



CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE DI SASSARI

REVAMPING IMPIANTO DI DEPURAZIONE CONSORTILE DI PORTO TORRES

PROGETTO DEFINITIVO

R.T.P.:

Progettista generale:

Ing. Angelo Cantatore



Via dei Palustei 16
38100 MEANO (TN)



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Graziano Mura

Responsabile integrazioni specialistiche:

Ing. Fabrizio Parboni Arquati



Piazzale stazione 7
35131 PADOVA (PD)



Ing. Berardo Giangiulio



Via Cavour, 45
66010 Palombaro (Ch)



Ing. Francesco Petretto



Via Armando Diaz n° 1
07100 Sassari (SS)



TITOLO:

RELAZIONE DI AUDIT ENERGETICO

ELABORATO:

D-R-110-20

DATA:

Luglio 2020

AGGIORNAMENTO:

Dicembre 2022

SCALA:



INDICE

1	PREMESSA	4
2	METODOLOGIA ENERWATER	5
2.1	Normativa di riferimento	5
2.2	Introduzione.....	6
2.3	Dati di input	7
2.3.1	Audit Rapido (RA).....	7
2.3.1.1	Identificazione della tipologia di impianto di depurazione	7
2.3.1.2	Dati quali-quantitativi del refluo influente ed effluente.....	8
2.3.1.3	Dati sul consumo energetico	9
2.3.2	Supporto alle decisioni (DS)	12
2.3.2.1	Identificazione della tipologia di impianto di depurazione	12
2.3.2.2	Fasi di trattamento negli impianti di depurazione.....	12
2.3.2.3	Dati quali-quantitativi del refluo influente ed effluente.....	14
2.3.2.4	Dati sul consumo energetico	20
2.3.3	Dati di output	22
2.3.3.1	Audit Rapido (RA).....	22
2.3.4	Supporto alle decisioni (DS)	24
2.3.4.1	Stima del consumo energetico totale lordo e netto	24
2.3.4.2	Calcolo del Water Treatment Energy Index (WTEI) come indicatore unico.....	25
3	DESCRIZIONE IMPIANTO CONSORTILE DI PORTO TORRES	28
3.1	Filiera di processo esistente.....	28
3.2	Analisi refluo.....	29
3.2.1	Analisi quantitativa refluo	29
3.2.2	Analisi qualitativa refluo	30
3.2.3	Analisi fanghi.....	32
3.3	Consumi energetici.....	33
3.3.1	Consumo di elettricità.....	33
3.3.2	Consumo di chemicals	33
4	APPLICAZIONE METODOLOGIA ENERWATER.....	34
4.1	Identificazione tipologia impianto	34



4.2	Individuazione fasi di trattamento esistenti	34
4.3	Dati alla base dell'analisi	35
4.3.1	<i>Parametri quali-quantitativi del refluo</i>	35
4.3.2	<i>Consumo di elettricità</i>	36
4.3.3	<i>Consumo di energia per chemicals</i>	37
4.4	Risultati dell'analisi – Stato attuale	38
4.5	Risultati dell'analisi – Stato di progetto	39
4.6	Conclusioni	41



1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta la relazione di audit energetico dell'impianto consortile di Porto Torres (SS), redatta secondo sulla base delle direttive del progetto europeo Horizon2020 denominato ENERWATER, il quale scopo è quello di fornire una metodologia standard europea ed uno strumento online per analizzare, classificare e migliorare continuamente le prestazioni energetiche complessive degli impianti di trattamento delle acque reflue.

La Relazione di audit energetico si articola nelle seguenti sezioni:

- Descrizione della metodologia Enerwater (Capitolo 2);
- Descrizione dell'impianto consortile di Porto Torres e identificazione dei dati di input per l'analisi energetica secondo la metodologia Enerwater (Capitolo 3);
- Applicazione della metodologia Enerwater, risultati dell'analisi e conclusioni (Capitolo 4).

2 METODOLOGIA ENERWATER

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **EN ISO 50001:2011 - Sistema di gestione dell'energia** - descrive le linee guida per lo sviluppo e l'implementazione di un sistema di gestione dell'energia in qualsiasi tipo di organizzazione. Questa norma definisce i termini per l'uso e il consumo di energia e le specifiche per la misurazione, la documentazione e il reporting. Tuttavia, omette i criteri di prestazione energetica.
- **EN 16231:2012 - Metodologia di benchmarking dell'efficienza energetica** - identifica i dati rilevanti e gli indicatori chiave che descrivono meglio il consumo energetico di strutture, attività, processi, prodotti, servizi e organizzazioni. Determina i criteri per selezionare il livello di dettaglio adeguato per la raccolta, il trattamento e l'interpretazione dei dati.
- **EN 16212:2012 - Calcolo dell'efficienza energetica e dei risparmi, metodo top-down to bottom-up** - fornisce raccomandazioni generali per il calcolo, in un determinato periodo di tempo, dell'efficienza energetica e dei risparmi. Questi calcoli possono includere sia i risparmi passati (verificati) che quelli futuri (stimati), purché siano disponibili dati affidabili.
- **Standard DWA-A 216E - Strumenti per il controllo e l'analisi energetica per ottimizzare l'uso dell'energia nei sistemi di acque reflue** - si concentra sulla valutazione dell'efficienza di ciascuna apparecchiatura in quanto parte essenziale dei processi di trattamento delle acque reflue. A tal fine, lo status quo viene confrontato con il valore ideale specifico dell'impianto, determinato da calcoli teorici basati su un impianto modello che opera in condizioni ottimali e che si intende raggiungere con l'impianto di depurazione considerato.
- **EN 16247-1:2012 - Audit energetici - Parte 1: Requisiti generali.** Questa norma, che può essere applicata anche insieme alla ISO 50001:2011, stabilisce i diversi aspetti da considerare quando si conduce un audit energetico (cioè requisiti, metodologia e risultati).
- **Rapporto tecnico italiano UNI - CEI/TR 11428:2011 Gestione dell'energia - Audit energetici - Requisiti generali per il servizio di audit energetico** - utilizzato come riferimento. Questo rapporto tecnico deriva dalla norma EN 16247-1:2012 e sviluppa i requisiti, la metodologia comune e i rapporti che devono essere considerati quando si conduce un Audit energetico di un determinato sistema. In base alla norma UNI - CEI/TR 11428:2011, il risultato finale di un Audit energetico deve includere una descrizione completa dei flussi energetici del sistema, un elenco di possibili azioni per migliorare l'efficienza energetica e metriche che quantifichino tali miglioramenti dell'efficienza energetica.
- **Energy Star Portfolio Manager** - approccio sviluppato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente (EPA) degli Stati Uniti. Questo programma, nato come strumento per ridurre l'inquinamento atmosferico, è diventato una metodologia importante per la progettazione di prodotti, pratiche

e servizi efficienti dal punto di vista energetico negli Stati Uniti. Energy Star promuove la collaborazione tra le parti interessate e definisce protocolli di misurazione oggettivi. In particolare, il punteggio Energy Star per gli impianti di trattamento delle acque reflue negli Stati Uniti è una metodologia che calcola le prestazioni energetiche degli impianti di trattamento delle acque reflue (impianti di trattamento primario, secondario e avanzato con o senza rimozione dei nutrienti). Per un determinato impianto, l'Energy Star score genera un punteggio di consumo energetico confrontando i valori previsti con i dati effettivi per ottenere una classifica di prestazioni da 1 a 100 percentili: un'intensità di utilizzo più bassa fa guadagnare un punteggio più alto. In questo confronto, i valori previsti si basano su un campione rappresentativo di impianti di depurazione situati in tutti gli Stati Uniti.

Lo strumento online Energy Star Portfolio Manager presenta un cruscotto che può essere utilizzato per visualizzare e tenere traccia dei consumi energetici e idrici, nonché delle emissioni di gas serra.

2.2 INTRODUZIONE

La metodologia ENERWATER considera due approcci per il calcolo dell'efficienza energetica degli impianti di depurazione, ovvero l'Audit Rapido (RA) e il Supporto alle Decisioni (DS).

Entrambe le metodologie sono strutturate in modo simile, ma con un diverso livello di dettaglio come specificato nel seguito:

Audit rapido (RA) - ha lo scopo di stimare rapidamente il Water Treatment Energy Index WTEI di un particolare impianto di depurazione utilizzando le informazioni esistenti, compresi i dati storici sul consumo energetico e sulle acque reflue in entrata e in uscita. I valori ottenuti dal calcolo del WTEI possono essere confrontati con un ampio database di oltre 600 impianti di depurazione in tutto il mondo. L'obiettivo della metodologia ENERWATER Rapid Audit è quello di fornire un benchmark energetico per gli impianti di trattamento delle acque reflue, uno strumento rapido per identificare le efficienze e le inefficienze energetiche in modo da poter pianificare ulteriori azioni e valutare l'impatto dell'adeguamento degli impianti.

Supporto alle decisioni (DS) - ha lo scopo di stabilire il WTEI di un particolare impianto di depurazione e di fornire informazioni che possono essere utilizzate come supporto alle decisioni di una diagnosi di efficienza energetica. Richiede dati energetici online ottenuti per lunghi periodi di tempo e campagne di campionamento intensivo delle acque reflue per stabilire KPI per ogni singola fase di trattamento. Le informazioni combinate provenienti dai contatori online e dal campionamento delle acque reflue possono poi essere utilizzate per calcolare il WTEI utilizzando strumenti statistici e indicatori di prestazione energetica accuratamente selezionati. La metodologia descritta comprende linee guida su come selezionare le apparecchiature/processi in cui collocare i monitor

energetici, su come monitorare l'impianto di depurazione e su come elaborare e riportare i dati. La metodologia di supporto alle decisioni ENERWATER può essere utilizzata per fornire un benchmark energetico dell'impianto di depurazione, ma anche per comprendere l'impatto delle variazioni stagionali, degli eventi temporaleschi, dei cambiamenti nelle routine di manutenzione, dell'implementazione di nuove apparecchiature (ad esempio: vagli, pompe, soffianti, ecc.), nonché dell'adeguamento dei processi esistenti e dell'implementazione di nuovi processi. Questa metodologia può essere utilizzata anche come strumento per identificare le efficienze e le inefficienze energetiche, in modo da poter pianificare ulteriori azioni e misurare e verificare l'impatto in linea. La metodologia di supporto alle decisioni di ENERWATER può essere utilizzata anche come strumento di formazione e aiutare le aziende idriche a comunicare chiaramente agli operatori, ai tecnici e al pubblico in generale le modifiche operative e comportamentali che possono portare all'efficienza energetica e alla riduzione del consumo di energia.

La metodologia consente di stimare il **consumo energetico totale lordo e netto** dell'impianto di depurazione.

Il **consumo energetico lordo** di un impianto è definito come la quantità totale di energia consumata dall'impianto, indipendentemente dalla sua fonte.

Il **consumo netto di energia** di un impianto è definito come la quantità di energia consumata dall'impianto, esclusa la quantità di energia rinnovabile creata sul sito

2.3 DATI DI INPUT

2.3.1 Audit Rapido (RA)

Questa metodologia mira a stabilire il **WATER TREATMENT ENERGY INDEX (WTEI)** di un determinato impianto di depurazione, utilizzando le informazioni esistenti in loco, tra cui i dati storici sul consumo energetico, nonché la qualità dell'afflusso e dell'effluente per calcolare gli indicatori chiave di prestazione (KPI).

2.3.1.1 Identificazione della tipologia di impianto di depurazione

Gli impianti di trattamento delle acque reflue possono avere diverse sezioni di trattamento a seconda del tipo di inquinanti rimossi. La necessità di rimuovere diversi tipi di inquinanti è legata al quadro normativo europeo, al tipo e/o alla qualità dell'acqua del corpo idrico ricevente.

La metodologia Enerwater identifica le seguenti tipologie di impianti, in funzione della tipologia del corpo recettore:

- **Tipo 1: Scarico in aree non sensibili** - comprende gli impianti di depurazione incentrati sulla rimozione di TSS, BOD, COD e NH₄.

- **Tipo 2: Scarico in aree sensibili** - comprende gli impianti di depurazione incentrati sulla rimozione di TSS, BOD, COD, NH₄, NO₃ e fosforo totale (TP).
- **Tipo 3: Scarico per il riutilizzo** (patogeni) - comprende gli impianti di depurazione incentrati sulla rimozione di TSS, BOD, COD, NH₄, NO₃, TP e sulla rimozione degli agenti patogeni (ad esempio, coliformi).

