare analoga portata di acqua dal Naviglio Grande, consentendo quindi al Consorzio Villoresi di non sostenere i relativi oneri.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Si può stimare che il fabbisogno per una coltura di mais sia pari a 3000 m³/(ha y) che, considerato in favore di sicurezza concentrato in 60 d/y, equivale a un fabbisogno istantaneo di 0,5787 L/(ha s).

Ciò significa che l'area di interesse (130 ha) ha un fabbisogno irriguo di circa 75 L/s (130 ha · 0,5787 L/(ha s)), che in effetti è del tutto compatibile con la portata del canale Corio di 300 L/s. Peraltro, il canale medesimo restituisce al fiume Lambro le acque non utilizzate.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa”, in questo caso, non è un aspetto critico: il fabbisogno attuale (75 L/s) è, infatti, già sensibilmente inferiore alla disponibilità (300 L/s); se anche l'acqua del canale venisse “sostituita” con lo scarico del depuratore (che è di entità di poco superiore) o se lo scarico venisse “aggiunto” alla portata attuale (ammesso che il canale Corio abbia dimensioni idonee a veicolare la portata complessiva), non si avrebbe alcun beneficio in termini quantitativi, perché, di fatto, la disponibilità attuale di acqua soddisfa abbondantemente i fabbisogni delle colture. Applicando l'indice di valutazione risulta: $y_3 = 0,14$ e $y_4 = 2$, per un risultato complessivo $I_D = 1,07$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

Per quanto già detto nel paragrafo relativo alla valutazione economica e non avendo svolto una verifica della capacità idraulica del canale (che potrebbe non essere in grado di sopportare, in aggiunta all'attuale, la portata del depuratore), la verifica è stata effettuata ipotizzando di “sostituire” la portata del canale con lo scarico del depuratore. Ciò rappresenta una schematizzazione di ciò che potrebbe avvenire nella realtà, che, dal punto di vista della presente verifica, pone in favore di sicurezza, non considerandosi, in questo caso, eventuali benefici dovuti alla miscelazione dello scarico con l'acqua veicolata dal canale.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 4 e nella Figura 6.

Risulta chiaro, dall'esame dei dati, come la qualità dello scarico sia nettamente peggiore rispetto all'acqua prelevata dal canale: la colonna "*Qualità dell'acqua destinata a utilizzo rispetto alla qualità dell'acqua del canale Corio*" indica, infatti, questo confronto e tutti gli indici sono negativi. Tuttavia, il confronto con i valori del D.M. 185/03 (colonna "*Qualità dell'acqua destinata a utilizzo rispetto ai limiti del DM 185/03*"), che coincidono con i dati riportati in Tabella 2 (perché si è ipotizzato il caso di riutilizzo "diretto" dello scarico), evidenzia come di fatto l'unico parametro significativamente inadeguato sia l'indicatore di contaminazione microbiologica *E. coli*.

Di fatto, anche l'indice sintetico finale evidenzia una situazione non idonea al riuso.

La valutazione finale, per il comparto irriguo (utilizzatore), risulta lievemente positiva:

$$V_u = 0,5 \cdot 1,07 + 0,5 \cdot (-0,76) = 0,16$$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Locate Triulzi evidenzia le seguenti conclusioni:

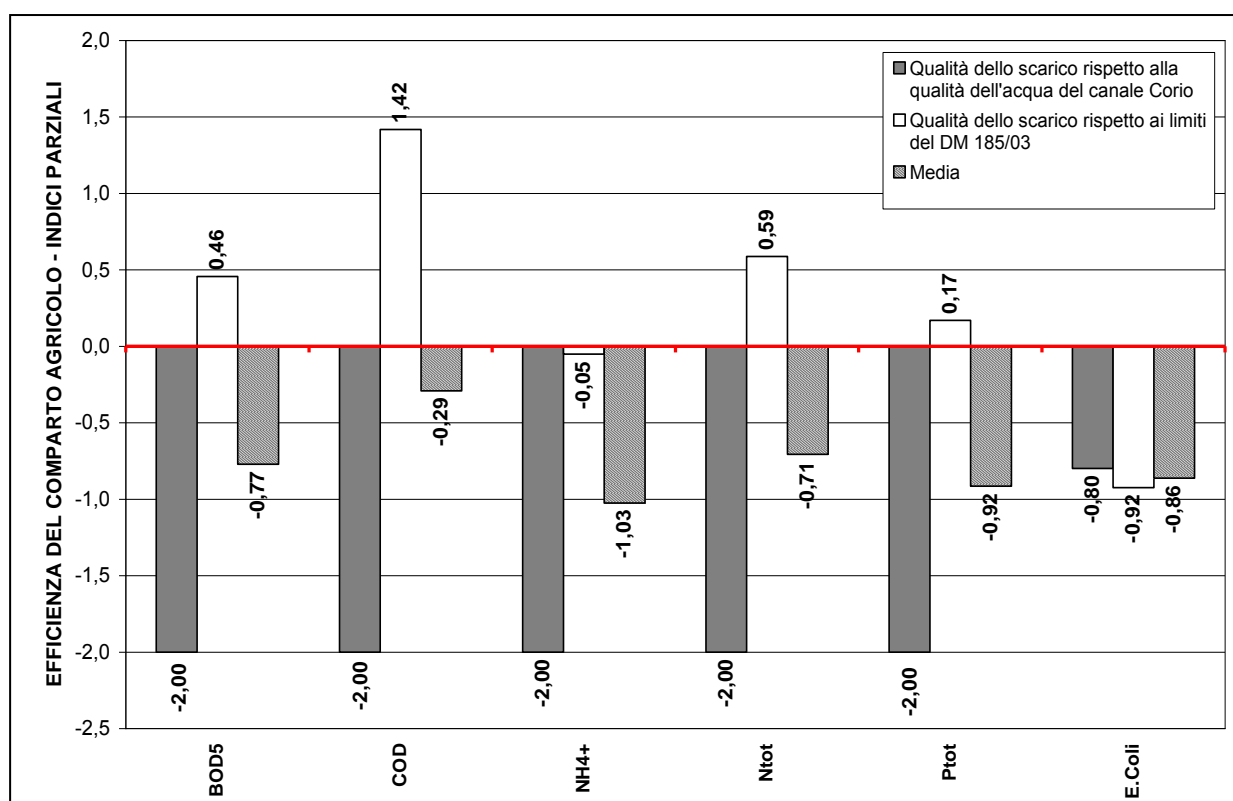
- 1) dal punto di vista economico, il sollevamento dello scarico e il suo convogliamento nel canale Corio sono ampiamente sostenibili;
- 2) tuttavia, l'impianto oggi scarica in acque superficiali, per cui, non ha l'esigenza di rispettare i limiti più restrittivi per il riutilizzo; questi peraltro potrebbero essere raggiunti lavorando in condizioni di funzionamento più severe ma a fronte di costi gestionali che oggi sarebbero del tutto ingiustificati;
- 3) l'uso dell'acqua di scarico in sostituzione di quella attualmente prelevata dal canale rappresenterebbe una situazione nel complesso positiva ($V_u = 0,16$).

Si osservi che il riutilizzo dell'acqua di scarico permetterebbe di evitare il prelievo di analoga portata dal Naviglio Grande, preservando così risorsa pregiata per altri usi (o comunque evitandone l'"asportazione" dal corpo idrico naturale).

Si consideri poi che, se si ricorresse all'uso agricolo "indiretto" (cioè lo scarico nel canale e la miscelazione con la portata esistente), si otterrebbero benefici in termini di qualità della risorsa da destinare all'agricoltura (rispetto al caso di riuso "diretto").

IMPIANTO DI LOCATE TRIULZI			
INDICI	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA' DELL'ACQUA DEL CANALE CORIO	MEDIA
D _{BOD}	0,46	-2,00	-0,77
D _{COD}	1,42	-2,00	-0,29
D _{NH4+}	-0,05	-2,00	-1,03
D _{Ntot}	0,59	-2,00	-0,71
D _{Ptot}	0,17	-2,00	-0,92
D _{E.Coli}	-0,92	-0,80	-0,86
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	0,29	-1,81	-0,76

Tabella 4. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.



Nota: per carenza di dati si è assunto azoto totale = azoto ammoniacale + azoto nitrico

Figura 6. Indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto i limiti di cui al D.M. 185/03, confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dal cavo Reale, valutazione complessiva.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI PESCHIERA DEL GARDA (VR)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

L'impianto di depurazione delle acque reflue urbane di Peschiera del Garda è localizzato in località Paradiso nel Comune di Peschiera del Garda (VR) all'interno di un'area in concessione alle aziende Garda Uno S.p.A. e Azienda Gardesana Servizi S.p.A.

Il depuratore di Peschiera del Garda rappresenta il trattamento centralizzato dei liquami fognari (acque nere o acque nere miste ad acque di pioggia) dei comuni delle sponde bresciana e veronese del Lago di Garda.

1.1 Assetto impiantistico

A partire dal 2003 sono stati avviati presso il depuratore di Peschiera del Garda una serie di interventi di ampliamento/ristrutturazione.

In origine l'impianto era costituito da tre linee di sedimentazione primaria, cinque comparti biologici, otto sedimentatori finali, per una potenzialità nominale di 330.000 A.E.. Nella [Figura 1](#) è riportato lo schema a blocchi dell'impianto nella configurazione precedente agli interventi di ampliamento.

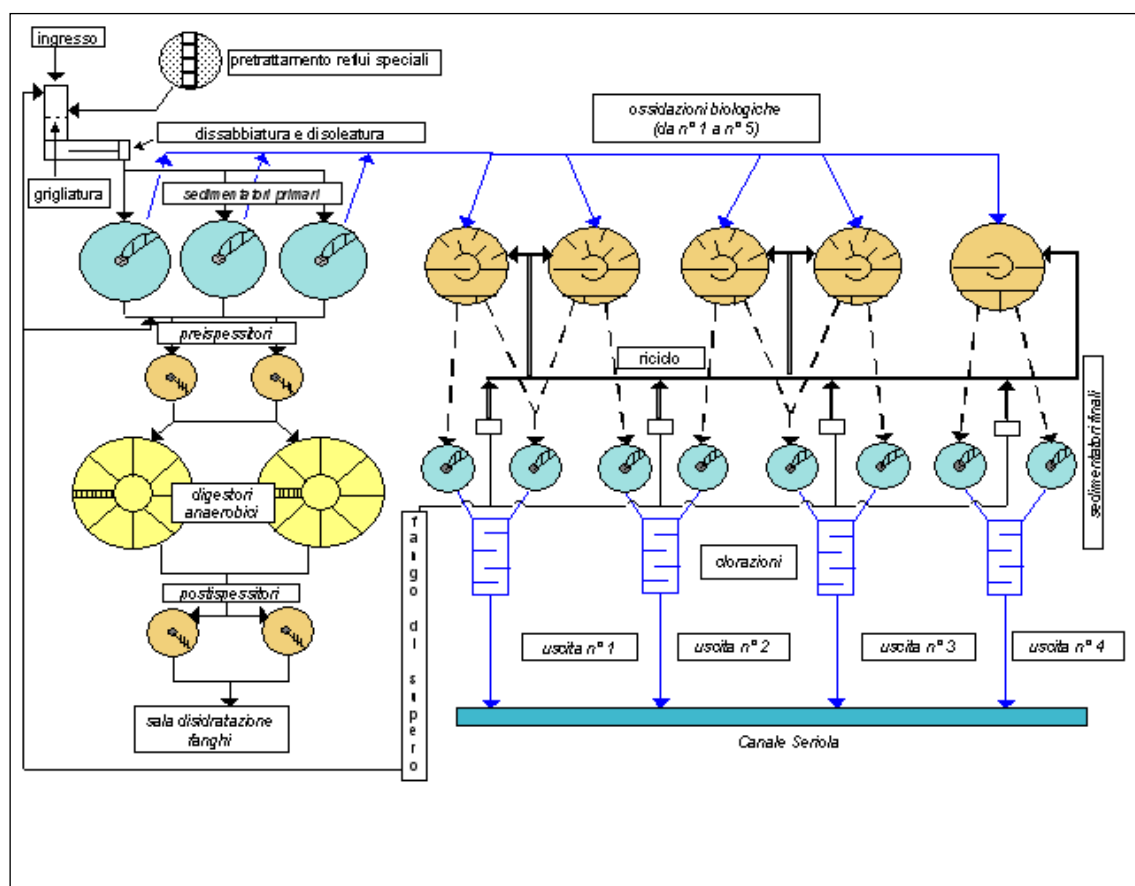


Figura 1. Schema dei flussi principali dell'impianto di depurazione prima dei recenti interventi di ampliamento/ristrutturazione.

Dopo il 2003 sono stati pianificati interventi per i tre lotti successivi di seguito sinteticamente descritti.

1) Adeguamento idraulico – lotto 1:

- realizzazione di una sesta linea di trattamento composta da una vasca di ossidazione e denitrificazione e da due sedimentatori finali (necessari per adeguare il carico idraulico complessivo ai nuovi valori di portata trattata);

2) Adeguamento idraulico – lotto 2:

- realizzazione di nuove opere fra le quali le principali sono una nuova sezione di sollevamento, grigliatura e dissabbiatura e una nuova dorsale idraulica di alimentazione alle ossidazioni;
- utilizzo dei sedimentatori primari come vasche di laminazione e accumulo in caso di eventi piovosi, qualora la portata massima in ingresso superi quella trattabile dall'impianto;

3) Trattamenti terziari – lotto 3 (non ancora realizzato):

- realizzazione di una sezione di filtrazione a gravità di tipo aperto, su letto di sabbia, preceduta da un trattamento chimico-fisico di chiariflocculazione (per il rispetto dei limiti allo scarico previsti dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i.);
- realizzazione di una sezione di disinfezione a raggi UV a valle della filtrazione.

Nelle scelte progettuali dei gestori (correttamente cautelative) l'impianto, nonostante gli interventi, conserva la potenzialità di progetto di 330.000 abitanti equivalenti, in virtù della necessità di rispettare limiti in uscita più restrittivi.

La **linea acque** comprende, oggi, le fasi di seguito elencate:

- stazione di sollevamento;
- grigliatura fine;
- dissabbiatura-disoleatura;
- vasche di accumulo per le acque eccedenti la portata massima (ex sedimentazione primaria) in tre unità circolari (superficie utile = 733 m²/cad.; volume utile = 3.405 m³/cad.);
- comparto biologico: il processo a fanghi attivi avviene in sei vasche circolari, secondo lo schema di pre-denitrificazione (il volume complessivo è di 30.416 m³, di cui 8.973 m³ destinati alla pre-denitrificazione e 21.473 m³ alla nitrificazione);
- sedimentazione finale in dieci decantatori (di cui otto con superficie utile = 730 m²/cad. e volume utile = 2.200 m³/cad.; due con superficie utile = 984 m²/cad. e volume utile = 3.907 m³/cad.).

All'interno del confine dell'area in concessione è presente anche un impianto di trattamento di rifiuti liquidi speciali non pericolosi e non tossico nocivi.

L'impianto di trattamento rifiuti è attualmente costituito da:

- una sezione di trattamento biologico;
- una sezione di trattamento di tipo chimico-fisico, che ha lo scopo di rimuovere dai rifiuti trattati i metalli pesanti non eliminabili significativamente per via biologica.

1.2 Dati gestionali

Portate trattate

Sono stati elaborati i dati relativi alle portate giornaliere misurate in ingresso all'impianto di depurazione per il periodo 2008-2009.

Nella Figura 2 si riporta l'andamento della portata giornaliera in ingresso all'impianto dopo il by-pass ("effettivamente trattata").

Come si può osservare dai diagrammi, l'andamento temporale della portata relativo agli anni 2008-2009 è molto simile ad eccezione del primo periodo dell'anno (Gennaio-Marzo), in corrispondenza del quale si osserva, nel 2009, un apprezzabile incremento; i valori medi (relativi alla portata misurata dopo il by-pass iniziale) risultano nel periodo Gennaio-Marzo rispettivamente pari a 71.650 m³/d (nel 2008) e 108.762 m³/d (nel 2009). Ciò è giustificabile considerando che il periodo in questione è stato, nel 2009, molto piovoso (con la conseguenza di un naturale incremento della portata effettivamente trattata).

Se consideriamo i dati relativi all'anno 2008, si possono individuare (Figura 2) tre periodi di funzionamento omogeneo (dove per periodo omogeneo si intende un lasso di tempo in cui la portata trattata si mantiene "ragionevolmente costante").

Nella Tabella 1 sono riportati, per ogni periodo omogeneo, i valori di portata (media, minima e massima) trattata per gli anni 2008 e 2009.

Se si considerano i dati di portata media relativi al 2008 si osserva passando dal 1° periodo al 2° periodo (che corrisponde al periodo di massimo afflusso turistico) un incremento della portata trattata pari a circa il 65%.

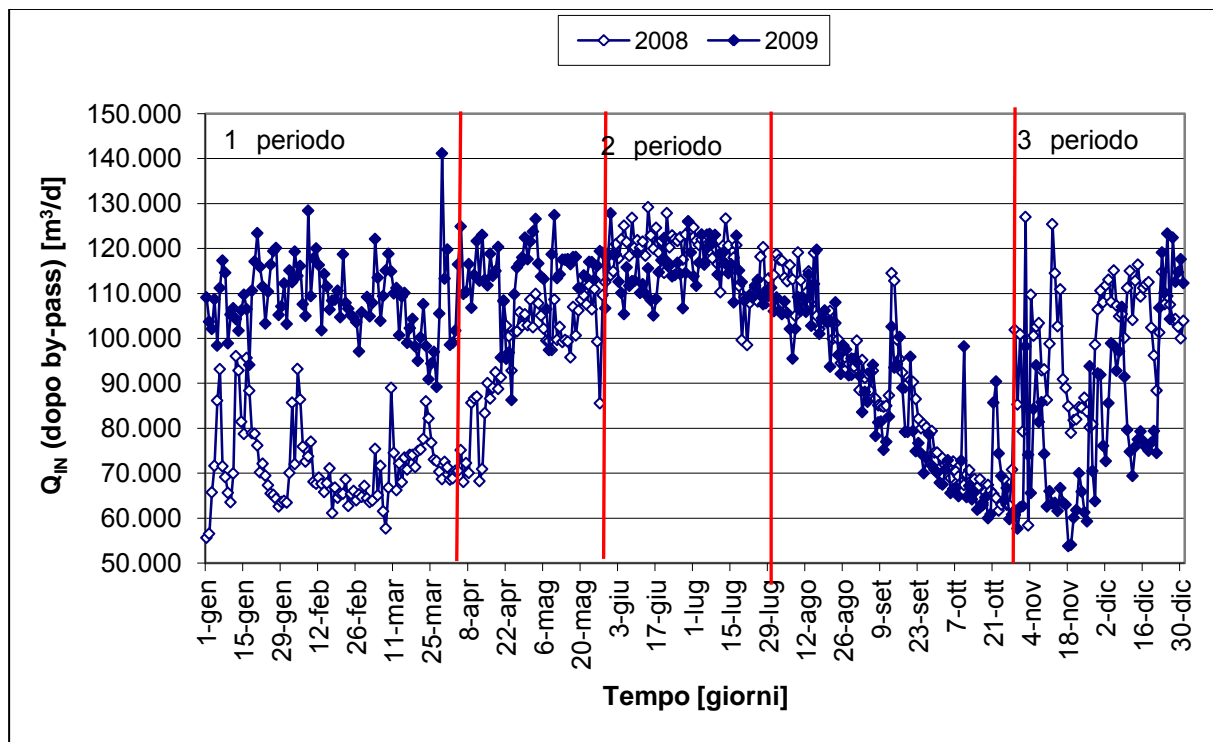


Figura 2. Andamento della portata giornaliera effettivamente trattata (dopo il by-pass) nel periodo 2008-2009.

PERIODO OMOGENEO	PORTATA m^3/d	ANNO 2008	ANNO 2009
1° periodo (gennaio-marzo)	Media	71.650	108.762
	Minima	55.651	89.195
	Massima	96.051	141.142
2° periodo (giugno-luglio)	Media	118.432	114.139
	Minima	98.518	105.100
	Massima	129.170	126.000
3° periodo (novembre-dicembre)	Media	101.905	82.833
	Minima	79.000	53.800
	Massima	125.400	123.300

Tabella 1. Portata trattata (media, minima e massima) nei periodi omogenei di funzionamento (anni 2008-2009).

Oltre alle acque conferite mediante fognatura l'impianto è autorizzato per il trattamento di rifiuti liquidi costituiti essenzialmente da spurghi di fosse settiche, rifiuti da attività di cantine e percolati. Il quantitativo autorizzato è pari a 90.000 t/a; nel 2009 il quantitativo di rifiuti trattati è stato di circa 88.000 t.

Caratteristiche qualitative dell'effluente

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative dello scarico, la [Figura 3](#) riporta i valori registrati per diversi parametri nella stagione irrigua 2009. Le barre di errore sono state calcolate a partire dal valore di deviazione standard del campione, sufficientemente numeroso per essere considerato statisticamente valido.

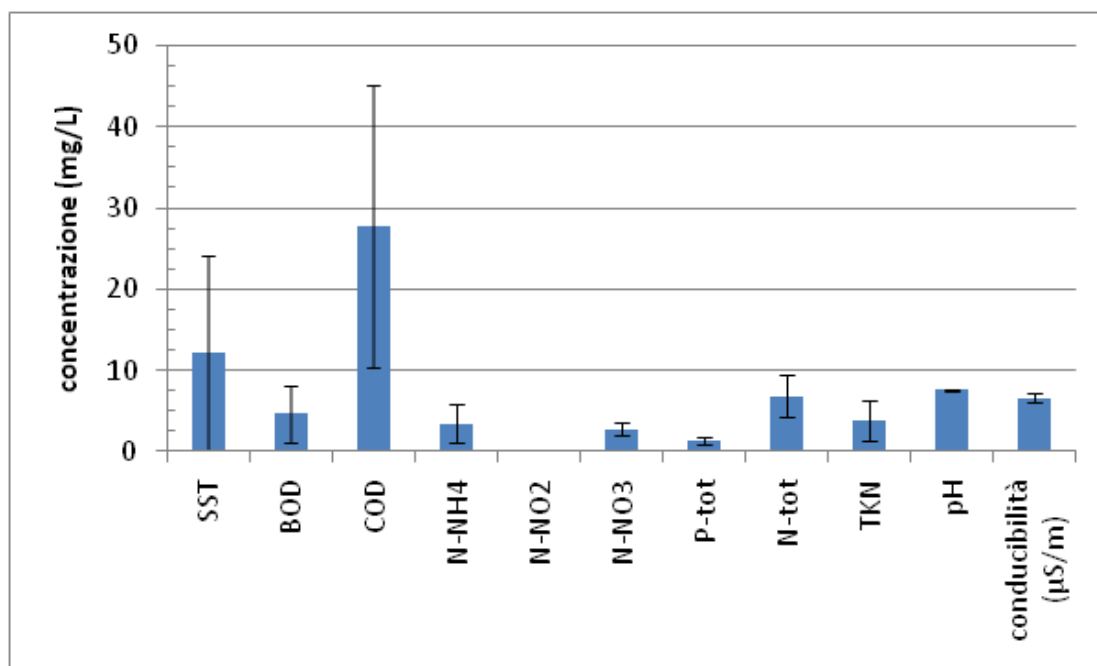


Figura 3. Valori per i principali parametri chimico-fisici dell'effluente dell'impianto di Peschiera d/G (Verona), nella stagione irrigua 2009.

