

QUANTO COSTA ADEGUARE GLI IMPIANTI DI DEPURAZIONE ITALIANI ALLA NUOVA DIRETTIVA ACQUE REFLUE?

Nel Blue Book 2025 di Fondazione Utilitatis e Utilitalia è stato affrontato il tema dell'adeguamento impiantistico alla nuova direttiva acque reflue. L'analisi, svolta in collaborazione con Enea, è un aggiornamento dello studio già pubblicato in alcune pubblicazioni precedenti della Fondazione e si concentra, questa volta, ad una valutazione dei fabbisogni di adeguamento inerenti il trattamento quaternario delle acque reflue, stimando un costo per tipologia di trattamento installata. I risultati sono necessari a comprendere il livello di investimento richiesto per garantire il raggiungimento degli obiettivi definiti dalla normativa europea.

La recente direttiva (UE) 2024/3019¹ sancisce per gli Stati Membri, tra gli altri, anche l'obbligo di trattamento quaternario finalizzato alla rimozione di microinquinanti emergenti (MIE). Secondo target temporali progressivi sino al 2045, l'obbligo di adeguamento è riferito a tutti gli impianti che trattano acque reflue urbane con un carico superiore a 150.000 A.E. e, sulla base degli esiti di una valutazione di rischio mirata all'identificazione e designazione di aree sensibili all'inquinamento da microinquinanti, per gli impianti che afferiscono ad agglomerati con almeno 10.000 A.E.. La verifica della conformità ai requisiti previsti dalla direttiva prevede il controllo di una serie limitata di microinquinanti rappresentativi ed il raggiungimento di una resa minima di rimozione dell'80% in rapporto al carico influente all'impianto.

Tra i processi annoverabili quali sistemi in grado di asservire al ruolo di trattamento quaternario, quelli maggiormente indicati quali tecnologie implementabili in ragione dell'efficacia nella rimozione di contaminanti emergenti e il grado di maturità tecnologica, risultano, in base ai dati e alle esperienze descritte nella letteratura tecnico-scientifica di settore^{2,3,4}: l'adsorbimento su carboni attivi; l'ossidazione tramite ozonizzazione; la separazione mediante membrane di nanofiltrazione e/o osmosi inversa. Tuttavia, ai fini del loro impiego quali trattamenti di affinamento quaternario, integrativi dei processi già presenti negli impianti di depurazione, vanno considerati diversi elementi che incidono sulla effettiva riduzione dei rischi per l'ambiente e la salute umana, nonché sulla sostenibilità tecnico-economica, e che vanno presi in esame in

¹ Dir. (UE) 2024/3019 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 novembre 2024 concernente il trattamento delle acque reflue urbane

² Luo Y., Guo W., Ngo H. H., Nghiem L. D., Hai F. I., Zhang J., Liang S., Wang X.C., A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment, Science of The Total Environment, Volumes 473-474, 2014, Pages 619-641, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>.

³ K. Kosek, Luczkiewicz A., S. Fudala-Książek, Jankowska K., Szopińska M., Svahn O, Tränckner J., Kaiser A, Langas V., Erland Björklund E., Implementation of advanced micropollutants removal technologies in wastewater treatment plants (WWTPs) - Examples and challenges based on selected EU countries, Environmental Science & Policy, Volume 112, 2020, Pages 213-226, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.011>.

⁴ GdL-MIE. 2020. Inquinanti Emergenti. A cura di: Tartari G., Bergna G., Lietti M., Rizzo A., Lazzari F. e Brioschi C. Lombardy Energy Cleantech Cluster, Milano. 249 pp.

sede di individuazione delle soluzioni appropriate da adottare. Dal punto di vista tecnico, va tenuto conto che i processi citati si basano su meccanismi di azione differenti, da cui deriva una maggiore o minore efficacia di trattamento in funzione del livello di qualità delle acque reflue da trattare, delle caratteristiche chimico-fisiche dei contaminanti da rimuovere e loro interazioni. Per ognuna delle soluzioni tecnologiche considerate vanno inoltre valutati i vantaggi e gli svantaggi associati al loro impiego ed individuate le modalità ottimali di gestione a garanzia delle rese di rimozione e della minimizzazione dei costi sia energetici sia di uso di materiali e generazione di rifiuti. Per tali ragioni, la progettazione degli interventi di upgrading impiantistico deve essere condotta secondo una logica di filiera integrata che tenga conto delle unità di trattamento già esistenti, e seguendo un approccio multi-barriera in cui vengono sfruttati meccanismi sinergici e complementarietà d'azione dei differenti processi a vantaggio della resilienza ed efficacia dell'intero sistema, della sua sostenibilità e flessibilità⁵.