2.3.1.2 Dati quali-quantitativi del refluo influente ed effluente

2.3.1.2.1 Dati quantitativi

Portata di refluo trattata in m³/d: può essere ottenuta dalle misurazioni del flusso effettuate tramite misuratori di portata online o simili, oppure dalle informazioni ricavate dai dati di progetto dell'impianto di depurazione.

2.3.1.2.2 Dati qualitativi

In funzione della tipologia di impianto oggetto dell'analisi, così come identificate al paragrafo 2.3.1.1, i parametri qualitativi caratterizzanti il refluo da considerare sono i seguenti:

- **Tipo 1:** stima dei solidi sospesi totali (TSS), BOD o COD e NH₄ in kg rimossi/giorno. Queste informazioni possono essere ottenute da dati storici esistenti o utilizzando correlazioni esistenti (Tabella 1).
- **Tipo 2:** stima dei solidi sospesi totali (TSS), BOD o COD, Fosforo totale (TP), NH₄ e NO₃ in kg rimossi/giorno. Queste informazioni possono essere ottenute da dati storici esistenti o utilizzando correlazioni esistenti (Tabella 1).
- **Tipo 3:** calcolo dei solidi sospesi totali (TSS), BOD o COD, Fosforo totale (TP), NH₄, NO₃ in kg rimossi/giorno e rimozione dei patogeni (ad esempio, coliformi). Queste informazioni possono essere ottenute da dati storici esistenti o utilizzando correlazioni esistenti (Tabella 1).

Tabella 1 - Identificazione dei KPI per la metodologia ENEWATER per l'audit rapido (sono consigliati tre anni di dati). Tutti i dati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere, mensili o annuali.

Parametro	Impianto Tipo 1	Impianto Tipo 2	Impianto Tipo 3	Se non sono disponibili dati storici
Portata [m³]	Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili			Considerare la portata di progetto*
kg COD_{rimosso}	Richiede l'accesso ai dati storici di misurazione del COD in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione e il calcolo dei kg di COD rimossi al giorno			Si assume*: Tipo 1: 85% rimozione COD Tipo 2: 90% rimozione COD Tipo 3: 95% rimozione COD
kg N_{rimosso}	Richiede l'accesso ai dati storici delle misurazioni di N in ingresso e nell'effluente dell'impianto di depurazione e il calcolo dei kg di N rimossi al giorno			Si assume*: Tipo 1: 15% rimozione N Tipo 2: 80% rimozione N Tipo 3: 90% rimozione N
kg TP_{rimosso}	-	Richiede l'accesso ai dati storici delle misurazioni di TP nell'ingresso e nell'effluente		Si assume*: Tipo 2: 80% rimozione TP Tipo 3: 90% rimozione TP



	dell'impianto di depurazione e il calcolo dei kg di TP rimossi al giorno	
Rimozione patogeni	Richiede l'accesso ai dati storici delle misurazioni della rimozione degli agenti patogeni in ingresso e nell'effluente dell'impianto di depurazione e il calcolo della riduzione del log dei patogeni	Si assume*: Tipo 3: Log 6 rimozione patogeni
	-	-
kg TS_{prodotti}	Richiede l'accesso ai dati storici di misurazione del TS nell'effluente dell'impianto di depurazione e il calcolo dei kg di TS disidratati al giorno	Si assume: Produzione fanghi = 0,45 kgTS/kgCOS _{rimosso} Riduzione solidi = 40% (es. in digestione anaerobica)

*Le ipotesi per stimare la rimozione sono estratte da Metcalf & Eddy (2014) Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5a edizione.

2.3.1.3 Dati sul consumo energetico

È necessario disporre di dati storici sull'energia consumata dall'impianto di depurazione, compresi quelli relativi all'elettricità e ad altri combustibili come gasolio, gas naturale ecc.

2.3.1.3.1 Consumo di elettricità

Il consumo di elettricità negli impianti di depurazione può essere ottenuto consultando le bollette elettriche, le letture dei contatori o i contatori on-line esistenti.

Queste informazioni devono essere raccolte per fornire una stima dei kWh utilizzati nell'intero impianto di depurazione per unità di tempo (ad esempio, il periodo di tempo consigliato è di 3 anni di dati per tenere conto della variabilità stagionale).

2.3.1.3.2 Consumo di combustibile

Se vengono utilizzati altri combustibili, ad esempio per azionare i generatori per produrre elettricità, è necessario quantificare il consumo di combustibile (ad esempio in litri o tonnellate) e convertirlo in kWh per unità di tempo utilizzando i fattori di conversione della Tabella A.1 per calcolare il consumo energetico totale (Equazione A.1).

Tabella 2 - Classificazione dei vettori energetici, fattore di conversione ed equazioni per la stima del consumo specifico di energia. Tutti i fattori di conversione sono tratti dalla norma UNI UNI/TS 11300-2:2014¹

Vettore energetico	Fattori di conversione	Abbr.	Equazioni per stimare il consumo specifico di energia
Energia elettrica [kWh]	1 (kWh/kWh)	V1	$Ep_V1 = P \times T \times U.F$
Diesel [kg]	11,87 (kWh/kg)	V2	$Ep_V2 = \text{equipment usage/year} \times \text{usage time (h)} \times 11,87 \times \text{diesel used [kg/h]} \times \beta_g$
Gas Naturale (0°C, pressione atm.) [Nm ³]	9,94 (kWh/Nm ³)	V3	<p>Case I) $Ep_V3 = \text{Natural gas used in combined heat and power engine}$</p> <p>$kWh_el = (Ncm/y) \times 9,94 \times \beta_el$</p> <p>$kWh_th = (Ncm/y) \times 9,94 \times (1 - \beta_el)) \times \beta_th^{***}$</p> <p>Case II) $Ep_V3 = \text{Natural gas used for heating only}$</p> <p>$kWh_th = Scm/y \times 9,94 \times \beta_th^\dagger$</p>
Biogas (0°C, pressione atm.) [Nm ³]	6,11 x NGC* (kWh/Nm ³)	V4	<p>Case I) $Ep_V4 = \text{biogas used in combined heat and power engine}$</p> <p>$kWh_el = Scm/y \times 6,11 \times NGC \times \beta_el^{**}$</p> <p>$kWh_th = Scm/y \times 6,11 \times NGC \times (1 - \beta_el)) \times \beta_th^{***}$</p> <p>Case II) $Ep_V4 = \text{biogas used for heating only}$</p> <p>$kWh_th = Scm/y \times 6,11 \times NGC \times \beta_th^{***}$</p>

*contenuto di gas nel biogas (vol/vol)

** efficienza tipica considerata per la generazione di elettricità = 0,40

***efficienza tipica considerata per la produzione e il recupero di calore = 0,85

$$E1: \text{Energia consumata dall'impianto} = Ep_V1 + Ep_V2 + Ep_V3 + Ep_V4$$

Equazione A.1

2.3.1.3.3 Consumo di energia per chemicals

L'uso di sostanze chimiche e le rispettive quantità possono influire sull'efficienza di rimozione degli inquinanti degli impianti di depurazione e sostituire, in una certa misura, l'uso di altre fonti di energia. Per tenere conto di tale uso nella metodologia ENERWATER, è necessario stimare anche l'energia incorporata nelle sostanze chimiche, utilizzando il metodo della Domanda Cumulativa di Energia (CED) sviluppato da Frischknecht et al. (2007). Il CED è utilizzato per indicare l'equivalente del consumo di energia primaria nella catena di un prodotto o l'energia consumata in un determinato sistema durante l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alla fine del ciclo di vita del prodotto o del sistema. Esempi di fattori di conversione CED sono riportati nella tabella seguente, mentre l'Equazione A.2 rappresenta la formula utilizzata per stimare l'energia incorporata utilizzata a causa dei prodotti chimici consumati dall'impianto di trattamento e considerata nel calcolo del WTEI.

$$E2: \text{Consumo di energia chimica} = \sum_{i=A}^L cec_i * M_i$$

Equazione A.2

¹ UNI / TS 11300-2: 2014. Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione negli edifici non residenziali.



Dove da A a L sono i prodotti chimici utilizzati nell'impianto di depurazione, M_i è la massa (in kg) consumata di ciascun prodotto chimico e cec_i è il consumo specifico di energia chimica (in kWh/kg) di tutti i prodotti chimici utilizzati nell'impianto di depurazione da A a L.

Quindi, il consumo di energia chimica è calcolato moltiplicando i kg di prodotto chimico utilizzati come prodotto puro per unità di tempo (negli ultimi 3 anni) per l'energia specifica di produzione per chemicals di cui alla tabella seguente.

Tabella 3 - Consumo di energia chimica (cec) dei prodotti chimici comunemente utilizzati negli impianti di depurazione come prodotti commerciali. I cec sono ottenuti dal database Ecoinvent²

Sostanza chimica	Consumo di energia specifica [kWh/kg]
Acido acetico 80% sol.	10,3
Solfato di alluminio 50% sol.	1,04
Cloruro ferrico 40% sol	3,40
Solfato ferrico 12,5% sol.	1,90
Solfato ferroso 100%	0,90
Metanolo 100%	9,21
Iodossido di sodio 50% sol.	4,17
Acido paracetico 15% sol.	6,90
Alluminio cloridrato (PAC) 25%vol	1,94
Polielettrolita (polimeri 5%)	1,40

2.3.1.3.4 Energia autoprodotta e trattamento fanghi esterni

La generazione di elettricità nell'impianto di depurazione può compensare il fabbisogno energetico per produrre un effluente di alta qualità. L'energia prodotta ed utilizzata in loco può essere stimata prendendo in considerazione l'equazione A.3. Il periodo di tempo consigliato è di 3 anni di dati per tenere conto della variabilità stagionale.

$$E3: \text{Energia prodotta nel depuratore} = \sum_{i=A}^L i \quad \text{Equazione A.3}$$

Dove, da A a L, sono indicati i tipi di energia prodotti nell'impianto di depurazione, A - energia da biogas (kWh/anno); B - energia idraulica (kWh/anno); C - turbine eoliche (kWh/anno); D - pannelli solari (kWh/anno); E - celle a combustibile (kWh/anno); F-L - altro (kWh/anno).

² Althaus et al. (2007). Life cycle inventories of chemicals. Final report ecoinvent data v2.0 No. 8.

Molti impianti di depurazione con digestori anaerobici fungono da centri di trattamento dei fanghi ricevuti da siti vicini. I fanghi importati sono spesso mescolati con quelli prodotti nell'impianto di depurazione per ulteriori trattamenti, come la disidratazione, la digestione anaerobica, ecc. Le importazioni di fanghi possono essere molto significative in alcuni impianti (fino a 2 volte i fanghi prodotti in loco), pertanto, è necessario prendere in considerazione il volume di tali importazioni, i rispettivi solidi sospesi totali e una stima dell'energia consumata e prodotta per il loro trattamento (Equazione A.4).

$$\begin{aligned} E4: \text{Energia prodotta e consumata per i fanghi importati} = & \text{Equazione A.4} \\ & \text{Energia prodotta dai fanghi importati (kWh/y)} - \\ & \text{Energia consumata per i fanghi importati (kWh/y)} \end{aligned}$$

2.3.2 Supporto alle decisioni (DS)

2.3.2.1 Identificazione della tipologia di impianto di depurazione

Le tipologie di impianti individuate dalla metodologia Enerwater ai fini dell'applicazione del sotto-metodo "Supporto alle decisioni (DS)" sono le medesime riportate per il sotto-metodo "Audit Rapito (RA)", per le quali si rimanda al paragrafo 2.3.1.1.

2.3.2.2 Fasi di trattamento negli impianti di depurazione

Indipendentemente dai differenti processi implementati in ciascun impianto di trattamento delle acque reflue, possono essere identificate 7 comparti principali di trattamento, non tutti sempre presenti, nel seguito elencati.

- **Fase 1: trattamento preliminare.** Comprende tutti i pompaggi necessari per scaricare le acque reflue al depuratore, ossia le stazioni di pompaggio che si trovano all'interno dei confini dell'impianto, le apparecchiature di vagliatura, rimozione della graniglia, separazione degli oli e di equalizzazione del flusso. Include, inoltre, lo stoccaggio delle acque reflue in vasche di raccolta e le relative pompe, nonché il pompaggio degli effluenti (ad esempio le acque reflue trattate).
- **Fase 2: trattamento primario.** Comprende tutte le apparecchiature coinvolte nella sedimentazione/chiarificazione primaria, nonché gli elementi necessari per il dosaggio di sostanze chimiche (ad esempio, il dosaggio del ferro per la rimozione del fosforo o il dosaggio del coagulante per una maggiore rimozione dei solidi) che avviene prima o durante la sedimentazione/chiarificazione primaria. In questo contesto vanno considerati anche gli strumenti di controllo e strumentazione specifici necessari per il funzionamento della Fase 2.
- **Fase 3: trattamento secondario.** Comprende tutti i processi e le relative apparecchiature ausiliarie necessari per il trattamento biologico delle acque reflue dopo la sedimentazione primaria (se presente). Devono essere considerate, inoltre, le attrezzature necessarie per il funzionamento del pompaggio (ricircolo), dell'aerazione e della chiarificazione secondaria del trattamento

biologico delle acque reflue. Nella Fase 3 vanno considerate anche le attrezzature necessarie per il dosaggio dei prodotti chimici (ad esempio, il dosaggio del ferro per la rimozione del fosforo che avviene prima o durante la chiarificazione secondaria). Si devono considerare anche gli strumenti di controllo e di strumentazione specifici necessari per il funzionamento della Fase 3.

