

NUOVI SCENARI NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

Palermo, 1 Agosto 2025




Università
degli Studi
di Palermo

dj
dipartimento
di ingegneria
unipa

Analisi di benchmarking dei consumi energetici e delle emissioni degli impianti di trattamento della Regione Sicilia: risultati del progetto “SMART-EE-PLANTS”

Relatori:

Ing. Alida Cosenza e Prof. Santo Fabio Corsino

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

La Direttiva UE 2024/3019

La **Direttiva (UE) 2024/3019** è la nuova normativa europea sul trattamento delle acque reflue urbane, entrata in vigore il 1° gennaio 2025 e destinata a sostituire la Direttiva 91/271/CEE a partire dal 1° agosto 2027.

- Estensione dell'ambito di applicazione;
- Trattamenti avanzati obbligatori (terziario entro 2039 per carico ≥ 150.000 AE e quaternario entro 2045);
- Neutralità energetica;
- Riduzione delle emissioni di gas serra;
- Utilizzo biogas;
- Monitoraggio e salute pubblica (sorveglianza periodica di inquinanti chimici, microplastiche, agenti patogeni e resistenza antimicrobica);



La Direttiva UE 2024/3019 – Neutralità energetica

Art. 1 - AUDIT ENERGETICI

Articolo 11

Neutralità energetica

1. Gli Stati membri provvedono affinché ogni quattro anni siano svolti audit energetici, quali definiti all'articolo 2, punto 32), della direttiva (UE) 2023/1791, degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane e delle reti fognarie in funzione. Gli audit individuano tra l'altro le possibilità di misure efficaci sotto il profilo dei costi per ridurre l'uso di energia e intensificare l'utilizzo e la produzione di energia rinnovabile, con particolare attenzione all'individuazione e allo sfruttamento del potenziale di produzione di biogas o di recupero e uso del calore di scarto, in loco o tramite un sistema di teleriscaldamento/teleraffrescamento, riducendo al contempo le emissioni di gas a effetto serra. I primi audit energetici sono effettuati:

Individuazione di misure per:

- riduzione dei consumi;
- produzione di energia rinnovabile;

Deadline:

- 2028 per impianti ≥ 100.000 AE
- 2032 per 10.000-100.000 AE

Art. 2 – Uso fonti rinnovabili

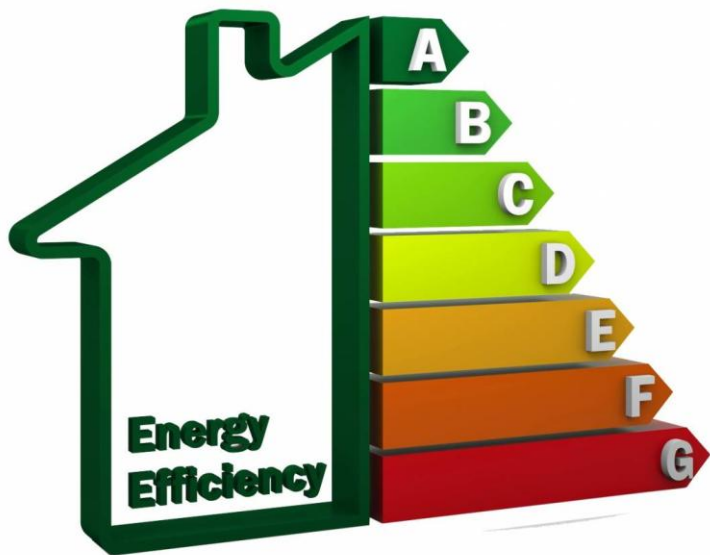
2. Gli Stati membri provvedono affinché, a livello nazionale, l'energia totale annua da fonti rinnovabili quale definita all'articolo 2, paragrafo 1, della direttiva (UE) 2018/2001, generata in loco o altrove da parte o per conto dei proprietari o dei gestori degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane che trattano un carico di 10 000 a.e. o più, indipendentemente dal fatto che tale energia sia utilizzata in loco o altrove dai proprietari o gestori di tali impianti, sia equivalente almeno:

- a) al 20 % del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre 2030;
- b) al 40 % del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre 2035;
- c) al 70 % del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre 2040;
- d) al 100 % del consumo totale annuo di energia di tali impianti entro il 31 dicembre 2045.

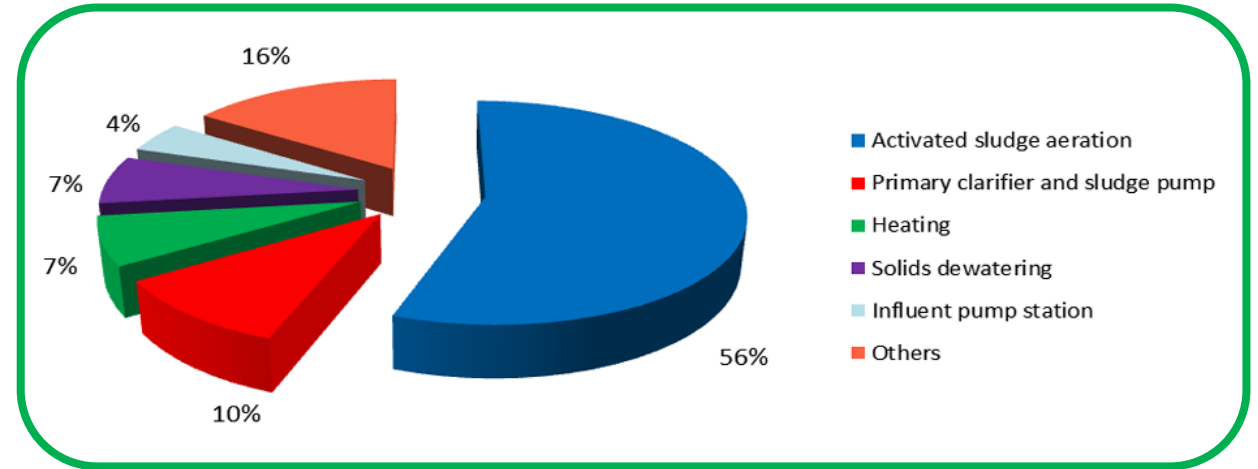
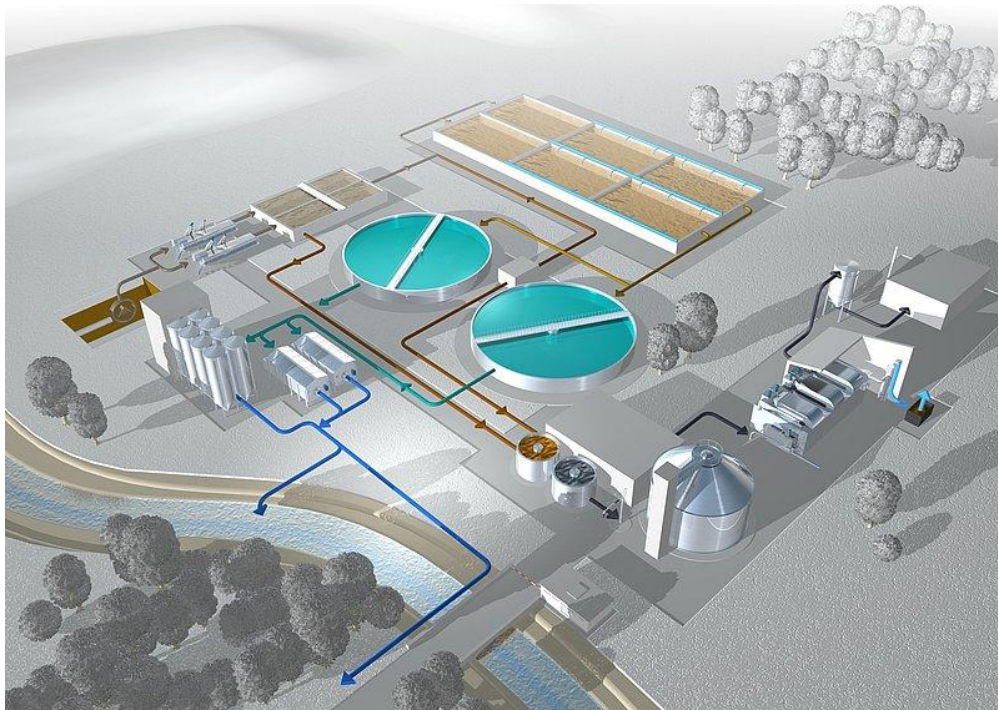
Uso obbligatorio di energia rinnovabile (in crescita graduale)