2. CARATTERISTICHE DEL FIUME MINCIO E UTILIZZO DELL'ACQUA A FINI IRRIGUI

2.1 Il bacino idrografico Sarca-Garda-Mincio: inquadramento geografico

Il bacino idrografico del Sarca-Garda-Mincio è tradizionalmente diviso in due sottobacini:

- il bacino del Sarca-Garda, che prende nome dal lago e dal suo principale fiume immissario e raggruppa sia la superficie lacuale che il territorio le cui acque confluiscono nel lago di Garda;
- il bacino del Mincio, che comprende il territorio di media e bassa pianura, ubicato per la maggior parte in provincia di Mantova e attraversato, per circa 75 km, dal fiume Mincio fino alla confluenza nel Po.

Il bacino idrografico del Sarca-Garda confina a sud con il bacino del Mincio. La sua sezione di chiusura è posta a Monzambano presso lo sbarramento di Salionze, realizzato nel 1951 pochi km a valle della sezione di incile del Mincio posta a Peschiera del Garda.

Il bacino idrografico del fiume Mincio comprende tutto il territorio di pianura, percorso dal fiume Mincio,

unico emissario del Lago di Garda, ed è prevalentemente ubicato in provincia di Mantova.

Il bacino “idraulico-agrario”, più esteso del bacino idrografico, copre un’area di circa 1.300 km² caratterizzata dalla presenza di un’estesa rete di canali artificiali, in parte risalenti a vecchia data, realizzati a fini di bonifica, irrigazione, difesa idraulica e navigazione⁴.

2.2 Portate rilasciate dal Lago di Garda

Di seguito sono presentati gli aspetti idraulici del bacino del Fiume Mincio, per la cui definizione sono stati utilizzati i dati di portata relativi all’ultimo decennio ricavati dalle campagne di monitoraggio del corso d’acqua effettuate da diversi Enti (ARPA, Provincia di Mantova) e dai dati ufficiali dell’ultimo triennio forniti dall’AIPO-Ufficio di Mantova ed elaborati dalla Comunità del Garda, oltre che con le nuove normative intervenute in materia di regolazione del Lago di Garda.

Il quadro idraulico così determinato ha consentito di definire, con riferimento alla stagione irrigua e alla stagione invernale, le portate che caratterizzano il corso del Mincio e dei principali canali che da esso derivano.

Come già detto, la regolazione delle portate rilasciate dal Lago di Garda avviene presso lo sbarramento di Salionze.

Attraverso questa struttura, la portata rilasciata è ripartita su tre sistemi idraulici:

- 1) la portata scaricata direttamente nell’alveo del Mincio;
- 2) la portata derivata in destra Mincio dal canale Virgilio;
- 3) la portata derivata in sinistra Mincio dal canale Seriola Prevaldesca.

Va ricordato che un’aliquota della portata derivata dal canale Virgilio a servizio della centrale elettrica Montina è restituita al corso naturale del Mincio immediatamente a valle dello sbarramento e quindi, di fatto, concorre a formare i deflussi del fiume Mincio.

Per definire le portate effettivamente erogate dallo sbarramento di Salionze, sono stati analizzati i valori giornalieri relativi al periodo 2007-2009 (fonte Comunità del Garda-AIPO); questo periodo è particolarmente significativo in quanto comprende un anno siccitoso (2007), nel quale il livello del lago non ha superato gli 80 cm, ed un periodo particolarmente piovoso (Novembre 2008-Maggio 2009), nel quale il lago è stato interessato da livelli elevati (135-140 cm).

La rappresentazione grafica degli andamenti delle portate erogate nel periodo 2007-2009, che indica anche il valore di erogazione normativa (Q_{teo}), è riportata in [Figura 4](#); la [Figura 5](#) riporta invece i corrispondenti andamenti dei livelli del Lago di Garda.

Dall’analisi degli andamenti relativi ai singoli anni riportati in [Figura 4](#) e [Figura 5](#), si osserva che le portate rilasciate superano le portate erogabili quando, soprattutto nel periodo autunnale e primaverile, avvengono precipitazioni tali da determinare livelli del lago particolarmente elevati e richiedere quindi uno svasso eccezionale: ciò vale ad esempio per gli elevati valori della portata relativi al periodo ottobre-dicembre 2008 e al periodo gennaio-maggio 2009.

⁴ P. Berbenni et al. (1992): “Usi plurimi delle acque del Garda” – Comunità del Garda.

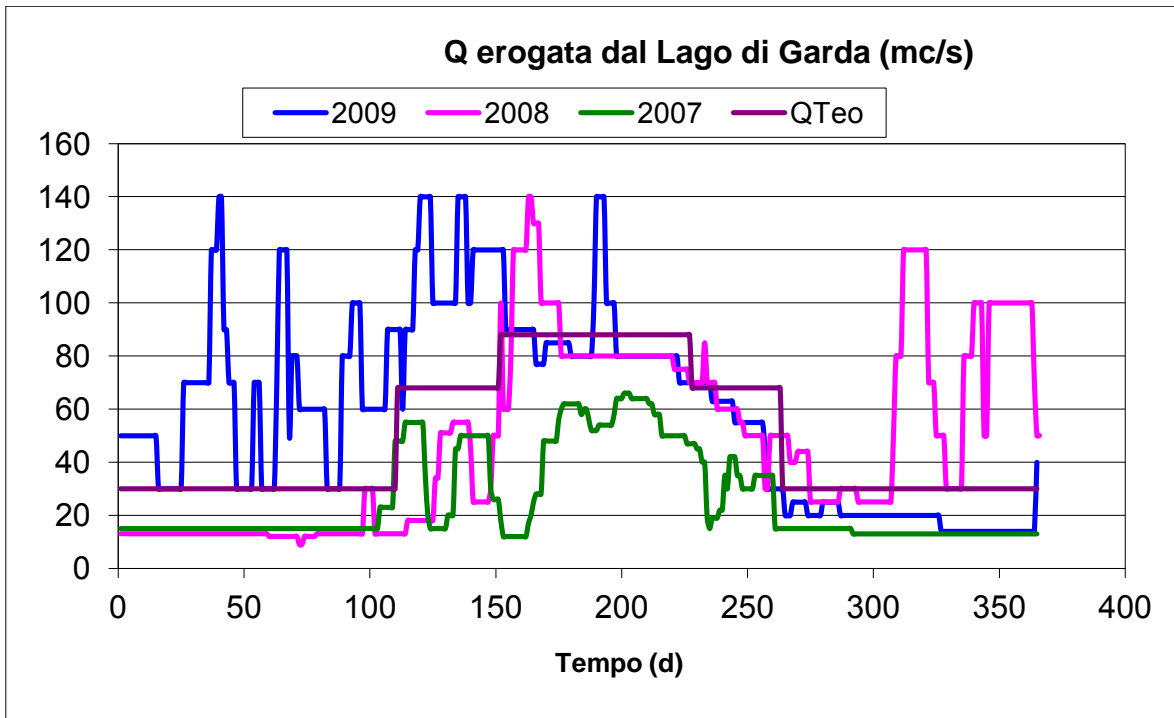


Figura 4. Deflussi storici giornalieri (m^3/s) attraverso l'edificio regolatore di Salionze negli anni 2007, 2008, 2009 (fonte Comunità del Garda-AIPO).

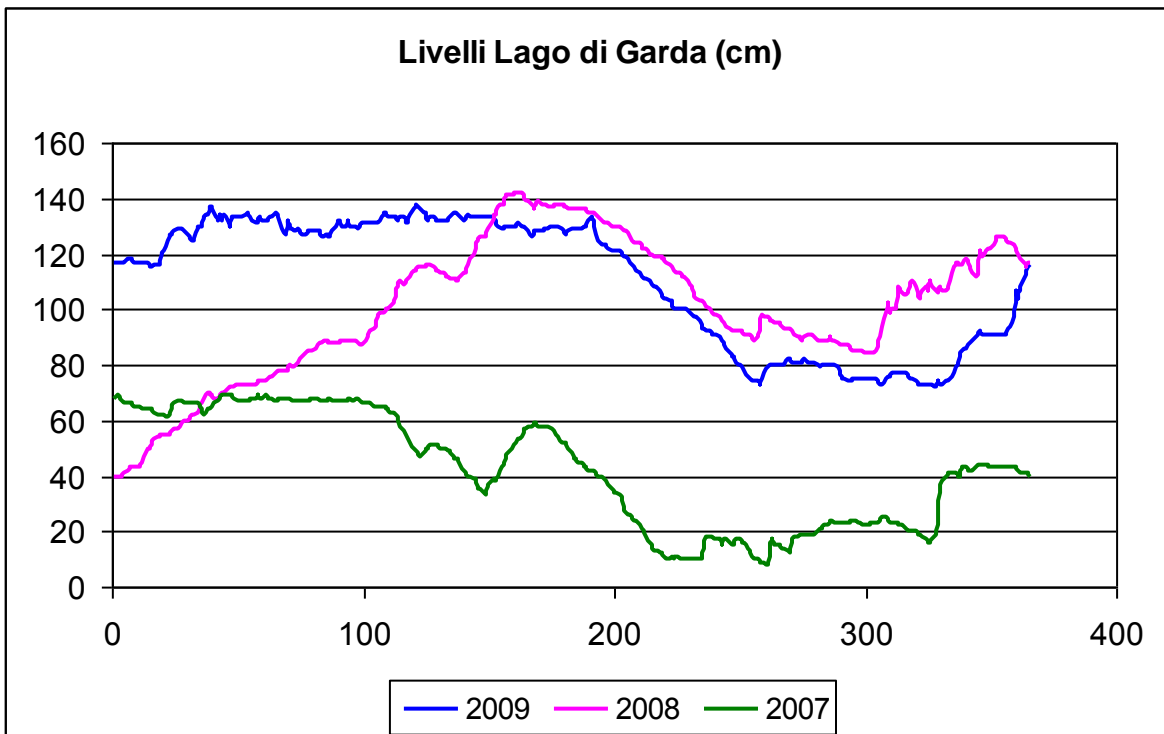


Figura 5. Livelli storici giornalieri (cm) del Lago di Garda negli anni 2007, 2008, 2009 (fonte Comunità del Garda-AIPO).

La pratica irrigua che interessa il bacino del Mincio e utilizza buona parte delle portate rilasciate dal Lago di Garda si sviluppa nella sua interezza nel periodo Giugno-Agosto, mentre i prelievi risultano fortemente ridotti, ma stabili, nel periodo compreso tra Ottobre e Febbraio; nei restanti periodi dell'anno le portate derivate dal Mincio sono invece caratterizzate da un regime transitorio, legato alle attività di asciutta e manutenzione dei sistemi irrigui.

L'analisi dei dati storici giornalieri delle erogazioni dallo sbarramento di Salionze è stata dunque effettuata con particolare riferimento ai due periodi caratterizzati da maggiore stabilità delle portate derivate dal Fiume Mincio, di seguito individuati come "stagione irrigua" (Giugno-Agosto) e "stagione non irrigua" (Ottobre-Febbraio).

La Tabella 2 riporta i valori medi delle portate effettivamente rilasciate dal Lago di Garda nel periodo considerato (2007-2009), con particolare riferimento alle due stagioni sopra definite.

	2007	2008	2009	MEDIA TRIENNIO	EROGAZIONI NORMATIVE
Gennaio-Febbraio	15	13	56,9	28,3	30
Giugno-Agosto	44,9	84,2	83,4	70,8	88
Ottobre-Dicembre	13,4	62,5	18,1	31,4	30

Tabella. 2. Valori medi delle portate (m^3/s) rilasciate dal lago di Garda attraverso l'edificio regolatore di Salionze negli anni 2007,2008,2009 (fonte Comunità del Garda-AIPO).

Analizzando i valori medi relativi all'intero triennio si nota che, mentre nella stagione non irrigua le erogazioni effettive sono in linea con quelle normative (circa $30 m^3/s$), nel periodo irriguo la portata effettivamente rilasciata risulta inferiore rispetto alla previsione normativa: circa $70 m^3/s$ anziché $88 m^3/s$.

Da un confronto con i dati storici disponibili per le portate rilasciate dal Lago di Garda, per i diversi periodi indagati, si possono definire i seguenti valori, caratteristici delle due stagioni indagate:

- $29,9 m^3/s$ per la stagione non irrigua (ottobre-febbraio);
- $67,9 m^3/s$ per la stagione irrigua (giugno-agosto).

I canali derivatori di interesse per questo studio sono quelli, già citati (Canale Virgilio e Seriola Prevaldesca), che originano a monte dello sbarramento di Salionze.

Il Canale Virgilio, gestito dal Consorzio di Bonifica dell'Alta e Media Pianura Mantovana, serve le due centrali idroelettriche Montina e Montecorno e il sistema irriguo in sponda destra al Mincio gestito dallo stesso Consorzio.

Dal punto di vista idrografico, il canale cede le sue acque in parte al canale Primario, che le afferisce al sistema Tartaro Fuga (con recapito finale nell'Oglio) ed in parte al canale Secondario che, attraverso il bacino scolante ed il canale Goldone, restituisce al Mincio le portate in eccesso.

Le principali utenze alimentate dal canale Virgilio sono:

- a) *la centrale idroelettrica Montina:*

localizzata immediatamente a valle dello sbarramento di Salionze, la centrale idroelettrica Montina sfrutta il salto esistente tra il canale derivatore Virgilio ed il Mincio a valle dello sbarramento e restituisce al

corso d'acqua naturale la portata utilizzata.

La centrale Montina ha una concessione di 12,8 m³/s per tutto l'anno e di 18 m³/s come portata massima, da sfruttarsi nei periodi di disponibilità d'acqua. Di fatto, come emerge anche dai dati forniti dal Magistrato alle Acque di Venezia relativamente al triennio 1998/2000 ed indicato nel Documento "Forum Mincio 2007", la centrale utilizza 16 m³/s in estate mentre rimane inattiva durante l'inverno.

b) *la centrale idroelettrica Montecorno:*

di proprietà dell'Enel, localizzata in comune di Volta Mantovana, ha una concessione invernale per 23,3 m³/s ed estiva di 8 m³/s. La portata di concessione estiva (8 m³/s) è però fornita (totalmente o parzialmente) dall'Ente Gestore solo previo soddisfacimento delle esigenze irrigue.

c) *il Consorzio irriguo dei Colli Morenici :*

le utenze irrigue dei Colli Morenici alimentate dal Canale Virgilio sono soddisfatte attraverso tre derivazioni che si dipartono dal sistema irriguo del Consorzio di Bonifica dell'Alta e Media Pianura Mantovana per un totale derivato (solo in estate) di circa 3 m³/s.

d) *le utenze irrigue dell'alta e media pianura mantovana :*

la portata di concessione delle utenze irrigue dell'alta e media pianura mantovana ammonta a 15,3 m³/s durante tutto il periodo irriguo (dal 1/4 al 30/9); a questa portata si sommano ulteriori 13 m³/s dal 20 giugno al 19 agosto.

La portata complessivamente derivata dal canale Virgilio rappresenta un'aliquota importante della portata rilasciata dal lago di Garda: non tenendo conto delle portate utilizzate dalla centrale Montina, che sono restituite al Mincio immediatamente a valle dello sbarramento di Salionze e quindi possono essere considerate rilasciate al corso d'acqua naturale; attraverso il Canale Virgilio sono derivati:

- nel periodo estivo: circa 25 m³/s (valore medio tra giugno, luglio e agosto) a fronte di un deflusso totale dal lago di circa 70 m³/s;

- nel periodo autunnale - invernale (ottobre - febbraio): circa 23,5 m³/s a fronte di un deflusso totale dal lago che, in assenza di svassi connessi con situazioni di piena, si assesta intorno ai 30 m³/s.

La portata utilizzata dalla Centrale Montecorno ritorna direttamente in Mincio a Volta Mantovana e, soprattutto in inverno, questa restituzione rappresenta una fonte importante di rimpinguamento del Mincio che, nel tratto a monte dello scarico della Centrale presenta portate veramente irrisorie (4 – 6 m³/s).

Per quanto riguarda invece la restituzione in Mincio delle portate derivate a scopo irriguo, in estate, il canale Goldone (canale colatore sotteso al bacino irriguo del Canale Secondario) fa affluire in Mincio in località Casale di Goito, una portata variabile da zero a 2,5 m³/s.

Il Canale Seriola Prevaldesca, in sponda sinistra Mincio, è dimensionato per una portata massima di circa 7 m³/s.

Le principali utenze alimentate dal canale sono:

a) *la centrale idroelettrica ENEL-Le Buse:*

localizzata nel comune di Valeggio (provincia di Verona), in località Le Buse, questa centrale (di proprietà dell'Enel) funziona solo da ottobre a febbraio con una portata di concessione pari a 2,65 m³/s. La portata utilizzata è immediatamente restituita al fiume Mincio.

b) *le utenze irrigue del Comprensorio di Roverbella :*

la portata derivata nel periodo irriguo per il servizio delle utenze del comprensorio di Roverbella (attualmente gestito dal Consorzio di Bonifica della Fossa di Pozzolo) varia da un minimo di 2,6 m³/s a un massimo di 5,4 m³/s.

La portata derivata dal canale Seriola Prevaldesca rappresenta un'aliquota non particolarmente importante della portata complessivamente defluente dal lago di Garda e può essere così valutata:

- nel periodo estivo: circa 5,5 m³/s (valore medio tra giugno, luglio e agosto) a fronte di un deflusso

totale dal lago di circa 70 m³/s;

- nel periodo autunnale - invernale (ottobre- febbraio): circa 2,65 m³/s a fronte di un deflusso totale dal lago che, in assenza di svassi connessi con situazioni di piena, si assesta intorno ai 30 m³/s.

Si riportano di seguito (Tabelle 3 e 4) le tabelle reperite presso la Provincia di Mantova, che riportano la situazione delle utenze aggiornata alla data del 01 Ottobre 2010.

Concessionario	ESTATE							INVERNO							
	Q in concessione	Q richiesta	Q _{media} in concessione	Q _{media} richiesta	Q _{max} in concessione	Q _{max} in richiesta	Stato concessione	Stato derivazione	Uso	Q _{media} in concessione	Q _{media} richiesta	Q _{max} in concessione	Q _{max} richiesta	Stato concessione	Stato derivazione
	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹				m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹		
ASM Brescia (Centrale termoelettrica di Pontì Sul Mincio loc. Malfatta)			9	9			vigente	attiva	Industriale	9	9			vigente	attiva
Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana: Centrale Montina			12,892	12,892	18	18	vigente	attiva	Idroelettrico	12,892	12,892	18	18	vigente	attiva
Consorzio di Bonifica Colli Morenici del Garda			-	3			sanatoria	attiva							
Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana			15,3	29,3			rinnovo+sanatoria	attiva							
Enel Green Power: Centrale di Montecorno			-	8			provvisoria	attiva	Idroelettrico	15,3	23,3			provvisoria	attiva
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo		4	3,23	4,52			rinnovo+sanatoria	attiva							
Enel Green Power: Centrale delle Buse									Idroelettrico	2,65	2,65			vigente	attiva
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo			20	28,6	20	28,6	rinnovo+sanatoria	attiva	Promiscuo	13	7			vigente+variante	attiva
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo	7,55	9,915					rinnovo+sanatoria	attiva	Promiscuo	4,492	4,492			rinnovo	attiva
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo: Cartiera ex Maglio			2,123	2,123			rinnovo	attiva	Idroelettrico	2,123	2,123			rinnovo	attiva
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo: Cartiera Soave Bettinazzi			4,5	4,5					Piscicoltura	1,5	1,5			vigente	attiva
Consorzio di Bonifica Sud Ovest Mantova			1,5	3,5	2	4	variante in sanatoria	attiva							
Consorzio di Bonifica Sud Ovest Mantova			3,2	-			rinnovo	attiva							
Cartiera Burgo			1,5	0,55			vigente+variante	attiva	Industriale	1,5	0,55			vigente+variante	attiva
Polimeri Europa			5	4,4			vigente+variante	attiva	Industriale	5	4,4			vigente+variante	attiva
Consorzio di Bonifica Sud Ovest Mantova			5	-			vigente	attiva							

Tabella 3. Tabella grandi derivazioni aggiornata al 01 Ottobre 2010.

