

Metodologie e strumenti per l'analisi delle prestazioni energetiche degli impianti di depurazione

A fronte del quadro generale relativo ai consumi energetici del servizio idrico integrato ed in particolare del comparto della depurazione, questo articolo descrive la procedura messa a punto da ENEA per migliorare l'efficienza energetica dei processi depurativi, mediante il benchmarking e labelling energetico e lo sviluppo di un software dedicato denominato DEES Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità, disponibile, su richiesta, sul sito <https://risorse.sostenibilita.enea.it>.

DOI 10.12910/EAI2023-016

di **Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Luigi Petta, Michela Langone**, Laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA

La governance europea ha assunto come orientamento delle proprie politiche sull'energia il principio "energy efficiency first", in base al quale gli Stati Membri, prima di adottare decisioni di pianificazione politica e di investimento, sono chiamati a valutare misure di efficienza energetica alternative solide dal punto di vista tecnico, economico, ambientale e che consentano di perseguire gli obiettivi delle decisioni adottate. Tra queste politiche, la Direttiva EED EU 2018/2002 ha previsto una riduzione di almeno il 32,5% dell'energia utilizzata entro il 2030 (rispetto alle proiezioni dello scenario di riferimento 2007), obiettivo peraltro in fase di revisione al rialzo (al 36% per il consumo di energia finale e al 39% per il consumo di energia primaria) a seguito dell'approvazione da parte della Commissione Europea, nel luglio 2021, del pacchetto clima "Fit for 55".

Le politiche europee sono sempre più vocate ad adottare un approccio olistico e di visione globale di siste-

ma per la definizione delle proprie strategie e per il perseguimento degli obiettivi da conseguire in ottica di sostenibilità ambientale, economica e sociale. In coerenza con tale approccio, l'orientamento prevalente è quello di approfondire e valutare le forti interconnessioni tra energia-clima-cibo e acqua. In tale ottica, **il servizio idrico integrato (SII), che include acquedotto, fognatura e depurazione, è sempre più spesso riconosciuto quale settore prioritario su cui definire interventi di efficientamento, per contribuire in modo significativo al risparmio energetico e alla riduzione di gas climalteranti, oltre a rendere disponibili risorse idriche non convenzionali e materie prime seconde da riutilizzare nel settore produttivo, civile ed ambientale.**

Migliorare l'efficienza energetica dei processi depurativi

Dal punto di vista energetico, a livello europeo, i consumi del settore del SII e, nello specifico, del trattamento delle acque reflue ammontano

rispettivamente al 3,5% e 0,8% dei consumi energetici complessivi rilevati dagli stati membri. Tali percentuali risultano peraltro in tendenza incrementale, alla luce del continuo aumento dei carichi volumetrici e di inquinanti afferenti al comparto depurativo (dovuti a processi quali la crescita della popolazione, urbanizzazione, eventi meteorici ad elevata intensità, etc.) ed a fronte di esigenze di trattamento più spinte connesse a limiti qualitativi allo scarico sempre più restrittivi, sia in termini di concentrazioni ammesse, sia di numero di inquinanti considerati (i.e. microplastiche, contaminanti emergenti, etc.). A tale riguardo vanno inoltre menzionate le maggiori esigenze di trattamento depurativo correlate al riutilizzo dei reflui depurati, alla luce delle nuove normative di settore finalizzate a dare un impulso a tale pratica per poter disporre di risorse idriche alternative in risposta ai sempre più frequenti fenomeni di scarsità idrica.

Il settore dei trattamenti delle acque reflue, per le proprie caratte-

ristiche strutturali, le tipologie di configurazioni implementate, i processi e le tecnologie adottate, offre notevoli margini di efficientamento e di recupero energetico tramite l'adozione di molteplici misure a differente scala di intervento di tipo gestionale (es. gestione separata dei flussi idrici) e tecnologico (es. efficientamento delle utenze elettromeccaniche, la produzione e la valorizzazione di vettori energetici come il biogas, l'installazione di tecnologie per il recupero termico, etc.). Inoltre, i siti di trattamento delle acque reflue urbane sono identificati come "go-to-areas" per le energie rinnovabili, ossia luoghi adatti all'installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili (es. fotovoltaico, solare, etc.).

Viste le potenzialità del settore, la proposta di revisione della normativa concernente il trattamento delle acque reflue urbane (Proposta COM(2022) 541 final 2022/0345, in revisione della UWWTD 91/271/CEE) intende stabilire misure finalizzate al raggiungimento della neutralità energetica entro il 2040 per le strutture impiantistiche con potenzialità superiore ai 10.000 abitanti equivalenti. Secondo la proposta, ciascuno stato membro dovrà garantire a livello nazionale il pareggio tra la produzione annuale di energia rinnovabile da tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane ed il fabbisogno energetico annuo dell'intero settore depurativo.

Oltre alla produzione di energia rinnovabile, la definizione e l'adozione di strategie e di misure di efficientamento diventano prioritarie al fine di perseguire la neutralità energetica.