Importante:

L'energia rinnovabile deve essere prodotta direttamente dall'impianto



I consumi energetici negli impianti di trattamento della acque reflue

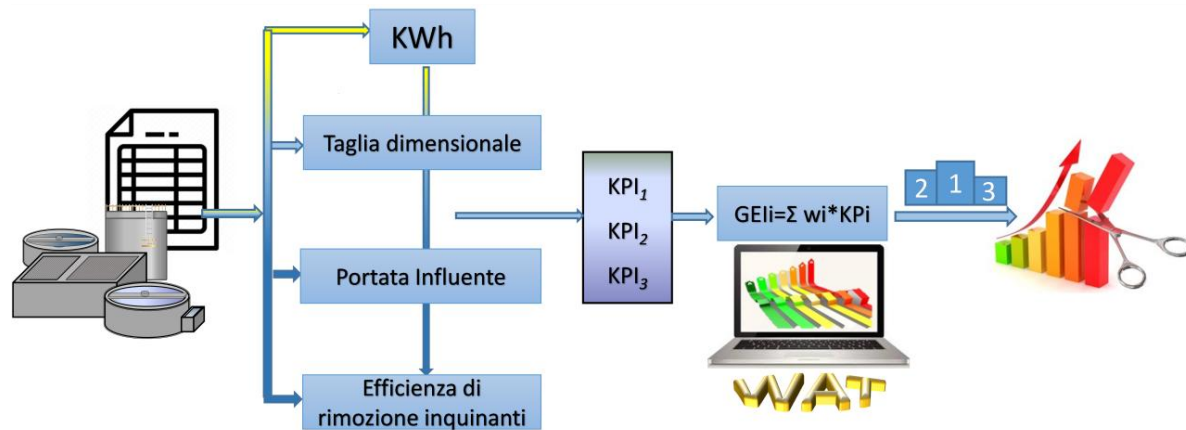


Fattori che influenzano i consumi energetici degli impianti

- tecnologia di trattamento utilizzata;
- dimensione e scala dell'impianto;
- carico inquinante in ingresso;
- livello di trattamento richiesto;
- efficienza delle apparecchiature;
- modalità di gestione dell'impianto

Il benchmark dei consumi energetici

Processo di **analisi comparativa** per il confronto di consumi energetici di un impianto con quelli di altri impianti simili, utilizzando **indicatori di prestazione energetica** (KPI).

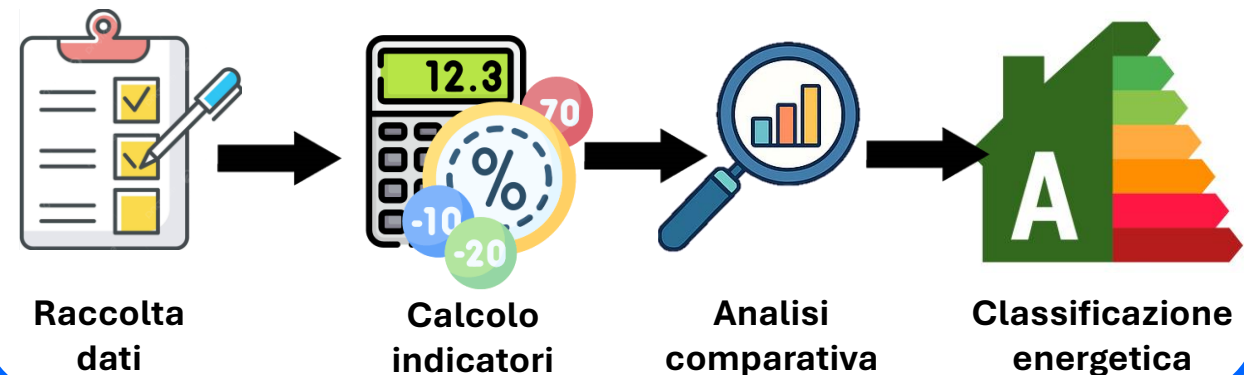


OBIETTIVI

- 1) Valutare l'efficienza energetica
- 2) Individuare margini di miglioramento
- 3) Pianificare interventi mirati
- 4) Monitorare nel tempo



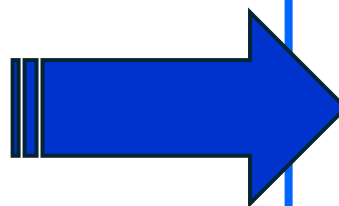
COME SI REALIZZA



Il progetto SMART-EE PLANTS



Efficientamento energetico di impianti di depurazione presenti sul territorio siciliano



ATTIVITA' 1.1

Analisi mediante tecniche di Benchmarking delle performance energetiche su tutti gli impianti delle società SII coinvolte”.



Definire una **baseline energetica comparativa** delle diverse tipologie di impianti gestiti dalle aziende del Servizio Idrico Integrato (SIDRA, AMAP, ACQUAENNA),

Metodi – Analisi di benchmarking: metodo analitico



Elaborazione
dati e modello
di calcolo

Elaborazione
grafica dei risultati
mediante box-plot

Programma Operativo Complementare (P.O.C.) 2014/2020 della Regione Siciliana
Progetto n. 08CT3600000330
"Smartee-Plants: Smart Energy-Efficiency wastewater treatment Plants"

Scheda Benchmarking

Impianto di depurazione di: **in emergenza per tutti gli**
Società del SII

Impianto di depurazione di:

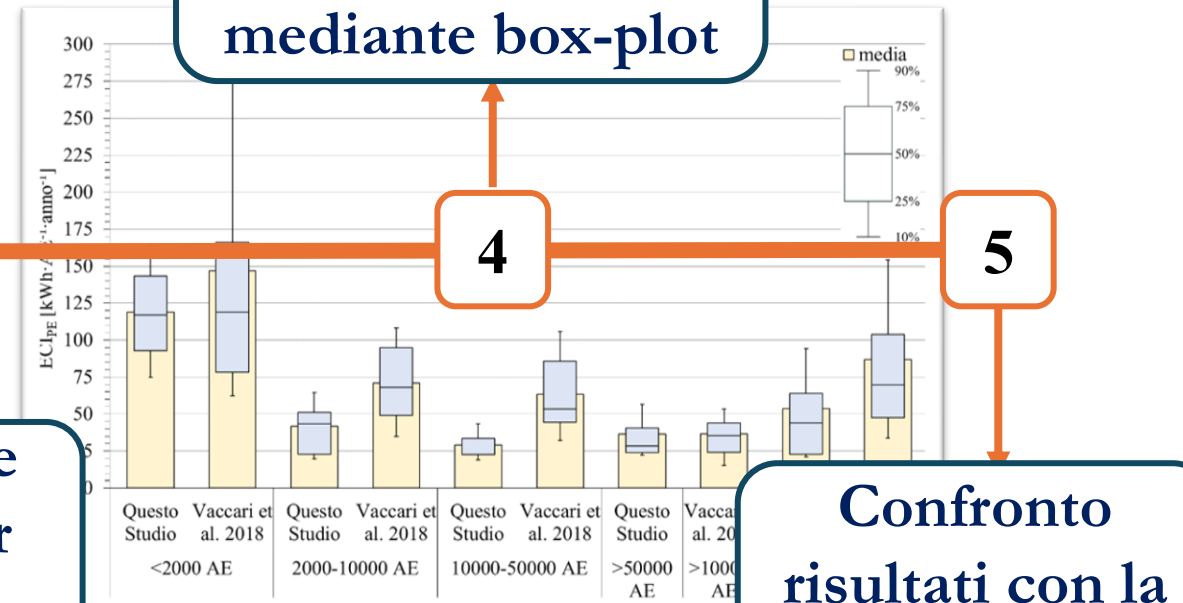
Gestore	AMAP
Località / Indirizzo	
Comuni serviti	
Ricettore	
Abitanti equivalenti	
Portata di Progetto [m³/mese]	
Tipologia acque civili/industriali	