A titolo di esempio, l'applicazione del processo di ozonizzazione quale trattamento quaternario, sebbene efficace nel rimuovere un'ampia gamma di contaminanti, può portare alla formazione di sotto-prodotti indesiderati come composti refrattari e bromati con potenziali rischi di tossicità per la salute umana e l'ambiente; il posizionamento di un sistema a valle come i biofiltri a carbone attivo granulare GAC attivato biologicamente, favorisce ulteriori processi degradativi contribuendo in tal modo a ridurre il rischio associato a tali sottoprodotti. Secondo tale approccio, emerge che l'uso combinato di ozono e GAC può consentire nel complesso di ridurre il dosaggio di ozono necessario per raggiungere un determinato livello di rimozione dei contaminanti emergenti, riducendo i costi operativi ed il rischio di formazione di sottoprodotti indesiderati⁶.

Sulla base di tali premesse, è stato elaborato un aggiornamento delle valutazioni già sviluppate nel Blue Book 2024 mirate a definire le esigenze ed i costi di investimento e di esercizio tali da garantire l'adeguamento strutturale del comparto depurativo nazionale italiano agli obblighi fissati dalla Direttiva EU 3019/2024 sui trattamenti quaternari. Le valutazioni sono ancora riferite agli impianti italiani con potenzialità di trattamento maggiore o uguale a 150.000 A.E., come estratti dal database EEA 2021 (Waterbase UWWTD – data call 2021)⁷. Lo studio del precedente anno faceva riferimento all'ipotesi di implementazione di sistemi quaternari ex-novo (in particolare, sistemi a carboni attivi e sistemi di ozonizzazione) applicando specifiche funzioni di costo per quantificare e distinguere le stime dei costi di adeguamento in termini di OPEX e CAPEX. L'indagine 2025 si è invece focalizzata sull'analisi delle configurazioni impiantistiche già esistenti e sulla loro predisposizione all'implementazione di filiere dedicate alla rimozione di microinquinanti, puntando a ricavare stime dei costi di adeguamento conseguenti alla

5 Pistocchi A., Andersen H.R., Bertanza G., Brander A., Choubert J.M., Cimbritz M., Drewes J.E., Koehler C., Krampe J., Launay M., Nielsen P.H., Obermaier N., Stanev S., Thornberg D.. Treatment of micropollutants in wastewater: Balancing effectiveness, costs and implications. *Sci Total Environ.* 2022 Dec 1;850:157593. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157593. Epub 2022 Jul 29. PMID: 35914591.

6 Baresel, M. Ek, H. Ejhed, A.-S. Allard, J. Magnér, L. Dahlgren, K. Westling, C. Wahlberg, U. Fortkamp, S. Söhr, M. Harding, J. Fång, J. Karlsson; Sustainable treatment systems for removal of pharmaceutical residues and other priority persistent substances. *Water Sci Technol* 1 February 2019; 79 (3): 537–543. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2019.080>

7 Waterbase UWWTD – data call 2021 <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/6244937d-1c2c-47f5-bdf1-33ca01ff1715>

integrazione di singole tecnologie o loro combinazioni in funzione della dotazione infrastrutturale già presente nella linea acque degli impianti oggetto di studio.

In particolare, le tecnologie e le filiere di trattamento prese in considerazione ai fini delle valutazioni di adeguamento delle linee impiantistiche quaternarie sono 1) Ozono (O_3); 2) Biofiltro a carboni attivi granulari (GAC); 3) Ultrafiltrazione (UF); 4) Ozono + Biofiltro a carboni attivi granulari (O_3 + GAC); 5) Ultrafiltrazione + Biofiltro a carboni attivi granulari (UF + GAC). Per tali alternative tecnologiche, sono stati presi a riferimento i valori di costo unitari (rappresentativi della somma di CAPEX+OPEX, espressi in euro per metro cubo e desunti che sono stati applicati al parco impianti in esame. Le stime di costo aggregate così ricavate sono state confrontate con gli analoghi costi unitari (sempre espressi in euro per metro cubo) derivati applicando la funzione di costo proposta. Per consentire la disaggregazione dei costi totali ottenuti in voci distinte per CAPEX e OPEX, si è fatto ricorso a fattori di proporzionalità determinati per ciascuna tecnologia e ricavati dall'analisi di dati di letteratura, nonché a dati raccolti da Utilitalia nell'ambito di una survey dedicata rivolta ai propri associati. Per quanto concerne la valutazione degli effettivi margini di integrazione nelle linee di trattamento esistenti, si è fatto riferimento alle informazioni riportate nel database EEA in termini di variabili dicotomiche presenza/assenza dei processi di ozonizzazione (O_3), microfiltrazione (MF) e filtrazione a sabbia (SF), considerate utili a contribuire all'implementazione di una filiera di trattamento quaternaria. Laddove già presenti unità di O_3 e MF si è operato considerando l'integrazione con altre unità tali da coprire una delle 5 filiere quaternarie considerate; nel caso di presenza di unità di SF, invece, sono stati considerati gli aspetti sinergici generati sulle filiere quaternarie, in termini soprattutto di riduzione degli OPEX delle unità previste a valle. Sulla base di tali criteri, è stato possibile quantificare le potenziali riduzioni di CAPEX e OPEX conseguibili nelle filiere analizzate in ragione dell'attuale consistenza degli impianti di depurazione oggetto di indagine.

In accordo con la procedura metodologica descritta, si è proceduto alla stima delle voci di costo associate alla possibile implementazione dei 5 sistemi/filiere di trattamento quaternario nel parco degli impianti di depurazione italiani con capacità maggiore o uguale a 150.000 A.E., tale da tenere conto della loro attuale consistenza impiantistica.

Risulta d'uopo precisare che le valutazioni condotte mirano soprattutto a ricavare un ordine di grandezza indicativo dei costi di adeguamento necessari per rimuovere i contaminanti emergenti tramite l'impiego di tecnologie appropriate. Infatti, le stime degli impegni economici a cui si perviene applicando la metodologia di valutazione definita risentono inevitabilmente delle incertezze associate ai costi reali di tecnologie ad oggi applicate in ambito depurativo per il rispetto dei limiti attualmente vigenti e, quindi, progettate con finalità differenti dalla rimozione dei contaminanti emergenti (ad es. tecnologie impiegate a scopo di affinamento terziario o di disinfezione). A ciò si aggiunge un livello informativo di basso dettaglio sull'effettiva consistenza delle linee impiantistiche esistenti, che si limita alle indicazioni fornite dal database EEA consultato in termini di semplice presenza/ assenza di specifiche unità di trattamento lungo le linee depurative. Per le linee impiantistiche in cui risultavano già presenti sistemi ad ozono,

microfiltrazione, filtri a sabbia, si è assunto che tali unità risultassero già integrabili nelle filiere quaternarie prese a riferimento, evitando di quantificare eventuali costi necessari al loro adeguamento infrastrutturale o alla loro gestione in ottica di rimozione dei contaminanti emergenti target. Tali osservazioni evidenziano la necessità di ulteriori approfondimenti calati su casi reali, in grado di acquisire un livello informativo adeguato a supporto di stime di costo meno incerte.

In Tabella 1 si riportano, per ciascuna opzione tecnologica considerata, i valori dei costi totali di adeguamento risultanti, espressi sia in termini di CAPEX+OPEX sia come valori separati di CAPEX e OPEX, riferiti all'intero parco degli impianti italiani con potenzialità maggiore di 150.000 A.E., riportando altresì il corrispondente valore in termini di euro per A.E. per anno.

Tabella 1 – Costi di CAPEX e OPEX aggregati e disgiunti per l'adeguamento di impianti con capacità di progetto superiore ai 150.000 A.E. riferiti al contesto nazionale italiano.

