

Palermo, 1 Agosto 2025



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PALERMO

Economia circolare e gestione efficiente dell'energia nei processi di depurazione: introduzione e analisi di casi studio



Università
degli Studi
di Palermo



Luigi Petta, Gianpaolo Sabia

Laboratorio ENEA SSPT-EC-AR

Tecnologie per l'uso e la gestione efficiente di acqua e reflui

LEA - Laboratorio ENEA per l'Ambiente

Con il patrocinio di:



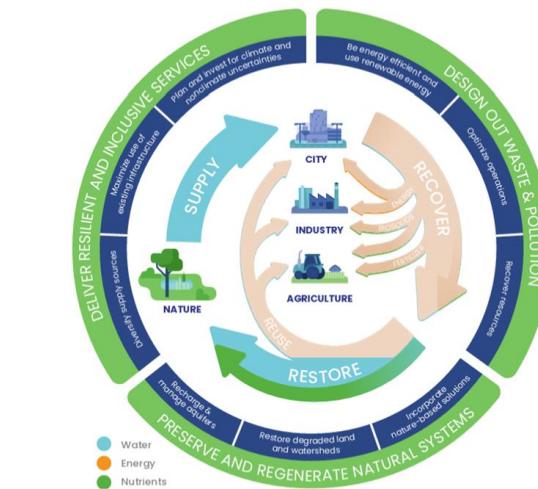
EVENTO ORGANIZZATO NELL'AMBITO DEL PROGETTO SMARTEE-PLANTS: SMART ENERGY-EFFICIENCY WASTEWATER TREATMENT PLANTS FINANZIATO DAL PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (POC) 2014-2024 DELLA REGIONE SICILIANA - PROGETTO N. 08CT3600000330

Dipartimento ENEA – SSPT Sostenibilità

Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali

- ✓ 58 infrastrutture di ricerca in Italia
- ✓ 550 addetti (ricercatori, funzionari e tecnici) + personale aggregato (dottorandi, assegnisti, tesisti)

Divisione di Economia Circolare (SSPT-EC)



SSPT-EC-AR

Laboratorio Tecnologie per la Gestione Circolare di Acque e Reflui

Il Laboratorio AR si occupa della gestione della risorsa idrica. Sviluppa tecnologie per il trattamento ed il riutilizzo delle acque reflue e per la gestione dei fanghi di depurazione, a supporto dei sistemi urbani e industriali, in accordo con le strategie EU e con gli obiettivi di adattamento al cambiamento climatico.

<https://risorse.sostenibilita.enea.it/structure/ar>



Ambiti e tematiche di attività

- ❖ **Trattamento e valorizzazione di acque reflue e fanghi**
 - ❑ Sviluppo di tecnologie e approcci innovativi per favorire il **riutilizzo idrico e la gestione dei fanghi**
 - ❑ Sviluppo di metodiche analitiche per **contaminanti emergenti e microplastiche**
 - ❑ Analisi e sviluppo di strumenti per il miglioramento dell'**efficienza energetica dei processi depurativi**
 - ❑ Implementazione e miglioramento di **sistemi di recupero dei nutrienti**
- ❖ **Recupero e riutilizzo di fonti idriche non convenzionali**
 - ❑ Raccolta e recupero acque di pioggia
- ❖ **Valorizzazione di effluenti zootecnici**
 - ❑ Sviluppo e ottimizzazione di processi depurativi e di valorizzazione (energetica e di materia)



Università
degli Studi
di Palermo

dij
dipartimento
di Ingegneria
unipa



DOC
SICILIA 14-20

FESR
SICILIA 2014-2020



Con il patrocinio di:

Aiat
Associazione Ingegneri Ambiente e Territorio

Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue

Riutilizzo delle acque reflue depurate



VALUE CE-IN



Monitoraggio effluente II e III (ENEA)



Centralina monitoraggio automazione (ENEA)

Algoritmo



Stazione di fertirrigazione (UniBO)



Progetto VALUE CE-IN 2019-22

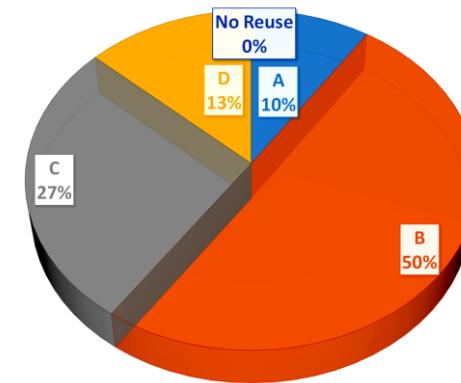
Programma POR-FESR 2014-2020 Regione Emilia-Romagna e dal Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

Implementazione di un prototipo sperimentale presso l'ID HERA di Cesena per il monitoraggio on-line della qualità delle acque reflue depurate (effluente secondario e terziario) ai fini del riutilizzo diretto secondo il Regolamento EU COM (2020) 741

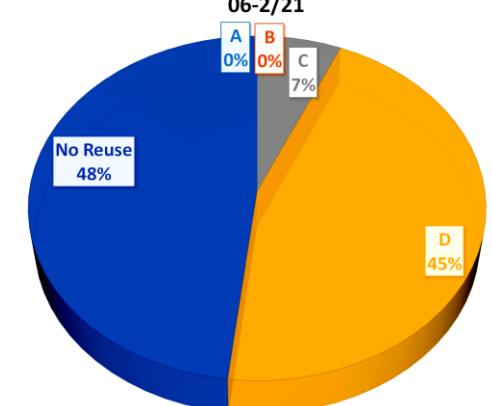
- ✓ Verifica in campo di sensori real-time
- ✓ Classificazione effluente in categorie A-D
- ✓ Valutazioni su effluente II e III
- ✓ Indagini su microplastiche
- ✓ Test di applicazione su colture reali (UniBO)