Anno 2020

	Nov	Dic
Energia prelevata [kWh/mese]		
Portata trattata [m³/mese]		
SST influente [mg/L]		
SST effluente [mg/L]*		
SST nel reattore biologico [mg/L]		
OD nel reattore biologico [mg/L]		
ROD influente [mg/L]*		

Acquisizione
Dati

Suddivisione
impianti per
potenzialità



Metodi – Analisi di benchmarking: raccolta e analisi dati

Scheda Benchmarking dei consumi energetici per tutti gli impianti gestiti dalle tre Società del SII

Impianto di depurazione di:

Gestore	AMAP
Località / Indirizzo	
Comuni serviti	-
Ricettore	
Dati di Dimensionamento	
Abitanti equivalenti	
Portata di Progetto [m ³ /anno]	
Tipologia acque trattate (% civili/industriali)	Municipali

Dati sui consumi energetici*												
Anno 2020	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Energia prelevata da rete [kWh/mese]												
Portata trattata [m³/mese]												
SST influente [mg/L]												
SST effluente [mg/L]*												
SST nel reattore biologico [mg/L]												
OD nel reattore biologico [mg/L]												
BOD influente [mg/L] *												

- Scheda di acquisizione dati predisposta internamente ai partner del Progetto POC SMART-EE PLANTS

Principali dati richiesti al gestore:

- Caratteristiche dell'impianto
- Portata media mensile
- Contaminanti in ingresso e uscita
- Consumo energetico complessivo
- Fango smaltito
- Informazioni supplementari

Metodi – Analisi di benchmarking: raccolta e analisi dati

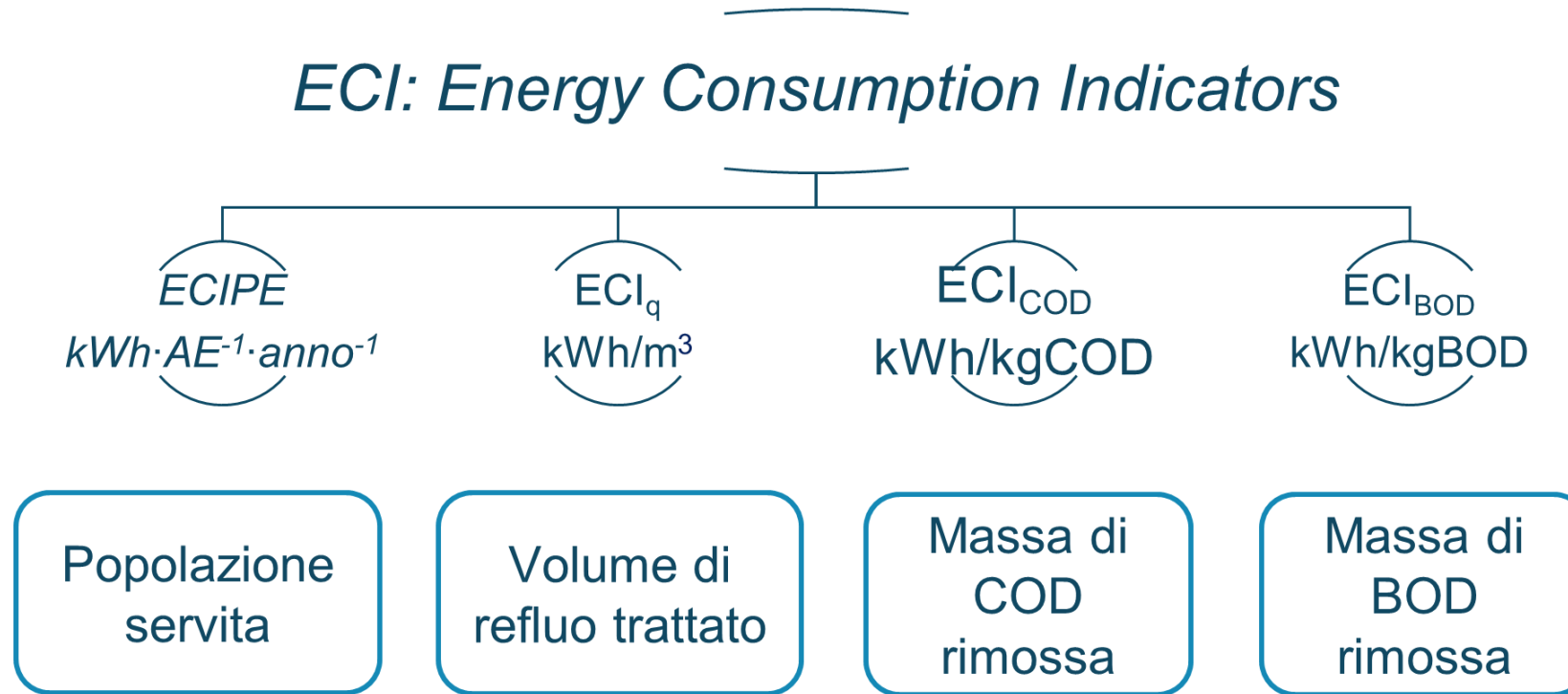
51 impianti di trattamento delle acque reflue urbane della provincia di **Palermo, Enna e Catania**



34 – Palermo
16 - Enna
1- Catania

Metodi – Analisi di benchmarking: raccolta e analisi dati

Rapporto tra il consumo energetico dell'impianto e un parametro rilevante del processo



Risultati – Analisi dell'indicatore ECI_q

Totale

Questo studio

0,65 kWh/m³

Vaccari et al.