	CAPEX+OPEX MEDIO [€/a]	CAPEX+OPEX [€/A.E./a]	CAPEX MEDIO [€/a]	CAPEX MEDIO TOTALE [€]	OPEX MEDIO [€/a]
O ₃	76.662.384	2,0	47.778.079	734.466.173	28.884.306
GAC	153.324.768	4,0	84.216.274	1.294.610.555	69.108.494
UF	326.581.756	8,5	170.680.312	2.623.774.737	155.901.445
O ₃ +GAC	183.989.722	4,8	110.882.603	1.704.537.386	73.107.119
UF+GAC	383.311.921	10,0	153.324.768	2.356.977.492	229.987.152

Fonte: Elaborazione ENEA sul Waterbase UWWTD (EEA, 2021) e dati di letteratura (Baresel et al., 2019)

La Tabella 2 riporta, ai fini di confronto, i risultati ottenuti applicando al parco impianti considerato la funzione di costo proposta in modo da quantificare la somma di CAPEX+OPEX nell'ipotesi di implementazione di sistemi di trattamento avanzati ex-novo.

Tabella 2 – Costi di CAPEX e OPEX aggregati per l'adeguamento di impianti con capacità di progetto superiore ai 150.000 A.E. riferiti al contesto nazionale italiano definiti in linea con Pistocchi et al., 2022.

Trattamenti quaternari (O ₃ , GAC, UF/MF)	Capex+Opex [€/a]	Capex+Opex [€/A.E./a]
C_{adv}=1000* PE^-0.45	su AE serviti	per ID 150.000 A.E.
	102.543.486	4,7
	su AE progetto	per ID 1.000.000 A.E.
	165.745.365	2,0

Fonte: Elaborazione ENEA sul Waterbase UWWTD (EEA, 2021) e dati di letteratura (Pistocchi et al., 2022)

La Tabella 3, infine, riporta le stime di costo ottenute tenendo conto della consistenza specifica delle linee impiantistiche in esame, decurtando i valori di CAPEX ed OPEX precedentemente calcolati e riportati in Tabella 1 in ragione delle effettive unità di trattamento presenti presso gli impianti considerati.

Tabella 3 – Costo effettivo di filiera integrata in base alla consistenza impiantistica degli ID nazionali > 150.000 A.E., desunta dal database EEA 2021.

TRATTAMENTI QUATERNARI E FILIERE	TRATTAMENTI PRESENTI IN EEA 2021	CAPEX+OPEX MEDIO FILIERA [€/a]	CAPEX+OPEX [€/AE/a]	CAPEX MEDIO [€/a]	CAPEX MEDIO TOTALE [€]	OPEX MEDIO [€/a]
O ₃	O ₃ +FS	69.316.040	1,8	41.929.790	644.563.648	27.386.249
GAC	FS	141.955.168	3,7	76.041.231	1.168.940.096	65.913.937
O ₃ + GAC	O ₃ + FS	170.937.874	4,4	101.025.312	1.553.006.665	69.912.562
UF + GAC	MF	16.532.568	8,2	86.545.415	1.330.415.160	229.987.152

Fonte: Elaborazione ENEA

Per garantire dunque l'adeguamento del parco impiantistico italiano agli obiettivi della direttiva europea, con riferimento agli impianti di depurazione con capacità di progetto superiore ai 150.000 A.E. (n.107 impianti), prendendo in considerazione le tecnologie e le filiere di trattamento quaternario che, in accordo con la letteratura di settore, risultano le più appropriate ai fini della rimozione dei contaminanti emergenti e adeguando le stime di costo in base alle unità di trattamento avanzate che risultano già presenti, si ottengono valori indicativi dei fabbisogni economici del parco depurativo preso in esame. Nello specifico, l'investimento (CAPEX) medio per l'intero parco impiantistico, varia da un minimo di circa 645 milioni di euro ad un massimo di 1,5 miliardi di euro a seconda della tipologia di trattamento applicato.

PER LEGGERE E SCARICARE IL BLUE BOOK



Il Mini Book è la pubblicazione mensile della Fondazione Utilitatis che espone temi rilevanti, in particolare per i settori idrici e ambientali.

La Fondazione Utilitatis promuove la cultura e le *best practice* della gestione dei Servizi Pubblici Locali tramite l'attività di studio e ricerca, e la divulgazione di contenuti giuridici, economici e tecnici.