ID HERA Cesena	Q _{media} m ³ /d	N mg/L	P mg/L	K mg/L
Refluo II	17691	8.6	0.6	14.7
Refluo III	17691	7.2	0.6	14.7
Potenziale di recupero nutrienti (ton/a)				
Refluo II (52%)	/	28.8	2.1	49.1
Refluo III (100%)	/	46.3	4.2	94.7

CLASSI DI QUALITÀ REFLUO TERZIARIO, PERIODO 2021



CLASSI DI QUALITÀ REFLUO SECONDARIO, PERIODO 06-2/21



Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue



Riutilizzo delle acque reflue depurate

PNRR – ECOSISTER ECOSYSTEM FOR SUSTAINABLE TRANSITION IN EMILIA-ROMAGNA (2022-2026)

SPOKE 5: Circular economy & Blue Economy - Consolidate and foster a network of innovators to enhance the transformation of economic activities towards Circular Economy with emphasis on blue growth, tourism, and agriculture sectors

Ulteriore sviluppo del prototipo sperimentale presso l'ID HERA di Cesena

- ✓ Integrazione e ottimizzazione della linea di misura (sensori) ed installazione in campo di un sistema per il monitoraggio on-line di E.coli su effluente terziario

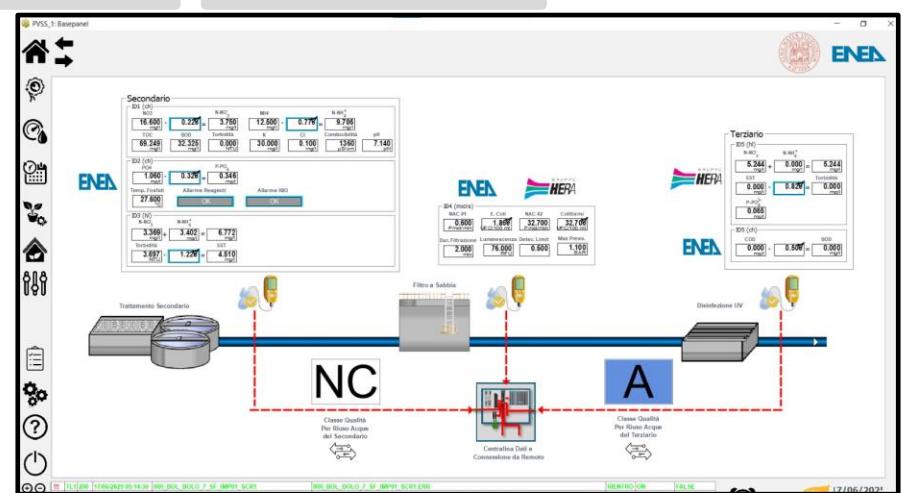
Trattamenti secondari

- analizzatore di ammonio (Gas Sensing Electrode – GSE) con sistema di pulizia e calibrazione automatico
- sensore di nitrati fotometrico con compensazione di torbidità e sistema di pulizia automatico
- sensore di torbidità e solidi sospesi

Trattamenti terziari

- analizzatore dell'attività microbiologica (E.coli) su base fotometrica (principio di determinazione della fluorescenza dovuta all'attività enzimatica della β -glucuronidase), con sistema di pulizia automatico Bactcontrol®

- ✓ Integrazione del sistema di acquisizione e controllo dati (centralina)



Università
degli Studi
di Palermo



Con il patrocinio di:

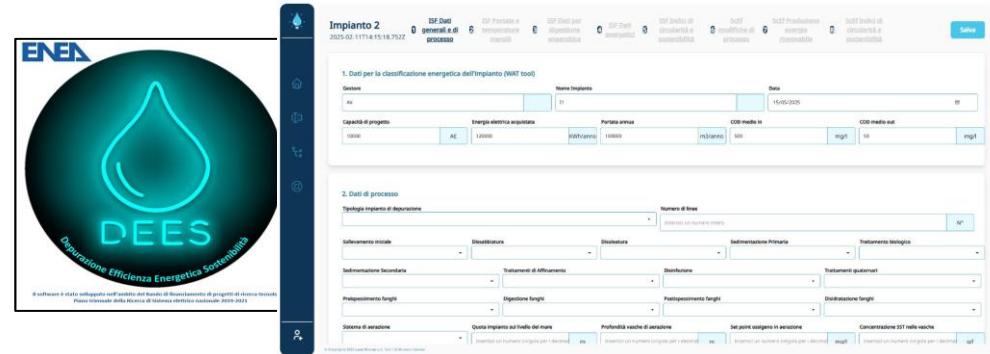


Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue

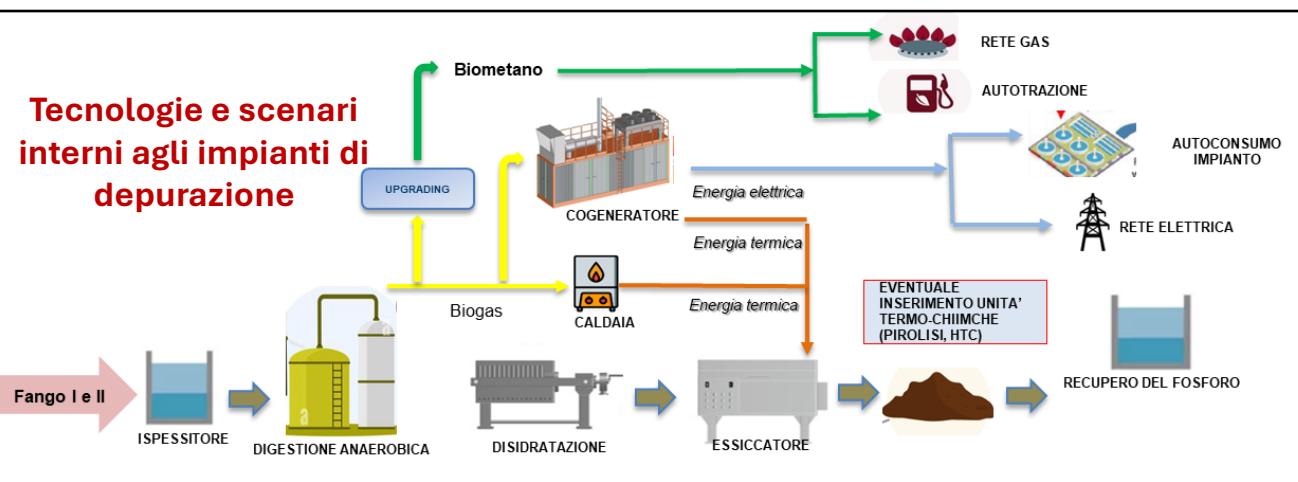
Neutralità energetica degli impianti di depurazione



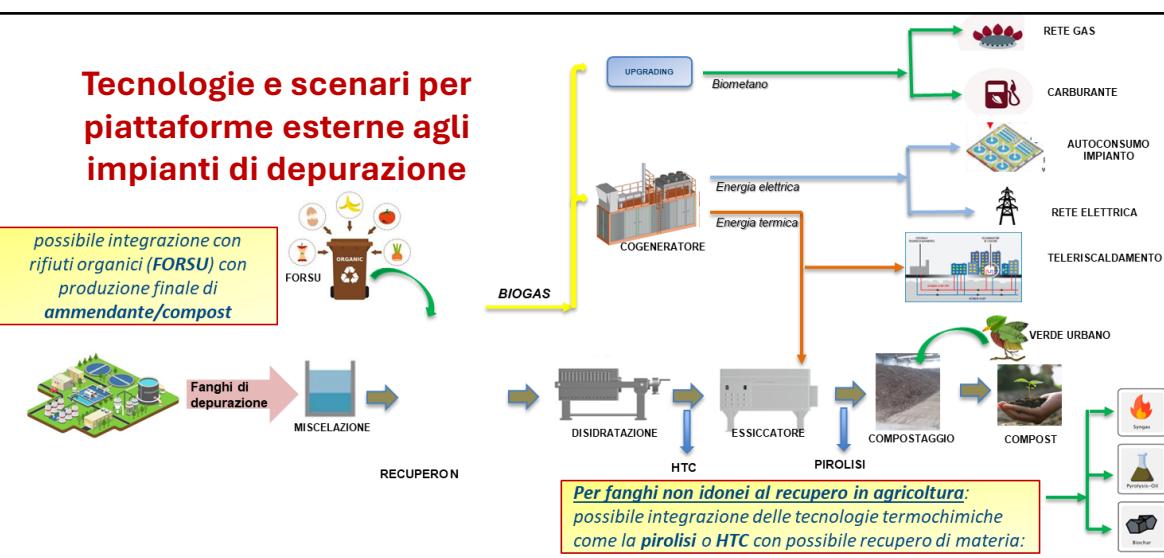
- Diagnosi energetiche del settore depurativo
- Simulazione e analisi di impianti di depurazione energeticamente neutri
- Sviluppo dello strumento software DEES per l'efficienza energetica della depurazione
- Ottimizzazione energetica e di controllo del processo MBBR
- Studio di processi di trattamento e scenari innovativi (pirolisi, HTC) per la valorizzazione energetica dei fanghi di depurazione e di altre matrici di origine organica



Tecnologie e scenari interni agli impianti di depurazione



Tecnologie e scenari per piattaforme esterne agli impianti di depurazione



Università
degli Studi
di Palermo



Con il patrocinio di:



Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue

Neutralità energetica degli impianti di depurazione

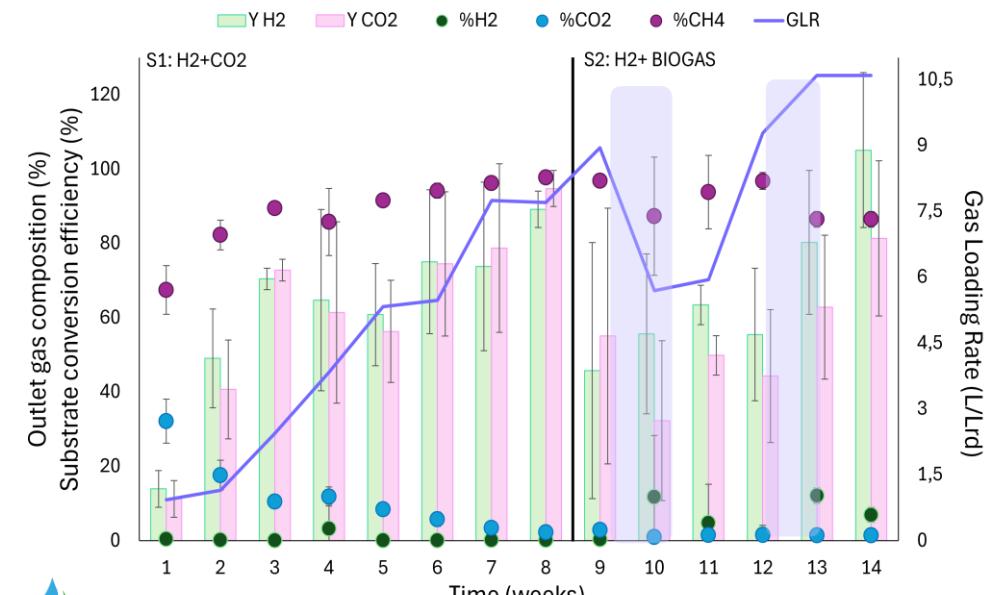
Sviluppo del processo di metanazione idrogenotrofa per upgrading biologico del biogas