0,45 kWh/m³

Impianti < 2000 AE

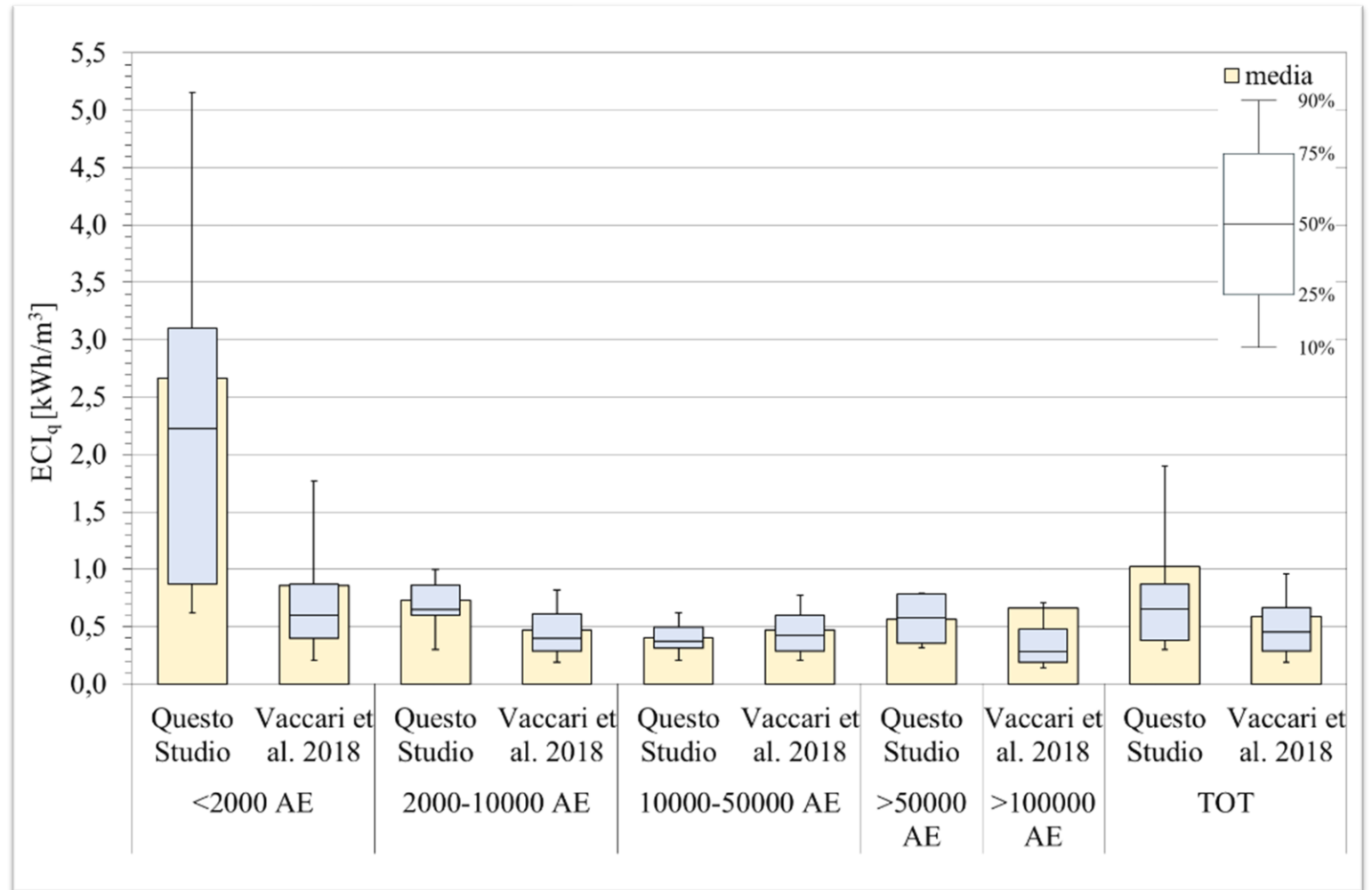
Questo studio

2,22 kWh/m³

Vaccari et al.

0,6 kWh/m³

minore efficienza energetica
probabilmente per assenza di economie
di scala.



Risultati – Analisi dell'indicatore ECI_{PE}

Totale

Questo studio

44,10 kWh/AE anno

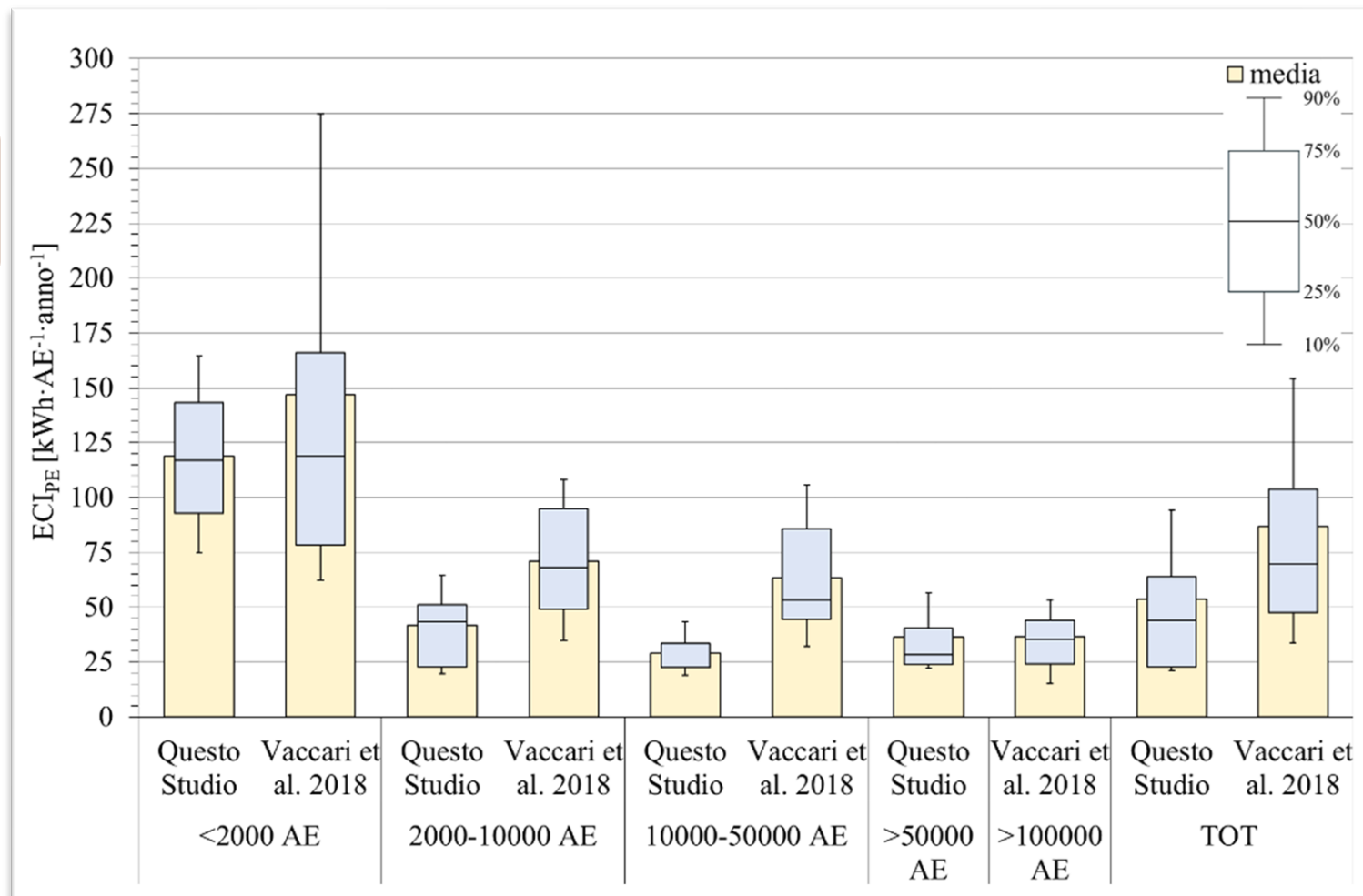
Vaccari et al.

69,69 kWh/AE anno

$ECI_q > ECI_{PE}$

- Volumi trattati < valori teorici di riferimento;
- Consumi «basali» indipendenti dal volume trattato (piccoli impianti).