Concessionario	Tipo di derivazione	Coordinate geografiche		Q estiva	Q invernale	Stato concessione	Stato derivazione	Note
		X	Y	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹			
Fontana Agnese (Girardi Giancarlo)	piccola	1633452,493	50300977,07	0,01	non nota	scaduta	non attiva	Concessione D.M.LL.PP. 22.02.1961 n. 538 30 anni dal 15.1.1953 mc/sec. 0,015
Ist. Diocesano di Mantova	piccola	1634277,423	5030488,874	0,01	non nota	vigente	non attiva	Concessione D.R.L. 08.03.1988 n. 30226 30 anni sino al 14.04.2013 mc/sec. 0,0055
Mariotto Augusto (ex Olivieri Ettore)	piccola	1634277,423	5030488,874	0,03	non nota	scaduta		Concessione D.M.LL.PP. 13.1.1959 n. 6263 30 anni mc/sec. 0,030
Gaspari Farm (1 presa)	piccola	1633571	5018103	0,001	non nota	provvisoria	non attiva	autorizzazione provvisoria valida fino al rilascio definitivo del provvedimento di concessione. In corso istruttoria (rifare rich. Integr.)
Gaspari Farm (2 presa)		1633770	5018074	non nota	non nota	provvisoria	non attiva	autorizzazione provvisoria valida fino al rilascio definitivo del provvedimento di concessione. In corso istruttoria (rifare rich. Integr.)
Gruppo Utenti Falzoni	piccola	1635026,414	5016430,319	non nota	non nota	assente		
Cavo Bertone d'Arco (Vigna Costante - Milani Cristoforo - Fondazione D'Arco)	piccola	1634064,781	5015287,804	0,95	0,4	scaduta		Concessione D.M. 21.03.1928 N. 1021 - D.M. LL.PP. 23.01.1933 N. 693 - D.M. LL.PP. 20.01.1931 N. 230 - Domande di rinnovo 1977 (da verificare)
Cons. Rio Nuovo	piccola	1634549	5015645	0,325	non nota	vigente	attiva	
Eredi F.lli Moschini (Villa Parco)	piccola			0,14	non nota	vigente	attiva	periodo estivo e iemale Decreto n. 748 del 14/01/2000. Scadenza 31/12/2013
Cavo Fenilnovo - Rossetti Carlo	piccola	1634087,956	5015068,492	0,038	non nota	scaduta		D.G.R. 12665 del 23/06/1986
Isolo di Goito (Cons. Fossa di Pozzolo)	piccola	1634020	5014283	0,52	non nota	rinnovo	attiva	in corso istruttoria (fatta rich. Integrazioni)
Cavo Isoletto	piccola	1634087,082	5014277,439	0,066	non nota	scaduta		Concessione D.G.R.L. 23.09.1986 n. 12665 anni 30 dall'1.2.1977 mc/sec. 0,066
Centrale Molino Torre	piccola	1632885	5013202	5,4	5,4	scaduta	non attiva	non utilizzata presentata nuova richiesta di concessione in corso di istruttoria (rich. Integrazioni)
Cavo Caurina - Agrisacca Spa	piccola	1631378	5011850	0,266	non nota	rinnovo	attiva	in corso istruttoria (fatta rich. Integrazioni)
Italiana Energia Servizi	piccola	1642888	5001015	0,00634	0,00634	provvisoria	attiva	autorizzazione provvisoria, da trasformare in concessione
Campomale (Con. Fossa Pozzolo)	piccola	1649487	4996993	0,06	non nota	rinnovo	attiva	in corso istruttoria (fatta rich. Integrazioni)
Fondo azienda Agricola Bardellona	piccola	1634554,449	5015625,928	non nota	non nota	assente		probabile derivazione tramite bocca Rio Nuovo e bocca Falzoni
Benatti Giulio (ex Moschini ex Ducos Guerra)	piccola	1633147,126	5014169,959		non nota	scaduta		Decreto del 11/06/1915. Scaduta nel 1936
Az. Agr. Cauzzi	piccola	1634014,837	5015326,019	non nota	non nota	assente		probabile derivazione da bocca Falzoni e Bocca Ottonelli
Fosso Nuovo Angelini	piccola	1634758,736	5015287,804	0,097 + 0,045 + 0,156	non nota	scaduta		inclusa nel D.M. 580 intestato a Consorzio Fossa di Pozzolo
Mantovani Agostino e Fondazione Bonoris	attingimento	1639282,67	5003001,09	non nota	non nota	assente		probabile attingimento da un fosso alimentato per rigurgito dal lago Superiore
Azienda agricola Artioli (Fondo le Cerchie)	attingimento	1634236,886	5001695,028	0,057	non nota	scaduta		Decreto Magis Acque n. 10981 del 11/06/1970
Fisseretto (Con. Fossa Pozzolo)	piccola	1653686	4999706	0,1	non nota	rinnovo	attiva	in corso istruttoria

Tabella 4. Tabella piccole derivazioni aggiornata al 01 Ottobre 2010.

2.3 Caratteristiche qualitative del fiume Mincio

Ai fini del presente studio, risulta di interesse la caratterizzazione del fiume in corrispondenza del punto di scarico dell'effluente dell'impianto di depurazione di Peschiera d/G.

Le caratteristiche qualitative dell'acqua sono desumibili dalle analisi effettuate da ARPA, finalizzate alla classificazione dei corpi idrici. Per la definizione delle caratteristiche qualitative sono stati considerati i parametri: COD, BOD₅, azoto, fosforo, cloruri, *E. Coli*.

Di seguito si riportano, per quanto riguarda il fiume Mincio nella sezione di Peschiera d/G (Verona):

- i dati riassuntivi disponibili più recenti (anno 2008, ad eccezione dei cloruri, per cui è disponibile solo il dato relativo all'anno 2006) (Tabella 5);
- i dati riassuntivi per il periodo irriguo (maggio – settembre) relativamente all'anno 2006 (Tabella 6).

	100-ODs%	BOD ₅	COD	<i>E. coli</i>	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P _{tot}	Cl ⁻	IBE	LIM
	%	mg/L	mg/L	UFC/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	-
	16,9	2,2	5,3	2,3 E+01	0,07	0,25	0,025	18	5	4
D.lgs. 152/99 (classe sufficiente)		*≤ 8	*≤ 15	*≤ 5000	*≤ 0,5	*≤ 5	*≤ 0,3			
D.M. 185/03		≤ 20	≤ 100	≤ 100	≤ 1,5		≤ 2	≤ 250		

Tabella 5. Caratteristiche qualitative del fiume Mincio (valori medi anno 2008)- sezione di Peschiera (dati ARPA).

	BOD ₅	COD	<i>E. coli</i>	N _{tot}	P _{tot}	Cl ⁻
	mg/L	mg/L	UFC/100mL	mg/L	mg/L	mg/L
Fiume Mincio	4	9	5 E+01	0,5	0,05	18
D.lgs 152/99 (classe "sufficiente")	≤ 8	≤ 15	≤ 5000		≤ 0,3	
D.M. 185/03	≤ 20	≤ 100	≤ 100	≤ 15	≤ 2	≤ 250

Tabella 6. Caratteristiche qualitative del fiume Mincio nel periodo irriguo (valori medi anno 2006)- sezione di Peschiera (dati ARPA).

Dalle Tabelle 5 e 6 si può osservare che nel periodo irriguo la qualità del fiume Mincio è peggiore rispetto ai valori medi annuali, tuttavia sono rispettati sia i limiti imposti per il riutilizzo delle acque reflue depurate (D.M. 185/2003) che i valori richiesti per un corpo idrico in classe "sufficiente" (D.lgs. 152/1999).

3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO A MONTE DELLE DERIVAZIONI A FINI IRRIGUI

Si prevede che l'effluente depurato dell'impianto di depurazione di Peschiera del Garda sia scaricato nel Mincio a monte dello sbarramento di Salionze (da cui originano le principali derivazioni irrigue) ad una distanza da quest'ultimo tale da garantire un'adeguata miscelazione dello scarico con le acque del fiume prima delle derivazioni presenti nei pressi dello sbarramento.

Un adeguato manufatto di scarico dovrebbe garantire le condizioni ottimali di miscelazione.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare un'acqua con caratteristiche diverse dall'attuale e con maggiore disponibilità.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio. A seconda del numero di dati disponibile si considerano la concentrazione massima nel periodo esaminato o un indice statistico (es. 75° o 95° percentile).

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 7.

INDICI	IMPIANTO DI PESCHIERA d/G
I _{BOD}	1,85
I _{COD}	1,51
I _{SS}	-0,01
I _{NH4+}	-0,09
I _{Ntot}	0,78
I _{Ptot}	0,38
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,75

Tabella 7. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

Si osserva come, in generale, gli indici considerati sono positivi o debolmente negativi (SS e NH₄⁺), ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori o prossime ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03.

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in Tabella 8 e Figura 6.

I dati evidenziano, in generale, un peggioramento della situazione, soprattutto per quanto riguarda solidi sospesi, ione ammonio, fosforo totale e, in parte, azoto totale. La valutazione V_D rimane comunque ampiamente positiva, considerando il 75° percentile; ciò denota una discreta affidabilità dell'impianto nel garantire determinate prestazioni depurative.

INDICI	IMPIANTO DI PESCHIERA d/G		
	MASSIMA	95° PERCENTILE	75° PERCENTILE
I _{BOD}	0,40	0,46	1,62
I _{COD}	0,06	0,39	1,25
I _{SS}	-0,45	-0,11	-0,01
I _{NH4+}	-0,72	-0,38	-0,17
I _{Ntot}	-0,02	0,22	0,66
I _{Ptot}	-0,51	-0,18	0,15
VALUTAZIONE FINALE V_D	-0,20	0,07	0,60

Tabella 8. Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

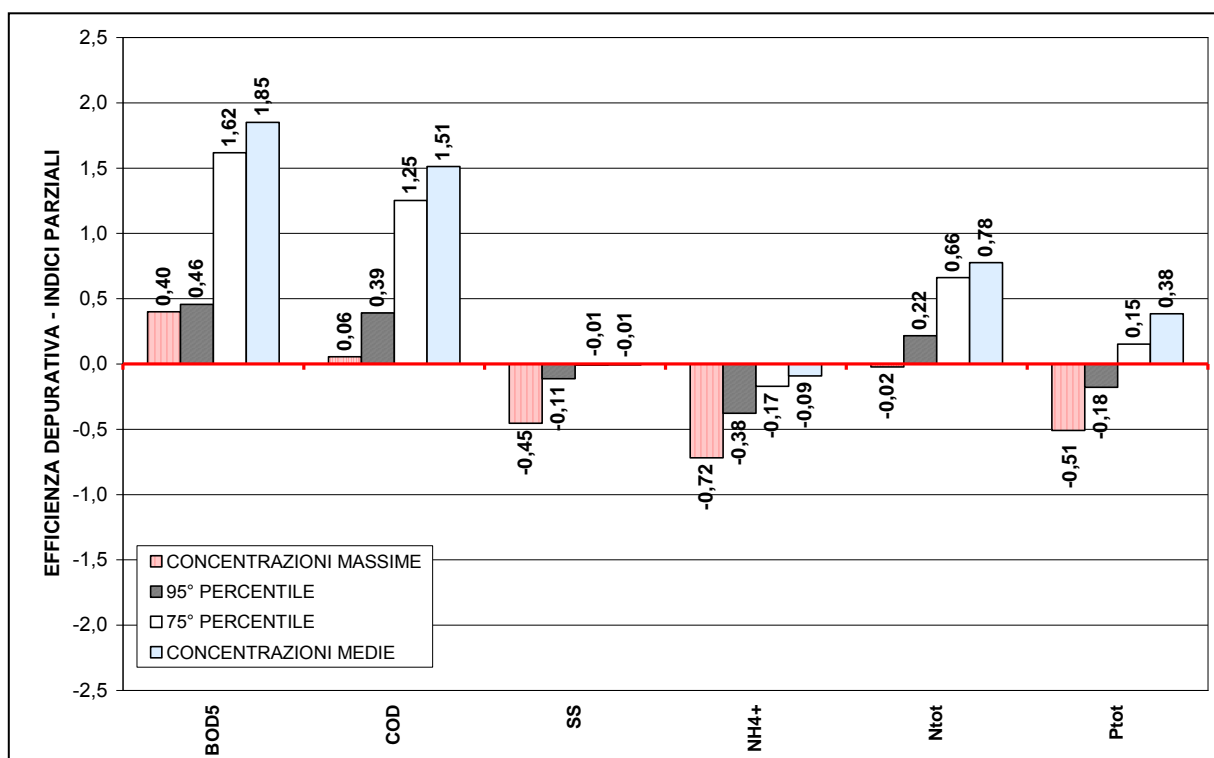


Figura 6. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

Va sottolineato che le elaborazioni sono riferite alla situazione attuale, ovvero in assenza dei trattamenti terziari di prossima realizzazione. Essi porteranno sicuramente un tangibile miglioramento della qualità delle acque scaricate.

4.2 Il sistema idraulico

L'effluente depurato dell'impianto di depurazione di Peschiera del Garda può essere convogliato nel fiume Mincio a monte dello sbarramento di Salienze, da cui originano le principali derivazioni irrigue.

Lo scarico del depuratore nel Mincio può essere fatto a gravità realizzando un opportuno manufatto ad una distanza adeguata dallo sbarramento di Salienze in maniera tale da garantire un'adeguata miscelazione dello scarico con le acque del fiume prima delle derivazioni presenti in corrispondenza dello sbarramento. Il costo della modifica dello scarico attuale con la realizzazione del nuovo manufatto di scarico è stimabile in circa € 1.000.000,00.

Il costo annuo di ammortamento in 30 anni di tale manufatto, considerando un tasso di interesse del 5%, è quantificabile in € 65.000,00.

Considerando che l'impianto tratti 1.100.000 m³/y di acqua, il costo specifico risulta pari a 0,060 €/ m³.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Il fabbisogno per le colture in atto è pari a $7.500 \text{ m}^3/(\text{ha y})$, concentrato in 60 d/y, equivalente ad un fabbisogno istantaneo di $1,45 \text{ L}/(\text{ha s})$.

Poiché la portata drenata dal lago di Garda è di circa $68 \text{ m}^3/\text{s}$ e vi è la necessità di garantire il deflusso minimo vitale di $4\text{-}6 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata destinata all'agricoltura è di circa $63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lo scarico del depuratore (1.400 L/s in media) rappresenta una piccola percentuale rispetto al fabbisogno ($2,2\%$).

Per quanto riguarda il fattore “disponibilità di risorsa” si ottengono dunque i seguenti risultati:

- rispetto alla situazione attuale: $y_3 = 0,02$
- rispetto al fabbisogno delle colture: $y_4 = 0,02$

L'indice relativo al fabbisogno diventa quindi $I_D = 0,02$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

Si è considerato il grado di diluizione conseguibile dalla miscelazione dell'effluente del depuratore con il fiume Mincio.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 9 e nella Figura 7.

Risulta chiaro, dall'esame dei dati, come la qualità dello scarico sia peggiore rispetto all'acqua del fiume Mincio all'uscita del lago di Garda: la colonna “*Qualità dello scarico rispetto alla qualità dell'acqua del fiume Mincio*” indica, infatti, questo confronto e tutti gli indici sono inferiori all'unità. Tuttavia, il confronto con i valori del D.M. 185/03 (colonna “*Qualità dello scarico rispetto ai limiti del DM 185/03*”) evidenzia come di fatto l'unico parametro significativamente inadeguato sia l'indicatore di contaminazione microbiologica *E. coli*.

La valutazione finale V_Q indica un risultato decisamente positivo. Questo è il frutto dell'elevato grado di diluizione che il liquame scaricato subisce miscelandosi con l'intera portata del fiume Mincio.

La valutazione finale, per il comparto irriguo, risulta nel complesso positiva:

$$V_u = 0,5 \cdot 0,02 + 0,5 \cdot 0,82 = 0,41$$

INDICI	IMPIANTO DI PESCHIERA d/G		MEDIA
	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA' DELL'ACQUA DEL FIUME MINCIO	
I _{BOD}	2,00	-0,0004	1,00
I _{COD}	2,00	-0,0044	1,00
I _{Ntot}	2,00	-0,03	0,99
I _{Ptot}	2,00	-0,05	0,97
I _{E.Coli}	-0,20	-0,004	-0,10
I _{Cloruri}	2,00	-0,01	0,99
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	1,65	-0,02	0,82

Tabella 9. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.

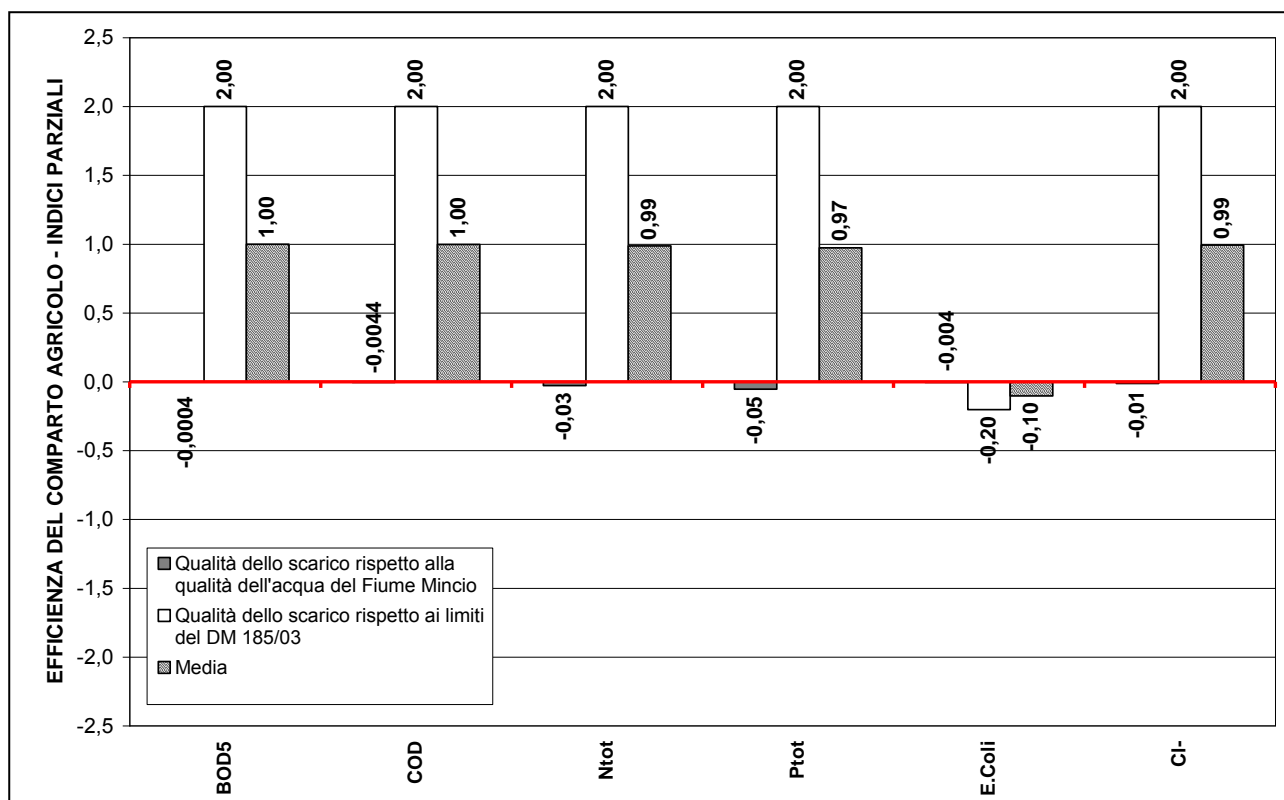


Figura 7. Indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dal fiume Mincio, confronto con i limiti di cui al D.M. 185/03, valutazione complessiva.

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Peschiera d/G evidenzia le seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, non vi sono differenze rispetto alla situazione attuale, se non si considera il costo delle opere per lo spostamento dello scarico a monte dello sbarramento di Salionze;
- 2) l'impianto dimostra discreta affidabilità di funzionamento, essendo in grado di garantire, con costanza, le caratteristiche medie dello scarico ($V_D = 0,75$);
- 3) l'uso dell'acqua di scarico in aggiunta a quella attualmente disponibile nel fiume Mincio rappresenterebbe una situazione complessivamente positiva ($V_u = 0,43$).

Complessivamente, quindi, il riutilizzo indiretto delle acque reflue attraverso lo scarico nel fiume Mincio è valutato positivamente.

Si sottolinea, peraltro, che le valutazioni svolte sono riferite alla situazione attuale, ovvero in assenza dei trattamenti terziari di prossima realizzazione, che porteranno ad ulteriori miglioramenti della qualità dello scaricato.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI STINTINO (SS)

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

L'impianto di depurazione di Stintino (località Picco d'Acquila - SS) tratta in media 2.500 m³ di reflui urbani al giorno: è a servizio dell'abitato, delle varie lottizzazioni e insediamenti turistici e tratta le acque reflue tipicamente urbane. Nell'agglomerato di Stintino non sono presenti attività produttive di tipo industriale, garantendo quindi l'assenza nel liquame grezzo di inquinanti non biodegradabili, o che comunque possano comportare l'inidoneità ai successivi trattamenti di affinamento per l'impiego irriguo delle acque.

L'origine delle acque grezze è quindi individuabile con le seguenti componenti:

- scarichi domestici;
- acque meteoriche collegate alla rete fognaria;
- scarichi di attività commerciali, di servizi e piccole attività artigianali, con scarichi assimilabili ai domestici.

L'impianto di trattamento è articolato su più linee (tre) in modo da sopperire alle variazioni di carico influente.

A valle delle sezioni di depurazione è previsto un affinamento realizzato mediante un trattamento chimico fisico di chiariflocculazione, filtrazione su sabbia, disinfezione spinta con ozono o ipoclorito di sodio, e successivo lagunaggio.

Dal bacino di lagunaggio, che nell'attuale configurazione appare deputato prevalentemente ad assolvere alla funzione di volano di regolazione idraulica, la risorsa idrica effluente viene distribuita per il reimpiego, orientato prevalentemente alla manutenzione del verde pubblico e privato presente nel comprensorio turistico.

Quando la disponibilità di acque depurate supera la domanda le acque vengono smaltite mediante scarico di troppo pieno in un canale che le convoglia direttamente in mare, nell'area portuale di Porto Mannu.

Il processo depurativo è basata sull'impiego della tecnologia dei Contattori Biologici Rotanti (C.B.R.), comunemente noti come "biodischi", alternativo alla soluzione rappresentata dal processo di depurazione a fanghi attivi.

Le fasi del processo depurativo sono riassumibili secondo il seguente schema:

LINEA ACQUE

1. Grigliatura meccanica a nastro continuo con by pass
2. Dissabbiatura aerata
3. Bilanciamento idraulico liquami ed accumulo

-
4. Denitrificazione con CBR
 5. Ossidazione con CBR
 6. Nitrificazione con CBR
 7. Defosfatazione
 8. Sedimentazione finale a flusso radiale
 9. Coagulazione chimica
 10. Chiarificazione statica radiale
 11. Filtrazione con sabbia
 12. Disinfezione dell'effluente
 13. Accumulo

LINEA FANGHI

14. Stabilizzazione aerobica dei fanghi
15. Dosaggio flocculante
16. Disidratazione meccanica fanghi

LINEA ACQUE

Grigliatura meccanica

In ingresso all'impianto è prevista una grigliatura fine, effettuata mediante nastro filtrante, in grado di rimuovere i solidi di dimensioni minori di 3 mm. L'operazione di pulitura della griglia è effettuata all'inizio della fase di ritorno del nastro: l'azione di rotazione degli elementi filtranti determina il distacco dei detriti e la loro caduta per la raccolta e l'allontanamento. Contestualmente due rulli a spazzola garantiscono un'ulteriore azione di pulizia del nastro filtrante. L'azionamento della griglia è effettuato automaticamente a mezzo di rilevatori di livello nel canale.

Dissabbiatura aerata

Le "sabbie" non intercettate dalla griglia sono rimosse in testa al trattamento del liquame, mediante dissabbiatori del tipo aerato. Il sistema funziona sfruttando la rotazione del liquido, provocata dall'insufflazione d'aria, che consente il deposito delle sole particelle più pesanti.

Bilanciamento idraulico liquami

In considerazione della forte variabilità delle portate di arrivo, in testa ai trattamenti è presente un manufatto di 1.700 m³ con funzione di volano, in grado cioè di assicurare l'invio al processo di portate sufficientemente costanti sia sotto il profilo idraulico che del carico inquinante. Nel manufatto avvengono l'omogeneizzazione e l'aerazione del liquame per mezzo di apparati di miscelazione ed aerazione al fine di evitare l'instaurarsi di fenomeni putrefattivi. L'alimentazione costante delle fasi successive è garantita dalla presenza di una pompa sommersa e di un regolatore di portata.

Denitrificazione con CBR

La denitrificazione è effettuata con coltura adesa su CBR chiusi, non in contatto con l'atmosfera, che perciò lavorano in fase anossica.