- **Fase 4: trattamento terziario e avanzato.** Comprende qualsiasi processo che si svolge tra il trattamento secondario e lo scarico degli effluenti e le rispettive attrezzature. Il pompaggio richiesto per lo scarico degli effluenti deve essere incluso in questa fase. Vanno considerati anche gli strumenti di controllo e strumentazione specifici necessari per il funzionamento della Fase 4.
- **Fase 5: trattamento dei fanghi.** Consiste in tutti i processi che trattano flussi concentrati derivanti da trattamenti primari, secondari e chimico-fisici, tradizionalmente superiori allo 0,5% di solidi totali, e le rispettive attrezzature. La fase 5 può essere suddivisa in due sottofasi in base ai diversi comparti presenti in questa sezione dell'impianto, ossia a) concentrazione dei fanghi e b) riduzione dei fanghi. La fase 5a spesso comprende due fasi come i) l'ispessimento (ad esempio: ispessitori a gravità) e la disidratazione (ad esempio: centrifughe, nastropresse ecc.). La fase 5b comprende tecnologie di stabilizzazione dei fanghi che vanno dal dosaggio dell'alcalinità, alla digestione anaerobica, ai processi termici come l'incenerimento, la gassificazione e la pirolisi. Se l'impianto di depurazione riceve fanghi extra-impianto, anche questi devono essere presi in considerazione nell'esercizio di monitoraggio energetico. Tuttavia, se l'impianto riceve altri rifiuti per completare la co-digestione, il trattamento di questi rifiuti deve essere escluso dall'esercizio. Di grande rilevanza è anche il fatto che molte tecnologie di stabilizzazione dei fanghi sono produttrici di energia, non consumatrici. La produzione di energia in loco deve essere considerata contabilizzando la produzione di biogas in loco o, se possibile, misurando i kWh prodotti da questi processi. Occorre inoltre considerare gli strumenti di controllo e strumentazione specifici necessari per il funzionamento della Fase 5.
- **Fase 6: trattamento acque madri.** può includere processi per il trattamento delle acque madri (acque di scarto) che di solito si concentrano sulla rimozione dell'azoto e del fosforo attraverso processi come l'Anammox o la precipitazione della struvite, solo per fare alcuni esempi. Occorre inoltre considerare gli strumenti di controllo e strumentazione specifici necessari per il funzionamento della Fase 6.
- **Fase 7: trattamento degli odori.** spesso include il recupero dell'aria estratta dalle tecnologie di trattamento dei fanghi (Fase 5) o anche dalle stazioni di pompaggio.
- **Ausiliari.** Molti impianti di depurazione sono dotati di illuminazione esterna, uffici e laboratori. Altri possibili ausiliari sono il pompaggio dell'acqua per l'irrigazione dei giardini, i server per l'archiviazione e il trasferimento dei dati, ecc. Il consumo energetico di queste strutture ausiliarie deve essere misurato e considerato per il calcolo dell'indice energetico.



2.3.2.3 Dati quali-quantitativi del refluo influente ed effluente

2.3.2.3.1 Dati quantitativi

Portata di refluo trattata in m³/d: può essere ottenuta dalle misurazioni del flusso effettuate tramite misuratori di portata online o simili, oppure dalle informazioni ricavate dai dati di progetto dell'impianto di depurazione.

2.3.2.3.2 Dati qualitativi

La metodologia ENERWATER per il supporto alle decisioni (DS) tiene conto dei kWh utilizzati dall'intero impianto di depurazione utilizzando i dati esistenti relativi ad ogni comparto dell'impianto di depurazione.

L'indice energetico di trattamento delle acque reflue (WTEI) dovrebbe basarsi sui KPI identificati dal monitoraggio in linea o frequente dei KPI attraverso campioni compositi o di tipo puntuale, per tenere conto dei principali inquinanti rimossi nelle diverse fasi del processo e dell'efficienza del processo. Poiché questi dati potrebbero non essere disponibili nel dettaglio richiesto, nel calcolo del WTEI sono stati proposti diversi scenari, con il WTEI di platino che beneficia di dati più dettagliati e di conseguenza di alti livelli di confidenza, fino al WTEI di bronzo che si basa su informazioni ampiamente accettate nei libri di testo e su ipotesi generali, e che quindi fornisce i valori di confidenza del WTEI più bassi (tabelle seguenti). Per la maggior parte delle ipotesi sono state utilizzate le linee guida fornite dal manuale Metcalf & Eddy³, ampiamente riconosciuto.

³ Metcalf & Eddy (2014) Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5th Edition.



Tabella 4 - Identificazione dei KPI in base alla fase di trattamento per vari scenari - per l'impianto di depurazione di Tipo 1. Tutti i dati misurati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere.

Scenario WTEI				
Fase	Platino	Oro	Argento	Bronzo
Fase 1: trattamento preliminare	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede misurazioni sporadiche del flusso reale di acque reflue trattate	kWh/m ³ _{progetto} Si presume che i dati di flusso reali non siano disponibili e si utilizza il flusso di progetto dell'impianto di depurazione.
Fase 2: trattamento primario	kWh/kg TSS _{rimossi} Richiede la misurazione dei TSS prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TSS _{rimossi} Richiede la misurazione dei TSS prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TSS _{removed} Richiede la misurazione dei TSS prima e dopo la Fase 2. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg TSS _{removed} Si ipotizza una rimozione dei TSS basata su dati di siti vicini o su ipotesi da manuale ³ : - 60% di rimozione dei solidi
Fase 3: trattamento secondario	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} Richiede la misurazione di COD, NH ₄ -N, prima e dopo la fase 3. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} Richiede la misurazione di COD, NH ₄ -N, prima e dopo la fase 3. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} Richiede la misurazione di COD, NH ₄ -N, prima e dopo la fase 3. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} Si ipotizza la rimozione di COD e NH ₄ -N sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale ³ : - 80% di rimozione del COD - 70% rimozione NH ₄ -N
Fase 5: trattamento fanghi	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Si ipotizza una rimozione di TSS basata su dati provenienti da siti vicini o si possono usare ipotesi da manuale per ipotizzare una rimozione di TSS ³ : - 0,03 - 0,05 kWh/kgTS _{trattato} - 1 - 2,5 kWh _{prodotti} /kgVS _{rimosso}
Auxiliari	kWh/m ² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m ² footprint sito Basato sui dati misurati in situ	kWh/m ² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m ² footprint sito Basato sui dati misurati in situ	kWh/m ² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m ² footprint sito Basato sui dati misurati in situ	kWh/m ² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m ² footprint sito Si assume: 1.9kWh/m ² of office space ⁴ Si assumes: 0.01 kWh/ m ² footprint sito

* Non utilizzato per la determinazione del WTEI nell'attuale versione della metodologia DS.

⁴ Agha-Hosseini et al. (2012). Energy efficiency interventions in office buildings: refurbishment, interactive technologies



Tabella 5 - Identificazione dei KPI in base alla fase di trattamento per vari scenari - per l'impianto di depurazione di Tipo 2. Tutti i dati misurati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere.

Scenario WTEI				
Fase	Platino	Oro	Argento	Bronzo
Fase 1: trattamento preliminare	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede misurazioni sporadiche del flusso reale di acque reflue trattate	kWh/m ³ _{progetto} Si presume che i dati di flusso reali non siano disponibili e si utilizza il flusso di progetto dell'impianto di depurazione.
Fase 2: trattamento primario	kWh/kg TSS _{rimossi} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione dei TSS e di PO4-P prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TSS _{rimossi} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione dei TSS e di PO4-P prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TSS _{removed} Richiede la misurazione dei TSS prima e dopo la Fase 2. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg TSS _{removed} Si ipotizza una rimozione dei TSS basata su dati di siti vicini o su ipotesi da manuale ³ : - 60% di rimozione dei solidi
Fase 3: trattamento secondario	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg TN _{rimosso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Si ipotizza la rimozione di COD e NH4-N TN and PO4-P sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale ³ : - 80% di rimozione del COD - 70% rimozione NH4-N - 75% rimozione TN - 80% rimozione P
Fase 4: trattamento terziario e avanzato	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito. I dati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito. I dati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Potrebbero essere disponibili solo poche misurazioni all'anno (<12/anno). I dati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} Si ipotizza la rimozione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale ³ : - 90% di rimozione dei TSS - 85% di rimozione di NH4-N - 90% di rimozione di TN - 90% di rimozione del P
Fase 5: trattamento fanghi	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Si ipotizza una rimozione di TSS basata su dati provenienti da siti vicini o si possono usare ipotesi da manuale per ipotizzare una rimozione di TSS ³ : - 0,03 - 0,05 kWh/kgTS _{trattato} - 1 - 2,5 kWh _{prodotto} /kgVS _{rimosso}



Fase 6: trattamento acque madri	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la Fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la Fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. disponibili meno di 12 misurazioni all'anno</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Si ipotizza la rimozione di TN e PO4-P sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale³:</p> <ul style="list-style-type: none">- 90% di rimozione di TN- 90% di rimozione del P
Fase 7: trattamento odori	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la Fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Si ipotizza la rimozione di COV, VIC o VSC sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale²⁵:</p> <ul style="list-style-type: none">- 90% di rimozione dei COV- 90% di rimozione delle VIC- 90% di rimozione delle VSC
Ausiliari	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Si assume: 1.9kWh/m² of office space⁴</p> <p>Si assumes: 0.01 kWh/ m² footprint sito</p>

* Non utilizzato per la determinazione del WTEI nell'attuale versione della metodologia DS.

⁵ Estrada *et al.* (2011). A comparative analysis of odour treatment technologies in wastewater treatment plants. Environmental Science & Technology, 45 (3), 1100-1106





Tabella 6 - Identificazione dei KPI in base alla fase di trattamento per vari scenari - per l'impianto di depurazione di Tipo 3. Tutti i dati misurati possono essere riportati sulla base di medie giornaliere.

Scenario WTEI				
Fase	Platino	Oro	Argento	Bronzo
Fase 1: trattamento preliminare	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede la misurazione del flusso reale delle acque reflue trattate attraverso misuratori di portata online o simili.	kWh/m ³ Richiede misurazioni sporadiche del flusso reale di acque reflue trattate	kWh/m ³ progetto Si presume che i dati di flusso reali non siano disponibili e si utilizza il flusso di progetto dell'impianto di depurazione.
Fase 2: trattamento primario	kWh/kg TSS _{rimossi} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione dei TSS e di PO4-P prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TSS _{rimossi} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione dei TSS e di PO4-P prima e dopo la Fase 2. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TSS _{removed} Richiede la misurazione dei TSS prima e dopo la Fase 2. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg TSS _{removed} Si ipotizza una rimozione dei TSS basata su dati di siti vicini o su ipotesi da manuale ³ : - 60% di rimozione dei solidi
Fase 3: trattamento secondario	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg TN _{rimosso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno 1 volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Richiede la misurazione di COD, NH4-N, TN and PO4-P prima e dopo la fase 3. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg COD _{rimosso} kWh/kg NH ₄ _{rimoso} kWh/kg P _{rimosso biolog} kWh/kg P _{rimosso chimic} Si ipotizza la rimozione di COD e NH4-N TN and PO4-P sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale ³ : - 80% di rimozione del COD - 70% rimozione NH4-N - 75% rimozione TN - 80% rimozione P
Fase 4: trattamento terziario e avanzato	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} kWh/(m ³ log riduzione) kWh/EE2 _{rimosso} * Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P, riduzione dei patogeni log e EE2 (17a-etinilestradiolo) prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} kWh/(m ³ log riduzione) kWh/EE2 _{rimosso} * Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P, la riduzione dei patogeni logici e l'EE2 (17a-etinilestradiolo) prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} kWh/(m ³ log riduzione) kWh/EE2 _{rimosso} * Richiede la misurazione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P, la riduzione dei patogeni del tronco e l'EE2 (17a-etinilestradiolo) prima e dopo la fase 4, a seconda dell'obiettivo del trattamento secondario descritto sopra. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.	kWh/kg TSS _{rimossi} * kWh/kg NH ₄ _{rimosso} kWh _{prodotto} /TN _{rimosso} kWh _{prodotto} /P _{rimosso} kWh/(m ³ log riduzione) kWh/EE2 _{rimosso} * Si ipotizza la rimozione di TSS, NH4-N, TN e PO4-P, la riduzione dei patogeni del tronco e la rimozione di EE2 (17a-etinilestradiolo) da siti vicini o ipotesi da manuale ³ : - 90% di rimozione dei TSS - 85% di rimozione di NH4-N - 90% di rimozione di TN - 90% di rimozione del P - Riduzione 4-log e portata di progetto -60% di rimozione di EE2; conc. in ingresso 100 ng EE2/L
Fase 5: trattamento fanghi	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Richiede la misurazione del peso o del volume dei fanghi in relazione alla TS da trattare nei processi di ispessimento o disidratazione. Per i processi di stabilizzazione dei fanghi, il contenuto di VS deve essere misurato prima e dopo i processi. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno	kWh/kg TS _{trattati} kWh/kg TS _{rimossi} kWh _{prodotto} /ton _{fango trattato} kWh _{prodotto} /m ³ _{fango trattato} kWh _{prodotto} /kg VS _{rimossi} Si ipotizza una rimozione di TSS basata su dati provenienti da siti vicini o si possono usare ipotesi da manuale per ipotizzare una rimozione di TSS ³ : - 0,03 - 0,05 kWh/kgTS _{trattato} - 1 - 2,5 kWh _{prodotti} /kgVS _{rimosso}



Fase 6: trattamento acque madri*	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la Fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Richiede la misurazione di TN e PO4-P, prima e dopo la Fase 6, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. disponibili meno di 12 misurazioni all'anno</p>	<p>kWh/kg TN <small>rimosso</small> o kWh/kg TP <small>rimosso</small></p> <p>Si ipotizza la rimozione di TN e PO4-P sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale³:</p> <ul style="list-style-type: none">- 90% di rimozione di TN- 90% di rimozione del P
Fase 7: trattamento odori*	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate >2/mese utilizzando campioni di tipo puntuale e composito.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la Fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Le misurazioni devono essere effettuate almeno una volta al mese utilizzando campioni di tipo puntuale o composito.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Richiede la misurazione dei COV, delle VIC o delle VSC prima e dopo la fase 7, a seconda dell'obiettivo del processo di trattamento descritto sopra. Potrebbero essere disponibili meno di 12 misurazioni all'anno.</p>	<p>kWh/kg VOCs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VICs <small>rimossi</small></p> <p>kWh/kg VSCs <small>rimossi</small></p> <p>Si ipotizza la rimozione di COV, VIC o VSC sulla base di dati provenienti da siti vicini o di ipotesi da manuale^{2,6}:</p> <ul style="list-style-type: none">- 90% di rimozione dei COV- 90% di rimozione delle VIC- 90% di rimozione delle VSC
Ausiliari*	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Basato sui dati misurati in situ</p>	<p>kWh/m² uffici o kWh/n. persone del sito o kWh/m² footprint sito</p> <p>Si assume: 1.9kWh/m² of office space⁴</p> <p>Si assumes: 0.01 kWh/ m² footprint sito</p>

* Non utilizzato per la determinazione del WTEI nell'attuale versione della metodologia DS.

⁶ Estrada et al. (2011). A comparative analysis of odour treatment technologies in wastewater treatment plants. Environmental Science & Technology, 45 (3), 1100-1106



Monitoraggio

È necessario predisporre un piano per il programma di misure dei KPI che stabilisca i campioni da raccogliere e la frequenza (posizione esatta nell'impianto di depurazione, campionamento puntuale o composito), identificare le persone/il contraente esterno che sarà responsabile della raccolta dei campioni, identificare i parametri da misurare in base ai KPI stabiliti. Si raccomanda di utilizzare solo metodi standard per ottenere coerenza tra i diversi impianti di depurazione e quindi consentire il confronto dei dati.

Idealmente, il monitoraggio del sito dovrebbe essere completato entro una settimana, ma si possono utilizzare periodi più lunghi per tenere conto delle variazioni naturali degli impianti di depurazione, come gli eventi atmosferici, la qualità delle acque reflue, la temperatura, ecc.

2.3.2.4 Dati sul consumo energetico

È necessario creare un inventario completo di tutte le apparecchiature elettriche responsabili del consumo/produzione di energia nell'impianto di depurazione.

L'inventario deve identificare il nome dell'apparecchiatura, l'ubicazione all'interno dell'impianto di depurazione in base alle fasi identificate nel precedente paragrafo, la potenza richiesta in kW e le ore di lavoro.

Con le informazioni raccolte è possibile calcolare il consumo energetico specifico di ciascuna apparecchiatura secondo la seguente formula:

$$Ep_V1 = P * T * U.F.$$

Equazione B.1

dove Ep_V1 è il consumo specifico di energia in kWh/y quando si utilizza l'elettricità (V1) come vettore energetico, P è la potenza nominale del motore elettrico in kilowatt (kW), T sono le ore di lavoro in un anno (h/y), $U.F$ è il fattore di utilizzo (rappresenta il rapporto tra la potenza reale che il dispositivo eroga e la potenza nominale che il dispositivo potrebbe erogare).

A seconda del vettore energetico utilizzato, ossia energia elettrica (V1), gasolio (V2), gas naturale (V3) o biogas (V4), si devono utilizzare calcoli diversi per stimare il consumo specifico di energia (vedi Tabella 2).

2.3.2.4.1 Monitoraggio on-line

Le apparecchiature a più alto consumo energetico devono essere oggetto di monitoraggio on-line durante la valutazione. Si raccomanda che il sistema di monitoraggio dell'energia sia posizionato in

modo tale da consentire la rilevazione di almeno l'85%⁷ dei flussi energetici totali dell'impianto di depurazione.

2.3.2.4.2 Consumo di elettricità

È necessario disporre dell'energia consumata dall'impianto di depurazione in ogni fase, compresa l'elettricità. Il consumo di elettricità in ogni fase può essere ottenuto da contatori on-line. In alternativa, è possibile utilizzare il consumo di elettricità disaggregato stimato sulla base dell'inventario delle apparecchiature di cui al paragrafo 2.3.2.4. Queste informazioni devono essere raccolte per fornire una stima dei kWh utilizzati in ogni fase per unità di tempo (il periodo di tempo consigliato è di 3 anni di dati per tenere conto della variabilità stagionale).

2.3.2.4.3 Consumo di combustibile

Se vengono utilizzati altri combustibili, ad esempio per azionare i generatori per produrre elettricità, è necessario quantificare il consumo di combustibile (ad esempio in litri o tonnellate) e convertirlo in kWh per unità di tempo utilizzando i fattori di conversione della Tabella 2 per calcolare il consumo energetico totale (Equazione B.2).

$$E1: \text{Energia consumata dalla fase} = Ep_V1 + Ep_V2 + Ep_V3 + Ep_V4 \quad \text{Equazione B.2}$$

2.3.2.4.4 Consumo di energia per chemicals

La metodologia di stima dell'energia incorporata nelle sostanze chimiche nel sotto-modello "Supporto alle decisioni (DS)" è la medesima utilizzata nel il sotto-metodo "Audit Rapito (RA)", per le quali si rimanda al paragrafo 2.3.1.3.3.

2.3.2.4.5 Energia autoprodotta e trattamento fanghi esterni

La valutazione dell'energia autoprodotta nell'impianto di depurazione e il volume di fanghi ricevuti da siti vicini, i rispettivi solidi sospesi totali e l'energia consumata e prodotta per il loro trattamento nel sotto-modello "Supporto alle decisioni (DS)" è la medesima utilizzata nel il sotto-metodo "Audit Rapito (RA)", per la quale si rimanda al paragrafo 2.3.2.4.5.

⁷ Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102. Attuazione della direttiva 2012/27 / UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125 / CE e 2010/30 / UE e abroga le direttive 2004/8 / CE e 2006/32 / CE.

2.3.3 Dati di output

2.3.3.1 Audit Rapido (RA)

2.3.3.1.1 Stima del consumo energetico totale lordo e netto

L'energia lorda e netta consumata da un impianto di depurazione può essere stimata combinando i risultati delle equazioni A.1-A.4 e le importazioni di fanghi (rispettivamente equazione A.5 e A.6).

Consumo energetico totale lordo (kWh/y) = $E1 + E2 - E3$ Equazione A.5

Consumo energetico totale netto (kWh/y) = $E1 + E2 - (E3 - E4)$ Equazione A.6

2.3.3.1.2 Calcolo del Water Treatment Energy Index (WTEI) come indicatore unico

Un indicatore composito misura concetti multidimensionali che non possono essere espressi da un singolo indicatore. A tal fine, i singoli indicatori pertinenti devono essere identificati, combinati e ponderati in modo da catturare la dimensione o la struttura del concetto misurato. Per la metodologia Audit Rapido (RA), sono stati identificati i seguenti Key Performance Indicators (KPI) che mettono in relazione il consumo energetico complessivo dell'impianto di depurazione con una determinata funzione.

Tabella 7 - Database dei KPI per l'intero impianto e metodologia Audit Rapido (RA)

KPI	KPI unità	Media	Std. deviation	90esimo percentile (P90)	10esimo percentile (P10)	N. di dati
KPI ₁	kWh/m ³	0,348	0,445	0,901	0,161	97
KPI ₂	kWh/kg TPE _{rimossi}	0,488	0,292	0,731	0,171	87
KPI ₃	kWh/(logRiduzione*m ³)	0,058	0,076	0,137	0,030	53
KPI ₄	kWh/kg TS _{trattati}	2,074	2,165	5,231	0,824	89

L'inquinamento totale equivalente (TPE) è calcolato, secondo Benedetti et al. (2008)⁸, come somma ponderata di COD, azoto totale (TN) e fosforo totale (TP), come descritto nell'equazione A.7.

Inquinamento totale equivalente (TPE) = COD (kg_{COD}) + 20 TN (kg_{TN}) + 100TP (kg_{TP}) Equazione A.7

Per ottenere il WTEI basato sui KPI calcolati per un determinato impianto di depurazione, è necessario seguire diverse fasi di trattamento statistico dei KPI, ossia normalizzazione, ponderazione e aggregazione. La normalizzazione consente di confrontare i diversi KPI e viene effettuata in questo caso mediante il confronto con una funzione di distribuzione, in modo che i percentili di ciascun KPI siano indicatori normalizzati delle prestazioni, qui chiamati Indicatori di Prestazione Energetica (EPI).

⁸ Benedetti et al. (2008). Environmental and economic performance assessment of the integrated urban wastewater system. *Journal of Environmental Management* 88:1262–127

La ponderazione enfatizza il contributo di un determinato KPI rispetto agli altri in termini di consumo energetico. Infine, l'aggregazione consiste nella combinazione dei KPI ponderati a livello di stadio o di intero impianto, in modo da poter calcolare il WTEI corrispondente e confrontare i risultati in base a una classifica.

La procedura per la determinazione del WTEI nella metodologia Audit Rapido (RA) è riassunta in dettaglio qui di seguito:

- **1. Stima dei KPI.** Stimare i KPI per l'impianto. Se non sono disponibili dati, utilizzare l'approssimazione riportata nella Tabella 7. Utilizzare l'equazione A.7 per determinare l'inquinamento totale equivalente rimosso e per ottenere il KPI_2 in kWh/kgTPE_{rimossi}.
- **2. Normalizzazione dei KPI.** Confrontare il valore dei KPI con la funzione di distribuzione del database e ottenere il percentile per ciascun KPI utilizzando le equazioni A.8-A.11. Il percentile è un valore normalizzato di KPI in kWh/kgTPE_{rimossi}. Il percentile è un modo normalizzato per esprimere la prestazione dell'impianto per un determinato KPI. Pertanto, sono denominati indicatori di prestazione energetica (EPI)

$$KPI_1 \left(\frac{kW}{m^3} \right) \quad EPI_1 = \text{Percentile}(\%) = \exp(-\exp(-\frac{KPI_1 - 0,327}{0,242})) * 100 \quad \text{Equazione A.8}$$

$$KPI_2 \left(\frac{kWh}{kgTPE_{rim}} \right) \quad EPI_2 = \text{Percentile}(\%) = \exp(-\exp(-\frac{KPI_2 - 0,324}{0,189})) * 100 \quad \text{Equazione A.9}$$

$$KPI_3 \left(\frac{kWh}{logRimozione * m^3} \right) \quad EPI_3 = \text{Percentile}(\%) = \exp(-\exp(-\frac{KPI_3 - 0,057}{0,037})) * 100 \quad \text{Equazione A.10}$$

$$KPI_4 \left(\frac{kW}{kgTS_{prod.}} \right) \quad EPI_4 = \text{Percentile}(\%) = \exp(-\exp(-\frac{KPI_4 - 0,997}{1,334})) * 100 \quad \text{Equazione A.11}$$

Le equazioni A.8-A.11 corrispondono alla funzione di distribuzione cumulativa di Gumbel con parametri stimati per la popolazione di impianti di depurazione nel database di riferimento (Tabella 7).