L'indicatore ECI_{PE} , normalizzando il consumo energetico sulla base degli abitanti equivalenti serviti, risulta meno sensibile a variazioni idrauliche



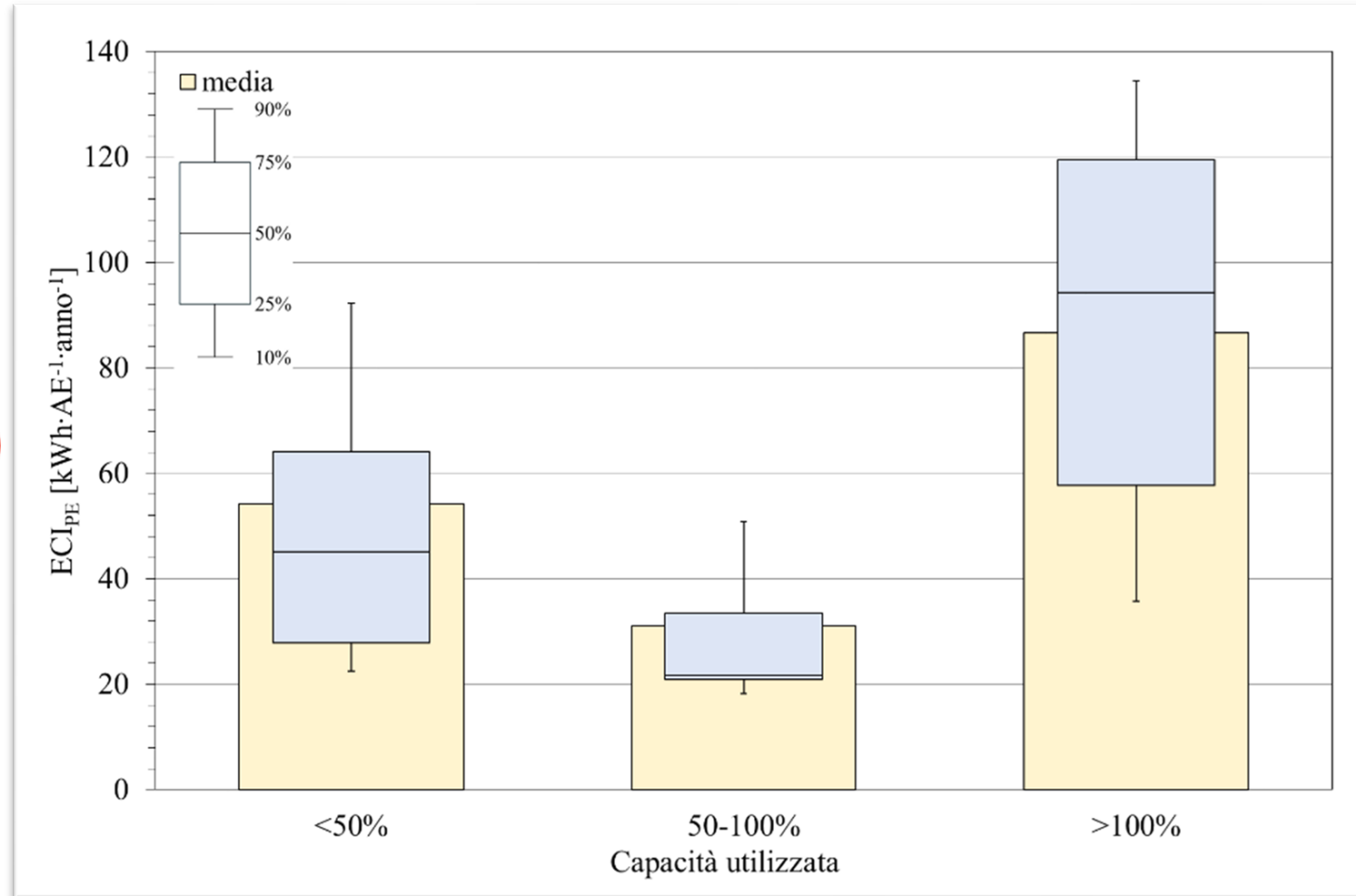
Risultati – Consumi in funzione della capacità di utilizzo (ECI_{pE})

- ✓ Impianto sottoutilizzato
- ✓ Impianto utilizzato correttamente
- ✓ Impianto sovrautilizzato

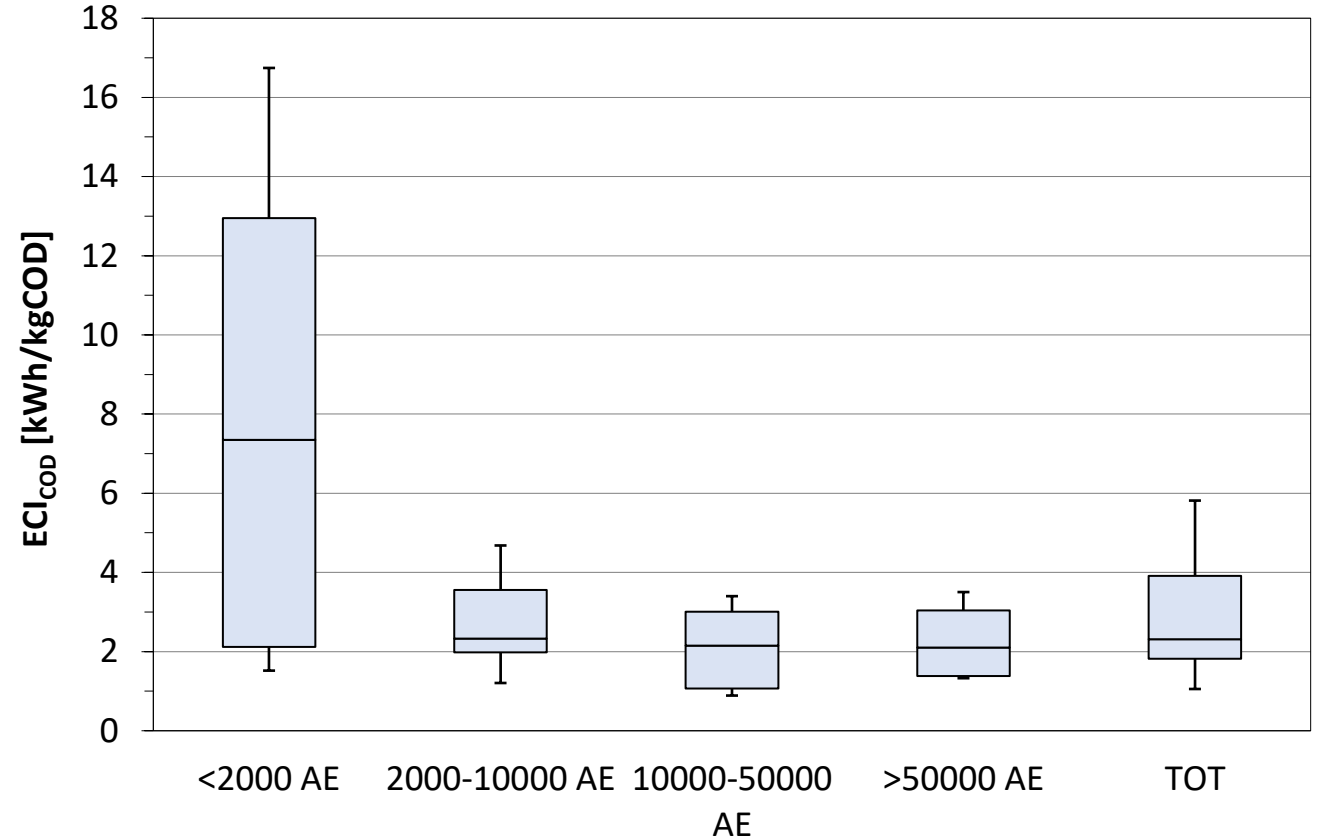
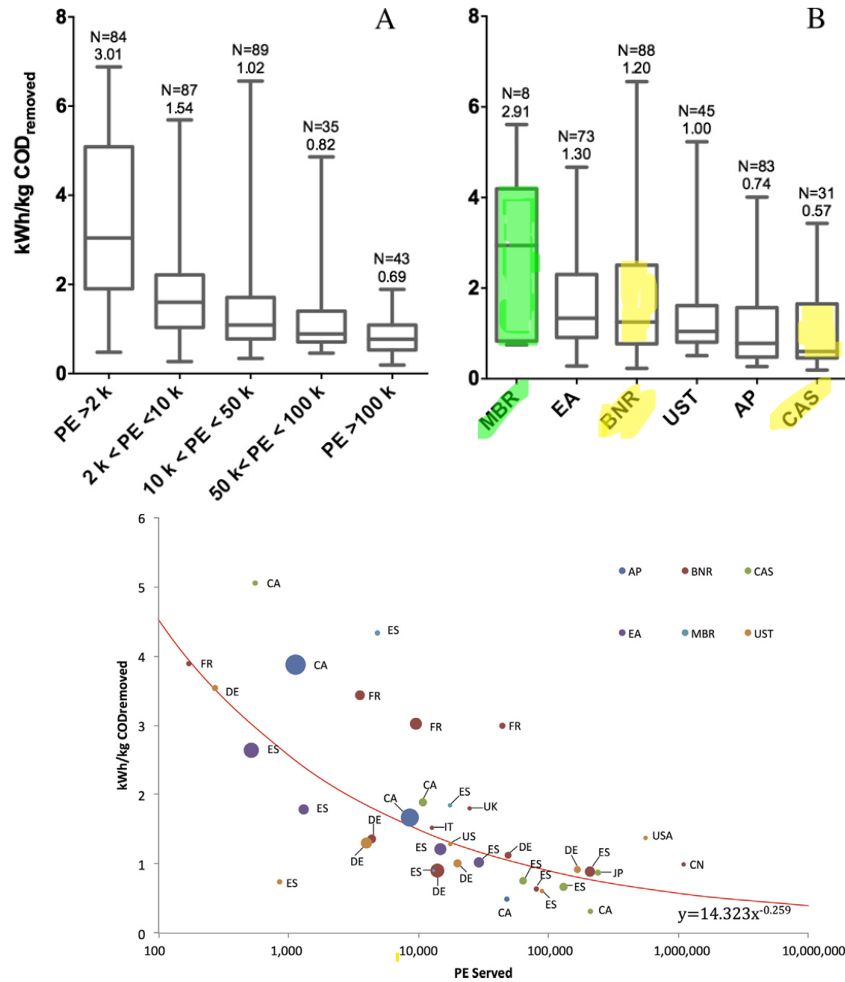
< 50% → **45,12** kWh/AE/anno
50-100% → **21,70** kWh/AE/anno
>100% → **94,26** kWh/AE/anno