- Sviluppo e ottimizzazione del bioreattore fino alla scala pre-industriale ($V_{eff} = 200$ L): efficienza di conversione superiore al 98% per H₂ e CO₂; contenuto di CH₄ in uscita stabilmente > 96%
- Implementazione di dispositivi di trasferimento gas liquidi per migliorare la solubilità dei substrati gassosi in fase liquida
- Sviluppo di configurazioni processo alternative (reattori ibridi con biomassa adesa e sospesa)
- Sviluppo di logiche di controllo automatico
- Valutazioni tecnico-economiche



Evaluation of the controlled hydrodynamic cavitation as gas mass transfer system for ex-situ biological hydrogen methanation

A. Giuliano ^{a,*}, C.M. Cellamare ^a, L. Chiarini ^b, S. Tabacchioni ^b, L. Petta ^a



Con il patrocinio di:



Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue

Casi studio: 1) SVILUPPO DI UNA PROCEDURA DI LABELLING E BENCHMARKING

Raccolta dati sui consumi energetici di ID a livello nazionale ed europeo da letteratura scientifica e da contatti diretti con gestori.

Organizzazione dei dati secondo **classi dimensionali**

(II: 2k A.E. < ID ≤ 10k A.E.; III: 10k A.E. < ID ≤ 50k A.E.; IV: 50k A.E. < ID ≤ 200k A.E.; V: > 200k A.E.)

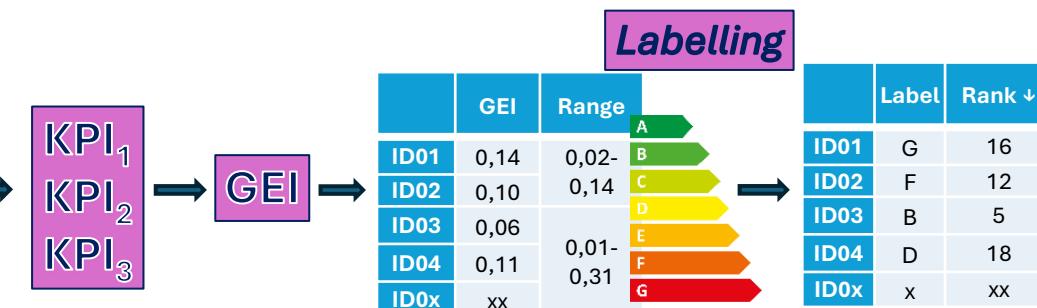
Applicazione di **test statistici** di validazione dati ed eliminazione **di outliers**.

Calcolo dei KPI e relative statistiche

■ kWh/m³ ■ kWh/A.E. ■ kWh/kg COD_{rim}

Aggregazione dei KPI per il **calcolo dell'Indice Globale (GEI)** secondo **pesi derivati**
a seguito di **Analisi Fattoriale (FA)**.

ID	Classe [A.E.]	Portata [m ³ /d]	Consumi [kWh/d]	COD _{rim} [kg/d]
ID01	800.000	110.000	60.000	130
ID02	560.000	85.000	40.000	120
ID03	150.000	15.000	5.000	80
ID04	100.00	13.000	4.000	50
ID0X	XX	XX	XX	XX



Energy Conversion and Management 220 (2020) 113067
Contents lists available at ScienceDirect
Elsevier
Energy Conversion and Management journal homepage: www.elsevier.com/locate/enconman

Check for updates

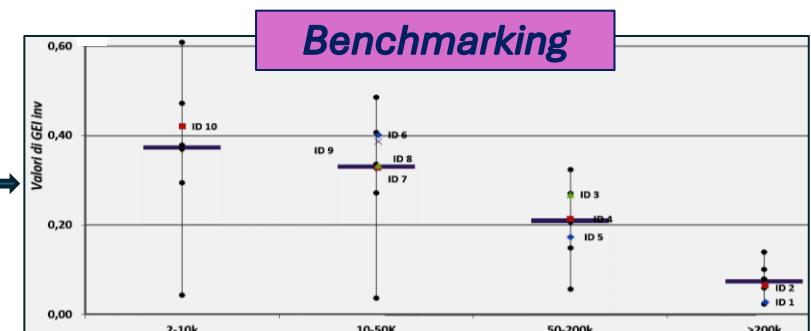
Energy saving in wastewater treatment plants: A methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking

G. Sabia^{a,*}, L. Petta^a, F. Avolio^b, E. Caporossi^b

^a Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, ENEA, Laboratory Technologies for the efficient use and management of water and wastewater-T4W, via M.M. Sole, 4, 40129 Bologna, Italy
^b Hera S.p.A viale Carlo Berti, Pichat n. 2/4 40127 Bologna, Italy