- **3. Selezione dei pesi.** Scegliere i pesi per i KPI selezionati dalla tabella seguente. Questi pesi sono stati stimati in base al contributo medio di ciascuna funzione dell'impianto di depurazione al consumo energetico complessivo, ossia il pompaggio rappresenta circa il 12% del consumo energetico complessivo e il trattamento secondario (rimozione di COD e nutrienti) rappresenta il 53%.

Tabella 8 - Pesi dei diversi KPI in base al contributo medio di ciascuna funzione al consumo energetico complessivo di un impianto di depurazione.

KPI	$KPI_1 \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$	$KPI_2 \left(\frac{kWh}{kgTPE_{rim}} \right)$	$KPI_3 \left(\frac{kWh}{logRimozione * m^3} \right)$	$KPI_4 \left(\frac{kWh}{kgTS_{prod.}} \right)$
Valore (w _i)	0,1191	0,5346	0,1214	0,2249

Se i quattro KPI non sono applicabili (ad esempio, per gli impianti di depurazione di tipo 1 e 2, il KPI₄ non è applicabile), normalizzare i pesi in modo da ottenere una somma pari all'unità, come descritto nell'Equazione A.12:

$$w_{norm,i} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Equazione A.12}$$

dove k è il numero di KPI applicabili.

- **4. Aggregazione.** Aggregare gli EPI in un unico WTEI attraverso una somma ponderata (equazione A.13). Questo metodo di aggregazione è di tipo compensativo, cioè un EPI può compensare in una certa misura le prestazioni di altri comparti.

$$WTEI = \sum_{i=1}^k w_{norm,i} EPI_i \quad \text{Equazione A.13}$$

- **5. Assegnazione della classifica e dell'etichetta.** Assegnare l'etichetta corrispondente al valore del WTEI in base alla tabella seguente. I confini tra le etichette sono stati decisi in base al seguente criterio, comune agli standard di etichettatura dell'efficienza dell'UE⁹: l'indice di prestazione mediano è il limite superiore della classe D.

Tabella 9 - Assegnazione dell'etichetta in base al valore WTEI

Label	WTEI
A	< 0,110
B	0,110 < WTEI ≤ 0,220
C	0,220 ≤ WTEI < 0,330
D	0,330 ≤ WTEI < 0,440
E	0,440 ≤ WTEI < 0,550
F	0,550 ≤ WTEI < 0,775
G	> 0,775

2.3.4 Supporto alle decisioni (DS)

2.3.4.1 Stima del consumo energetico totale lordo e netto

L'energia lorda e netta consumata da un impianto di depurazione nel sotto-modello "Supporto alle decisioni (DS)" può essere stimata utilizzando la medesima formula indicata per il sotto-metodo "Audit Rapito (RA)", per la quale si rimanda al paragrafo 2.3.3.1.1.

⁹ European Committee of Standardization. Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings. Draft prEN 15217:2005 (E)

2.3.4.2 Calcolo del Water Treatment Energy Index (WTEI) come indicatore unico

Un indicatore composito misura concetti multidimensionali (ad esempio, il consumo di energia in diverse fasi degli impianti di depurazione) che non possono essere espressi da un singolo indicatore. A tal fine, i singoli indicatori pertinenti devono essere identificati, combinati e ponderati in modo da catturare la dimensione o la struttura del concetto misurato. Inoltre, le informazioni utilizzate vengono trattate anche per fornire una diagnosi delle fasi e/o dei comparti in cui viene identificata la fonte di inefficienza, attraverso il benchmarking con il database ENERWATER (tabella seguente).

Tabella 10 - Database dei KPI per diversi comparti dell'impianto nella metodologia DS

Fase	KPI	Media	Std. deviation	90esimo percentile (P90)	10esimo percentile (P10)	N. di dati
1	kWh/m ³	0.048	0.039	0.101	0.009	97
2	kWh/kg TS _{rimossi}	0.028	0.030	0.055	0.007	64
3	kWh/kg TPE _{rimossi}	0.289	0.246	0.519	0.108	87
4	kWh/(logRiduzione*m ³)	0.030	0.047	0.054	0.010	53
5	kWh/kg TS _{trattati}	0.308	0.400	0.577	0.055	89

Per ottenere il WTEI basato sugli KPI calcolati per un determinato impianto di depurazione, è necessario seguire diverse fasi che prevedono il trattamento statistico degli KPI: normalizzazione, ponderazione e aggregazione. La normalizzazione consente di confrontare i diversi KPI e viene effettuata in questo caso confrontandoli con una funzione di distribuzione, in modo che i percentili di ciascun KPI siano indicatori normalizzati delle prestazioni, qui chiamati indicatori di prestazione energetica (EPI). La ponderazione enfatizza il contributo di un determinato KPI rispetto agli altri in termini di consumo energetico. Infine, l'aggregazione consiste nella combinazione dei KPI ponderati a livello di stadio o di intero impianto, in modo da poter calcolare il WTEI corrispondente e confrontare i risultati in base a una classifica.

La procedura per la determinazione del WTEI è riassunta in dettaglio qui di seguito:

- **1. Stima dei KPI.** Stimare i KPI per l'impianto. Se non sono disponibili dati, utilizzare l'approssimazione riportata nella Tabella 10 - Database dei KPI per diversi comparti dell'impianto nella metodologia DS. Utilizzare l'equazione A.7 per determinare l'inquinamento totale equivalente rimosso e per ottenere il KPI₂ in kWh/kgTPE_{rimossi}.

Con un approccio simile è possibile calcolare i solidi totali equivalenti (TSE) come somma ponderata dei TS disidratati e rimossi. Il KPI composito per la fase 5 (ad esempio, kWh/kg TSE) può essere determinato utilizzando l'equazione B.3:

$$\text{Solidi Totali Equivalenti (TSE)} = \text{TS}_{\text{rimossi}} (\text{kg}_{\text{TS}}) + 2\text{TS}_{\text{disidratati}} (\text{kg}_{\text{TS}}) \quad \text{Equazione B.2}$$

- **2. Normalizzazione dei KPI.** Confrontate il valore dei KPI con la funzione di distribuzione del database e ottenete il percentile per ogni KPI utilizzando le equazioni seguenti. Il percentile è un modo normalizzato per esprimere le prestazioni dell'impianto per un determinato KPI. Per questo motivo, vengono denominati indicatori di prestazione energetica (EPI).

$$\text{Fase 1 } \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad EPI_1 = \exp(-\exp(-\frac{KPI_1 - 0,320}{0,319})) * 100 \quad \text{Equazione B.3}$$

$$\text{Fase 2 } \left(\frac{kWh}{kgTSS} \right) \quad EPI_2 = \exp(-\exp(-\frac{KPI_2 - 0,0180}{0,0179})) * 100 \quad \text{Equazione B.4}$$

$$\text{Fase 3 } \left(\frac{kWh}{kgTP_{rim}} \right) \quad EPI_3 = \exp(-\exp(-\frac{KPI_3 - 0,200}{0,201})) * 100 \quad \text{Equazione B.5}$$

$$\text{Fase 4 } \left(\frac{kWh}{\log(Rimozione * m^3)} \right) \quad EPI_4 = \exp(-\exp(-\frac{KPI_4 - 0,0166}{0,0172})) * 100 \quad \text{Equazione B.6}$$

$$\text{Fase 5 } \left(\frac{kWh}{kgTSE} \right) \quad EPI_5 = \exp(-\exp(-\frac{KPI_5 - 0,1773}{0,1819})) * 100 \quad \text{Equazione B.7}$$

Le equazioni B.4-B.7 corrispondono alla funzione di distribuzione cumulativa di Gumbel con parametri stimati per la popolazione di impianti di depurazione nel database di riferimento.

- **3. Selezione dei pesi.** Scegliere i pesi per i KPI selezionati dalla tabella seguente. Questi pesi sono stati stimati in base al contributo medio di ciascuna funzione dell'impianto di depurazione al consumo energetico complessivo, ossia il pompaggio rappresenta circa il 12% del consumo energetico complessivo e il trattamento secondario (rimozione di COD e nutrienti) rappresenta il 52%.

Tabella 11 - Pesi dei diversi KPI in base al contributo medio di ciascuna funzione al consumo energetico complessivo di un impianto di depurazione.

KPI	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Valore (w_i)	0.1191	0.0150	0.5196	0.1214	0.2249

Se i cinque KPI non sono applicabili, normalizzare i pesi in modo da ottenere una somma pari all'unità, come descritto nell'equazione seguente.

$$w_{norm,i} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{Equazione B.8}$$

dove k è il numero di KPI applicabili.

- **4. Aggregazione.** Aggregare gli EPI in un unico WTEI attraverso una somma ponderata (equazione B.9). Questo metodo di aggregazione è di tipo compensativo, cioè un EPI può compensare in una certa misura le prestazioni di altri comparti.

$$WTEI = \sum_{i=1}^k w_{norm,i} EPI_i \quad \text{Equazione B.9}$$

- **5. Assegnazione della classifica e dell'etichetta.** Assegnare l'etichetta corrispondente al valore del WTEI in base alla tabella seguente. I confini tra le etichette sono stati decisi in base al seguente



criterio, comune agli standard di etichettatura dell'efficienza dell'UE¹⁰: l'indice di prestazione mediano è il limite superiore della classe D.

Tabella 12 - Assegnazione dell'etichetta in base al valore WTEI

Label	WTEI	EP ₁ (Fase 1)	EP ₂ (Fase 2)	EP ₃ (Fase 3)*	EP ₄ (Fase 4)	EP ₅ (Fase 5)
A	<0,110	<0,110	<0,140	<0,100	<0,060	<0,160
B	0,110<WTEI≤0,220	0,110<WTEI≤0,220	0,140<WTEI≤0,280	0,100<WTEI≤0,200	0,060<WTEI≤0,120	0,160<WTEI≤0,320
C	0,220≤WTEI<0,330	0,220≤WTEI<0,330	0,280≤WTEI<0,430	0,200≤WTEI<0,300	0,120≤WTEI<0,180	0,320≤WTEI<0,480
D	0,330≤WTEI<0,440	0,330≤WTEI<0,440	0,430≤WTEI<0,560	0,300≤WTEI<0,400	0,180≤WTEI<0,240	0,480≤WTEI<0,640
E	0,440≤WTEI<0,550	0,440≤WTEI<0,550	0,560≤WTEI<0,700	0,400≤WTEI<0,500	0,240≤WTEI<0,300	0,640≤WTEI<0,800
F	0,550≤WTEI<0,775	0,550≤WTEI<0,775	0,700≤WTEI<0,850	0,500≤WTEI<0,750	0,300≤WTEI<0,650	0,800≤WTEI<0,900
G	>0,775	>0,775	>0,850	>0,750	>0,650	>0,900

10 European Committee of Standardization. Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings. Draft prEN 15217:2005 (E)

3 DESCRIZIONE IMPIANTO CONSORTILE DI PORTO TORRES

3.1 FILIERA DI PROCESSO ESISTENTE

La configurazione attuale dell'impianto di depurazione di Porto Torres si compone delle seguenti 3 linee di processo:

1. **linea acque** (originariamente denominata linea "Acque Oleose") si compone delle seguenti sezioni:
 - sollevamento iniziale (dopo l'arrivo dei reflui);
 - grigliatura;
 - dissabbiatura;
 - accumulo acque meteoriche e di emergenza;
 - equalizzazione;
 - disoleazione;
 - sollevamento intermedio;
 - trattamento primario di tipo chimico-fisico (miscelazione, flocculazione, flottazione);
 - trattamento biologico a fanghi attivi;
 - sedimentazione finale;
 - filtrazione;
 - disinfezione (attualmente realizzata mediante dosaggio di ipoclorito di sodio nel pozzetto di uscita dei sedimentatori finali);
 - scarico finale (con misura di portata);
2. **linea di pretrattamento Versalis**, alimentata con un collettore fognario dedicato, che consiste in un trattamento chimico – fisico, in grado di abbattere una significativa frazione del C.O.D. in ingresso, prima della miscelazione con gli altri reflui e rifiuti liquidi in ingresso all'impianto di depurazione consortile, e si compone delle seguenti sezioni:
 - miscelazione/contatto e sollevamento;
 - equalizzazione e sollevamento;
 - disoleazione;
 - trattamento primario di tipo chimico-fisico (miscelazione, flocculazione, flottazione);
 - immissione nella linea acque;
3. **linea fanghi**, che riceve e tratta i fanghi estratti in diversi punti dell'impianto e nello specifico provenienti da:
 - disoleazione della linea acque e della linea di pretrattamento Versalis;
 - trattamento primario di tipo chimico-fisico della linea acque e della linea di pretrattamento Versalis;

- sedimentazione secondaria della linea acque;

La linea fanghi si compone delle seguenti sezioni:

- ispessimento a gravità;
- disidratazione meccanica;
- essiccamento termico (fuori esercizio dal 2012);
- linea di controllo odori, composta dai collettori di estrazione messi in depressione attraverso opportuni ventilatori centrifughi e da impianti di deodorizzazione multibarriera, che riceve e tratta le emissioni odorigene e le sostanze volatili estratte dall'edificio di disidratazione meccanica.

L'effluente trattato è convogliato, tramite il manufatto di scarico, nel canale a mare che confluisce, infine, in un bacino di calma antistante lo specchio acqueo del porto industriale.

3.2 ANALISI REFLUO

3.2.1 Analisi quantitativa refluo

I reflui in ingresso all'impianto consortile di Porto Torres sono i seguenti:

Tabella 13 - Quadro di riferimento dei volumi di reflui in ingresso all'impianto. Anno 2022

Tipologia di refluo	Portata media	Coefficiente di punta	Portata massima in tempo secco	Contributo extra di pioggia
	m ³ /h		m ³ /h	m ³ /h
Civile Porto Torres	401,3	1,7	682,2	1200,0
Versalis (diverso da SP4)	33,8	1	33,8	85,0
Syndial S-Rigetto	68,6	1,1	75,5	10,0
Syndial TAF	182,6	1,1	200,9	10,0
Altri	30,0	1,1	33,0	400,0
TOTALE ACQUE REFLUE	716,3	-	1025,4	1705,0
RIFIUTI LIQUIDI	20	3	60	-
VERSALIS (SP4)	155,3	1,15	178,6	-
TOTALE 2022	891,6			

Sulla base dei dati sopra riportati, considerando una dotazione idrica pari a 350 l/(AE*d) ed un coefficiente di afflusso in fognatura pari a 0,9, sono stati calcolati gli abitanti equivalenti (AE) idraulici associati alla portata media totale in ingresso all'impianto nell'anno 2022 (891,6 m³/h), ottenendo un valore di circa 68.000 AE.



3.2.2 Analisi qualitativa refluo

Si riportano nel seguito i valori per l'anno 2021 relativi all'auto-campionamento del refluo in ingresso all'impianto consortile ed in uscita dallo scarico finale denominato SF1 e quelli relativi al campionamento ARPAS in uscita dallo scarico finale denominato SF1 (solo per i mesi di gennaio, marzo, maggio, luglio, settembre, novembre).

Tabella 14 - Refluo in ingresso Impianto depurazione consortile La Marinella - Porto Torres 2021 medio composito nelle 3h

Analisi auto-controllo refluo ingresso - Anno 2021		
Parametro	U.M.	Medio
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	4432,8
COD	mg/IO ₂	709,9
Fosforo totale (PT)	mg/l	1,8
Azoto totale (NT)	mg/l	19,4
Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	13,9

Tabella 15 - Analisi autocontrollo 2021 su scarico SF1 medio composito nelle 24h + istantaneo E.Coli

Analisi auto-controllo refluo uscita - Anno 2021		
Parametro	U.M.	Medio
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	12,9
COD	mg/IO ₂	78,4
Fosforo totale (PT)	mg/l	0,7
Azoto totale (NT)	mg/l	12,1
Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	2,1
Escherichia coli	ucf/100 ml	316,7

Tabella 16 - Analisi ARPAS 2021 - scarico Refluo SF1 Impianto depurazione consortile La Marinella campione medio composito nelle 24h + istantaneo E.Coli

Analisi ARPAS refluo uscita - Anno 2021		
Parametro	U.M.	Medio
Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	8,0
COD	mg/IO ₂	81,6
Fosforo totale (PT)	mg/l	< 0,5
Azoto totale (NT)	mg/l	-
Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	2,2
Escherichia coli	ucf/100 ml	678,7



Inoltre, nell'anno 2022 è stato condotto un piano di monitoraggio finalizzato alla misura dei KPI nei diversi comparti di trattamento, secondo quanto indicato nella Tabella 4, per il quale si riportano nel seguito le specifiche:

- Durata campionamento: 7 giorni (esclusi sabato e domenica). Inizio martedì 18 ottobre – Fine mercoledì 26 ottobre.
- Tipologia campioni: medio composito nelle 3 ore (3 aliquote da 1 litro ciascuna)
- Parametri da campionare: SST, COD, COD su filtrato 0,45 μm , NH_4 , NO_3 , TN e PT
- Punti di campionamento:
 - Campione 1: refluo Versalis in uscita dalla vasca di equalizzazione "V3"
 - Campione 2: refluo civile in uscita dalla vasca di equalizzazione Nord "O8"
 - Campione 3: refluo Versalis in uscita dalla vasca API4 "V5"
 - Campione 4: refluo civile in uscita dalla vasca API1-2-3 "O9"
 - Campione 5: refluo civile e refluo Versalis in ingresso alla vasca di ossidazione biologica
- Tempistiche di campionamento:
 - Campione 1 e campione 2: dalle 8.30 alle 11.30
 - Campione 3 e campione 4: dalle 12.30 alle 15.30 – considerando 4 ore ca. di HRT (700 m^3 vasca API4 per 160 m^3h^{-1} refluo Versalis – $\text{HRT} = 4,37 \text{ h}$) (700 m^3 vasca API1-2-3 x 3 canali per 500 m^3h^{-1} refluo civile – $\text{HRT} = 4,20 \text{ h}$)
 - Campione 5: dalle 18.30 alle 21.30 – considerando 8 ore ca di HRT per il solo refluo Versalis (150 m^3 vasca miscelazione rapida – 320 m^3 vasca di flocculazione – 800 m^3 flottatore, per 160 m^3h^{-1} – $\text{HRT} = 7,93 \text{ h}$)

I campioni sono stati investigati rispetto ai seguenti analiti:

- Solidi sospesi totali (SST);
- COD;
- COD_F su filtrato 0,45 μm ;
- Fosforo totale (PT);
- Azoto totale (NT);
- Azoto ammoniacale (N-NH_4);
- Azoto nitrico (N-NO_3).

Le attività di campionamento e le analisi di laboratorio sono state curate dalla stessa gestione dell'impianto consortile.

Nella tabella seguente si riportano i risultati analitici dei parametri di interesse ottenuti sui campioni.



Tabella 17 – Risultati della campagna di monitoraggio svolta nell'anno 2022

Campagna monitoraggio - Anno 2022			
Identificativo	Parametro	U.M.	Medio
Campione 1: Uscita equalizzazione refluo Versalis ("V3")	Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	340,71
	COD	mg/IO ₂	1506
	Fosforo totale (PT)	mg/l	0,21
	Azoto totale (NT)	mg/l	33,49
	Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	13
Campione 3: Uscita disoleazione refluo Versalis API 4 ("V5")	Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	66
	COD	mg/IO ₂	989,14
	Fosforo totale (PT)	mg/l	0,11
	Azoto totale (NT)	mg/l	31,93
	Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	13,21
Campione 2: Uscita equalizzazione refluo civile ("O8")	Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	638
	COD	mg/IO ₂	677,21
	Fosforo totale (PT)	mg/l	4,83
	Azoto totale (NT)	mg/l	30,50
	Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	18,22
Campione 4: Uscita disoleazione refluo civile API 1,2,3 ("O9")	Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	80,71
	COD	mg/IO ₂	209,43
	Fosforo totale (PT)	mg/l	1,01
	Azoto totale (NT)	mg/l	22
	Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	18,84
Campione 5: Ingresso trattamento biologico ("O19-O20")	Solidi sospesi totali (SST)	mg/l	76,29
	COD	mg/IO ₂	299,71
	Fosforo totale (PT)	mg/l	0,87
	Azoto totale (NT)	mg/l	21,64
	Azoto ammoniacale (N-NH ₄)	mg/l	19,45

3.2.3 Analisi fanghi

I fanghi prodotti dai processi di depurazione dell'impianto sono sottoposti al processo di disidratazione mediante centrifugazione prima del conferimento in discarica controllata.

Nel 2021 il quantitativo di fanghi prodotti è stato pari a 4.563,5 tonnellate.

La concentrazione dei solidi sospesi totali (SST) nel fango di supero biologico è compresa tra 8 e 9 mgSST/l.

Il fango ispessito presenta un tenore di sostanza secca compreso tra 3% e 5%, mentre, il fango disidratato, presenta un tenore di sostanza secca compreso tra 28,5% e 32,4%.

Considerando un valore medio di sostanza secca nel fango disidratato pari a 30,45%, la portata massica di SST in uscita dall'impianto è pari a 3.807 kgSST/d.

Dal rapporto tra kg di fanghi prodotti e volume di reflui trattati, si desume la produzione specifica annuale di fanghi di depurazione pari a 0,58 kg_{fanghi}/m³_{refluo}, in linea con il valore riscontrato nel 2020 (0,60 kg_{fanghi}/m³_{refluo}).

3.3 CONSUMI ENERGETICI

3.3.1 Consumo di elettricità

Il consumo complessivo di energia per l'anno 2021 è stato pari a 4.685.781 kWh/y, superiore del 10,9 % rispetto al 2020 (4.173.409 kWh/y). Il consumo medio per metro cubo trattato si attesta su 0,66 kWh/m³, valore leggermente superiore a quanto registrato nel 2020 0,60 kWh/m³.

3.3.2 Consumo di chemicals

Nella tabella seguente è riportato il consumo totale e specifico medio di chemicals impiegati nelle diverse operazioni unitarie di trattamento dei reflui per metro cubo di refluo trattato, considerando che, nel 2021, l'impianto consortile ha trattato una portata pari a 7.089.759 m³/y.

Tabella 18 - Consumo totale e specifico di chemicals per m³ di refluo trattato, anno 2021 [g/m³_{refluo trattato}]

Consumo chemicals - Anno 2021			
Processo	Prodotto	Media g/m ³	Totale kg/y
Correzione pH	NaOH 25% (soda)	58,4	413.794
	Idrossido di calce (Ca(OH) ₂)	28,2	199.866
Chiarificazione - flocculazione	Cloruro ferrico (FeCl ₃ 40%)	49,5	350.996
	PAC10 – Policloruro di alluminio	50,0	354.423
	FLOC 1	13,4	95.056
	FLOC 2	10,5	74.478
Inoculazione Batteri liofilizzati	-	0,16	1.134
Disinfezione	Ipoclorito di sodio (NaClO 12-13%)	21,0	149.109
Antischiuma	AS 1	1,6	11.344
Disidratazione polielettrolita cationico	DIS 1	2,7	19.367

4 APPLICAZIONE METODOLOGIA ENERWATER

4.1 IDENTIFICAZIONE TIPOLOGIA IMPIANTO

L'impianto di depurazione CIPSS di Porto Torres è classificato, in funzione della tipologia di contaminanti rimossi, così come indicato dalla metodologia Enerwater, nel **Tipo 3**:

Scarico per il riutilizzo (patogeni) - comprende gli impianti di depurazione incentrati sulla rimozione di TSS, BOD, COD, NH₄, NO₃, TP e sulla rimozione degli agenti patogeni (ad esempio, coliformi).

4.2 INDIVIDUAZIONE FASI DI TRATTAMENTO ESISTENTI

Le fasi di trattamento individuabili nell'impianto di depurazione possono essere così schematizzate:

- **Fase 1: trattamento preliminare.** Comprende:
 - sollevamento iniziale (dopo l'arrivo dei reflui);
 - grigliatura;
 - dissabbiatura;
 - accumulo acque meteoriche e di emergenza;
 - equalizzazione;
- **Fase 2: trattamento primario.** Comprende:
 - disoleazione;
 - sollevamento intermedio;
 - trattamento primario di tipo chimico-fisico (miscelazione, flocculazione, flottazione);
- **Fase 3: trattamento secondario.** Comprende:
 - trattamento biologico a fanghi attivi;
 - sedimentazione finale;
- **Fase 4: trattamento terziario e avanzato.** Comprende:
 - filtrazione;
 - disinfezione (attualmente realizzata mediante dosaggio di ipoclorito di sodio nel pozzetto di uscita dei sedimentatori finali);
- **Fase 5: trattamento dei fanghi.** Comprende:
 - ispessimento a gravità;
 - disidratazione meccanica;
- **Fase 7: trattamento degli odori.** Comprende:
 - sistema di confinamento ed estrazione aria;
 - lavaggio aria acido/basico con scrubber a flussi incrociati;
 - adsorbimento finale con filtro a carboni attivi.