La valutazione dei margini di incremento delle performances energetiche di processo e l'individuazione di

misure e tecnologie adatte allo scopo richiedono il ricorso a strumenti e metodologie di analisi del ciclo depurativo, caratterizzato da una estrema variabilità delle tecnologie e processi applicati, dei consumi energetici caratteristici dei vari comparti e delle relative utenze. Il miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti di trattamento delle acque reflue si sviluppa in primo luogo attraverso una dettagliata diagnosi energetica dei consumi reali (D.lgs. n. 102/2014), a cui fa seguito una fase di **parametrizzazione dei dati rilevati attraverso la definizione di appropriati indicatori di prestazione energetica** (o Key Performance Indicators, KPI), da elaborare secondo un opportuno approccio di benchmarking e conseguente classificazione (labelling) a seguito del raffronto delle prestazioni di uno specifico caso studio con casi analoghi di riferimento, con l'obiettivo di identificare possibili margini di miglioramento in termini di efficienza funzionale ed energetica.

Procedure, strumenti di analisi e soluzioni tecnico-gestionali

Alla luce di tale contesto, il Laboratorio T4W Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui di ENEA **ha definito un iter procedurale per l'analisi delle prestazioni energetiche degli impianti di trattamento delle acque reflue, benchmarking e labelling. Contestualmente, ha sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni da parte dei gestori del ciclo idrico integrato e dei pianificatori, in grado di favorire l'analisi del comparto e contribuire all'individuazione di misure idonee e di strategie di efficientamento per gli impianti di depurazione, in ottica di sostenibilità economica ed ambientale.**

Il lavoro si è sviluppato per fasi con-

secutive partendo dall'analisi settoriale del quadro dei consumi energetici e dalla letteratura scientifica e tecnica, dall'esame delle diagnosi energetiche e dalla diretta condivisione di dati con operatori del SII. Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi di soluzioni tecnico-gestionali adottabili, a varia scala di processo, al fine di migliorare il bilancio energetico degli impianti.

I dati raccolti riferiti ai consumi energetici dei processi depurativi sono stati elaborati in modo da proporre statistiche settoriali per le diverse fasi di trattamento depurativo e definire specifici KPI, secondo prestabilite classi dimensionali impiantistiche. In particolare, i KPI sono stati elaborati rapportando i consumi energetici agli abitanti equivalenti trattati, ai carichi volumetrici e alle efficienze di rimozione dei carichi inquinanti.

Sulla base del quadro delineato, è stata quindi definita una procedura completa di valutazione dei livelli prestazionali degli impianti di trattamento, finalizzata all'aggregazione ponderata dei KPI calcolati in un unico indice di consumo globale (GEI - Global Energy Index), in grado di aggregare e sintetizzare in modo organico i contributi informativi dei singoli indicatori di base.

L'indice così strutturato è stato impiegato come parametro di riferimento per la fase di benchmarking, ovvero la comparazione delle prestazioni e la rilevazione indicativa dei potenziali margini di miglioramento, e di labelling, ovvero la classificazione energetica degli impianti di depurazione. La procedura è stata quindi testata e validata, tramite l'individuazione di casi studio reali, a partire da dati dei consumi energetici forniti da gestori di impianti di depurazione.

Tenendo conto della classe dimen-

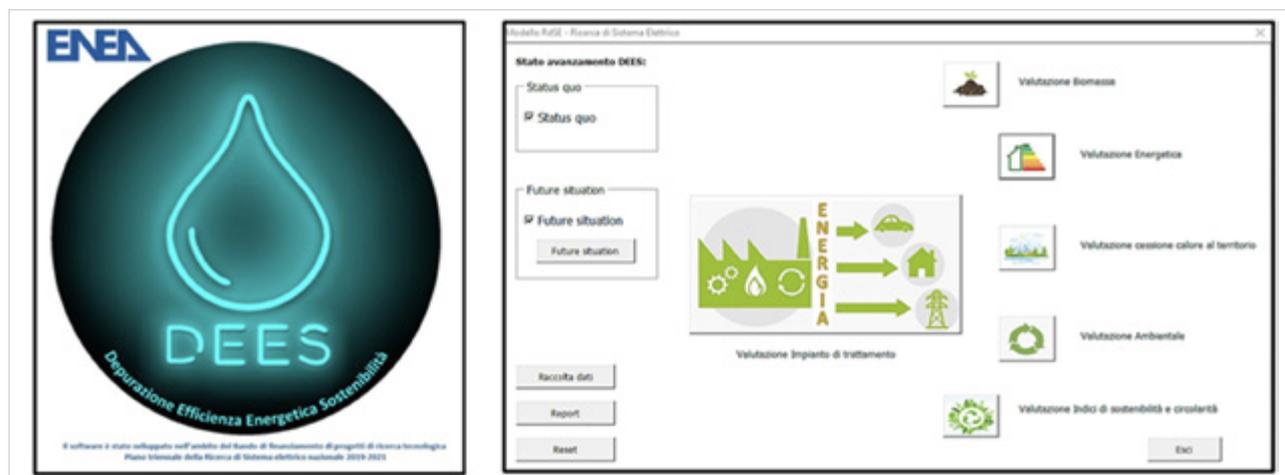


Fig. 1 – Logo e maschera grafica di dialogo del software DEES - Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità, sviluppato da ENEA per la definizione di scenari di efficienza energetica dei processi depurativi.