ABSTRACT

Wastewater treatment plants are a major energy user in the urban water cycle with an energy demand estimated in several countries in about the 1% of the overall national energy use. Nevertheless, the sector offers wide opportunities for energy saving and recovery to be fostered in order to reduce economic and environmental impacts. Nowadays, a consolidated procedure to assess energy performances in the wastewater sector is still not available. This work proposes a methodology for the evaluation, benchmarking and labelling of energy performances of wastewater treatment plants, based on easy-to-define data related to energy use and operative parameters. Statistical techniques are applied to validate input data and the step-by-step derived outcomes. Common key performance indicators are calculated and linearly aggregated in a global index able to convey the wastewater treatment plant energy performance. Such index allowed to carry out comparisons among energy consumptions supported by a dedicated built-up database collecting sectorial data, considered as a reference. A case study based on 10 selected wastewater treatment plants is proposed. The methodology led to derive a clear and affordable overview of the analysed plant energy performances. Moreover, the benchmarking analysis allowed to get, on the basis of the differences between the calculated global index values, a rough estimation of the potential energy gains achievable if suitable measures for ameliorating the plant energy efficiency performance are adopted. For three of the selected plants, the margins for energy savings resulted higher than 60%. The methodology suggests to focus on such cases by carrying out specific on-site inspection to detect energy use inefficiencies and define suitable actions addressed to save energy and enhance the system sustainability. In this view, the proposed procedure could also be applied with the aim of prioritizing actions to pursue energy savings among a large set of wastewater treatment plants.



Università
degli Studi
di Palermo



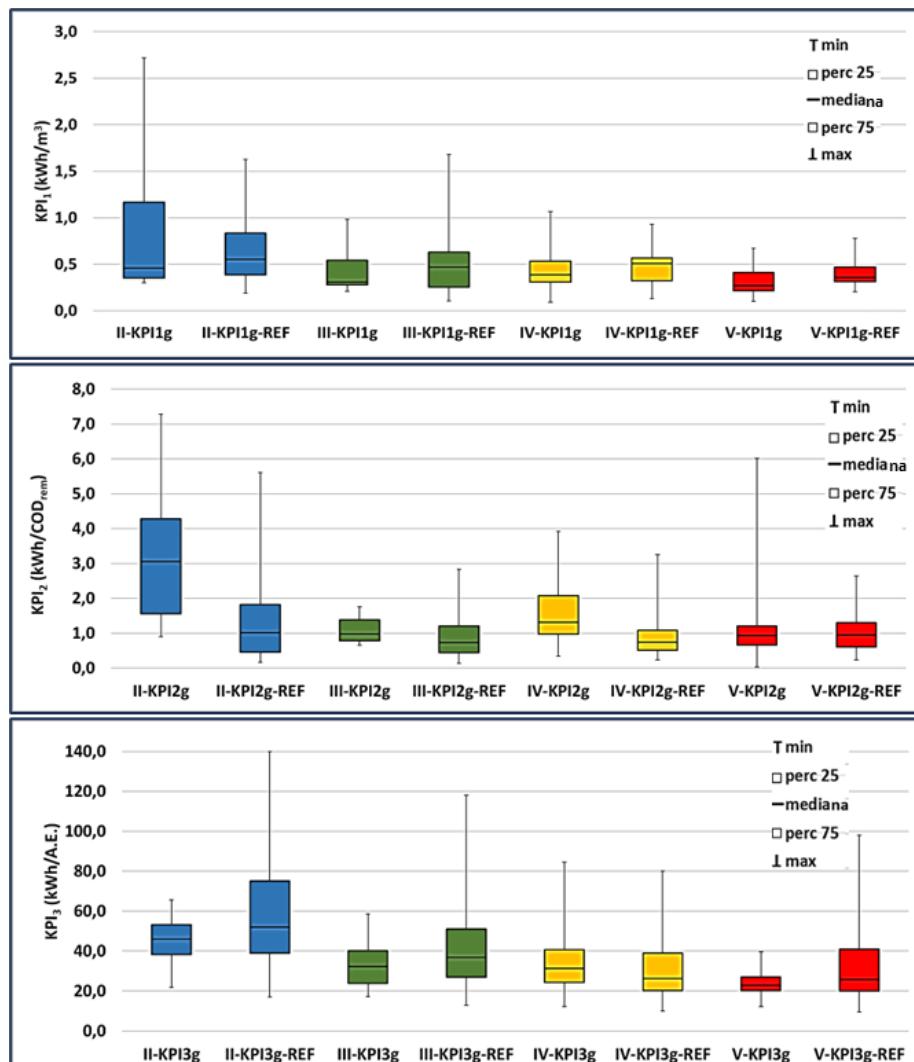
Con il patrocinio di:



Casi studio: 2) ANALISI DIAGNOSI ENERGETICHE

Approccio: Raccolta dati e valutazione del bilancio energetico degli impianti di depurazione tramite il calcolo di indicatori **di performance energetica (KPIs)**, come rapporto tra consumi energetici e specifici parametri di processo:

- Il parco impianti analizzato presenta per lo più configurazioni di processo della linea acque strutturate trattamenti a fanghi attivi e schemi nitro-denitro (n. 98/104).
- La linea fanghi prevede, con maggiore frequenza, la stabilizzazione di fanghi misti tramite digestione anaerobica (n. 57/104, A.E.>30.000).
- Si rilevano elevati **costi operativi** su cui incidono, in modo preponderante, i **consumi energetici** e le spese per lo smaltimento dei fanghi prodotti.
- I valori dei KPI rilevati per gli ID italiani sono in generale **in linea con i valori di riferimento**. Maggiori differenze si riscontrano per gli impianti di taglia minore, probabilmente a causa di una minore accuratezza e dettaglio nel monitoraggio delle prestazioni energetiche e una minore propensione ad investire in interventi di efficientamento.