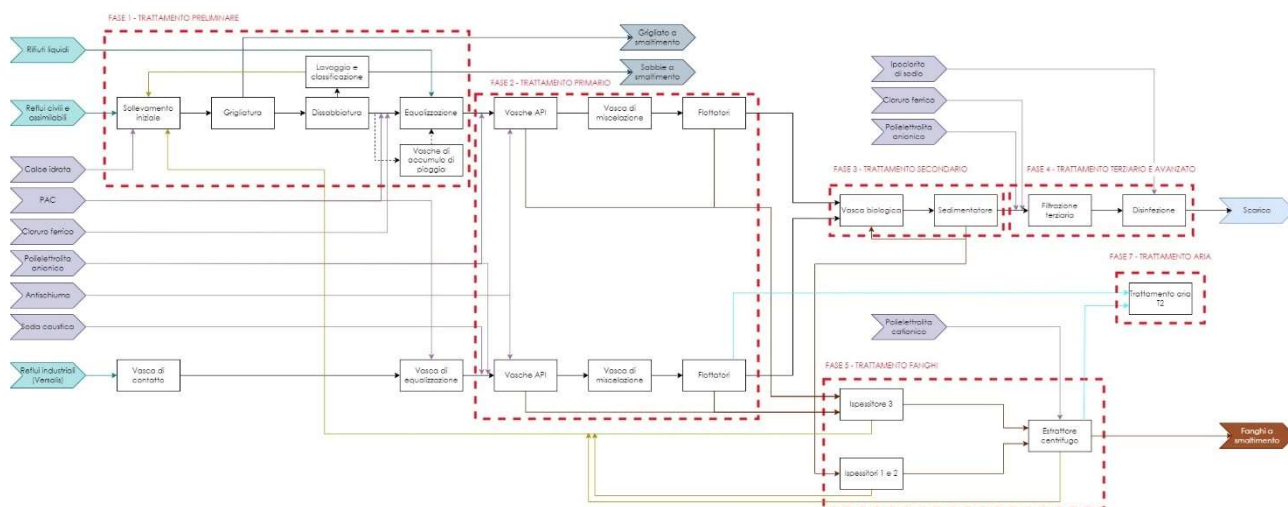


Figura 1 - Schema di flusso dell'impianto di trattamento consortile con individuazione delle fasi

4.3 DATI ALLA BASE DELL'ANALISI

4.3.1 Parametri quali-quantitativi del refluo

I volumi medi dei reflui trattati dall'impianto di depurazione e posti alla base dell'analisi di audit energetico sono i seguenti:

Tabella 19 – Quadro di riferimento delle portate medie alla base dell'analisi

Tipologia di refluo	Portata media 2020	Portata media 2021	Portata media 2022	Portata media triennio 2020-2022
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
ACQUE REFLUE	788	801	716,3	768,45
RIFIUTI LIQUIDI	9	8	20	12,33
VERSALIS (SP4)	155,3	155,3	155,3	155,3
TOTALE	953	965	891,6	936,07

Sulla base dei dati sopra riportati, considerando una dotazione idrica pari a 350 l/(AE*d) ed un coefficiente di afflusso in fognatura pari a 0,9, sono stati calcolati gli abitanti equivalenti (AE) idraulici associati alla portata media totale in ingresso all'impianto nel triennio 2020-2022 (22.466 m³/d), ottenendo un valore di circa **71.300 AE**.

Per valutare le prestazioni del trattamento, sono stati determinati i solidi totali (SST), la domanda chimica di ossigeno (COD), l'azoto totale (TN), il fosforo totale (TP) e l'ammoniaca (NH₄).



La tabella seguente riporta una sintesi dei parametri quali-quantitativi medi del refluo e del fango consortile, considerati per l'applicazione della metodologia Enerwater ed il calcolo dei consumi energetici dell'impianto consortile.

Tabella 20 - Parametri medi di caratterizzazione del refluo e del fango

Parametro	U.M.	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
Portata	m ³ /d	22.466	-	22.466	-	22.466	-	-	22.466	-	-
SST	mg/l	3665	-	585	-	76,3	26	-	8		304.500
COD	mg/lO ₂	906,6	-	825,3	-	300	102	-	81,6	-	-
PT	mg/l	1,5	-	4	-	0,9	-	-	0,5	-	-
NT	mg/l	21,9	-	31	-	21,6	-	-	12,1	-	-
N-NH ₄	mg/l	13,9	-	17,3	-	19,4	2,5	-	2,2	-	-
Esch. coli	ucf/100 ml	-	-	-	-	-	-	-	678,7	-	-

4.3.2 Consumo di elettricità

La tabella seguente riporta una sintesi dei consumi medi dell'impianto consortile per le diverse fasi di trattamento, così come individuate al paragrafo 4.2.

Tabella 21 – Stima consumi energetici medi dei comparti di trattamento dell'impianto consortile

Id.	Comparto	Consumo medio	
		kWh/d	kWh/anno
FASE 1 - TRATTAMENTO PRELIMINARE			
01	- Torino piezometrico e ricezione reflui linea acque	1.294	472.251
02	- Sollevamento iniziale linea acque	1.398	510.301
03	- Grigliatura	1	450
04	- Dissabbiatura	1	450
05	- Accumulo acque di pioggia	271	98.761
06	- Equalizzazione	2.165	790.362
07	- Pretrattamento e rilancio reflui linea Versalis	317	115.530
Totale FASE 1		5.447	1.988.106
FASE 2 - TRATTAMENTO PRIMARIO			
08	- Sedimentazione primaria - API	328	119.856
09	- Sollevamento intermedio	605	220.972
10	- Trattamento chimico-fisico primario	121	44.010
Totale FASE 2		1.054	384.838
FASE 3 - TRATTAMENTO SECONDARIO			
11	- Trattamento biologico	4.744	1.731.607



12	- Sedimentazione finale	23	8.410
13	- Ricircolo fanghi e estrazione supero	1.121	409.267
Totale FASE 3		5.888	2.149.284
FASE 4 - TRATTAMENTO TERZIARIO E AVANZATO			
14	- Filtrazione terziaria, disinfezione e scarico finale	86	31.396
Totale FASE 4		86	31.396
FASE 5 - TRATTAMENTO FANGHI			
15	- Ispezzimento fanghi	40	14.618
16	- Disidratazione fanghi	236	86.003
Totale FASE 5		276	100.621
FASE 7 - TRATTAMENTO ODORI			
17	- Trattamento aria esausta	86	31.536
Totale FASE 7		86	31.536
TOTALE IMPIANTO		12.838	4.685.781

4.3.3 Consumo di energia per chemicals

Dai dati dei consumi di chemicals riportati al paragrafo 3.3.2, è stato calcolato il consumo di energia chimica moltiplicando i kg di prodotto chimico utilizzati come prodotto puro per unità di tempo per l'energia specifica di produzione per chemicals.

Tabella 22 - Consumi di energia per utilizzo dei chemicals nell'impianto consortile - Anno 2021

Consumo di energia per utilizzo chemicals - Anno 2021			
Prodotto	Consumo di energia specifica [kWh/kg]	Totale kg/y	Consumo di energia totale [kWh/d]
NaOH 25% (soda)	8,34	413.794	9.455
Idrossido di calce ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	n.d.	199.866	-
Cloruro ferrico (FeCl_3 40%)	3,4	350.996	3.270
PAC10 – Policloruro di alluminio	4,85	354.423	4.709
FLOC 1	n.d.	95.056	-
FLOC 2	n.d.	74.478	-
Inoculazione Batteri liofilizzati	n.d.	1.134	-
Ipoclorito di sodio (NaClO 12-13%)	n.d.	149.109	-
AS 1	n.d.	11.344	-
Polielettrolita cationico	1,4	19.367	74

4.4 RISULTATI DELL'ANALISI – STATO ATTUALE

In funzione della disponibilità dei dati di input descritti nei paragrafi precedenti, è stato applicato lo scenario di analisi **Argento**.

Come si evince dal grafico seguente, allo stato attuale, le fasi di trattamento maggiormente energivore dell'impianto di trattamento consortile di Porto Torres sono la Fase 1, con consumo giornaliero di energia pari a 13.312 kWh/d, e la Fase 2, con consumo giornaliero di energia pari a 10.497 kWh/d, corrispondenti, rispettivamente, al 44% e al 35% dei consumi giornalieri totali dell'impianto. Il trattamento secondario incide sui consumi energetici totali dell'impianto per il 19%.

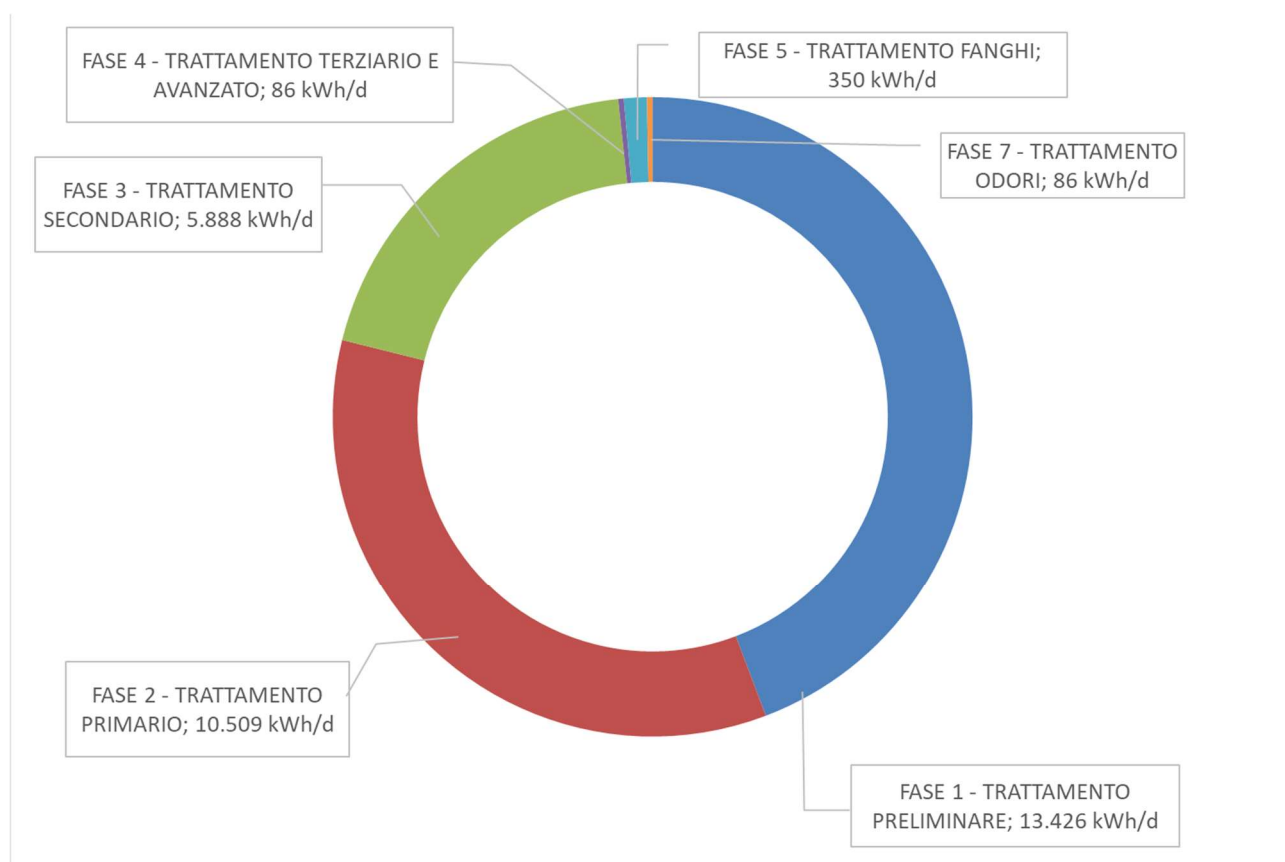


Figura 2 – Distribuzione del consumo energetico dell'impianto consortile di Porto Torres per fasi di trattamento – Stato attuale

La tabella successiva riporta i valori dei KPI calcolati a partire dai dati posti alla base dell'analisi.

Tabella 23 - KPI calcolati per l'impianto di depurazione di Porto Torres – Stato attuale

Fasi	Energia consumata kWh/d	Unità di misura	KPIs	EPIs
Fase 1	13.426	kWh/m ³	0.598	1.000
Fase 2	10.509	kWh/kgSST_rim	0.920	1.000
Fase 3	5.888	kWh/kgTPE_rim	0.585	0.879
Fase 4	86	kWh/Rid.Log m ³	86.000	1.000
Fase 5	436	kWh/kgST	436.000	1.000

TPE, total pollution equivalent = kg COD + 20 kg NT + 100 kg PT

Per ottenere il WTEI per l'impianto di depurazione di Porto Torres, i KPI elencati nella tabella sopra sono stati combinati seguendo il trattamento statistico descritto nella metodologia ENERWATER. Successivamente, il WTEI per l'impianto di depurazione di Porto Torres è stato ottenuto sommando gli EPI ponderati. Una volta calcolato il WTEI, è stata assegnata l'etichetta energetica corrispondente in base ai limiti presentati nella Tabella 12.

Come mostrato nell'immagine seguente, l'etichetta energetica per l'impianto di depurazione consortile di Porto Torres è la **G**.

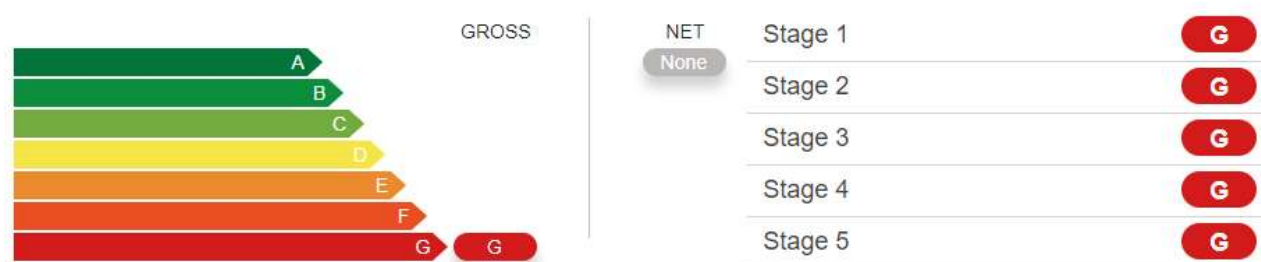


Figura 3 - Etichetta energetica per l'impianto di depurazione di Porto Torres - Stato attuale

4.5 RISULTATI DELL'ANALISI – STATO DI PROGETTO

In funzione della disponibilità dei dati di input descritti nei paragrafi precedenti, è stato applicato lo scenario di analisi **Argento**.

A seguito degli interventi di progetto previsti, per il quale dettaglio si rimanda all'elaborato D-R-110-05, le fasi di trattamento maggiormente energivore dell'impianto di trattamento consortile di Porto Torres sono la Fase 1, con consumo giornaliero di energia pari a 11.703 kWh/d, e la Fase 2, con consumo giornaliero di energia pari a 10.650 kWh/d, corrispondenti, rispettivamente, al 42% e al 38%

dei consumi giornalieri totali dell'impianto. Il trattamento secondario incide sui consumi energetici totali dell'impianto per il 19%.

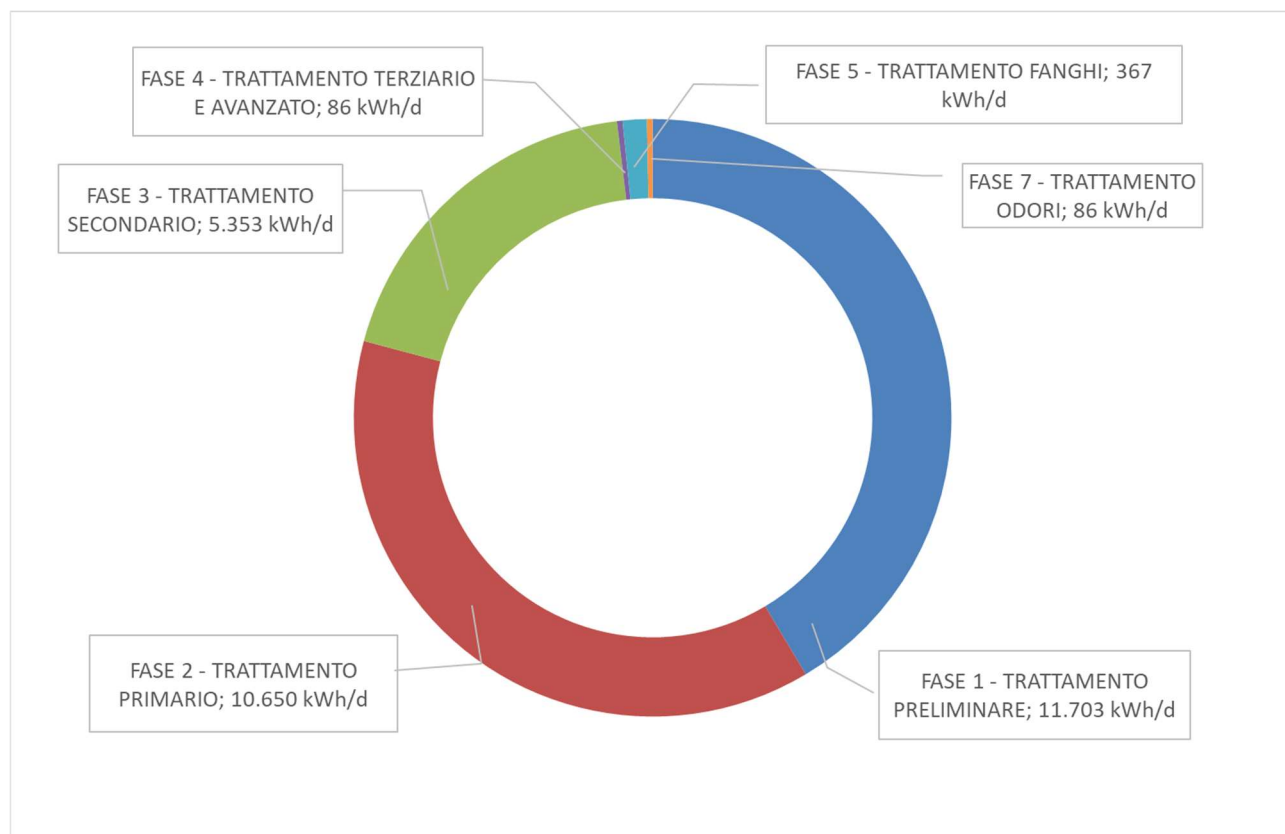


Figura 4 - Distribuzione del consumo energetico dell'impianto consortile di Porto Torres per fasi di trattamento – Stato di progetto

La tabella successiva riporta i valori dei KPI calcolati a partire dai dati posti alla base dell'analisi.

Tabella 24 - KPI calcolati per l'impianto di depurazione di Porto Torres – Stato di progetto

Fasi	Energia consumata kWh/d	Unità di misura	KPIs	EPIs
Fase 1	11.703	kWh/m ³	0.521	1.000
Fase 2	10.650	kWh/kgSST_rim	0.932	1.000
Fase 3	5.353	kWh/kgTPE_rim	0.532	0.844
Fase 4	86	kWh/Rid.Log m ³	86.000	1.000
Fase 5	453	kWh/kgST	453.000	1.000

TPE, total pollution equivalent = kg COD + 20 kg NT + 100 kg PT

Per ottenere il WTEI per l'impianto di depurazione di Porto Torres, i KPI elencati nella tabella sopra sono stati combinati seguendo il trattamento statistico descritto nella metodologia ENERWATER. Successivamente, il WTEI per l'impianto di depurazione di Porto Torres è stato ottenuto sommando gli EPI ponderati. Una volta calcolato il WTEI, è stata assegnata l'etichetta energetica corrispondente in base ai limiti presentati nella Tabella 12.

Come mostrato nell'immagine seguente, l'etichetta energetica per l'impianto di depurazione consortile di Porto Torres è la **G**.

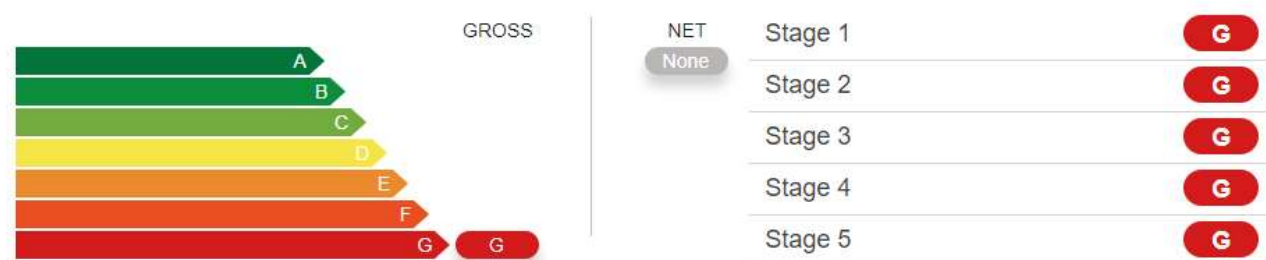


Figura 5 - Etichetta energetica per l'impianto di depurazione di Porto Torres - Stato di progetto

4.6 CONCLUSIONI

Dai risultati dell'applicazione della metodologia Enerwater si può concludere che gli interventi di progetto determinano un miglioramento delle prestazioni energetiche dell'impianto consortile, tuttavia, tale miglioramento non è sufficiente a migliorare l'etichetta energetica dell'impianto che rimane in classe G.

Nel seguito si riporta una tabella di confronto della stima dei consumi dell'impianto allo stato attuale ed allo stato di progetto dalla quale si evidenzia un risparmio sui consumi energetici pari a circa 766.500 kwh/anno, corrispondenti ad una riduzione del 7% del consumo elettrico complessivo rispetto allo stato attuale.



Tabella 25 - Confronto stima consumi energetici tra stato attuale e stato di progetto

CONFRONTO STIMA CONSUMI ENERGETICI					
		STATO ATTUALE		STATO DI PROGETTO	
Id.	Comparto	Consumo medio		Consumo medio	
		kWh/d	kWh/anno	kWh/d	kWh/anno
FASE 1 - TRATTAMENTO PRELIMINARE		13.426	4.900.445	11.703	4.271.645
01	- Torino piezometrico e ricezione reflui linee	1.294	472.251	1.360	496.411
02	- Sollevamento iniziale linea acque	1.398	510.301	973	355.312
03	- Grigliatura	1	450	3	1.080
04	- Dissabbiatura	1	450	313	114.170
05	- Accumulo acque di pioggia	271	98.761	383	139.732
06	- Equalizzazione	2.165	790.362	322	117.594
07	- Pretrattamento e rilancio reflui linea Versal	317	115.530	370	135.007
18	- Dosaggio reagenti	7.979	2.912.339	7.979	2.912.339
FASE 2 - TRATTAMENTO PRIMARIO		10.509	3.835.879	10.650	3.887.222
08	- Sedimentazione primaria - API	328	119.856	184	67.296
09	- Sollevamento intermedio	605	220.972	640	233.775
10	- Trattamento chimico-fisico primario	121	44.010	370	135.109
18	- Dosaggio reagenti	9.455	3.451.041	9.455	3.451.041
FASE 3 - TRATTAMENTO SECONDARIO		5.888	2.149.284	5.353	1.953.850
11	- Trattamento biologico	4.744	1.731.607	4.744	1.731.607
12	- Sedimentazione finale	23	8.410	23	8.410
13	- Ricircolo fanghi e estrazione supero	1.121	409.267	586	213.834
FASE 4 - TRATTAMENTO TERZIARIO E AVANZATO		86	31.396	86	31.396
14	- Filtrazione terziaria, disinfezione e scarico f	86	31.396	86	31.396
FASE 5 - TRATTAMENTO FANGHI		350	127.735	367	134.094
15	- Ispessimento fanghi	40	14.618	57	20.982
16	- Disidratazione fanghi	236	86.003	236	85.998
18	- Dosaggio reagenti	74	27.114	74	27.114
FASE 7 - TRATTAMENTO ODORI		86	31.536	86	31.536
17	- Trattamento aria esausta	86	31.536	86	31.536
TOTALE IMPIANTO		30.346	11.076.274	28.246	10.309.743
RISPARMIO ENERGETICO		766.531			
		7%			