Ossidazione con CBR

I CBR sono immersi parzialmente (40%) in una vasca attraverso cui fluisce il liquido da trattare e, ruotando a bassa velocità (1,5 giri/min.), espongono alternativamente la superficie dei loro settori all'aria ed all'acqua da trattare.

Nitrificazione con CBR

Il principio di funzionamento è lo stesso della fase di ossidazione di cui la nitrificazione risulta naturale estensione.

Defosfatazione

Al fine di permettere la formazione di precipitati insolubili viene fatto uso di un additivo quale il solfato di alluminio. Il solfato è prelevato da un serbatoio per mezzo di una pompa dosatrice che lo dosa nelle vasche di coagulazione e flocculazione prima della sedimentazione finale.

Sedimentazione finale

Nell'impianto è presente un sedimentatore a flusso radiale, nel quale il liquame si muove prevalentemente dal centro alla periferia.

Coagulazione chimica

La coagulazione chimica ha lo scopo di rendere separabili per gravità le sostanze sospese e colloidali del liquido. Nell'impianto è presente una ulteriore sezione di chiariflocculazione a valle della sedimentazione finale. Il dosaggio del coagulante/flocculante viene effettuato, in quantità determinate con prove di laboratorio, per mezzo di pompe dosatrici in vasche separate munite di agitatore.

Chiarificazione

La chiarificazione posta a valle della coagulazione completa il trattamento di precipitazione chimica ed ha lo scopo di separare i fanghi flocculati dall'effluente. Nell'impianto è presente un sedimentatore a flusso radiale, nel quale il liquame si muove prevalentemente dal centro alla periferia.

Filtrazione e disinfezione

Per poter raggiungere i limiti imposti per il riutilizzo dei reflui, in impianto è presente anche un ulteriore trattamento finale articolato su una sezione di filtrazione su sabbia e una di disinfezione spinta con ozono prodotto da ossigeno puro mediante apposito impianto. Lo scopo della filtrazione rapida con sabbia è l'affinamento finale del trattamento depurativo per l'ottenimento di un effluente di qualità, con basso contenuto di solidi in sospensione (3,5 mg/L). Il risultato si ottiene mediante la cattura di particelle anche molto piccole da parte del materiale filtrante (sabbia in strato omogeneo). Il filtro è costituito da un recipiente cilindrico in acciaio, suddiviso in due parti, la camera di filtrazione con il letto filtrante e, sovrapposta a questa, lo stoccaggio dell'acqua necessaria al contro lavaggio.

La disinfezione dell'acqua viene effettuata mediante ozonizzazione o clorazione. L'ozono necessario è prodotto da un apposito generatore e viene successivamente miscelato con i reflui in una vasca di contatto e accumulo delle acque depurate di adeguate dimensioni. La rimozione dei batteri che si ottiene consente il riutilizzo dei reflui su colture arboree. In alternativa, si procede alla disinfezione con ipoclorito di sodio.

Bacino di regolazione idraulica

Al termine del processo di cui sopra le acque vengono convogliate verso un bacino di accumulo con funzione prevalente di regolazione idraulica. Il bacino è stato realizzato sfruttando un compluvio naturale del terreno nelle immediate vicinanze dell'impianto di trattamento e costruendo un argine con paramento interno ed esterno a debole pendenza. La tenuta idraulica del serbatoio è ottenuta con una guaina continua in P.V.C., posata su sottofondo in calcestruzzo con interposizione di tessuto non tessuto. Lo stoccaggio dei reflui

depurati avviene dal basso, a valle di un manufatto di disconnessione dal quale ha origine anche la rete di distribuzione delle acque usate, realizzata con tubazioni in ghisa sferoidale. Il bacino, della capacità complessiva di circa 125.000 m³, viene utilizzato fino a contenere 90.000 m³ e assolve lo scopo di regolazione idraulica delle portate, a seconda dei fabbisogni. Le acque contenute nel bacino vengono “rinnovate” ogni 3 anni mediante vuotatura e scarico a mare. Tale operazione si esegue una volta terminata la stagione estiva: il bacino è ripulito del materiale sedimentato e controllato per l'eventuale presenza di fessurazioni e quant'altro sulla sua superficie.

LINEA FANGHI

Stabilizzazione aerobica

Il processo consiste nel mantenere per un certo periodo i fanghi in una vasca in cui opera un apparato di ossidazione e di mescolamento.

Dosaggio flocculante

I reattivi dosati (polielettroliti) agiscono sul potenziale Z dei colloidi diminuendo la carica elettrica e facilitando l'espulsione dell'acqua inglobata nel fango. Nell'impianto, un'apposita macchina provvede alla preparazione della soluzione del polielettrolita in vaschette dotate di agitatore, da cui una pompa dosatrice preleverà e doserà la soluzione nel fango da disidratare.

Disidratazione fanghi

La disidratazione meccanica viene ottenuta mediante nastropressa, nella quale si effettua un primo trattamento di drenaggio, un secondo di compressione tra i teli ed un terzo trattamento dovuto all'azione di taglio prodotta dal moto relativo dei teli. Per il lavaggio in controcorrente dei teli viene utilizzata acqua depurata. Il fango disidratato è allontanato dalla macchina mediante trasportatori a coclea.

1.2 Dati gestionali

I dati gestionali di interesse sono la portata trattata e le caratteristiche qualitative dell'acqua in ingresso al depuratore e di quella depurata e affinata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata effettiva scaricata ha un andamento stagionale, con un incremento nella stagione estiva legato all'affluenza turistica. Infatti, la portata media estiva è di circa 3.000 m³/d (= 0,035 m³/s), con un picco massimo nel mese di luglio (3.500 m³/d), mentre quella invernale di circa 2.000 m³/d (= 0,023 m³/s), con un minimo nel mese di gennaio (1.500 m³/d).

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative del liquame, la Figura 1 e la Tabella 1 riportano i valori registrati nell'anno 2010 per alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici in ingresso e uscita dal depuratore, rispettivamente.

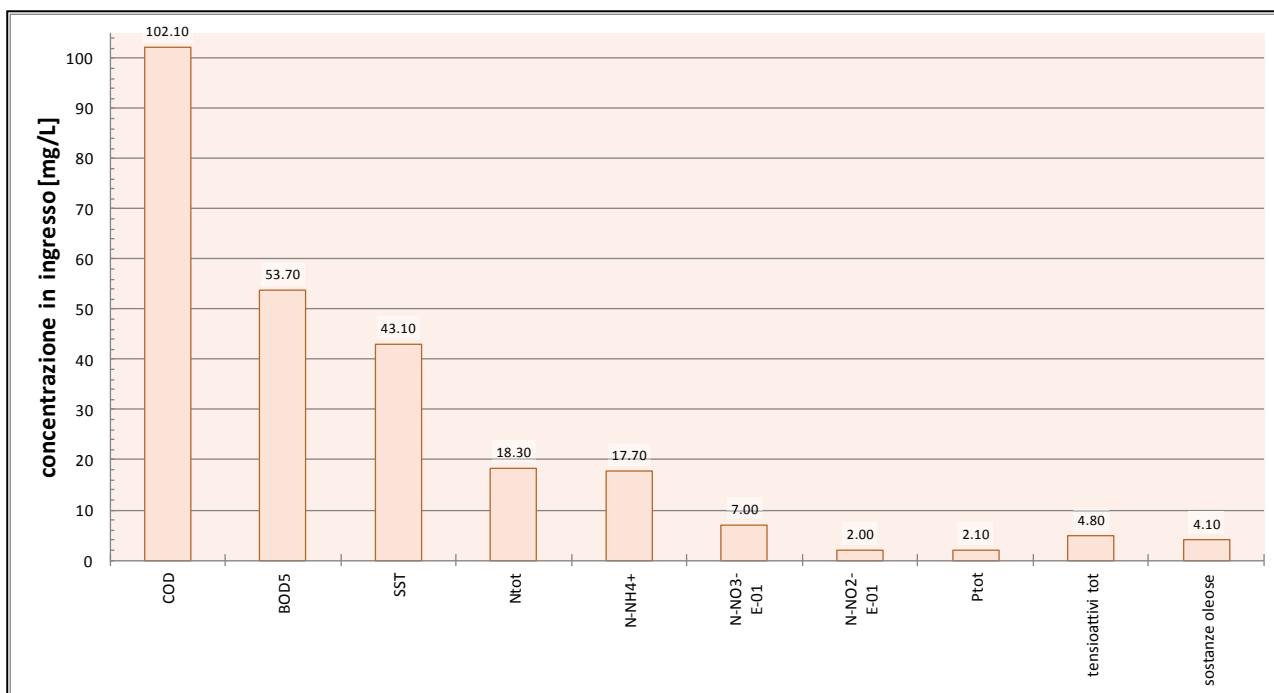


Figura 1. Valori medi registrati per alcuni parametri chimico-fisici in ingresso al depuratore.

L'esame dei valori medi delle acque grezze conferma, in linea generale, l'origine prettamente urbana con prevalenza domestica delle acque, rilevando comunque l'effetto di diluizione provocato dagli apporti eccessivi di acque bianche.

Per quanto riguarda la variabilità dei dati, i parametri di cui si possiedono le medie mensili per l'anno 2010 hanno evidenziato una forte variabilità, come evidenziato dal confronto tra il valore medio e la deviazione standard: $BOD_{IN} = 53,7 (\pm 34,2)$ mg/L, $N_{tot,IN} = 18,3 (\pm 13,7)$ mg/L e $Cl_{OUT} = 383 (\pm 170)$ mg/L.

Per quanto riguarda i valori in uscita (effluente affinato), la Tabella 1 evidenzia che, a parte i cloruri, i parametri determinati rispettano, come valore medio, i valori richiesti per il riutilizzo.

Si ricorda, infatti, che il tipo di processo presente in questo impianto, sommariamente descritto precedentemente, permette il trattamento dei soli parametri associati al metabolismo umano, senza incidere quindi sui parametri chimici associati alla salinità dell'acqua. Questo è il motivo che porta all'esigenza di prevenire la presenza di componenti chimiche che possano portare alla non idoneità all'impiego delle acque. In particolare, la presenza di cloruri è legata a cospicui apporti estemporanei di acqua salata nelle fognature cittadine (stimato in $5 \text{ m}^3/\text{d}$). Va rilevato che tali apporti possono provocare l'inidoneità temporanea al riutilizzo irriguo, a causa del mancato rispetto dei limiti previsti dal DM 185/03, con particolare riferimento al parametro dei cloruri (dove, per la verità, è indicato un limite da intendersi come valore guida - art. 15, comma 3).

Le analisi di caratterizzazione eseguite confermano, dunque, i seguenti aspetti fondamentali:

- le acque reflue hanno origine prettamente domestica, non essendo presenti nell'agglomerato, attività configurabili come industriali;
- la caratterizzazione analitica effettuata evidenzia l'assenza nell'acqua di sostanze fitotossiche sia naturali che dipendenti dal trattamento.

Parametro	U.M.	Valori
pH	/	7,03
T	° C	7,63
Colore	/	0
Odore	/	1,55
Conducibilità elettrica	µS/cm	1.224
SST	mg/l	8,45
BOD	mg/l	9,09
COD	mg/l	29
N-tot	mg/l	9
NH4	mg/l	< 1,32
NO2	mg/l	< 0,14
NO3	mg/l	8
P _{tot}	mg/l	< 0,46
Sost. Oleose Tot.	mg/l	< 0,95
Tensioattivi Anionici	mg/l	< 0,29
Tensioattivi Cationici	mg/l	< 0,20
Tensioattivi Non ionici	mg/l	< 0,20
Tensioattivi Totali	mg/l	< 0,21
Escherichia coli	UFC/100ml	< 100
Salmonella	UFC/100ml	assente
Saggio Tossicità	%	0
Cloruro	mg/l	383
SO4	mg/l	115
Ca	mg/l	46
Mg	mg/l	27
Na	mg/l	213
SAR	/	6

Tabella 1. Valori medi registrati per alcuni parametri chimico-fisici e microbiologici in uscita dal depuratore (refluo affinato).

2. ATTUALE FONTE DI APPROVVIGIONAMENTO

Nel caso in esame, attualmente il riuso interessa circa il 70% delle utenze potenziali nel territorio comunale, mentre le altre utilizzano acqua di rete; il reimpiego è orientato prevalentemente alla manutenzione del verde pubblico e privato presente nel comprensorio turistico. Per questo, il riutilizzo consente di limitare prelievi di “risorsa fresca” dalle acque destinate al consumo umano.

In Tabella 2 si riportano le principali caratteristiche dell’acqua di rete distribuita nel Comune.

Parametro	Un. Misura	Valore medio
pH	Unità	7,61
Torbidità	NTU	0,4
Colore	mg Pt/Co	<1
Conducibilità	µS/cm	550
Salinità	mg/l	385
Cloruri	mg/l	98
Solfati	mg/l	16
Nitrati	mg/l	2
Bicarbonato	mg/l	46
Calcio	mg/l	23
Magnesio	mg/l	11
Sodio	mg/l	75
Potassio	mg/l	4
Ferro	mg/l	0,147
Alluminio	mg/l	0,137
Manganese	mg/l	0,040
Piombo	mg/l	nra
Cadmio	mg/l	0,001
Nichel	mg/l	0,001

Tabella 2. Valori medi registrati per alcuni parametri chimico-fisici dell'acqua di rete distribuita nel Comune di Stintino.

3. IL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA DEPURATA E I FABBISOGNI IDRICI

3.1 Finalità e obiettivi del riutilizzo

La Regione Sardegna ha emanato la Direttiva regionale sul riutilizzo delle acque reflue depurate con Delibera di Giunta n. 75/15 del 30.12.2008, che detta norme e misure volte a favorire il riutilizzo delle acque reflue depurate a fini ambientali, irrigui, industriali e civili su tutto il territorio regionale. La Direttiva ha individuato inoltre un elenco di impianti prioritari destinati o da destinare al riutilizzo delle acque reflue tra cui l'impianto di trattamento delle acque reflue urbane di Stintino che, pertanto, rappresenta, tramite il riutilizzo dei reflui, una fonte strategica per l'approvvigionamento di risorse idriche non convenzionali utili per il soddisfacimento delle idroesigenze irrigue dei diversi utilizzatori finali del territorio. Inoltre, nel caso in esame si può parlare di un riuso praticamente obbligato, perché non è possibile scaricare nel corpo idrico naturale per la presenza di uno stagno con zona SIC (Siti Importanza Comunitaria).

Il riuso per fini irrigui dei reflui del depuratore di Stintino è volto alla promozione dell'utilizzo razionale e sostenibile delle risorse idriche e consente di dare risposte strutturali e non emergenziali al problema della gestione delle risorse idriche, rivelandosi in tutta la sua forza ed efficacia in particolare, ma non solo, nei periodi di siccità o di scarsa disponibilità d'acqua. In particolare è importante evidenziare il duplice risvolto del riutilizzo dei reflui per il caso in argomento: da una parte elimina o riduce le quantità di reflui scaricati nell'ambiente, dall'altra, nel contempo, genera una risorsa alternativa. Tale duplice effetto, in particolare per un centro costiero come Stintino, soggetto a incremento della popolazione nella stagione turistica, risulta estremamente significativo nel periodo estivo in cui è massima sia la produzione di reflui sia l'idroesigenza per gli usi irrigui, e dunque sono massimi i benefici derivanti dall'eliminazione degli scarichi e dalla

fornitura di risorsa alternativa. Pertanto, il riutilizzo dei reflui contribuirà al raggiungimento degli obiettivi di tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche, attraverso:

- la limitazione dei prelievi di “risorsa fresca” dalle acque destinate al consumo umano;
- la riduzione degli impatti degli scarichi sui corpi idrici recettori. Nel caso del depuratore di Stintino verrà ridotta al minimo la portata scaricata in mare (Porto Mannu).

3.2 Il sistema di distribuzione

La rete di distribuzione delle risorse da reimpiegare ha origine da una vasca di testata con pelo libero ad una quota pari a quella di massima ritenuta del bacino; la distribuzione dalla dorsale principale della rete avviene a gravità, mentre l'utenza principale ha un proprio sistema di distribuzione con un piccolo accumulo e sollevamento.

La rete di acquedotti di ridistribuzione della risorsa irrigua risulta costituita da 2 condotte, in partenza entrambe da un manufatto ubicato in prossimità del bacino di lagunaggio e regolazione. La prima risulta deputata al trasporto delle portate verso gli insediamenti di Stintino, a nord dell'impianto; la seconda rende disponibili le acque usate in corrispondenza degli insediamenti a sud, dove è peraltro prevista l'alimentazione delle utenze di irrigazione delle campagne circostanti. Gli acquedotti risultano serviti entrambi ad una quota variabile tra 48,50 e 46,00 m.s.l.m., sufficiente ad assicurare il convogliamento e la consegna in prossimità delle macroutenze. Gli utenti finali provvedono, ove necessario, a fornire eventuali carichi supplementari.

Analogamente alle modalità di raccolta dei reflui, le reti di distribuzione interna degli insediamenti maggiori sono a cura degli utenti medesimi.

Al fine di evitare che la drastica riduzione degli afflussi in fogna nei tratti di rete a servizio degli insediamenti stagionali possa determinare intasamenti, l'innescarsi di fenomeni putrefattivi, ovvero malfunzionamenti delle apparecchiature elettromeccaniche, è prevista la possibilità che, nei periodi invernali di basso utilizzo, possano venire introdotti, in corrispondenza delle stazioni di sollevamento, volumi idrici in grado di garantire il lavaggio periodico dei manufatti e delle condotte. A tal fine si sono previsti allacciamenti della rete di distribuzione delle acque usate ai manufatti di sollevamento.

Le portate non utilizzate, che non trovano possibilità di stoccaggio nel bacino, sono versate, mediante lo scarico di troppo pieno, in un canale che le convoglia direttamente in mare, nell'area portuale di Porto Mannu. Allo stato attuale, nel periodo estivo, le portate di scarico sono molto ridotte, talvolta nulle, mentre nel periodo invernale, a causa della ridotta dimensione del bacino e della bassissima domanda di acqua depurata, la quasi totalità delle acque depurate viene convogliata in mare.

3.3 La domanda di acqua

Per maggiore chiarezza si sono divise le utenze che già attualmente possono usufruire del servizio da quelle potenziali che nel futuro potrebbero essere allacciate alla rete. Non essendo disponibili dati di lettura che permettano di avere i valori reali di quanto utilizzato dalle utenze si è provveduto a stimare i consumi sulla base delle caratteristiche dei complessi residenziali individuati (si è considerato come riferimento per i consumi di irrigazione dei giardini un consumo pari a 1 m³/giorno ogni 200 m² nel mese di maggior consumo - luglio - e per le utenze urbane alcuni dati dedotti dai pochi dati non ufficiali disponibili).

Attualmente i complessi che risultano allacciati sono i seguenti:

- una piccola parte del centro abitato di Stintino, corrispondente alla zona cimiteriale e i giardini limitrofi, con un consumo attuale stimabile in 500 m³/anno;
- il complesso del Rocca Ruja, comprendente sia l'hotel che gli immobili circostanti, allacciati per circa un terzo attraverso una vecchia rete di irrigazione privata, con un consumo totale stimato in circa 47.000 m³/anno;
- la lottizzazione dell'Ancora (circa 100 ville), completamente servita, per una domanda di circa 8.000 m³/anno;
- la lottizzazione italo-belga, nella quale risulta per ora allacciato unicamente l'hotel Cala Rosa (circa 1.000 m³/anno), ma che comprende circa cento ville che, considerando le caratteristiche e gli spazi esterni a corredo, rapportandoli a quelli di complessi finiti, creerebbero una ulteriore domanda stimabile di 8.000 m³/anno, per un totale di lottizzazione pari a 9.000 m³/anno;
- il complesso di Capo Falcone, dove l'allaccio è in fase di ultimazione, comprendente circa sessanta ville con giardini di una certa consistenza, per un consumo futuro di circa 18.000 m³/anno;
- la lottizzazione di Punta Negra, che racchiude circa quattrocento appartamenti con piccoli giardini, attualmente allacciata per meno del 50%, con un consumo a regime di circa 22.000 m³/anno;
- il complesso del Bagaglino, comprendente l'hotel e circa seicento ville, con un potenziale consumo pari a 74.000 m³/anno.

Sempre sulla base della consistenza, delle caratteristiche degli immobili e della disponibilità di spazi esterni a servizio degli stessi, si elencano a seguire le stime dei consumi dei principali complessi residenziali non ancora serviti dalla rete di acque affinate:

- la lottizzazione Le Tonnare, comprendente un hotel di elevate dimensioni e circa 300 ville, oltre a 300 appartamenti, per un potenziale consumo di 60.000 m³/anno;
- il complesso delle Vele, comprendente un hotel e circa 2.500 immobili, con un consumo stimato di almeno 150.000 m³/anno;
- il complesso di Cala Reale, con un hotel e 15 ville, per una domanda a regime di 15.000 m³/anno;
- il centro abitato di Stintino, comprendente anche l'area portuale e il complesso di Tanca Manna, per una domanda futura superiore a 73.000 m³/anno.

A queste in futuro potrebbero aggiungersi alcune aziende agricole presenti nel territorio, nel tratto compreso tra Stintino e Pozzo S. Nicola, e la stessa borgata di Pozzo S. Nicola. Tali insediamenti presentano alcune difficoltà di allaccio ma potrebbero incrementare la domanda di acque affinate nei periodi di minor richiesta, in considerazione della minore fluttuazione della domanda rispetto ai complessi turistici a vocazione prettamente stagionale.

Le indagini effettuate consentono, dunque, di definire la potenziale domanda di acque affinate intorno al valore di 500.000 m³/anno, che potrà essere completamente soddisfatta dalla portata di acqua depurata (oltre 900.000 m³/anno). In particolare, nella Tabella 3 sono riassunti i fabbisogni stimati con l'indicazione dell'incidenza mensile della domanda. Si noti che, nei mesi di luglio e agosto, il fabbisogno giornaliero (che è superiore alla portata giornaliera scaricata dal depuratore) potrà comunque essere soddisfatto grazie alla presenza del bacino di accumulo.

FABBISOGNI ACQUE AFFINATE		
% rispetto al mese di maggior consumo	mese	m ³
0%	gennaio	0
0%	febbraio	0
0%	marzo	0
16%	aprile	26.206
38%	maggio	61.807
49%	giugno	79.757
100%	luglio	162.064
80%	agosto	129.713
36%	settembre	58.000
0%	ottobre	0
0%	novembre	0
0%	dicembre	0
Totale fabbisogni annui		517.547

Tabella 3. *Fabbisogni stimati di acque affinate, con l'indicazione dell'incidenza mensile.*

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (in questo caso, i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di trasporto dello scarico all'utilizzatore, cioè le opere installate e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'insieme degli utilizzatori (comparto civile e agricolo).

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa dovrebbe essere valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio.

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in Tabella 4.