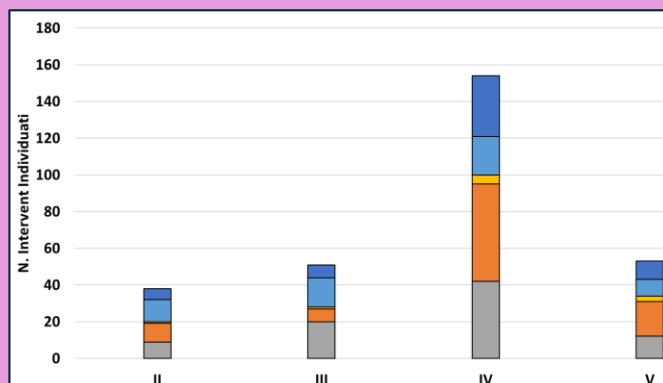
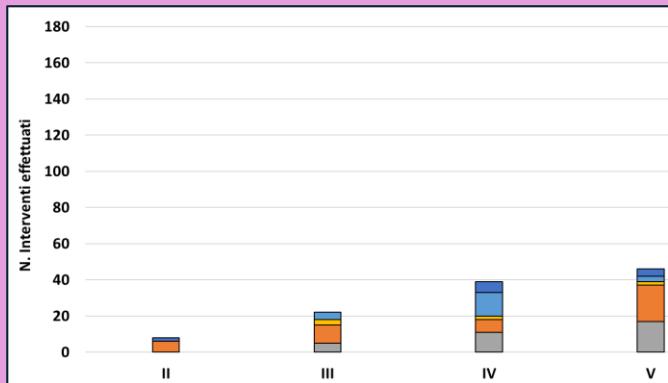


Il contributo ENEA alle sfide della nuova direttiva acque reflue

Casi studio: 2) ANALISI DIAGNOSI ENERGETICHE

Macrocategorie (MC)

- Misure di incremento dell'autoproduzione energetica (fotovoltaico, cogenerazione e altre fonti rinnovabili)
- Sostituzione componentistica di processo (motori, sistemi di sollevamento/aerazione/diffusione, mixer)
- Controllo automatico di processo
- Altri interventi (illuminazione, inverter, Power Quality, componenti non di processo)
- Misure con ricaduta indiretta sull'efficientamento (misura e monitoraggio, manutenzione, pulizia e modifiche impiantistiche)

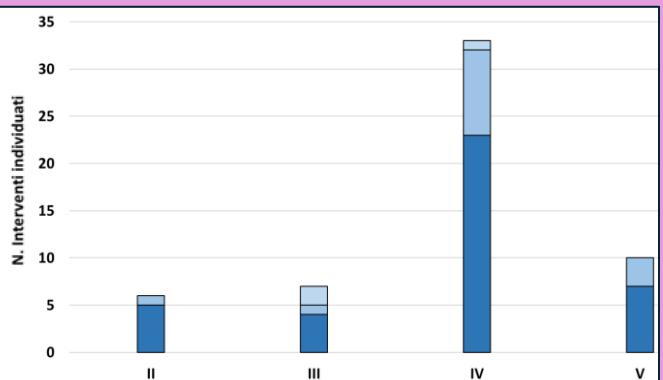
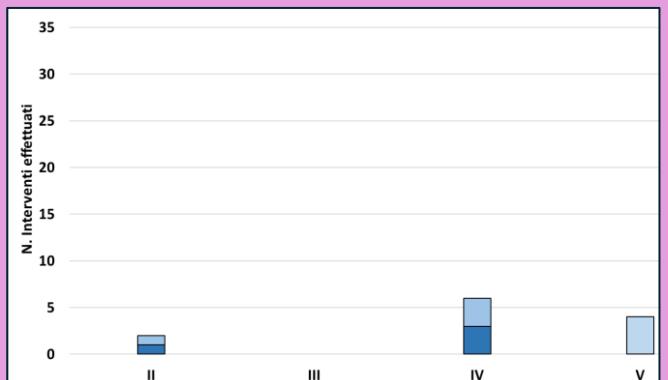


Le diagnosi rilevano, soprattutto negli impianti medio piccoli, una maggiore tendenza alla realizzazione di **interventi semplici** da implementare e caratterizzati da **costi di investimento contenuti**.

MC1

- Fotovoltaico
- Cogenerazione
- Altre fonti rinnovabili (solare termico, microturbine, pompe di calore)