sionale impiantistica, i risultati conseguiti hanno portato a verificare i potenziali margini di miglioramento conseguibili per singolo impianto, in rapporto ai livelli prestazionali di benchmark di settore. Il confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi dei dati dei casi studio assume anche una sua valenza in termini di orientamento dei gestori nell'individuazione delle casistiche da considerare, in via prioritaria, nella programmazione di investimenti mirati a migliorare l'efficienza energetica dei propri impianti, in ottica di sostenibilità. Allo stesso tempo, la metodologia sviluppata trova applicazione come modalità di monitoraggio continuo di variazioni del bilancio energetico degli impianti, a fronte dell'implementazione di soluzioni di efficientamento.

In seguito, la metodologia definita è stata automatizzata in ambiente VBA di Excel prevedendo una maschera grafica dedicata per l'utilizzo diretto. Il modulo sviluppato è stato poi integrato in un software

a più ampio spettro di analisi del comparto depurativo finalizzato alla valutazione del bilancio energetico e all'individuazione di alcune soluzioni tecnico-gestionali adottabili in ottica di efficientamento.

Il software DEES Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità

Il tool, denominato DEES -Depurazione Efficienza Energetica e Sostenibilità- partendo dall'analisi del quadro inerente all'attuale configurazione e alla modalità di conduzione dei processi, offre la possibilità di effettuare analisi di scenario sulla base della proposizione di alternative inerenti soluzioni gestionali e tecnologiche implementabili finalizzate all'efficienza energetica (Fig. 1). Nelle valutazioni eseguibili sono inclusi aspetti quali la produzione di energia rinnovabile, le emissioni di gas climalteranti, il riutilizzo delle acque reflue trattate in ambito agricolo, la cessione dei surplus energetici al territorio circostante e sono calcolabili indici di

sostenibilità e circolarità finalizzati a valutare la compatibilità ambientale dei processi, tenendo conto della modalità di gestione dei flussi di materia ed energia. Il software DEES è stato testato e validato sulla base di dati di impianti reali, consentendo di valutare il bilancio energetico e definire strategie e soluzioni finalizzate al conseguimento della neutralità energetica, oltre alla valutazione della sostenibilità ambientale e della circolarità dei processi di trattamento delle acque reflue. **Il software è reso disponibile, su richiesta, da ENEA sul sito dipartimentale <https://risorse.sostenibilita.enea.it> e viene fornito completo di manuale di utilizzo e di esempi di applicazione su scenari reali.** DEES è stato sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) – ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico.

per info: gianpaolo.sabia@enea.it

Riferimenti normativi

- Direttiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018
- che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica
- Direttiva del Consiglio del 21 maggio 1991 concernente il trattamento delle acque reflue urbane (91/271/CEE)
- Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast) COM (2022) 541 final 2022/0345 (COD)
- Decreto Legislativo n.102 del 4 luglio 2014 di "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"

Riferimenti bibliografici

- Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Di Fabio S., Granieri M., Nuzzi R., Farina R. (2021). Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione. Report RdS/PTR2021/185
- Mattioli D., A. Giuliano, G. Sabia, L. Petta, M. Ferraris, M. Granieri, R. Nuzzi, M. Langone, (2021). Efficientamento energetico di impianti di depurazione in ottica di economia circolare. Report RdS/PTR/2020/096
- Sabia G., Petta L., Avolio F., Caporossi E., (2020). Energy saving in wastewater treatment plants: A methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking. Energy Conversion and Management, 220, 113067, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113067, ISSN: 01968904
- Sabia G., Petta L., Mattioli D., (2020). Technology Report Benchmarking energetico di impianti di depurazione acque reflue, Investimenti mirati per l'efficientamento energetico. Prodotto rete alta tecnologia Regione Emilia Romagna, <https://www.retealtatecnologia.it/technology-report/benchmarking-energetico-di-impianti-di-depurazione-acque-reflue>
- Cellamare C., Giuliano A., Granieri M., Guzzinati R., Mattioli D., Nuzzi R., Petta L., Sabia G., (2019). Metodi per la caratterizzazione energetica degli impianti di depurazione e sviluppo di un sistema innovativo per l'autoproduzione energetica. Report RdS/PTR2019/072
- Canditelli M., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G., (2018). Valutazione di sistemi e metodologie per la gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city, Report RdS/PAR2018/037
- Canditelli M., Cellamare C., Ferraris M., Giuliano A., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G. (2018). Sviluppo di sistemi e metodologie per la gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city, Report RdS/PAR2017/069
- Canditelli M., Ferraris M., Landolfo P. G., Luccarini L., Mattioli D., Musmeci F., Petta L., Sabia G. (2017). Gestione efficiente della risorsa idrica e del rifiuto organico in una smart city. Report RdS/PAR2016/027