INDICI	IMPIANTO DI STINTINO
I _{BOD}	0,78
I _{COD}	1,43
I _{SS}	0,16
I _{NH4+}	1,22
I _{Ntot}	0,48
I _{Ptot}	2,00
I _{Tensioattivi tot}	0,87
I _{Cl⁻}	-0,74
I _{E.Coli}	-0,12
I _{EC}	0,91
I _{SAR}	0,48
I _{SO4²⁻}	1,89
I _{Grassi e oli}	2,00
VALUTAZIONE FINALE V_D	0,95

Tabella 4. *Valori degli indici per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.*

Si vede come in generale gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori ai rispettivi limiti D.M. 185/03. Esiste però una criticità rappresentata dal parametro cloruri. Va però precisato che nel D.M. 185/03 la concentrazione riportata per tale parametro è da intendersi come valore guida (art. 15, comma 3). Per quanto riguarda *E. coli*, che registra invece un valore leggermente negativo, si può ritenere che un beneficio derivi dalla presenza del lagunaggio finale; in favore di sicurezza, peraltro, si è qui considerato il limite di 10 CFU/100mL, valido per impianti di depurazione convenzionali, e non quello di 50 CFU/100mL valido per sistemi di lagunaggio.

Per quanto riguarda l'affidabilità di funzionamento, non sono disponibili i dati per poter effettuare una valutazione quantitativa; tuttavia è lecito ipotizzare che la presenza dei trattamenti di affinamento e del lagunaggio siano ottima garanzia in tal senso.

4.2 Il sistema idraulico

Per poter correttamente effettuare il riuso delle acque reflue depurate, l'Ente Gestore ha valutato che sono necessari i seguenti interventi.

1. Modifica opere di presa del Bacino di Lagunaggio. Comprende tutti i lavori necessari per realizzare una modifica alle opere di ingresso delle acque dal bacino di lagunaggio in modo tale da allontanarle rispetto al punto di uscita e garantire così un opportuno ed efficace ricambio delle acque che eviti la stagnazione e il peggioramento delle caratteristiche dell'acqua invasata. In particolare si prevede la realizzazione di un tratto di tubazione, i pozzetti necessari e tutte le modifiche al sistema esistente finalizzate all'ottenimento dell'obiettivo preposto.

Costo dell'intervento € 150.000,00

2. Gestione acque meteoriche con Vasche di prima pioggia. L'intervento prevede la realizzazione di una vasca di prima pioggia a monte dell'ingresso all'impianto di depurazione, e il necessario collegamento della stessa al bacino di lagunaggio con tutte le opere necessarie sia al collegamento che al corretto funzionamento del sistema di trattamento delle acque.

Costo dell'intervento € 350.000,00

Gestione degli scarichi contenenti cloruri. Riparazione e/o sostituzione di parti di rete di distribuzione e dei sollevamenti fognari. Installazione nei punti critici della fognatura interessati dallo scarico di acque salmastre di un sistema di monitoraggio ed allarme per prevenire utilizzi non corretti della pubblica fognatura

Costo dell'intervento € 160.000,00

3. Rete di distribuzione acque depurate. L'intervento è finalizzato al riordino della rete di distribuzione delle acque depurate, alla realizzazione di pozzetti di ispezione, di allaccio e interconnessione con la rete idrica potabile, di un sistema di misura e telecontrollo della qualità e delle portate.

Costo dell'intervento € 200.000,00

4. Approvvigionamento elettrico. L'intervento consiste nell'installazione di apparecchiature di protezione elettrica dalle scariche atmosferiche che evitino il danneggiamento delle apparecchiature in occasione di sbalzi di tensione.

Costo dell'intervento € 50 000,00

5. Trattamento di disinfezione con ozono. L'intervento prevede il rifacimento della condotta di collegamento dell'impianto di ozono con la vasca di contatto, per permettere l'utilizzo del sistema attualmente non in uso. Nello stesso intervento è inserita la fornitura di un sistema di contabilizzazione dell'ozono finalizzato ad ottenere un controllo del sistema e una economia di uso.

Costo dell'intervento € 200.000,00

6. Installazione apparecchiature e opere accessorie. L'intervento comprende l'esecuzione di alcune lavorazioni e l'installazione di alcune apparecchiature (sopra indicate) necessarie al rispetto delle prescrizioni tecniche imposte per il sistema di riutilizzo delle acque depurate, finalizzato a garantire il miglior funzionamento dell'impianto.

Costo dell'intervento € 150.000,00

Il totale dei costi di intervento è stimato in € 1.260.000,00.

Complessivamente, l'Ente Gestore ha stimato che il riutilizzo delle acque di scarico comporterà rilevanti economie rappresentate dai mancati costi di investimento per il potenziamento dell'acquedotto di adduzione, e dal minor costo da sostenere per il trattamento dell'acqua destinata al consumo umano (si può valutare, preliminarmente, che il costo per il trattamento terziario necessario al recupero e alla redistribuzione dell'acqua grezza si possa quantificare in $0,1 \text{ €/m}^3$, inferiore perciò alle circa $0,4 \text{ €/m}^3$ che rappresenta il costo della risorsa potabile).

In conclusione, queste stime evidenziano la sostenibilità del riuso.

4.3 L'utilizzatore: il comparto civile/irriguo

Applicando gli indici di valutazione, risulta quanto segue.

Il fattore “disponibilità di risorsa” si calcola considerando che $y_3 = 2$ (in assenza di riutilizzo la disponibilità idrica è nulla, non considerando tra le possibili fonti l'acqua di rete) e $y_4 = 0$ (la fornitura equivale, nei mesi di maggior consumo, al fabbisogno, anche grazie alla presenza dell'accumulo), per un risultato complessivo $I_D = 1$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, il confronto con la situazione attuale non viene effettuato, dal momento che l'acqua di rete ha evidentemente caratteristiche qualitative di livello ottimo, essendo destinata al consumo umano.

Viceversa, il confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03) coincide con la valutazione riportata in Tabella 4, che porta quindi ad un indice $I_Q = 0,95$.

La valutazione finale, per il comparto civile/irriguo (utilizzatore), risulta nel complesso positiva:

$$V_u = 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,95 = 0,98$$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

L'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Stintino evidenzia le seguenti conclusioni:

- 1) dal punto di vista economico, il sistema risulta sostenibile, in quanto consente la limitazione dei prelievi di “risorsa fresca” dalle acque destinate al consumo umano;
- 1) l'impianto dimostra di rispettare i limiti sulla qualità in relazione al D.M. 185/2003, registrando un indice V_D pari a 0,95, e l'affidabilità di funzionamento viene garantita grazie alla presenza di un affinamento e della vasca di lagunaggio;
- 2) l'uso dell'acqua di scarico è anche compatibile, per qualità e quantità, con i fabbisogni civili/irrigui ($V_u = 0,98$).

Nel complesso, la fattibilità del riutilizzo è chiara e ciò è dimostrato dalla pratica in corso.

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI UDINE

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

1.1 Schema impiantistico e caratteristiche dimensionali

Il depuratore di Udine è un impianto a fanghi attivi con potenzialità di progetto di 200.000 AE, tratta liquami di tipo urbano e attualmente riceve portata per circa 100.000 AE. Parte della restante capacità residua è saturata con conferimenti di rifiuti liquidi.

L'impianto di depurazione, nella sua configurazione attuale, è costituito dalle seguenti sezioni principali (Figura 1):

- LINEA ACQUE:
 - Ingresso liquami
 - Stazione di dosaggio reagenti
 - Grigliatura
 - Dissabbiatura-disoleatura
 - Sedimentazione primaria
 - Ossidazione biologica e decantazione secondaria
 - Disinfezione
 - Scarico acque trattate
- LINEA FANGHI:
 - Ispessimento
 - Pastorizzazione
 - Digestione anaerobica (con recupero biogas)
 - Disidratazione meccanica
 - Stoccaggio biogas/cogenerazione
- IMPIANTO TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI

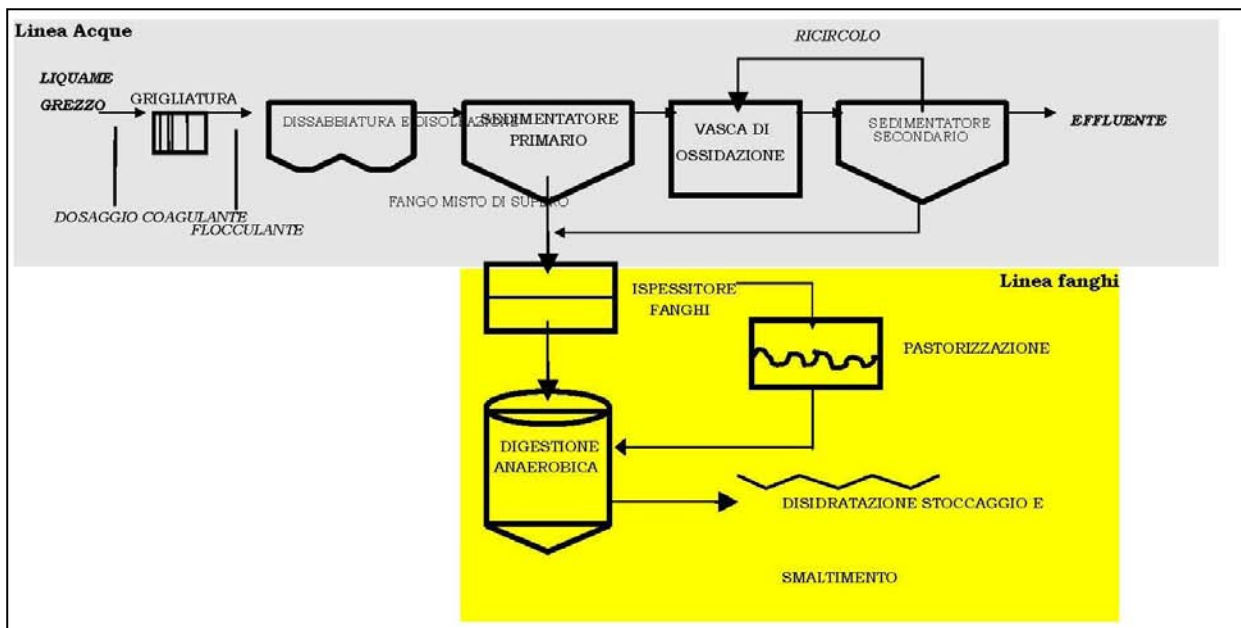


Figura 1. Schema a blocchi dell'impianto di depurazione di Udine.

LINEA ACQUE

Ingresso liquami

I reflui fognari della rete cittadina vengono convogliati ad un collettore principale denominato "Canale F" e da questo, tramite un canale a sezione rettangolare, derivati in impianto di depurazione.

Dosaggio reagenti

Al fine di agevolare l'aggregazione delle particelle colloidali presenti nel refluo in ingresso e permetterne una più agevole separazione, in testa all'impianto viene dosato cloruro ferrico. Il policloruro di alluminio (PAC) si utilizza nel corso del periodo invernale per migliorare la separazione del fango nella fase di sedimentazione secondaria ed evitare suoi fenomeni di rigonfiamento.

Grigliatura

Dal canale di ingresso, munito di misuratore di portata, i liquami sono inviati alla fase di grigliatura costituita da tre griglie verticali a gradini; il materiale trattenuto viene inviato ad un compattatore che ne riduce il volume, lo insacchetta ed infine lo deposita all'interno di una navetta.

Dissabbiatura – disoleatura

Le operazioni di dissabbiatura e disoleatura avvengono simultaneamente in due bacini paralleli aerati muniti di ponte raschiatore con sezioni laterali di calma. Le sostanze oleose vengono raccolte in queste canalette ed allontanate, mentre le sabbie (con granulometria di $2 \div 2.5$ mm) sedimentano sul fondo e vengono recuperate da idroestrattori.

Sedimentazione primaria

La portata di liquame in uscita dalla sezione primaria di pre-trattamento viene suddivisa in tre flussi, ciascuno dei quali viene inviato in un decantatore primario. In questi bacini avviene la separazione della frazione sedimentabile.

Ossidazione biologica e decantazione secondaria

Le sezioni di ossidazione/decantazione secondarie dell'impianto sono di due tipi; la prima è costituita da 4 bacini del tipo oxycontact (nello stesso bacino avviene ossidazione e sedimentazione secondaria) distribuiti su due linee nelle quali avviene l'ossidazione del substrato carbonioso presente nel liquame e la successiva sedimentazione secondaria dei fanghi. La seconda sezione è costituita da due linee di trattamento a chicane in cui si attuano i processi di predenitrificazione ed ossidazione/nitrificazione; in questo caso, la sedimentazione secondaria avviene a valle del trattamento biologico ed in bacino separato.

Disinfezione

L'effluente proveniente dalle vasche di ossidazione raggiunge il comparto di disinfezione costituito da una vasca a chicane totalmente interrata. Attualmente la sezione di disinfezione non è in esercizio.

Scarico Acque Trattate

Lo scarico delle acque depurate avviene, a mezzo di canale cementato a cielo aperto a fondo impermeabilizzato (Canale F), a circa 5 km di distanza dall'impianto, nel torrente Cormor (Pozzuolo del Friuli - UD). Prima dello scarico nel torrente Cormor, nel Canale F si registra (Figura 2):

1. l'immissione di acque bianche provenienti dal dilavamento del piazzale di una vicina azienda;
2. la presenza di una luce di sfioro di troppo pieno;
3. l'immissione di acque meteoriche di sgrondo raccolte nei canali adiacenti alla carreggiata autostradale;
4. la presenza di canali di drenaggio provenienti dai campi coltivati (attivi durante gli eventi meteorici);
5. l'immissione di una parte considerevole della portata del Canale di Castions, tramite una paratoia di collegamento, al fine di regimare la portata di quest'ultimo (la paratoia, infatti, è chiusa in fase di magra e/o quando si necessita di molta acqua per l'irrigazione, mentre è aperta in fase di morbida quando è necessario regimare l'acqua in eccesso che viene così deviata nel Canale F e quindi nel torrente Cormor).

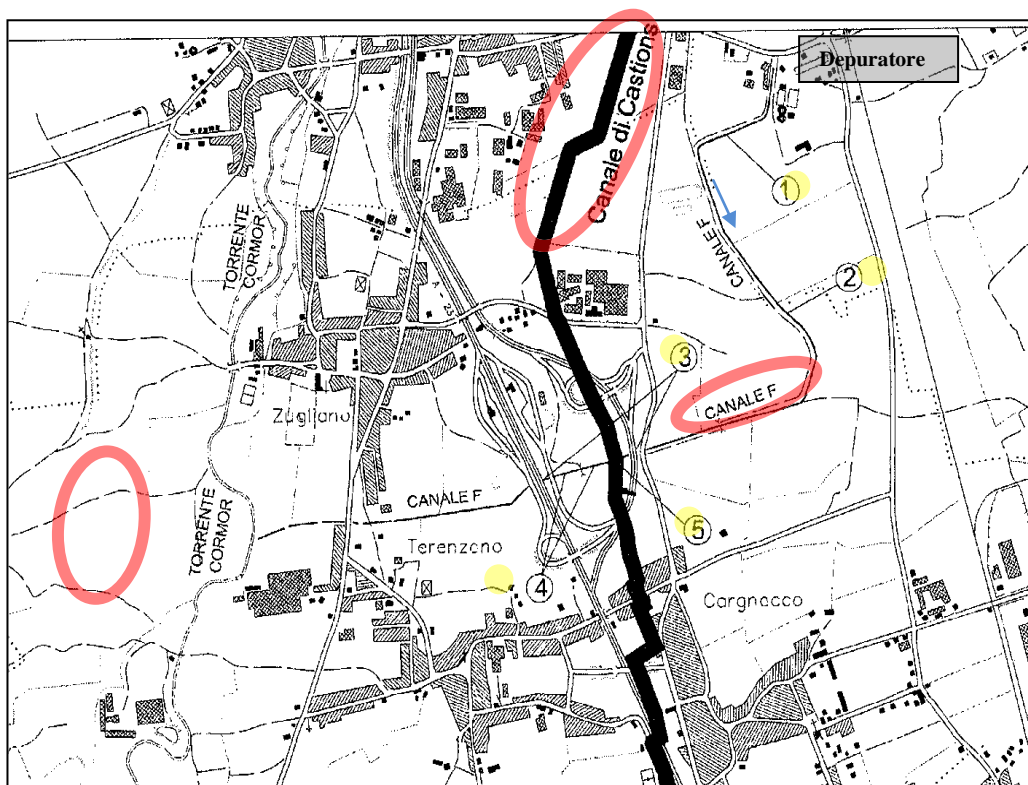


Figura 2. Planimetria dell'area di transito del Canale F e riferimenti alle intersezioni.

LINEA FANGHI

Ispessimento

I fanghi separati nei decantatori primari, compresi i fanghi di supero provenienti dal trattamento biologico, vengono raccolti nei sedimentatori primari, e da qui trasferiti all'ispessitore. L'ispessitore è costituito da un bacino circolare coperto, con raschia meccanizzata a pettine. I fanghi estratti vengono trasferiti alla sezione di pastorizzazione a mezzo di linea dedicata o, in alternativa, alla sezione di digestione anaerobica.

Pastorizzazione

I fanghi provenienti dall'ispessimento, prima di essere inviati alla digestione, vengono sottoposti ad un processo di pastorizzazione finalizzato all'eliminazione dei microrganismi patogeni eventualmente presenti. L'impianto è provvisto di un'unità di recupero di calore (scambiatori a fascio tubiero); in virtù di tale recupero il fabbisogno di calore del processo viene ridotto al minimo. Accessori all'unità di pastorizzazione sono la centrale termica, gli scambiatori di calore e il piping generale. Al momento la presente sezione non è in esercizio.

Digestione anaerobica (con recupero di biogas)

I fanghi provenienti dalla sezione di pastorizzazione e/o dall'ispessitore vengono inviati alla sezione di digestione anaerobica (doppio stadio) costituita da due digestori primari di uguali dimensioni e da un digestore secondario "freddo". La sezione è attrezzata con linee di ricircolo, centrali termiche, scambiatori di calore e linee di recupero biogas.

Disidratazione meccanica

I fanghi provenienti dalla sezione di digestione anaerobica alimentano la linea di disidratazione meccanica costituita da tre presse a nastro completamente automatizzate. Il fango viene preliminarmente condizionato mediante l'aggiunta di un polielettrolita cationico per facilitarne il trattamento.

Stoccaggio biogas/cogenerazione

L'accumulo del biogas prodotto nei digestori anaerobici avviene in due gasometri a campana mobile. La campana mobile si muove su guide elicoidali ed è provvista di sistemi ausiliari quali valvola di sicurezza, finecorsa, guardia idraulica. A completamento della linea gas sono presenti un filtro a ghiaia e a ceramica per trattenere eventuali impurità e per lo scarico delle condense. Il biogas prodotto viene utilizzato normalmente per l'alimentazione dell'unità di cogenerazione e delle caldaie per il riscaldamento dei digestori; eventuale eccesso viene bruciato in torcia.

IMPIANTO TRATTAMENTO RIFIUTI LIQUIDI

L'impianto di ricevimento è stato realizzato per disporre di attrezzature moderne ed idonee alle diverse caratteristiche qualitative dei rifiuti che possono essere conferiti all'impianto di depurazione (C.E.R. 20 03 04, 20 03 06, 19 08 05, autorizzati secondo l'art.110 comma 3 del D.Lgs.152/06) e consta delle seguenti parti:

- N° 2 posti di scarico per la fase liquida dei bottini (piazzole con punti di attacco delle autobotti alla linea di trattamento dei reflui liquidi per un massimo di 120 m³/h);
- N°2 apparecchiature per la grigliatura dei rifiuti liquidi;
- N°1 posto di scarico per la fase solida (tramoggia per lo scarico dei prodotti solidi con volume utile pari a 10m³);
- Coclea orizzontale trasporto delle sabbie al rotovaglio;
- Rotovaglio per separazione sabbie (F=10mm) con coclea di carico del container del materiale separato dal rotovaglio entro il container;
- Dissabbiatore longitudinale con portata liquida trattabile (miscela acque e sabbie) pari a 30 L/s, con annesso alla parte finale un lavatore sabbie.

Nel caso la fase principale del rifiuto sia liquida il bottino sarà scaricato in impianto mediante apposita manichetta a giunto rapido collegata alle apparecchiature di grigliatura; (l'impianto è in grado di ricevere fino a due carichi di rifiuti liquidi alla volta). Qui vengono trattenute le sostanze solide grossolane che vengono lavate, compattate ed insaccate, successivamente vengono scaricate entro apposito cassonetto.

I liquami e le sabbie, che attraversano per gravità la griglia, vengono inviate (sempre per gravità) alla fase di lavaggio svolta dal successivo dissabbiatore e classificatore sabbie. Il materiale, trattenuto dalla griglia, lavato e compattato, verrà posto nei comuni cassonetti dei rifiuti solidi urbani, dopo essere stato insaccato entro una guaina di polietilene per evitare la propagazione di cattivi odori ed il contatto accidentale con gli operatori.

Il classificatore-lavatore riunisce quattro funzioni del trattamento:

- separazione molto elevata delle sabbie dal refluo;
- lavaggio delle sabbie separate fino ad ottenere un valore di SNV < 3%;
- disidratazione delle sabbie per lento sgocciolamento fino a SS > 95%;

-
- trasporto e classificazione delle sabbie entro un apposito container.

Le sostanze organiche dilavate non si depositano assieme alla sabbia, ma rimangono nella fase liquida che viene convogliata alla vasca di accumulo sottostante. Da questa, per mezzo di due elettropompe sommergibili, i liquami trattati vengono inviati alle linee depurative.

I reflui con fase prevalentemente solida, quali ad esempio le sabbie delle caditoie stradali, nonché i residui solidi degli autospurghi, vengono scaricati entro una tramoggia in acciaio inox appositamente adibita allo scopo (la tramoggia si trova in quota sopraelevata rispetto al piano di campagna ed è raggiungibile con l'automezzo in retromarcia tramite rampa di accesso).

Il materiale in tramoggia viene trasportato da una coclea all'ingresso di un rotovaglio, costituito da un tamburo in lamiera di acciaio forata con spaziatura di max 10mm. Le sostanze organiche e le sabbie che attraversano il rotovaglio, unite all'acqua di processo, giungono per gravità entro il classificatore, per subire il trattamento già descritto sopra per la parte liquida. L'apparecchiatura svolge le seguenti operazioni:

- separazione dei grani di ghiaia e sabbia dagli altri corpi solidi grossolani (fogliame, lattine, bottiglie, ghiaie grosse);
- lavaggio dei corpi grossolani separati e delle sabbie;
- trasporto e scarico dei corpi separati entro un apposito container mediante una coclea inclinata.

I liquami derivanti e le sabbie fini vengono separati nel successivo dissabbiatore classificatore- lavatore, ed il processo è lo stesso sopra descritto per la fase liquida.