Sia un **sottoutilizzo** che un **sovraccarico** comportano inefficienze energetiche: nel primo caso per via dei consumi "basali", nel secondo per la necessità di sforzare i processi oltre la loro capacità ottimale.



Risultati – Consumi in funzione della capacità di utilizzo (ECI_{PE})



Longo et al. (2016) <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.043>

Risultati – Sintesi e prospettive future

- Consumi energetici specifici decrescenti con l'aumento delle dimensioni dell'impianto (**effetto scala**);
- Gli impianti a servizio di < **2000 AE** sono risultati i più energivori in termini specifici;
- Sia un **sottoutilizzo** che un **sovraccarico** comportano inefficienze energetiche.

Depurare bene non basta: dobbiamo anche depurare meglio!

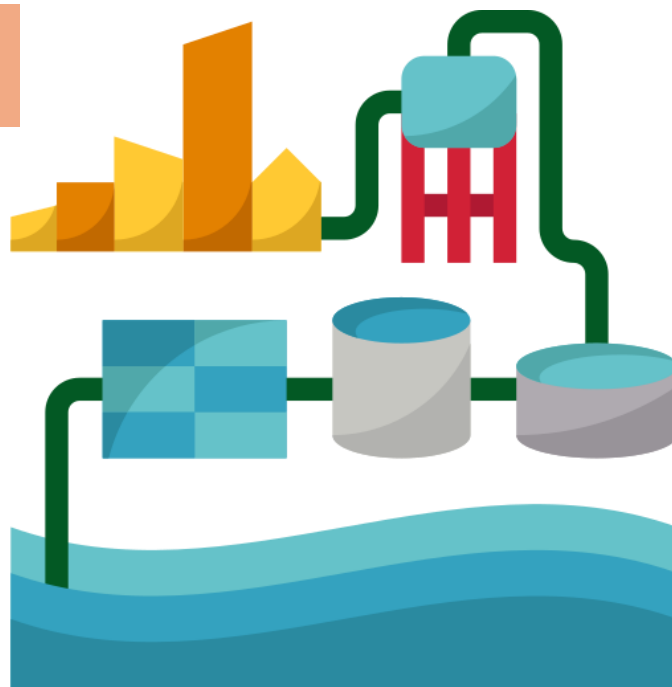


Il Carbon Footprint

Il termine *Carbon Footprint* si riferisce alla quantità totale di gas serra emessi in atmosfera a seguito di attività umane.

Emissioni dirette

Emissioni indirette



Emissioni derivate

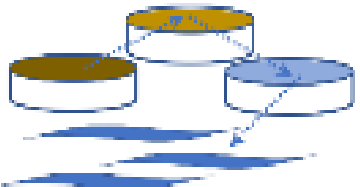
Il Carbon Footprint

GHG	Radiative force	Greenhouse potential	Concentration in atmosphere
	W/m ²	100-years	ppb
CO ₂	0.000018	1	370,000
CH ₄	0.00037	25	1,750
N₂O	0.0032	298	314

Boiocchi et al (2023)



Il Carbon Footprint – progetto SMART-EE-PLANTS



SMART - EE- PLANTS

Individuazione di strategie per la riduzione del *Carbon Footprint* degli impianti di depurazione delle acque reflue