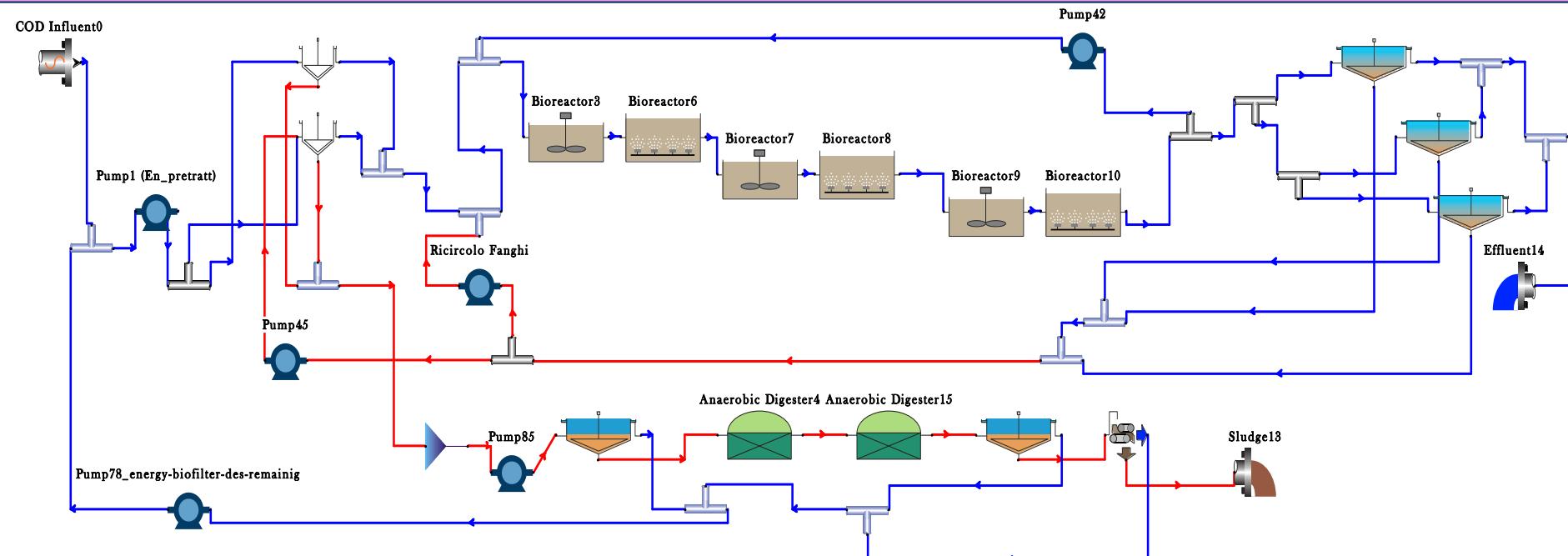
Si rileva un **ricorso limitato all'implementazione di tecnologie e processi dedicati all'autoproduzione energetica** (12 di 115 per gli interventi effettuati, 56 di 296 per gli interventi individuati)



Casi studio: 3) MODELLAZIONE

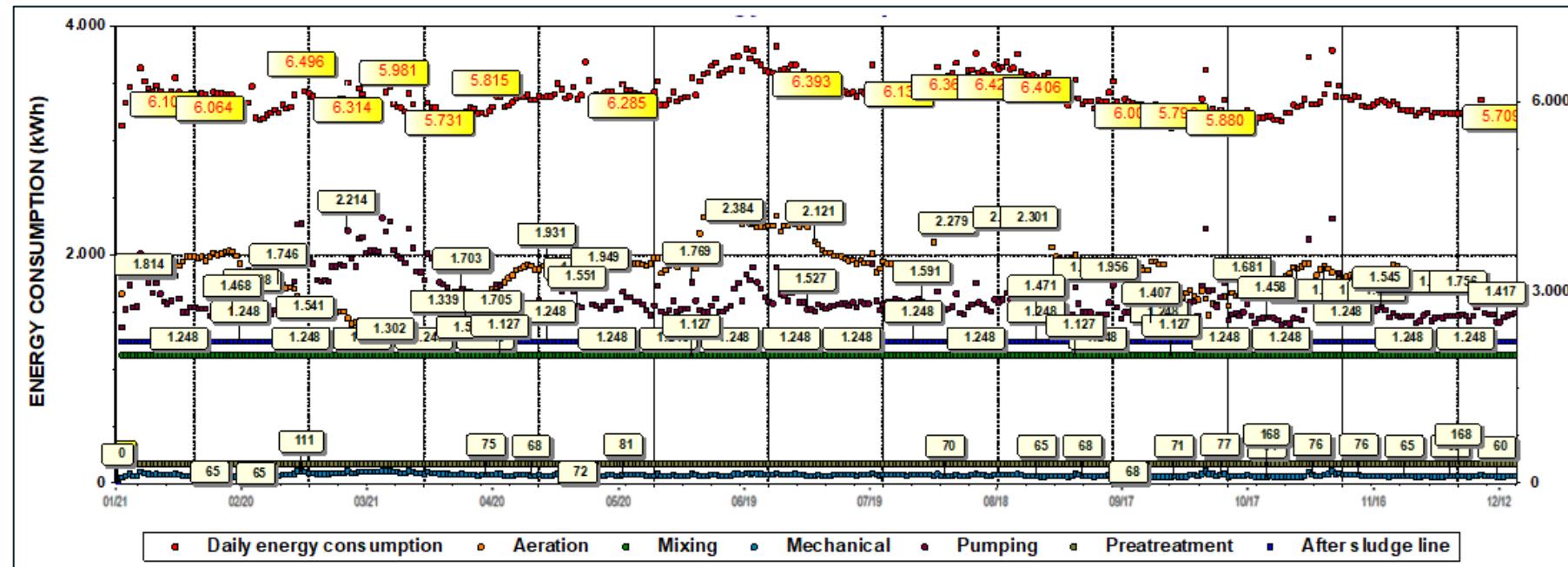
APPROCCIO METODOLOGICO

- Acquisizione schema e dati di processo
- Censimento di tutte le componenti elettromeccaniche e dei relativi consumi energetici
- Modellazione del processo e dei relativi consumi energetici
- Identificazione dei margini operativi ai fini dell'implementazione ZEP
- Identificazione ed approfondimento degli scenari di intervento



Casi studio: 3) MODELLAZIONE

Calibrazione del modello su dati reali di funzionamento e valutazione del bilancio energetico