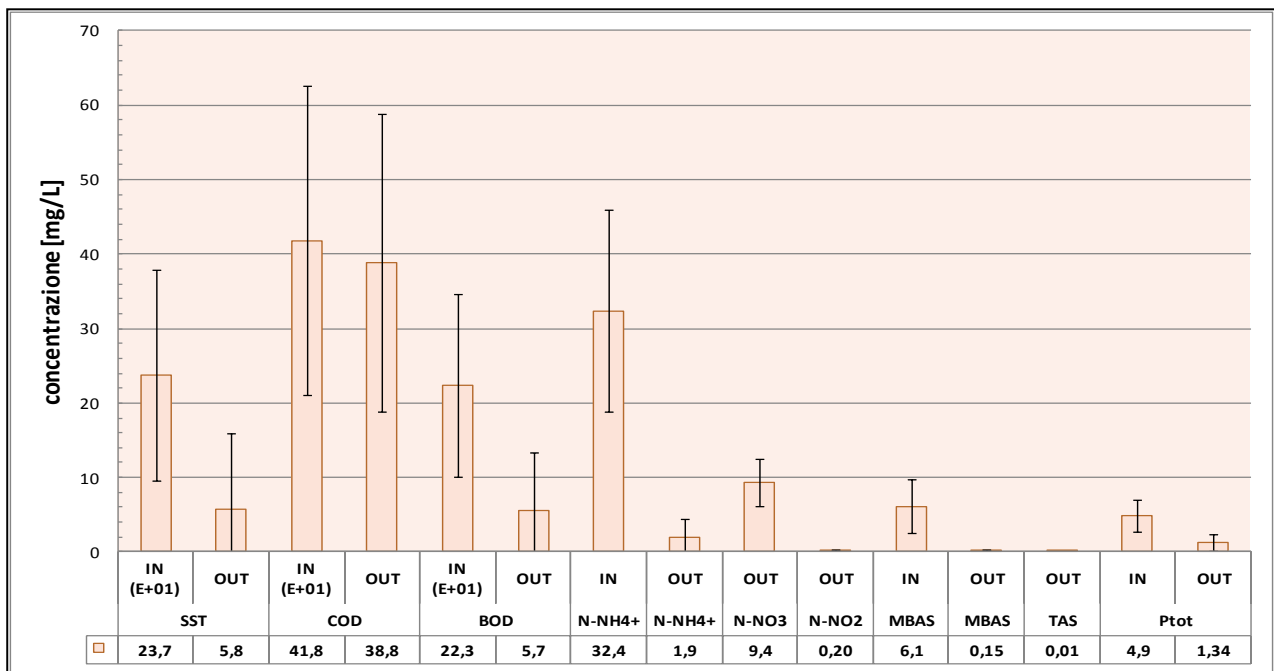
I liquami pretrattati provenienti dalla separazione fisica operata dalle macchine presenti nell'impianto sono stoccati all'interno di un bacino situato al di sotto del fabbricato del volume utile di circa 300 m³; questi possono essere rilanciati a seconda delle esigenze gestionali, o in testa all'impianto, o in testa alle vasche a chicane, nel settore della pre-denitrificazione.

1.2 Dati gestionali

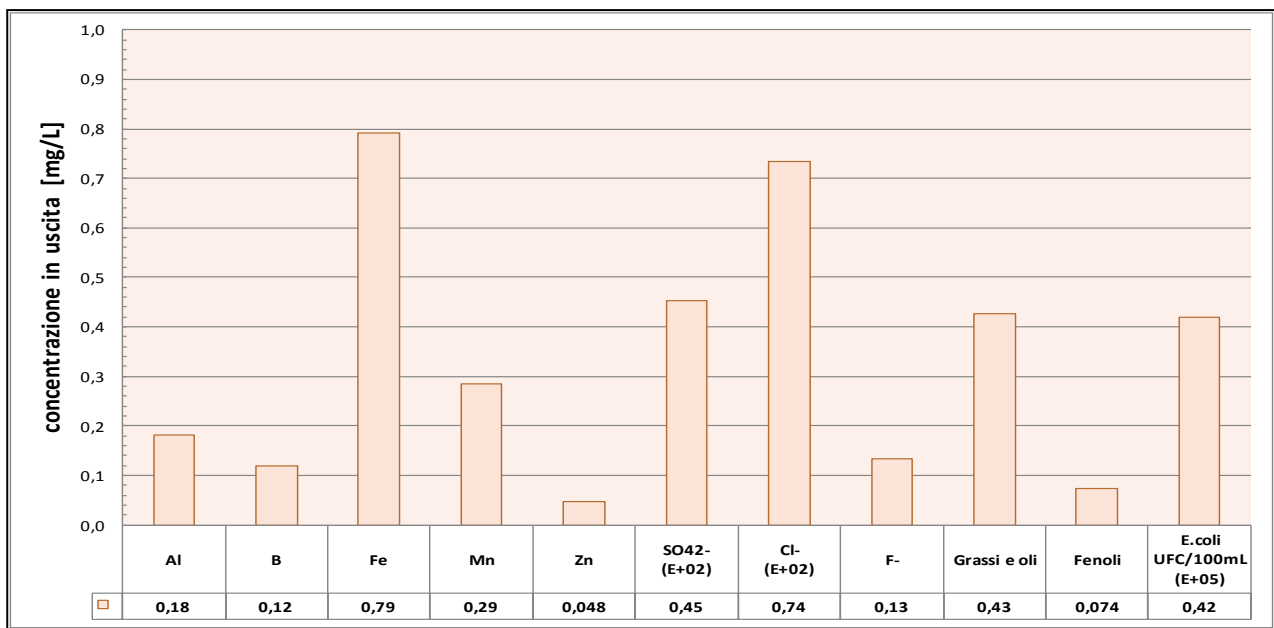
I dati gestionali di interesse sono la portata trattata in tempo estivo (stagione irrigua) e le caratteristiche qualitative dell'acqua in ingresso al depuratore e di quella depurata.

Per quanto riguarda il primo dato, il Gestore ha riferito che la portata effettiva scaricata nel periodo irriguo è di circa 40.000 m³/d (= 0,463 m³/s).

Per quanto riguarda le caratteristiche qualitative del liquame, la Figura 3 riporta i valori registrati nell'anno 2010 per i principali parametri chimico-fisici all'ingresso e all'uscita del depuratore (A) e per alcuni parametri specifici misurati solo nell'effluente depurato (B).



A)



B)

Figura 3. Valori registrati (A) per i principali parametri chimico-fisici del liquame in ingresso ed in uscita dall'impianto di Udine, con indicazione della deviazione standard, e (B) per alcuni parametri specifici misurati solo nell'effluente depurato, di cui viene riportato solo il valore medio a causa dell'esiguo numero di campioni disponibili.

2. SISTEMA IRRIGUO ESISTENTE E CARATTERISTICHE DEL CANALE DI CASTIONS

Il Consorzio di Bonifica Ledra-Tagliamento (Figura 4) provvede:

- a) alla provvista ed adduzione delle acque da destinare ad usi pubblici ed in particolare alla utilizzazione nel campo agricolo per irrigazione e nel campo industriale ed igienico.
- b) alla distribuzione irrigua attraverso unità elementari (comizi irrigui) ed impianti di pluvirrigazione su comprensori più ampi.
- c) alla bonifica idraulica mediante reti di canalizzazione per lo sgrondo delle acque, sia a scolo naturale che meccanico, ed inoltre al risanamento idraulico-agrario di corsi d'acqua e campagne circostanti.
- d) alla tutela delle risorse idriche, alla difesa del suolo ed al ripristino ambientale del territorio.

Il Consorzio si avvale di due sistemi derivatori: quello dal fiume Tagliamento e dal fiume Ledra, e quello delle Rogge.

Il sistema Ledra Tagliamento deriva le sue acque dal fiume Tagliamento in località Ospedaletto (Gemona), dal fiume Ledra in località Andreuzza (Buia), e le adduce nel Compensorio mediante una rete dello sviluppo di circa 350 km.

La costruzione della rete di canali principali, con la derivazione dal fiume Ledra ad Andreuzza, risale agli anni compresi tra il 1878 e 1881.

Nel 1885 veniva deliberata la costruzione del canale sussidiario per utilizzare oltre le portate del fiume Ledra, già immesse nel canale principale ad Andreuzza, anche quelle del fiume Tagliamento. L'opera di presa su detto fiume, posta inizialmente in corrispondenza della rosta Savorgnana, veniva nel 1911 spostata più a monte di circa 2500 metri, nella posizione dell'attuale presa di Ospedaletto.

Pertanto, allo stato attuale, partendo dalla derivazione principale di Ospedaletto e proseguendo verso valle, le opere si sviluppano nel seguente ordine:

- a) il canale cosiddetto "Sussidiario" che adduce le acque da Ospedaletto fino all'immissione delle stesse nel fiume Ledra;
- b) il nodo idraulico di Andreuzza in Comune di Buia dove vengono derivate le acque del Ledra per le portate di competenza, mentre gli eventuali superi vengono lasciati defluire nell'asta terminale del Ledra immissario del fiume Tagliamento;
- c) il canale "Principale" che va da Andreuzza fino all'immissione nel torrente Corno;
- d) il nodo idraulico di S.Mauro dove le acque del Tagliamento e del Ledra, confluite nel torrente Corno, sono derivate attraverso il canale cosiddetto "Industriale" ed il canale secondario detto "Giavons". Gli eventuali superi vengono lasciati defluire nel Corno;
- e) il nodo idraulico di Rivotta, dove si ha la definitiva regolazione delle portate di competenza con scarico di eventuali superi nel torrente Corno;
- f) il canale "Principale" che, uscendo dalla zona collinare ed entrando nella pianura, piega ad Est in direzione della città di Udine e dal quale si dipartono i canali secondari, con direzione Nord-Sud, che convogliano le acque verso le zone di utilizzazione irrigua.

I canali secondari sono i seguenti: canale di Giavons, canale di San Vito, canale di Martignacco, canale di Passons, canale di San Gottardo, canale di Castions, canale di Trivignano, canale di Santa Maria. Tutte le opere di cui si é sommariamente trattato, sono state costruite negli ultimi decenni del secolo scorso.

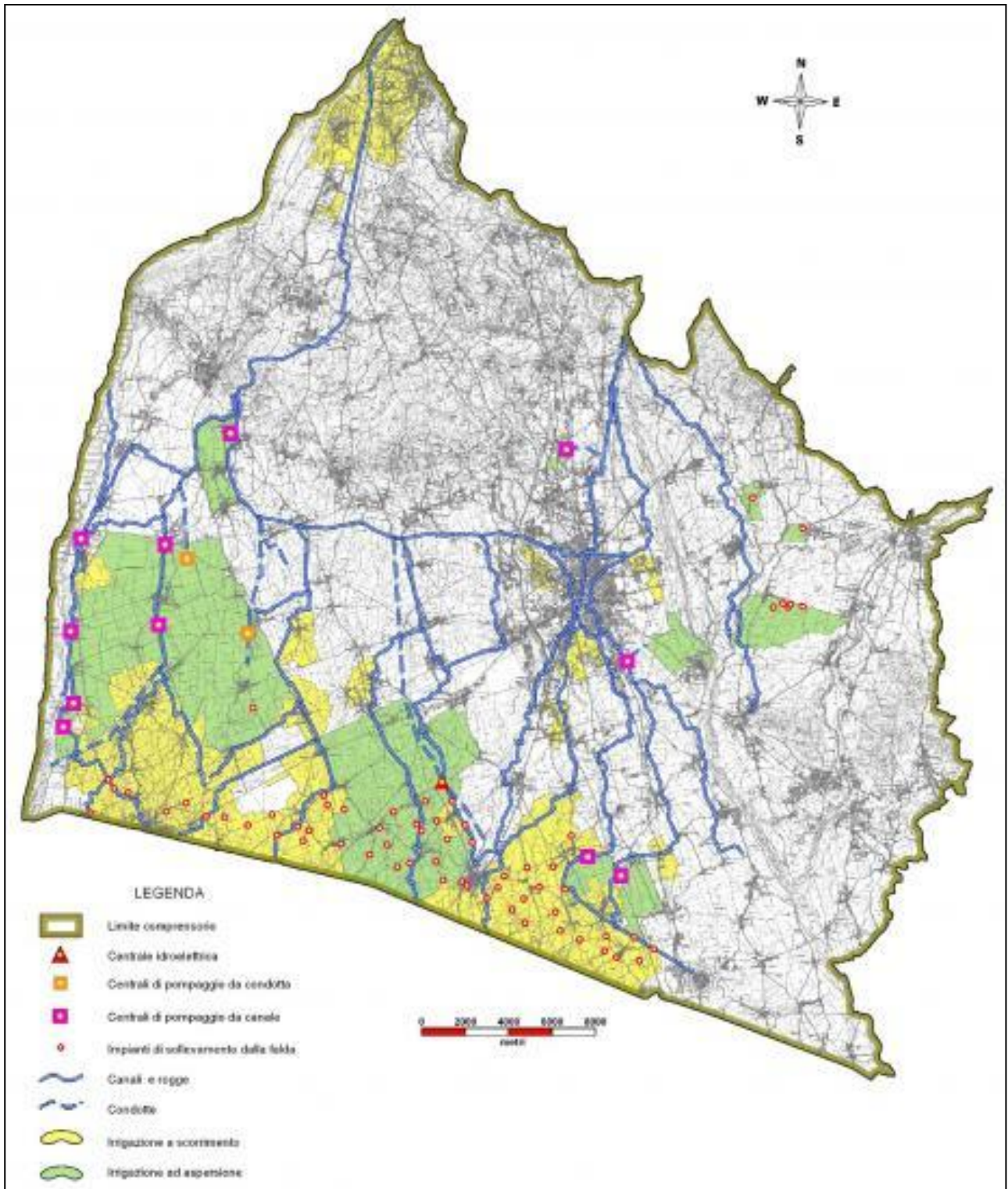


Figura 4. Perimetrazione del consorzio Ledra-Tagliamento.

L'area potenzialmente interessata al riuso delle acque del depuratore di Udine è di 400 ha e, con le colture oggi in atto, non ha la necessità di un'irrigazione costante e continua; viene, infatti, attivata l'irrigazione con prelievo d'acqua dal canale di Castions solamente nei periodi di siccità (emergenza). Ciò si verifica a fronte di un pagamento, da parte dell'utilizzatore, di 60 €/ha per ogni irrigazione estemporanea effettuata. Se si confronta questo prezzo con la quota annuale pagata attualmente dai consorziati (pari a 148,00 €/ha per una irrigazione alla settimana), si vede come la condizione dei terreni di cui trattasi è economicamente molto svantaggiosa.

Le caratteristiche qualitative dell'acqua del canale di Castions (Tabella 1 e Figura 5) sono ricavabili dalle analisi ARPA effettuate sul fiume Tagliamento (principale fonte per il sistema irriguo) nella stazione n.4 di Gemona - località Ospedaletto, in corrispondenza cioè della derivazione.

	100-ODs%	BOD ₅	COD	E. coli	N _{TOT}	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
<i>anno</i>	%	mg/L	mg/L	UFC/100mL	mg/L	mg/L	mg/L
2010	8,5	0,75	3	50	1,12	0,02	0,80

	N-NO ₂ ⁻	P _{tot}	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	SST	Zn
<i>anno</i>	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L
2010	0,0015	0,02	3,95	11,4	5,9	2,25

Tabella 1. Caratteristiche qualitative del fiume Tagliamento in corrispondenza della derivazione che alimenta il canale di Castions (stazione n.4 di Gemona - località Ospedaletto).

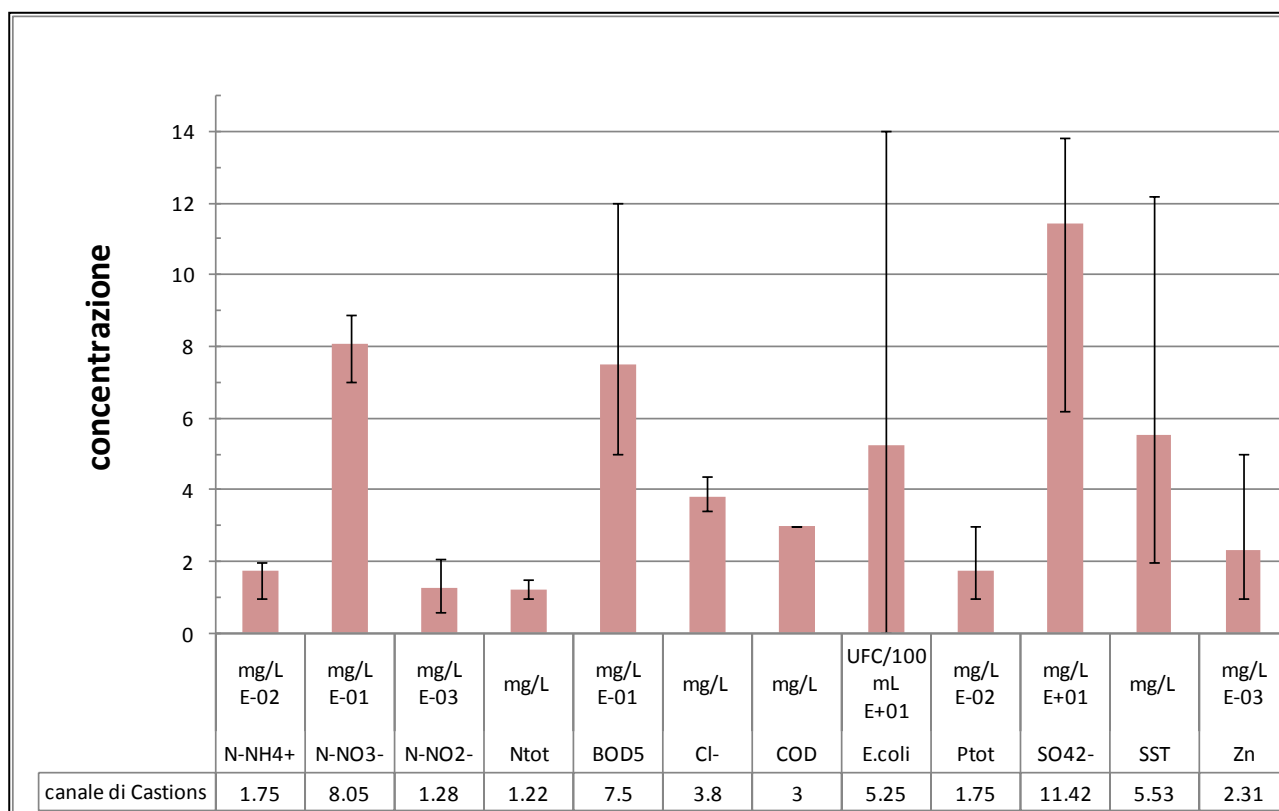


Figura 5. Valori medi registrati nel fiume Tagliamento in corrispondenza della derivazione che alimenta il canale di Castions, per i principali parametri chimico-fisici e microbiologici, con indicazione del valore massimo e minimo (n° campioni=4).

Il livello di qualità corrispondente ai risultati analitici è espresso con un valore di LIM (Livello Inquinamento Macrodescrittori) pari a 1, ovvero ad uno stato di qualità “elevato”.

3. OPERE NECESSARIE PER LA DIVERSIONE DELLO SCARICO

Il riutilizzo delle acque di scarico depurate può avvenire, in linea di principio, secondo due modalità:

- 1) immissione delle acque di scarico nel canale di Castions;
- 2) realizzazione di un sistema di irrigazione per il riuso diretto delle acque depurate.

La prima soluzione non pare particolarmente interessante perché gli utilizzatori dovrebbero comunque prelevare indipendentemente l'acqua dal canale e, d'altro canto, il consorzio non avrebbe alcun vantaggio economico.

Per quanto riguarda la seconda alternativa, invece, i Responsabili del Consorzio irriguo hanno riferito che sarebbe necessario realizzare/installare le seguenti opere:

- manufatto per la derivazione delle portate di scarico del depuratore;
- rete irrigua in pressione (con immissione dell'acqua a 5 bar in modo da garantire 3 bar al punto più lontano) a servizio di tutti i fondi agricoli, mediante l'interramento di tubazioni a pressione di diverso diametro e diverso materiale con pozzetti di derivazione completi di idrante ed organi di intercettazione e sfiato;
- apparecchiature elettriche ed idrauliche nel manufatto di presa e nella cabina di pompaggio, opportunamente dimensionate per un corretto servizio irriguo.

4. VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

La valutazione viene svolta attraverso il calcolo di indicatori ed indici che portano ad un giudizio finale sintetico e oggettivo. Questi indici riguardano i 3 comparti di interesse:

- 1) l'impianto di depurazione, cioè le caratteristiche dell'effluente in relazione ad un livello qualitativo di riferimento (i limiti di cui al D.M. 185/2003);
- 2) il sistema idraulico di diversione dello scarico verso l'utilizzatore potenziale, cioè le opere necessarie e il loro costo di realizzazione e gestione;
- 3) l'utilizzatore, in questo caso il settore agricolo, che si troverebbe ad usare un'acqua con caratteristiche diverse dall'attuale e con maggiore disponibilità.

4.1 L'impianto di depurazione

L'acqua erogata deve essere esaminata considerando due aspetti:

1. la sua qualità in relazione a determinati valori di riferimento: si opera quindi un confronto con i limiti del D.M. 185/2003;
2. l'affidabilità di funzionamento dell'impianto nel garantire le prestazioni medie: questa viene valutata considerando la dispersione dei dati attorno al valore medio. A seconda del numero di dati disponibile si considerano la concentrazione massima nel periodo esaminato o un indice statistico (es. 75° o 95° percentile).

Nella fattispecie, il primo tipo di elaborazione porta alla determinazione degli indici evidenziati in [Tabella 2](#).

INDICI	IMPIANTO DI UDINE
I_{BOD}	1,48
I_{COD}	0,98
I_{SS}	0,51
I_{NH4+}	-0,01
I_{Ntot}	0,25
I_{Ptot}	0,37
I_{Tensioattivi}	1,27
I_{Cloruri}	1,41
I_{E.Coli}	-0,95
I_{Al}	2,00
I_B	2,00
I_{Fe}	0,95
I_{Zn}	2,00
I_{Solfati}	2,00
I_{Fluoruri}	2,00
I_{Grassi e oli}	2,00
I_{Fenoli}	0,28
VALUTAZIONE FINALE V_D	1,09

Tabella 2. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni medie allo scarico.

Si vede come quasi tutti gli indici siano positivi, ad indicare che le concentrazioni effettive sono inferiori ai rispettivi limiti ex D.M. 185/03. L'unica criticità è di fatto rappresentata dal parametro *E.coli*, ma questo è giustificato dal fatto che la disinfezione finale (presente sull'impianto) non è attualmente utilizzata.

Se poi si considerano gli indici calcolati con le concentrazioni massime rilevate allo scarico, il 75° ed il 95° percentile, si ottiene il risultato sintetizzato in [Tabella 3](#) e [Figura 6](#). In quest'ultima si mette a confronto la situazione tipica (concentrazioni medie) con la situazione peggiore (concentrazioni massime) e con le condizioni rappresentate rispettivamente dal 75° e 95° percentile.

I dati (che riguardano un numero limitato di parametri, quelli, cioè, per cui erano disponibili i dati utili ad effettuare tutte le elaborazioni) evidenziano un peggioramento, anche se gli indici calcolati usando il 75° percentile si mantengono essenzialmente positivi. Il risultato denota una sufficiente affidabilità dell'impianto nel garantire determinate prestazioni depurative.

INDICI	IMPIANTO DI UDINE		
	MASSIMA	95° PERCENTILE	75° PERCENTILE
I _{BOD}	-0,01	0,00	0,67
I _{COD}	0,19	0,33	0,67
I _{SS}	-0,04	-0,04	-0,01
I _{NH4+}	-0,25	-0,10	-0,01
I _{Ntot}	-0,26	-0,09	0,07
I _{Ptot}	-0,60	-0,12	0,05
I _{Tensioattivi}	-0,04	0,19	0,48
VALUTAZIONE FINALE V_D	-0,14	0,03	0,28

Tabella 3. Valori degli indici parziali per la valutazione dell'efficienza depurativa, calcolati con le concentrazioni massime, il 75° ed il 95° percentile allo scarico.

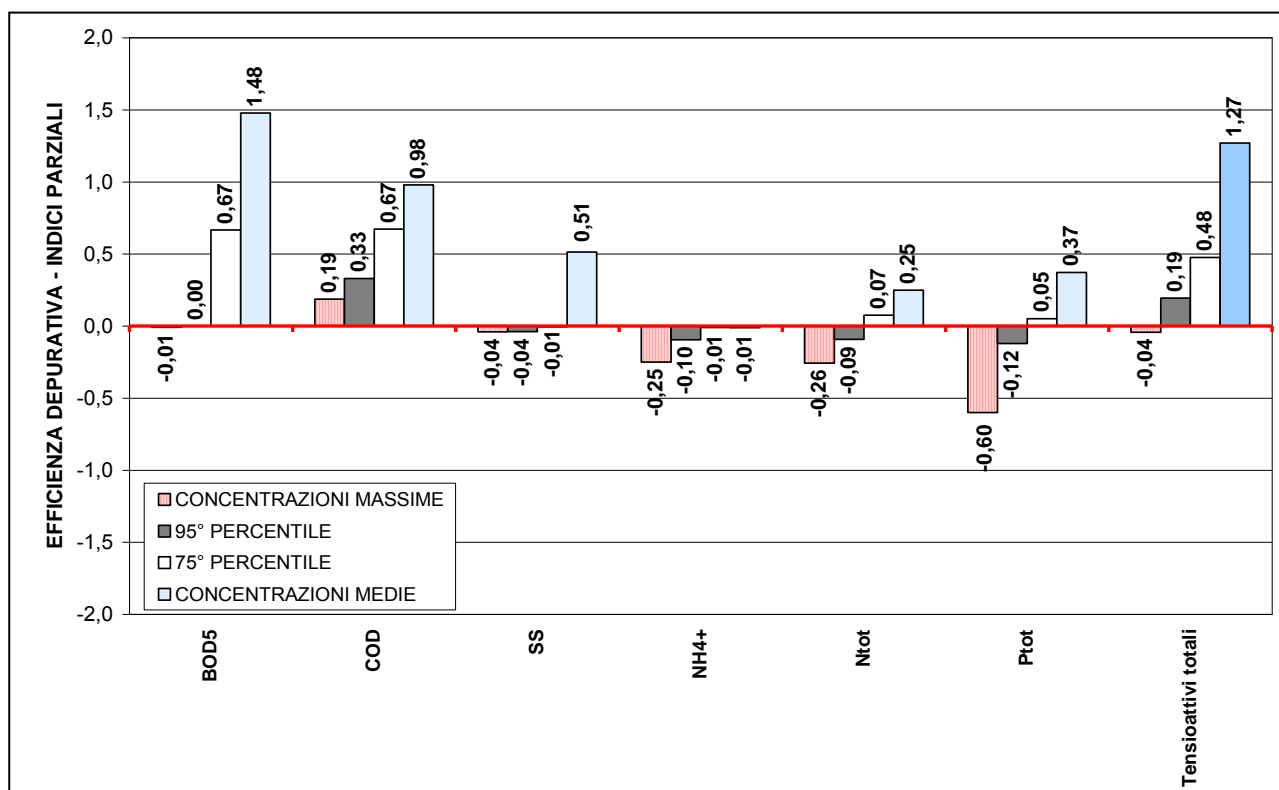


Figura 6. Indici prestazionali dell'impianto di depurazione: confronto tra situazione tipica (concentrazioni medie allo scarico), situazione peggiore (concentrazioni massime allo scarico) e situazioni intermedie (descritte, rispettivamente, dal 75° e 95° percentile).

4.2 Il sistema idraulico

Le esperienze maturate in questi ultimi anni nei comprensori irrigati a pioggia hanno dimostrato che, per terreni grossolani del tipo che si possono individuare nella zona, tenuto conto anche delle modalità di lavorazione degli stessi, è necessario prevedere una precipitazione artificiale in turno settimanale (7 giorni) di circa 30- 40 mm.

Il Comprensorio oggetto d'intervento può essere suddiviso in settori, per ognuno dei quali è prevista una dotazione d'acqua proporzionale alla superficie dei mappali interessati dall'irrigazione. Ogni settore sarà in grado di erogare con continuità la portata di competenza; poiché è previsto un turno di 7 giorni ed un numero di postazioni giornaliere pari a 6 (tempo di postazione 4 ore) si hanno per ogni settore un massimo di 42 postazioni.

La portata necessaria per la realizzazione degli impianti irrigui è pari a 1 L/s per ettaro servito; ipotizzando pertanto di servire un comprensorio di 400 ha la portata è pari a 400 L/s.

Il periodo di utilizzo dura 3 mesi (dal 1 giugno al 31 agosto), anche se tali date possono variare a seconda degli andamenti climatici stagionali.

I Responsabili del Consorzio hanno riferito che, mediamente, il costo per la realizzazione di una rete irrigua con le caratteristiche richieste (v. paragrafo 3) è pari a circa 11.000 €/ha, per un totale, quindi, di 4.400.000 €. Con una portata di 400 L/s, per un periodo di irrigazione di 3 mesi, si possono stimare i seguenti costi:

- ammortamento: circa 290.000€/y (30 anni, 5%), equivalenti a 0,09 €/m³;
- esercizio: 0,042 €/m³;

per un totale di 0,13 €/m³.

I consorziati che oggi usufruiscono del servizio di irrigazione corrispondono 148 €/ha/y che, con i fabbisogni idrici considerati, equivalgono a 0,019 €/m³. Anche ipotizzando che l'investimento per la realizzazione della rete irrigua sia sostenuto da altri Enti pubblici (Regione, Stato, fondi Europei), rimane un costo di esercizio di 0,042 €/m³, superiore al costo oggi sostenuto dagli utilizzatori. Quindi, dal punto di vista strettamente economico, l'operazione non è sostenibile.

Va però considerato che l'accresciuta disponibilità di acqua potrebbe consentire la conversione delle attuali colture agricole (poco idroesigenti) in coltivazioni maggiormente idroesigenti e potenzialmente più remunerative. Questa possibilità oggi non esiste, o meglio è condizionata dal fatto che l'emungimento di 400 L/s di acqua dal canale di Castions (ammesso che ve ne sia la disponibilità) costerebbe agli utilizzatori 0,092 €/m³ (calcolato considerando 60 €/ha per irrigazione e una irrigazione settimanale per tre mesi). In questo caso l'utilizzo dell'acqua depurata risulta conveniente, sempre nell'ipotesi che l'investimento sia finanziato da Enti esterni.

4.3 L'utilizzatore: il comparto irriguo

Il fabbisogno irriguo di 400 L/s è soddisfatto dalla portata media del depuratore in periodo estivo (pari a 463 L/s), se si trascura la variabilità della portata durante la giornata, ciò che potrebbe richiedere la realizzazione di un volume di accumulo.

Applicando quindi gli indici di valutazione elaborati per il comparto irriguo risulta quanto segue.

Il fattore "disponibilità di risorsa" può essere valutato attribuendo i seguenti punteggi:

- $y_3 = 2$ (oggi di fatto non si fa ricorso ad un sistema di irrigazione artificiale);
- $y_4 = 0,16$;

per un risultato complessivo $I_D = 1,08$.

Per quanto riguarda invece i parametri di qualità, sono stati calcolati gli indici di valutazione in funzione delle analisi disponibili.

Si ricorda che gli indici di qualità sono composti da due fattori: uno che esprime un confronto con la situazione attuale (indica cioè se la qualità dell'acqua che sarebbe fornita in caso di riuso è migliore o peggiore rispetto a quella attualmente distribuita) e uno che esprime analogo confronto con le concentrazioni massime ammesse (che in questo caso sono quelle di cui al D.M. 185/03).

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella Tabella 4 e nella Figura 6.

Risulta chiaro, dall'esame dei dati, come la qualità dello scarico sia nettamente peggiore rispetto all'acqua del canale di Castions: la colonna "*Qualità dell'acqua destinata a utilizzo rispetto alla qualità dell'acqua del canale Castions*" indica, infatti, questo confronto e tutti gli indici sono negativi. Tuttavia, il confronto con i valori del D.M. 185/03 (colonna "*Qualità dell'acqua destinata a utilizzo rispetto ai limiti del DM 185/03*"), che coincidono con i dati riportati in Tabella 2 (perché si è considerato il caso di riutilizzo "diretto" dello scarico), evidenzia come di fatto l'unico parametro significativamente inadeguato sia l'indicatore di contaminazione microbiologica *E. coli* (ma ciò, come già detto, unicamente dovuto al fatto che il comparto di disinfezione non è attivo).

INDICI	IMPIANTO DI UDINE		
	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO AI LIMITI DEL DM 185/03	QUALITA' DELLO SCARICO RISPETTO ALLA QUALITA' DELL'ACQUA DEL CANALE CASTIONIS	MEDIA
I_{BOD}	1,48	-2,00	-0,26
I_{CO_D}	0,98	-2,00	-0,51
I_{SS}	0,51	-0,04	0,23
I_{NH₄⁺}	-0,01	-2,00	-1,01
I_{Ntot}	0,25	-2,00	-0,88
I_{Ptot}	0,37	-2,00	-0,81
I_{Cloruri}	1,41	-2,00	-0,30
I_{E.Coli}	-0,95	-1,04	-0,99
I_{Zn}	2,00	-2,00	0,00
I_{Solfati}	2,00	-2,00	0,00
INDICE DI IDONEITA' DELL'ACQUA PER IL COMPARTO AGRICOLO I_Q	0,80	-1,71	-0,45

Tabella 4. Valori degli indici per la valutazione dell'idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo.

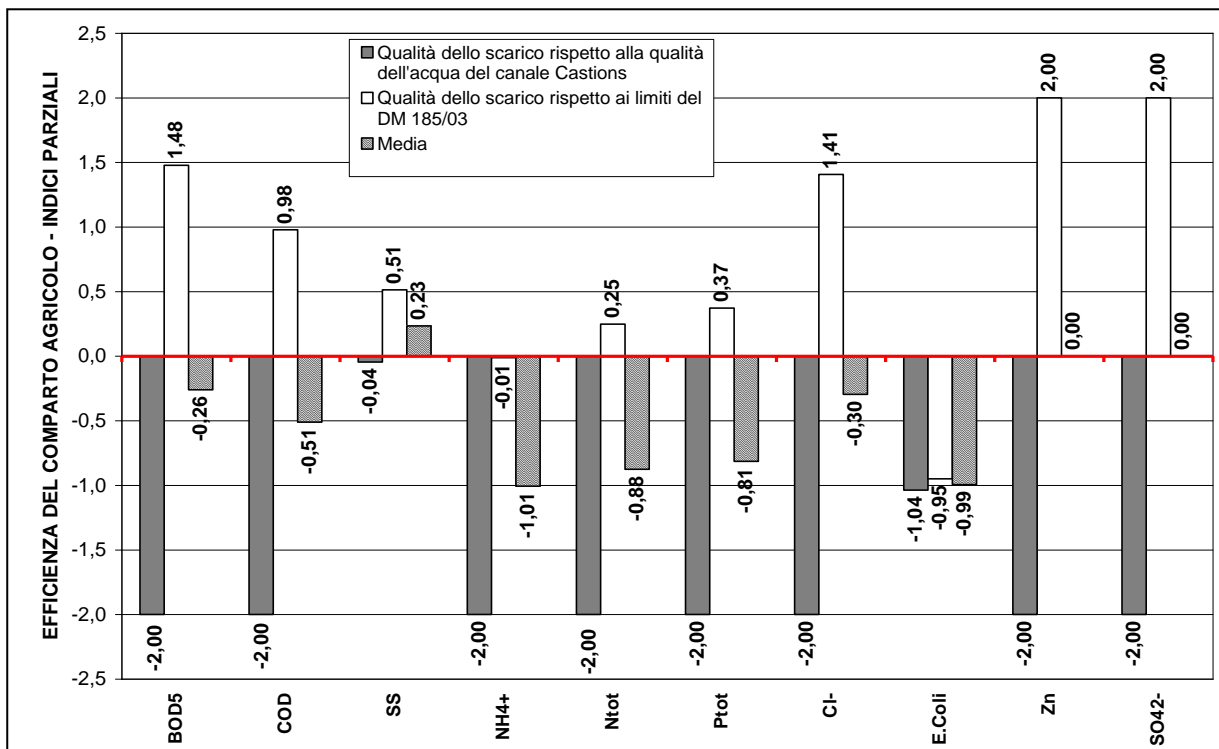


Figura 6. Indici per la valutazione dell' idoneità qualitativa dello scarico per il riuso agricolo: confronto con i limiti di cui al D.M. 185/03, confronto con la qualità dell'acqua oggi prelevata dal canale Castions, valutazione complessiva.

La valutazione finale, per il comparto irriguo (utilizzatore), risulta, nel complesso, lievemente positiva, grazie all'effetto del fattore "disponibilità" e di una qualità dello scarico sostanzialmente conforme ai limiti del DM 185/2003.

$$V_u = 0,5 \cdot 1,08 + 0,5 \cdot (-0,45) = 0,32$$

5. VALUTAZIONE INTEGRATA

In conclusione, l'applicazione del criterio di valutazione all'impianto di depurazione di Udine evidenzia le seguenti conclusioni:

1. dal punto di vista economico, la realizzazione di una rete irrigua per il riutilizzo delle acque depurate comporterebbe un costo, per gli utilizzatori, superiore a quello oggi sostenuto in altre aree servite dal medesimo consorzio. Tuttavia l'utilizzo dell'acqua del depuratore sarebbe più conveniente rispetto al costo attuale dell'acqua prelevata dal canale di Castions. In ogni caso, l'investimento dovrebbe essere finanziato da enti esterni (Regione, Ministero, UE, ...);
2. l'acqua depurata ha una buona qualità e il livello di affidabilità dell'impianto è sufficiente;
3. la disponibilità dell'acqua del depuratore risulterebbe, per l'utilizzatore, un fatto tendenzialmente positivo.

Nel complesso, se, da un lato la qualità dello scarico e la disponibilità dell'acqua potrebbero costituire elementi a favore del riutilizzo, dall'altro lato, la fattibilità economica potrebbe sussistere solo nel caso in cui la disponibilità di questa risorsa potesse favorire coltivazioni più idroesigenti e più remunerative (orticole, vite, frutteti) di quelle attualmente praticate (mais). Fondamentalmente, a sfavore del riutilizzo, gioca la possibilità che comunque sussiste, in questa area, di praticare l'agricoltura senza dover ricorrere, in condizioni normali, a fonti esterne di approvvigionamento idrico.

4. FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DEL RIUTILIZZO

In questo capitolo si riporta una sintesi dei risultati dell'applicazione del criterio di valutazione ai dieci casi di studio esaminati.

Gli impianti sono stati scelti con l'intento di esaminare casistiche diversificate tra loro in ordine a:

- forma di riutilizzo (agricolo diretto, agricolo indiretto, industriale);
- dimensione dell'impianto di depurazione (portate riutilizzate o riutilizzabili comprese tra 5.000 e 115.000 m³/d);
- localizzazione geografica;
- stato di fatto del riutilizzo (in previsione oppure in atto).

Nel complesso, il metodo di valutazione proposto, applicato ai diversi casi, ha permesso di evidenziare in forma sintetica i punti di forza e le problematiche delle realtà studiate. La bontà del metodo è stata peraltro evidenziata dalla concordanza tra il risultato ottenuto e il riscontro effettivo della realtà; in altre parole, a una valutazione positiva trova riscontro una applicazione reale già in atto, mentre per situazioni dove il riutilizzo non è praticato si è in effetti ottenuta una valutazione negativa (anche solo per uno dei comparti esaminati).

4.1 Sintesi dei risultati

E' interessante suddividere i casi studiati in tre gruppi:

- A) impianti dove già oggi il riutilizzo (agricolo/civile o industriale) è in atto
- B) impianti dove sono in corso valutazioni e progetti per effettuare il riutilizzo nell'immediato futuro
- C) impianti dove il riutilizzo non è praticabile o è di dubbia praticabilità

Al primo gruppo appartengono, in ordine decrescente di portata riutilizzata, gli impianti di:

- A1) Cremona (portata riutilizzata in agricoltura: 25.300 m³/d)
- A2) Alghero (SS) (portata riutilizzata in agricoltura: 21.600 m³/d)
- A3) Baciacavallo (PO) (portata riutilizzata nell'industria: 6.000 m³/d)
- A4) Stintino (SS) (portata riutilizzata in agricoltura e per usi civili: 5.400 m³/d in futuro)
- A5) Fasano (BR) (portata riutilizzata in agricoltura: 5.000 m³/d)

Al secondo gruppo appartengono gli impianti di:

- B1) Peschiera del Garda (VR) (portata riutilizzata in agricoltura: 115.000 m³/d)
- B2) Acqua dei Corsari (PA) (portata riutilizzata in agricoltura: 82.100 m³/d)
- B3) Fregene (Roma) (portata riutilizzata in agricoltura: 29.100 m³/d)

Al terzo gruppo, infine, appartengono gli impianti di:

- C1) Udine (portata potenzialmente riutilizzabile in agricoltura: 35.500 m³/d)
- C2) Locate Triulzi (MI) (portata potenzialmente riutilizzabile in agricoltura: 30.000 m³/d)

Di seguito si riporta uno schema riassuntivo dei risultati della valutazione effettuata, caso per caso, e, in sintesi, vengono svolte alcune considerazioni per evidenziare i punti di pregio e le principali problematiche delle diverse situazioni.

Impianto	Tipo di riuso	Riuso già in atto	Presenza trattamenti terziari	Q _{riuso} [m ³ /d]	Disponibilità di acqua	Impianto di depurazione		Rete di distribuzione	Sostenibilità economica	Utilizzatore							Valutazione integrata		
						V _D	Affidabilità			y ₃	y ₄	I _D	y ₁	y ₂	I _Q	V _U	Impianto	Rete	Utenza
Acqua dei Corsari (PA)	A indiretto	no	previsto (chiariflocculazione, filtrazione, disinfezione)	27 650 82 100 (futura)	scarsa (falda + superficiale)	0,84*	elevata (ipotizzato: ci sarà affinamento)	sollevamento e condotta (10 km)	0,25 €/m ³ , però si consente di praticare agricoltura ove oggi non è possibile	2	0,11	1,06	-0,4	0,37	-0,01 [^]	0,53	si	si	si
Alghero (SS)	A indiretto	si (dal 2010)	si (filtrazione + UV)	21 600	superficiale (esiste accumulo)	0,99	supposta elevata (affinamento)	sollevamento (48 m) e collegamento a rete esistente	costo del sollevamento (0,055 €/m ³) > prezzo attuale (0,005 - 0,015 €/m ³)	0	0	0	-0,25	0,99	0,37	0,19	si	no (ma evitato prelievo e scarico)	si
Baciacavallo (PO)	I indiretto	si	si (chiariflocculazione, filtrazione, ozono)	6 000	superficiale + falda	0,82	elevata (affinamento)	60 km, acquedotto industriale	costo affinamento + distribuzione (0,24 €/m ³) > prezzo all'utenza (0,135 €/m ³), ma viene compensato da maggiorazione tariffa di depurazione per tutti gli utenti	0	0	0	-	0,82	0,82 [^]	0,41	si	si	si
Cremona	A indiretto	si	si (filtrazione + UV)	25 300	superficiale, insufficiente	1,43	buona 1,29 per 75° percentile 0,76 per 95° percentile	condotta (3 800 m)	sollevamento da Po e distribuzione (0,05 €/m ³) > costo manutenzione rete distribuzione acqua depurata (0,01 €/m ³) La realizzazione è stata finanziata dall'Autorità di Bacino del fiume Po	2	2	2	0,29	1,09	0,69	1,35	si	si	si
Fasano (BR)	A diretto	si (dal 2006)	si (chimico-fisico-biologico)	5 000	scarsa (falda con elevata salinità)	1,01	grande 0,54 per 75° percentile 0,31 per 95° percentile	pompaggio 30 km di rete 3 atm all'utenza	esercizio: affinamento (0,15 €/m ³) a carico delle utenze; distribuzione (0,15 €/m ³) a carico del comune. Sostenibile perché consente l'attività altrimenti impossibile	2	0	1	1	1	1	1	si	si	si
Fregene (RM)	A indiretto	no	previsto (filtrazione + UV)	29 100	ampia (acque superficiali)	0,71	sufficiente (ipotizzato: ci sarà affinamento)	pompaggio in condotta (3 km)	costo di sollevamento e trasporto (0,03 €/m ³) < prezzo dell'acqua fornita dal Consorzio irriguo (0,15 €/m ³)	0	0	0	-0,09	0,25	0,08	0,04	si (in futuro)	si	si
Locate Triulzi (MI)	A diretto	no	si (filtrazione + ozono)	30 000	ampia (acque superficiali)	0,48	scarsa [°] 0,47 per 75° percentile -0,22 per 95° percentile	sollevamento (3 m) e condotta premente (490 m)	pompaggio scarico (0,015 €/m ³) < costo acqua (0,038 €/m ³)	0,14	2	1,07	-1,81	0,29	-0,76	0,16	no [°]	si	si
Peschiera del Garda (VR)	A indiretto	no	si (filtrazione + UV)	115 000	superficiale, sufficiente	0,75*	discreta* 0,60 per 75° percentile 0,07 per 95° percentile	nuovo manufatto di scarico a Mincio	nuovo manufatto (0,060 €/m ³), già previsto per altre esigenze	0,02	0,02	0,02	-0,02	1,65	0,82	0,43	si	si	si
Stintino (SS)	A/C diretto	in parte	si (coagulazione, chiariflocculazione, filtrazione, disinfezione) + accumulo	5 400 (futuro)	di rete	0,95	elevata (affinamento + lagunaggio)	2 reti di distribuzione senza sollevamento	affinamento + distribuzione 0,1 €/m ³ contro acqua di rete 0,4 €/m ³	2	0	1	-	0,95	0,95	0,98	si	si	si
Udine	A diretto	no	no	35 000	superficiale, insufficiente	1,1	sufficiente 0,28 per 75° percentile 0,03 per 95° percentile	rete irrigua in pressione	supponendo che l'investimento per la realizzazione della rete sia a carico di terzi, esercizio rete (0,042 €/m ³) > prezzo pagato oggi dai consorziati (0,019 €/m ³) ma < prezzo pagato se si prelevassero 400 L/s dal canale di Castions (0,092 €/m ³)	2	0,16	1,08	-1,71	0,83	-0,44	0,32	si	si/no	si

* non sono stati considerati i trattamenti terziari

[^] valutato in favore di sicurezza ipotizzando riuso diretto

[°] nelle condizioni attuali l'impianto è gestito in modo da rispettare i limiti per lo scarico in acque superficiali. Il raggiungimento di limiti più restrittivi sarebbe possibile a fronte di costi aggiuntivi oggi ingiustificati

Tabella 1. Schema riassuntivo dei risultati della valutazione dei casi di studio.