Università
degli Studi
di Palermo

d*i* dipartimento
di ingegneria
unipa



POC
SICILIA 14-20

P FESR
SICILIA 2014-2020

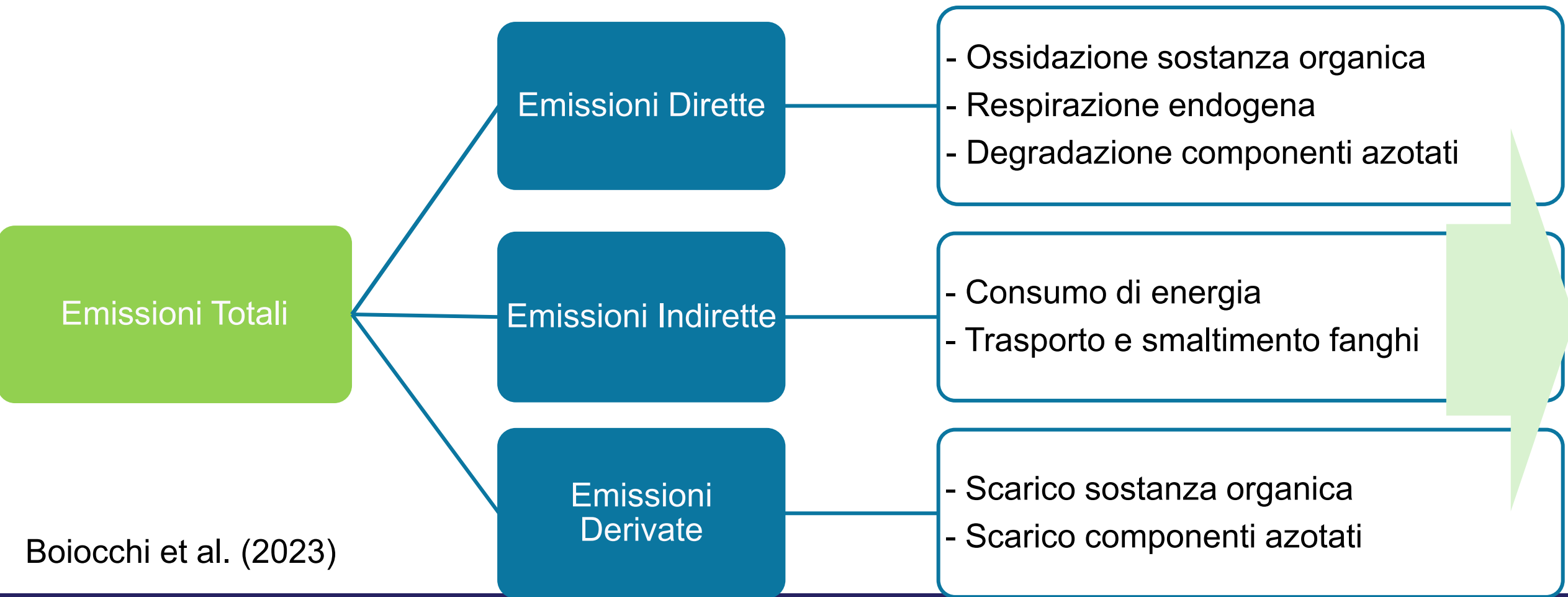


Con il patrocinio di:



Il Carbon Footprint – Metodo di quantificazione

Metodo quantitativo basato sulle misure dirette e sui fattori di emissione



Boiocchi et al. (2023)

Il Carbon Footprint – Metodo di quantificazione

Metodo quantitativo basato sulle misure dirette e sui fattori di emissione

- Ossidazione sostanza organica
- Respirazione endogena
- Degradazione componenti azotati

$$CO_{2,orgox} = r_{O_2} \cdot FC_s$$

$$CO_{2,Endog} = FC_{end} \cdot M_{SSV}$$

$$CO_{2,N_2O} = N_2O_{imp} \cdot GWP_{N_2O}$$

- Consumo di energia
- Trasporto e smaltimento fanghi

$$CO_{2eq,En} = E_n \cdot FC_{En}$$

$$CO_{2eq,sludge} = M_{sludge} \cdot FC_{sludge}$$

- Scarico sostanza organica
- Scarico componenti azotati

$$CO_{2eq,effBOD} = M_{BOD} \cdot FC_{BOD}$$

$$CO_{2eq,effN_2O} = N_2O_{eff} \cdot GWP_{N_2O}$$

Boiocchi et al. (2023)