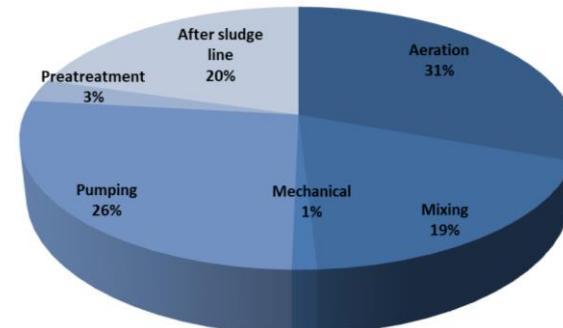


Consumo annuo: 2.210 MWh/anno

Consumo medio giornaliero: 6095 kWh/d

[dato reale_{n+1}: 6.650 kWh/d]

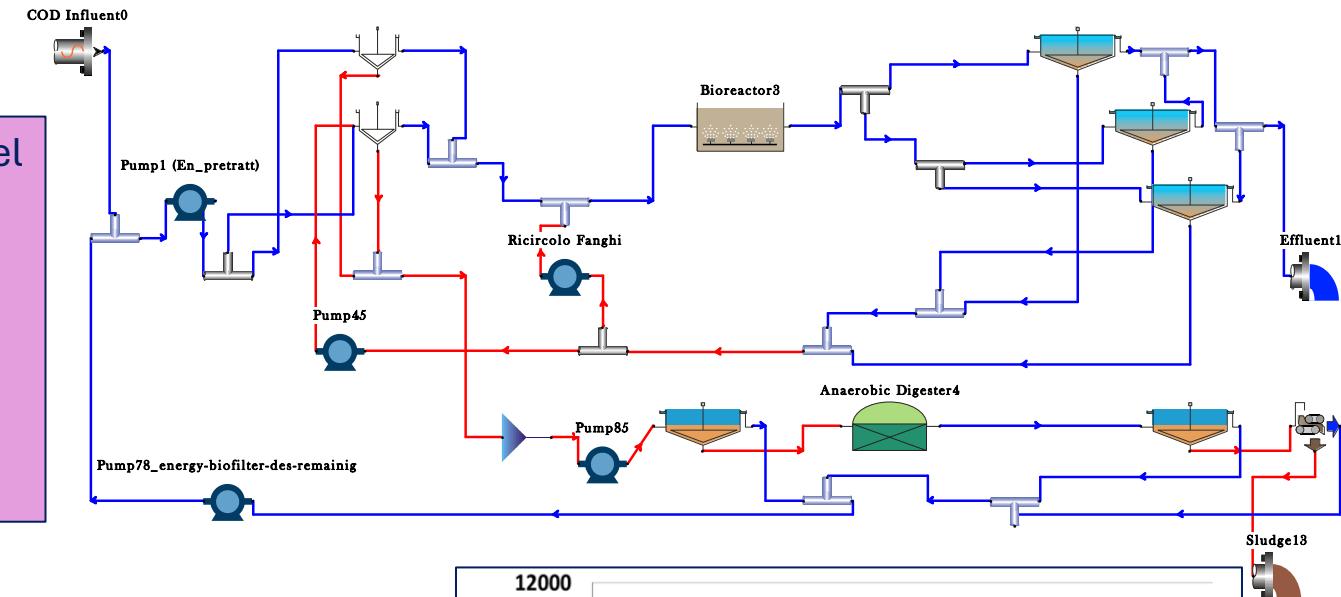
Fabbisogno e.e. di rete: 2.619 kWh/d



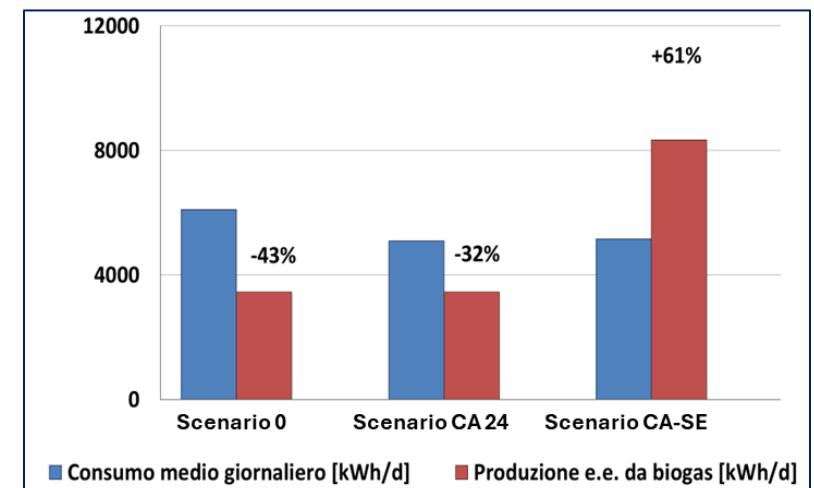
Casi studio: 3) MODELLAZIONE

IPOTESI di Scenari d'intervento

- **Scenario base-ind:** decurtazione dalla portata influente del contributo industriale, verifica degli effetti sul processo biologico e analisi dell'invio diretto in DA;
- **Scenario CA:** implementazione dei Cicli Alternati (CA);
- **Scenario CA+SE:** implementazione dei Cicli Alternati (CA) con invio di substrati energetici in DA.



	Cons. E.E. [kWh/d]	Prod. E.E. da biogas [kWh/d]	% implement. ZEP	Fabb. E.E. da rete [kWh/d]
Scenario base	6095	3453	57%	-2642
Scenario CA 24	5100	3452	68%	-1648
Scenario CA-SE	5163	8329	161%	+3166



per contatti:
luigi.petta@enea.it
gianpaolo.sabia@enea.it



Grazie per l'attenzione!