A1) Impianto di Cremona

Le prestazioni dell'impianto di depurazione sono molto elevate, sia in termini di rendimenti medi ($V_D=1,43$) sia in termini di affidabilità di funzionamento (l'impianto è dotato di trattamenti terziari). E' molto alto anche il giudizio per l'utilizzatore ($V_U=1,35$), ciò soprattutto in ragione della carenza di acqua naturale in determinate aree. Il riutilizzo è di tipo indiretto. La sostenibilità economica è resa possibile dal fatto che gli investimenti sono stati finanziati dalla Regione e che l'effluente del depuratore non deve essere sollevato.

A2) Impianto di Alghero (SS)

Le prestazioni dell'impianto di depurazione sono buone in termini di rendimenti medi ($V_D=0,99$) e la presenza di una stazione di affinamento fa presupporre una buona affidabilità. Il riutilizzo è di tipo indiretto. Non vi sono problemi di carenza idrica (esiste infatti un sistema di accumulo delle acque superficiali) e il costo del sollevamento dell'effluente depurato è superiore al prezzo di approvvigionamento delle acque superficiali. Gli Enti locali promuovono tuttavia il riuso per limitare il prelievo di risorsa naturale ed evitare lo scarico in corpo idrico superficiale (in un'ottica di salvaguardia ambientale di quest'ultimo).

A3) Impianto di Baciacavallo (PO)

Questo è l'unico caso di riutilizzo industriale (indiretto) esaminato. Le prestazioni dell'impianto di depurazione sono buone ($V_D=0,82$ sulle concentrazioni medie) e l'affidabilità di funzionamento è garantita dalla presenza di trattamenti terziari. L'utilizzatore riceve un'acqua idonea per gli usi industriali previsti. La sostenibilità economica è resa possibile da un sistema di incentivazione/tariffazione che distribuisce gli oneri aggiuntivi su tutti gli utenti industriali che usufruiscono del sistema di depurazione, compresi quelli che non usufruiscono del riutilizzo.

A4) Impianto di Stintino (SS)

Le prestazioni dell'impianto di depurazione sono buone in termini di rendimenti medi ($V_D=0,95$); l'affidabilità di funzionamento è garantita dalla presenza di trattamenti terziari seguiti da lagunaggio. E' alto anche il giudizio per l'utilizzatore ($V_U=0,98$), in questo caso soprattutto per la carenza di risorse naturali. Il riutilizzo (di tipo diretto), oggi per usi civili (irrigazione verde pubblico e privato) è previsto venga in futuro esteso al settore agricolo. La sostenibilità economica è certa, in quanto il termine di paragone è il costo dell'acqua di rete, che rappresenta l'unica alternativa disponibile.

A5) Impianto di Fasano (BR)

Le prestazioni dell'impianto di depurazione sono buone in termini di rendimenti medi ($V_D=1,01$) e i trattamenti terziari garantiscono una notevole affidabilità di funzionamento. Complessivamente positivo il giudizio anche per l'utilizzatore agricolo ($V_U=1$), soprattutto in virtù della scarsa disponibilità e qualità (per elevata salinità) della risorsa naturale (falda). Il riutilizzo è di tipo diretto. La sostenibilità economica è resa possibile da un contributo comunale. Il riutilizzo di fatto consente di praticare una attività agricola altrimenti non possibile.

B1) Impianto di Peschiera del Garda (VR)

L'utilizzo potenziale in agricoltura, di tipo indiretto, sarebbe reso possibile considerando i seguenti fattori: elevate prestazioni dell'impianto di depurazione già in assenza dei trattamenti terziari (in fase di realizzazione), sia in termini di rendimenti medi ($V_D=0,75$) sia in termini di affidabilità di funzionamento. Positivo è anche il giudizio per l'utilizzatore ($V_U=0,43$), nonostante possa già oggi disporre di acqua in quantità adeguata e di elevata qualità (fiume Mincio). La sostenibilità economica sarebbe garantita dal fatto che l'unico intervento da realizzare sarebbe lo spostamento del punto di scarico, già però previsto per altre esigenze. Non è viceversa necessario il sollevamento delle acque depurate.

B2) Impianto di Acqua dei Corsari (PA)

Anche in questo caso si prevede l'utilizzo in agricoltura, di tipo indiretto. E' stato calcolato un indice $V_D=0,84$ (elevato, considerando che non si è preso in esame il previsto affinamento terziario); l'impianto dovrebbe essere dotato di stazione di affinamento, tale da garantire affidabilità di funzionamento. La disponibilità di questa risorsa in un'area caratterizzata da carenza di acqua naturale porta ad un indice per l'utilizzatore abbastanza elevato ($V_U=0,53$). La sostenibilità economica è garantita dalla possibilità di incrementare la produzione agricola, grazie alla disponibilità di acqua di recupero.

B3) Impianto di Fregene (Roma)

Pur non esistendo, oggi, il sistema idraulico di connessione dello scarico con la rete irrigua, il riutilizzo di tipo indiretto (miscelazione con le acque prelevate dal fiume Tevere), sarebbe possibile dal punto di vista sia tecnico che economico, in considerazione dei previsti interventi sull'impianto di depurazione. Infatti, l'impianto mostra già oggi buone rese di rimozione ($V_D=0,71$) e il previsto upgrading, che comprende una stazione di affinamento terziario, garantirà anche un'adeguata affidabilità delle prestazioni. In tal caso, sarebbe decisamente positivo anche il giudizio per l'utilizzatore, nonostante la disponibilità di acqua superficiale. La sostenibilità economica sarebbe infine garantita, poiché il costo del trasporto dell'acqua di scarico fino alla immissione nella rete irrigua risulterebbe inferiore al costo oggi sostenuto per il prelievo (e trasporto) dell'acqua dal fiume Tevere.

C1) Impianto di Udine

Le acque effluenti dal depuratore di Udine potrebbero essere destinate al riuso agricolo diretto. La qualità dello scarico è buona ($V_D=1,1$) e l'affidabilità solo sufficiente non essendo l'impianto dotato di trattamenti terziari. La risorsa naturale è insufficiente per servire le aree agricole, e nel complesso il giudizio per l'utilizzatore è positivo ($V_U=0,32$), tuttavia la qualità dell'acqua del depuratore determina un indice di qualità per l'utilizzatore negativo ($I_Q=-0,44$). A ciò si aggiunge una dubbia sostenibilità economica dell'opera, per la necessità di realizzare una rete di distribuzione in pressione. Questi fattori spiegano l'attuale mancato ricorso al riutilizzo.

C2) Impianto di Locate Triulzi (MI)

Anche lo scarico del depuratore di Locate Triulzi potrebbe essere destinato al riuso agricolo diretto. La qualità dello scarico è accettabile come condizioni medie ($V_D=0,48$) ma l'indice V_D risulta negativo se calcolato con il 95° percentile delle concentrazioni in uscita; questo perché il depuratore oggi rispetta i limiti per lo scarico in acque superficiali, pur essendo strutturalmente adeguato per raggiungere prestazioni più elevate. Se venisse gestito in condizioni più spinte, così come richiesto per il riutilizzo, i costi operativi sarebbero ingiustificatamente più elevati. In conclusione, il riutilizzo non viene praticato nonostante sussista la sostenibilità economica dell'operazione (l'effluente dovrebbe essere solo trasportato per un breve tratto e sollevato di soli 3 m).

4.2 Applicabilità del metodo di valutazione e dati necessari

Il metodo di valutazione si è dimostrato, come già osservato, idoneo a fornire un giudizio oggettivo sulla fattibilità tecnico-economica del riutilizzo delle acque reflue depurate, in ambito sia agricolo/civile sia industriale. Ciò è stato dimostrato dai dieci casi di studio esaminati.

Naturalmente, l'affidabilità del risultato di una valutazione dipende dall'affidabilità dei dati di partenza. La verifica di quest'ultimo aspetto è quindi imprescindibile e preliminare a qualsiasi altra valutazione. Il metodo proposto peraltro non esime dall'affidare questo tipo di valutazioni a personale esperto, in quanto alcuni aspetti richiedono comunque una analisi qualitativa che solo personale competente può effettuare.

Dall'esperienza maturata in questo lavoro, si sono potute ricavare le indicazioni che seguono circa il tipo e il numero minimo di informazioni che sono richieste per effettuare questo tipo di valutazioni.

Informazioni minime da acquisire	Informazioni supplementari che consentono una valutazione ottimale
<u>1) SULL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE</u>	
Schema dell'impianto di depurazione nell'assetto attuale e previsto (ad es. se è prevista la realizzazione di trattamenti terziari per consentire il riutilizzo dello scarico)	Caratteristiche dimensionali e dati di progetto.
	Costo (realizzazione e gestione) di eventuali interventi finalizzati a consentire il riutilizzo dell'acqua (es. trattamenti terziari)
Portata media di tempo asciutto nel periodo di riutilizzo (per esempio, nel caso di riutilizzo in agricoltura, la stagione irrigua)	Valori di portata media giornaliera per un anno
Concentrazioni tipiche in ingresso ed in uscita all'impianto di: COD, BOD, Ntot, Ptot, <i>E.coli</i> e/o di altri parametri selezionati in base alla destinazione prevista per l'acqua di depurata	Concentrazioni giornaliere di tutti i parametri monitorati in ingresso ed in uscita all'impianto (per esempio, quelli di Tabella 3 del D.Lgs 152/2006 oppure quelli previsti dal DM 185/2003 nel caso di riutilizzo in agricoltura) per un anno
<u>2) SULL'UTILIZZATORE DELL'ACQUA RECUPERATA (per esempio, il comparto agricolo nel caso di riutilizzo in agricoltura, oppure industriale o altro)</u>	
Fabbisogno idrico dell'utilizzatore (portata media giornaliera, durata del periodo di utilizzo)	Descrizione dell'ambito del riutilizzo: ad esempio, nel caso di riutilizzo agricolo, la coltura praticata ed il fabbisogno colturale specifico, l'estensione dell'area, ...
Disponibilità attuale di acqua da fonti naturali	
Rapporto di diluizione tra l'acqua di scarico riutilizzata e l'acqua eventualmente prelevata da fonti naturali	
Qualità richiesta per l'acqua: ad esempio, i limiti indicati nel DM 185/2003 nel caso di utilizzo agricolo, oppure altri limiti da specificare	
Caratteristiche qualitative dell'acqua prelevata da fonte naturale (in caso di assenza del riutilizzo)	
Costo attuale dell'acqua prelevata da fonte naturale (in caso di assenza del riutilizzo)	
<u>3) SUL SISTEMA IDRAULICO DI TRASPORTO DELL'ACQUA DAL DEPURATORE ALL'UTILIZZATORE</u>	
Stima di massima delle opere richieste, in termini di: caratteristiche geometriche del sistema idraulico di trasporto (collettore, canale ...), eventuale prevalenza geodetica da vincere, eventuale volume del bacino di accumulo, eventuali manufatti speciali (sifoni, ...)	Costi di realizzazione e di gestione del sistema idraulico di trasporto
Presenza di finanziatori (reali o potenziali) delle opere	

Si precisa poi che è possibile variare i pesi di valutazione dei diversi indici a seconda di esigenze locali (ad esempio dando più rilievo all'aspetto quantitativo rispetto a quello qualitativo per quanto riguarda la valutazione per l'utilizzatore).

Nel complesso, devono risultare positivi non solo gli indici globali (es. V_D e V_U), ma anche quelli parziali (I_D e I_Q). Si è visto, infatti, nei casi di Udine e Locate Triulzi, come questo aspetto sia stato determinante.

E' infine da sottolineare che queste valutazioni devono rappresentare solo un primo giudizio di fattibilità. Esse infatti non tengono conto di fattori esterni che potrebbero in determinate situazioni risultare determinanti. Ad esempio si consideri il caso in cui il riutilizzo è reso necessario per il risanamento del ricettore dello scarico (che verrebbe evitato); oppure il caso (non poco frequente) in cui, per promuovere la

pratica del riutilizzo, le opere vengono finanziate a fondo perduto da Enti terzi. Le situazioni di questo genere che si possono verificare sono evidentemente molteplici e d'altro canto difficilmente implementabili in una procedura di calcolo oggettiva come quella proposta in questo lavoro.

5. PIANO DI MONITORAGGIO PER IL RIUTILIZZO DI ACQUE REFLUE DEPURATE

Nel presente capitolo si riportano indicazioni relative ad un possibile piano di monitoraggio da attuarsi per verificare gli effetti del riutilizzo delle acque reflue depurate. Quanto viene proposto è stato elaborato pensando ad applicazioni pratiche, dove cioè la scelta dei parametri da monitorare e la frequenza dei controlli deve tener conto della fattibilità economica. Diverso sarebbe il caso di un piano da attuarsi nell'ambito di una ricerca dove si privilegia l'approfondimento scientifico.

5.1 Riuso dell'acqua in agricoltura

Innanzitutto bisogna prevedere la definizione di un "bianco", ovvero monitorare le matrici di interesse prima dell'inizio della pratica di riutilizzo. Inoltre, se possibile, bisogna mantenere una parcella di controllo anche una volta avviato il riutilizzo; questa parcella continuerà ad essere irrigata in modo tradizionale.

Le problematiche ambientali che possono essere associate all'utilizzo di acque di scarico in agricoltura riguardano principalmente i derivanti apporti di:

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

Il monitoraggio dovrà riguardare tutte le matrici interessate, come di seguito riportato.

a) ACQUA DI SCARICO

Bisogna innanzitutto valutare l'efficienza dell'impianto di depurazione, e la quantità e qualità dell'acqua destinata al riuso.

Per quanto riguarda la quantità, occorre rilevare giornalmente i volumi di acqua destinati a riutilizzo; per la qualità, invece, sono da rilevare, settimanalmente, tutti i parametri riportati nel DM 185/2003, con le medesime modalità di campionamento previste nella norma stessa. Dopo un primo periodo (di durata indicativa di un mese), si potrà diradare la frequenza dei controlli e ricercare solo alcuni parametri critici/indicatori (es.: salinità, SAR, parametri microbiologici, ...).

Si osservi che la quantificazione del carico di azoto rientra nel conteggio del carico massimo ammissibile sui terreni.

Si cita, infine, la possibilità di adottare alcuni sistemi non convenzionali per la valutazione della fattibilità del riutilizzo, basati sull'applicazione di saggi biologici (Cao *et al.*, 2009⁵; Reungoat *et al.*, 2010⁶)

⁵ Cao, N., Yang, M., Zhang, Y., Hu, J.Y., Ike, M., Hirotsuji, J., Matsui, H., Inoue, D., Sei, K., 2009. Evaluation of wastewater reclamation technologies based on in vitro and in vivo bioassays. *Science of the Total Environment* 407(5), 1588-1597.

⁶ Reungoat, J., Macova, M., Escher, B.I.; Carswell, S., Mueller, J.F., Keller, J., 2010. Removal of micropollutants and reduction of biological activity in a full scale reclamation plant using ozonation and activated carbon filtration. *Water Research* 44(2), 625-637.

b) ALTRA ACQUA PER L'IRRIGAZIONE

Analisi quali-quantitative analoghe a quelle effettuate per l'acqua di scarico dovranno essere svolte su tutta l'acqua (di rete, di falda, da corpo idrico superficiale) comunque utilizzata durante il periodo irriguo. Anche in questo caso, dopo un monitoraggio "intensivo" iniziale, sarà possibile ridurre il numero delle analisi (parametri e frequenza).

c) PESTICIDI

È indispensabile conoscere i quantitativi e le caratteristiche qualitative dei pesticidi a vario titolo impiegati per discriminare il loro ruolo rispetto alla contaminazione di terreno e colture, per sostanze quali diossine (es. se si usano erbicidi fenossiacetici), altri composti clorurati, solventi aromatici e, in caso di utilizzo di pesticidi inorganici, Cu, Zn, Pb, As. È stato calcolato che più del 10% dei fungicidi e degli insetticidi tradizionalmente utilizzati apportano Cu, Hg, Mn, Pb e Zn.

d) AMMENDANTI E FERTILIZZANTI

Così come per i pesticidi, è necessario conoscere le caratteristiche quali-quantitative di ammendanti e fertilizzanti di sintesi e/o "naturali" (reflui zootecnici e fanghi di depurazione). Saranno in questo caso da considerare i metalli (es. Cu, Zn, Pb, As, Cd, Cr, Hg, Ni) e le sostanze organiche (farmaci e loro metaboliti, grassi e oli animali e vegetali, oli minerali, tensioattivi, solventi organici clorurati, solventi aromatici).

Ad esempio, i liquami, soprattutto suini, contengono notevoli quantità di Zn e di Cu, che sono somministrati come integratori dietetici. Gli stessi concimi chimici possono causare inquinamento dato che, talora, contengono metalli pesanti (Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) derivanti dalle materie prime e dai processi industriali. Pur essendo modesto il contributo annuo dei concimi all'inquinamento, esso in realtà non è trascurabile dato che la concimazione viene effettuata tutti gli anni (Sequi, 1998⁷).

e) FALDA ACQUIFERA

È opportuno effettuare un monitoraggio stagionale (1 volta/stagione) della falda acquifera per verificare eventuali contaminazioni, ad esempio da metalli molto mobili (in particolare, rame e zinco), azoto (nitrati) e microinquinanti organici. La scelta dei parametri sarà fatta in funzione dei risultati del monitoraggio delle acque e di tutti i materiali usati in agricoltura.

f) CORPI IDRICI SUPERFICIALI CIRCOSTANTI

Analogamente a quanto visto per la falda, potrà essere condotto un monitoraggio stagionale (1 volta/stagione).

g) SUOLO

Il monitoraggio del suolo deve essere eseguito con una frequenza annuale ed ha un triplice obiettivo.

- Caratterizzare la matrice in relazione alla sua interazione con gli inquinanti. Ad esempio, per quanto riguarda i metalli pesanti, i principali fattori che ne influenzano l'assimilabilità da parte del suolo sono il pH, il potenziale redox, l'attività biologica, la sostanza organica, la quantità e il tipo di argilla e la capacità di scambio cationico (CSC) del terreno. L'effetto delle proprietà chimiche e fisiche del suolo fa sì che i metalli pesanti in esso contenuti possano essere presenti in diverse forme chimiche: in soluzione nel terreno come ioni semplici o complessati nella soluzione circolante; assorbiti con i costituenti di terreno inorganico in siti di scambio ionico; legati alla sostanza organica; occlusi e coprecipitati con ossidi, carbonati, fosfati, idrossidi, o con altri minerali secondari; uniti in reticoli cristallini dei minerali primari. I metalli presenti nelle prime tre forme chimiche sono considerati i più disponibili per la nutrizione vegetale.

⁷ Sequi P., 1998. "Chimica del suolo". Patron Editore, Bologna

-
- Naturalmente, anche per le sostanze organiche, le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei suoli influenzano i processi di adsorbimento/desorbimento, degradazione (biotica ed abiotica), volatilizzazione, erosione e lisciviazione, e, in ultima analisi, la concentrazione delle sostanze inquinanti potenzialmente disponibili per la pianta.
 - Verificare l'eventuale accumulo di inquinanti e nutrienti (a tal proposito sarà interessante monitorare l'azoto totale, i fosfati (P₂O₅) assorbibili, K₂O scambiato, inquinanti organici, metalli pesanti e parametri microbiologici). Per quanto riguarda le sostanze organiche di interesse ambientale, si citano, a titolo esemplificativo e non esaustivo: BTEX (Benzene, Toluene, Etilbenzene e Xilene) e loro cloro e nitro sostituiti; detergenti (LAS - alchilsolfonati a catena lineare -, NPnEO (nonilfenoli polietossilati) e loro sottoprodotti di degradazione); diossine e furani; fenoli; ftalati; IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici); PCB (Bifenili policlorurati); pesticidi; composti organici alifatici clorurati.
 - Verificare l'attività della biomassa microbica e la presenza di ossigeno, attraverso misure di respirazione.

h) COLTURE

Innanzitutto, si deve effettuare un controllo visivo continuo, per evidenziare eventuali malattie delle piante.

Alla raccolta, si procederà con la verifica della produttività (t/ha) e con l'analisi chimica per determinare la presenza di metalli pesanti e/o inquinanti organici, da confrontare con i valori limite di legge (Regolamento CE 466/2001⁸ e s.m.i.).

È, inoltre, importante verificare il grado di contaminazione microbiologica.

5.2 Riuso in ambito industriale

Per quanto riguarda il riutilizzo in ambito industriale, il monitoraggio potrà essere semplificato, rispetto al caso precedente, qualora l'uso dell'acqua riciclata non comporti interazioni dirette con l'ambiente.

I parametri di qualità da monitorare saranno definiti in funzione dell'applicazione specifica.

Da segnalare, per alcune applicazioni in campo industriale, possibili problemi di incrostazione o biofouling di tubazioni, vasche, ecc., che dovranno necessariamente essere verificati nel tempo.

5.3 Riuso in ambito civile

Il riuso per l'irrigazione del verde pubblico/privato può essere visto essenzialmente come un sottocaso del riutilizzo in campo agricolo. In questo caso assume un ruolo importante l'aspetto della contaminazione microbiologica.

Altri usi in ambito civile (es. lavaggio strade, alimentazione dei sistemi di riscaldamento o raffreddamento, alimentazione di reti duali di adduzione separate da quelle delle acque potabili) possono essere invece assimilati a situazioni tipiche del riutilizzo in ambito industriale.

⁸ REGOLAMENTO (CE) N. 466/2001 della Commissione dell'8 marzo 2001 "Tenori massimi di taluni contaminanti presenti nelle derrate alimentari"