Risultati

< 2000 AE

58,47 kgCO_{2eq}/AE/anno

2000 – 10000 AE

36,86 kgCO_{2eq}/AE/anno

10000 – 50000 AE

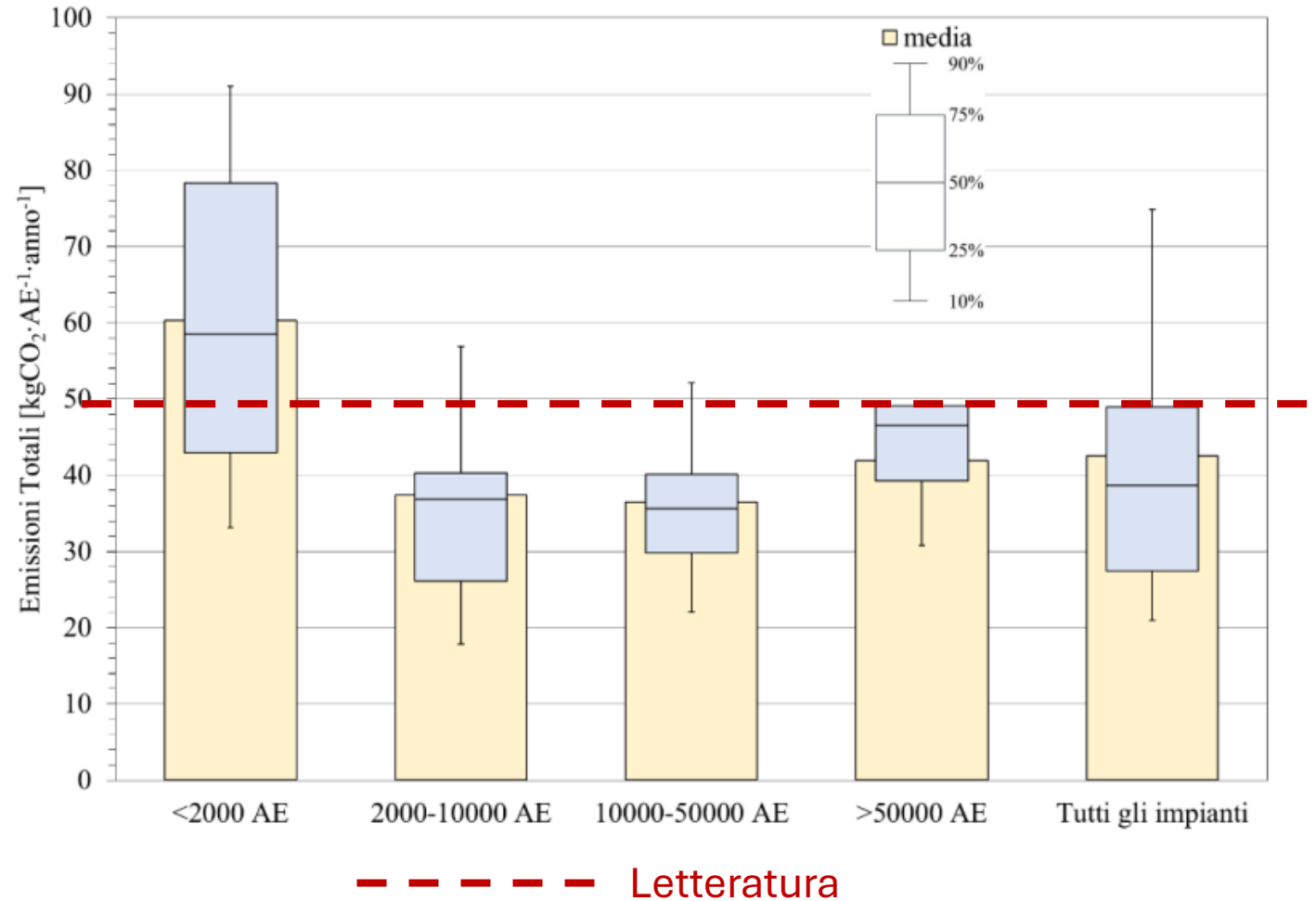
35,63 kgCO_{2eq}/AE/anno

> 50000 AE

46,48 kgCO_{2eq}/AE/anno

Totale

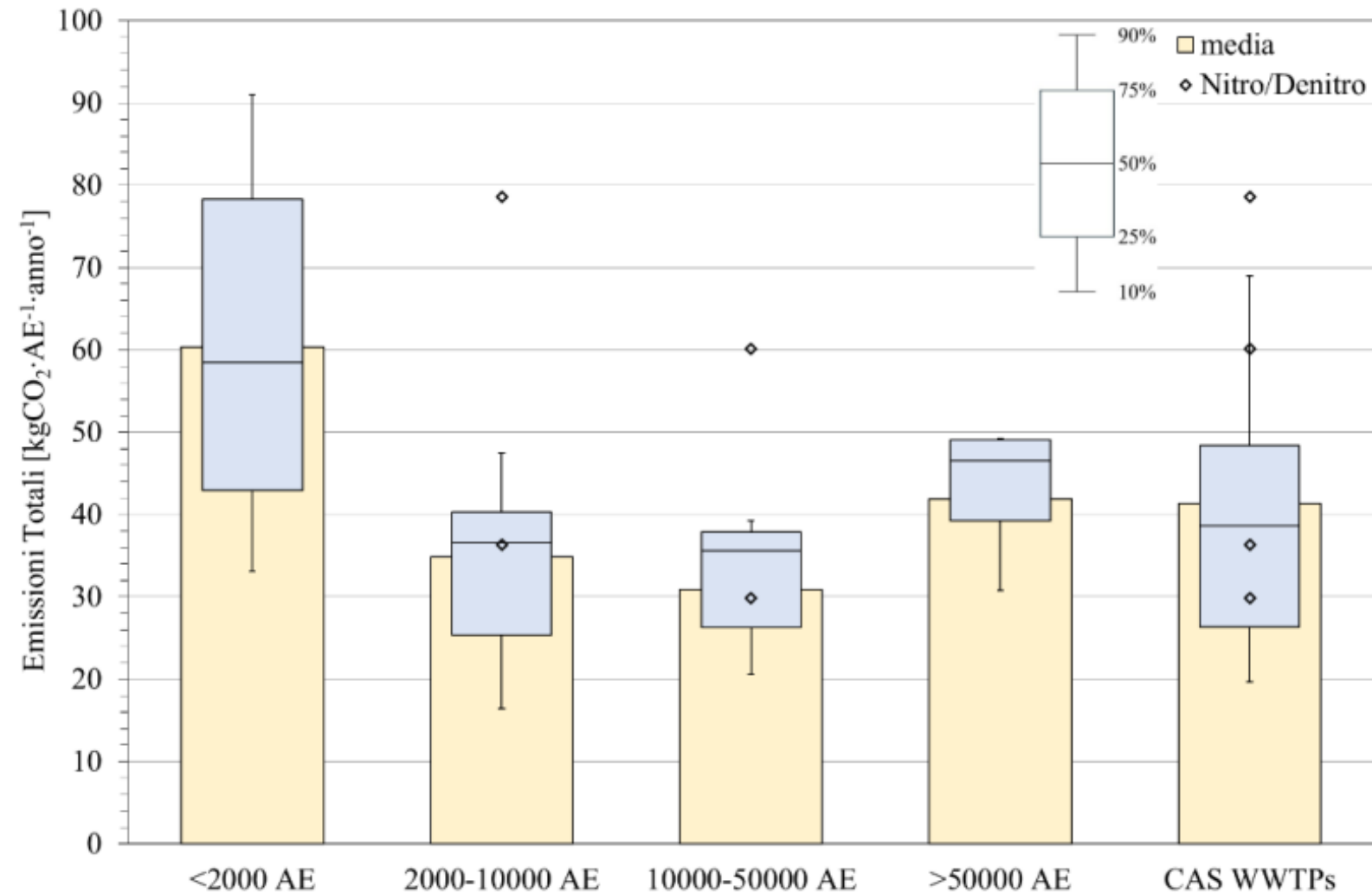
38,61 kgCO_{2eq}/AE/anno



Con il patrocinio di:



Risultati – influenza configurazione impiantistica



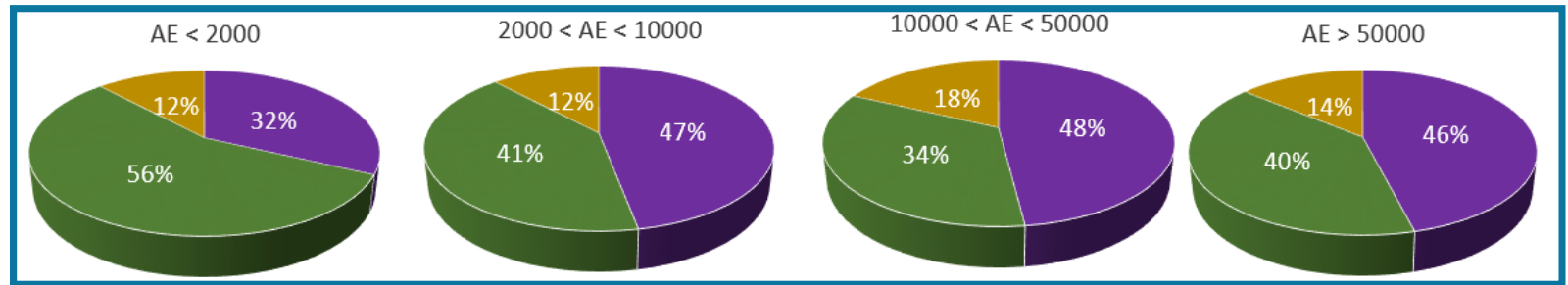
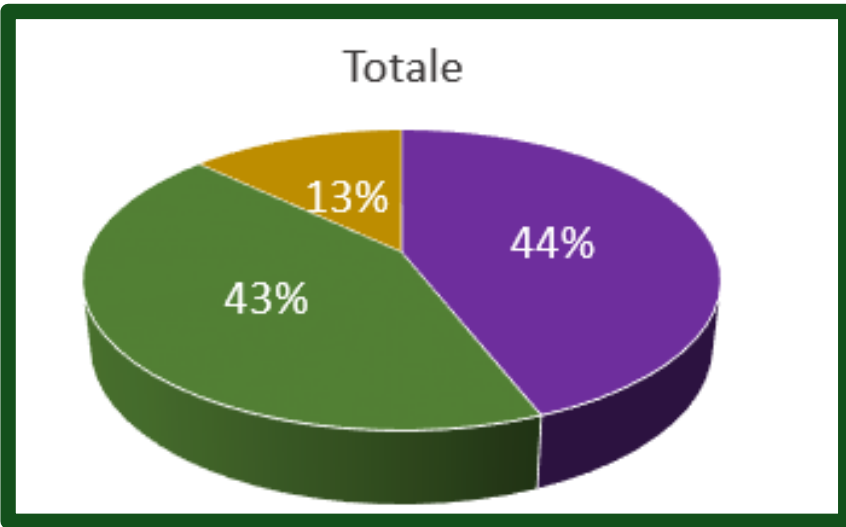
Impianti con rimozione dei nutrienti

Maggiore emissione totale rispetto alla media:

- *Maggiore emissione diretta ed indiretta*
- *Minore emissione derivata*

Risultati – influenza configurazione impiantistica

■ Emissioni dirette ■ Emissioni Indirette ■ Emissioni derivate



Emissioni dirette frazione preponderante ad eccezione degli impianti di bassa potenzialità

- *Minore trattamento carico organico* ➡ *< CO₂ diretta emessa*
- *Sovradimensionamento apparecchiature* ➡ *> CO₂ indiretta emessa*

Conclusioni

- ✓ Le emissioni dirette e indirette presentano il maggior peso
- ✓ Emissioni indirette, legate al consumo di energia, maggiori per i piccoli impianti
- ✓ Maggiori emissioni nel caso di applicazione di processi nitro/denitro



- ✓ Implementare e migliorare i processi di controllo e automazione di processo
- ✓ Approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili