

Recupero di energia termica in fognatura ed effetti sulla depurazione delle acque

Il recupero di energia termica dalle acque reflue può contribuire significativamente al conseguimento della neutralità energetica del settore dei servizi idrici. L'applicazione di tecnologie per il recupero è una soluzione di rilevante interesse per favorire la transizione verso nuovi sistemi energetici e far fronte alle sfide del cambiamento climatico. Partendo da un caso studio relativo alla fognatura di Bologna, il presente lavoro discute i possibili approcci e gli effetti potenziali di tale recupero energetico sull'efficienza dei processi di trattamento delle acque reflue.

DOI 10.12910/EAI2023-017

di **Davide Mattioli, Gianpaolo Sabia**, Laboratorio T4W - Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui - ENEA, **Margherita Altobelli, Marco Maglionico**, Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

IGestori del Sistema Idrico Integrato sono sempre più concentrati sui consumi energetici, identificando ed esplorando le potenzialità di recuperi e riutilizzo nei propri sistemi, in ottica di efficientamento e riduzione dei costi di gestione. L'applicazione di tecnologie per il recupero dell'energia idrotermica dalle acque reflue risulta essere attualmente una soluzione di rilevante interesse, per favorire la transizione verso nuovi sistemi energetici e far fronte alle sfide imposte dai processi connessi al cambiamento climatico.

Le acque reflue municipali contengono una quantità di energia idrotermica recuperabile 2,5 volte più elevata rispetto all'energia chimica immagazzinata come COD. Una valutazione di massima della disponibilità di energia termica relativa al settore depurativo italiano, basata sul dato di portata stimato di circa 9,8 miliardi di m³ di reflui per anno, nell'ipotesi di un salto termico di 5°C, 24 ore al giorno, 365 giorni

all'anno, porta ad un valore di circa 200 PJ, corrispondenti a quasi il 15% del mercato complessivo di energia termica in Italia per edifici residenziali e servizi. In ottica di recupero del calore dalle acque reflue sono perseguibili più approcci sulla base del punto e della scala di intervento. In particolare, l'implementazione di soluzioni tecnologiche per il recupero dell'energia idrotermica può avvenire a scala locale (all'interno dell'edificio), a scala interme-

dia (lungo i collettori principali), a larga scala (a valle dell'impianto di depurazione). Ciò è possibile perché le acque reflue sono un vettore di energia che nasce negli edifici e termina a valle del depuratore, prima che le acque siano restituite all'ambiente. Infatti, l'acqua riscaldata, prodotta in ambito domestico, viene scaricata ancora calda nei collettori fognari e le temperature che si possono registrare variano da 15°C a 25°C durante tutto il corso dell'anno

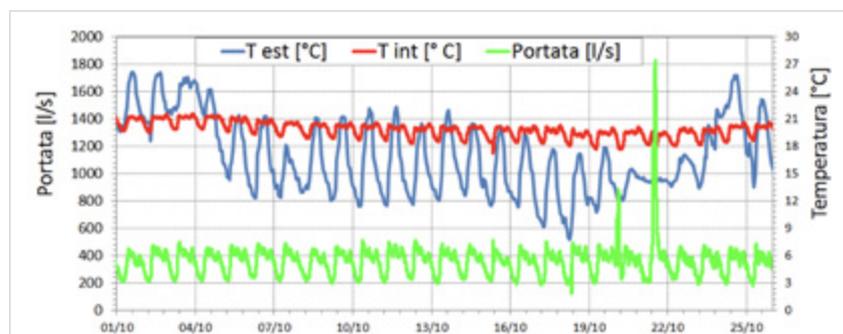


Fig. 1 - Rappresentazione dell'andamento della temperatura dell'aria esterna (T_{est}), della temperatura del refluo (T_{int}) e della portata (medie orarie) registrate in un collettore della rete fognaria della città di Bologna nel mese di ottobre, che evidenziano i cicli di variabilità giornaliera sia delle temperature che delle portate.

(Fig. 1). La perdita di energia termica attribuibile alle acque reflue è pari al 15% dell'energia termica complessivamente fornita all'edificio e tale valore può salire fino al 30% negli edifici ben coibentati. Gli elementi essenziali di un impianto di recupero dell'energia idrotermica sono costituiti da uno scambiatore, che consente lo scambio di calore tra due fluidi a differente temperatura senza che ci sia contatto diretto e una pompa di calore, che permette di estrarre energia termica da una sorgente a bassa temperatura (in questo caso l'acqua proveniente dallo scambiatore), utilizzando energia elettrica. Le pompe di calore usualmente utilizzate in questi sistemi sono caratterizzate da un COP (Coefficient Of Performance) fino a 4,5. Ciò significa che per ogni 4,5 kWh trasmessi al sistema di climatizzazione la pompa di calore consuma 1 kWh di elettricità. In accordo con l'UCPTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity in Europa) 1 kWh di energia elettrica corrisponde a 2,5 kWh di energia primaria prodotta a partire da fonti fossili. **Appare quindi evidente come le emissioni di CO₂ derivanti da sistemi alimentati da fonti fossili siano notevolmente superiori a quelle riconducibili a un sistema di recupero del calore da acque reflue.**

Le attività di ricerca

Il laboratorio Tecnologie per l'uso e gestione efficiente di acqua e reflui T4W di ENEA, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali dell'Università di Bologna, nell'ambito del progetto Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali (Accordo di Programma MiSE-ENEA, PTR 2019-2021) ha svolto un'attività di ricerca nell'ipotesi di predisporre sistemi di recupero del calore a scala intermedia,

prendendo a riferimento la **rete fognaria della città di Bologna**. Nello specifico, sono state condotte valutazioni sulla **potenzialità energetica della rete fognaria** considerata^[1] e sono stati indagati gli effetti delle conseguenti escursioni termiche sulle performance depurative degli impianti di depurazione^[2]. **I parametri fondamentali per valutare il potenziale di recupero di calore dalle acque reflue in fognatura sono essenzialmente: la temperatura del suolo, la portata e la temperatura del reflu.** Dall'analisi di sensitività dei diversi fenomeni coinvolti, svolta con il software TEMPEST^[3], sviluppato da Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, per calcolare le dinamiche e i profili spaziali longitudinali della temperatura delle acque reflue nelle fognature, è emerso che i parametri più significativi che influenzano la temperatura del reflu, a parità di condizioni climatiche esterne, sono: il materiale della condotta, la temperatura e le proprietà termiche del suolo. In particolare, le proprietà

del suolo condizionano evidentemente le modalità di propagazione del calore dall'ambiente esterno al collettore fognario, ma anche dal collettore verso l'ambiente esterno. Analogamente, la profondità a cui è posato il collettore influenza tali scambi termici.

Si è scelto di rappresentare, attraverso mappe di potenzialità dei sistemi fognari, la capacità di recupero di energia termica dalle acque reflue; per l'implementazione delle mappe è stato utilizzato il software QGIS, che ha consentito la raccolta dei dati relativi a tutte le caratteristiche della rete e del territorio, il calcolo dei parametri inerenti alla metodologia sviluppata e la loro rappresentazione. I dati relativi alla rete fognaria di Bologna ed alle portate di tempo secco sono stati ricavati dal modello idraulico, realizzato con il software open source SWMM 5 distribuito dall'US-EPA^[4].

Nell'immagine di Fig. 2 si è riportata la mappa relativa all'indice di potenzialità energetica (PE).

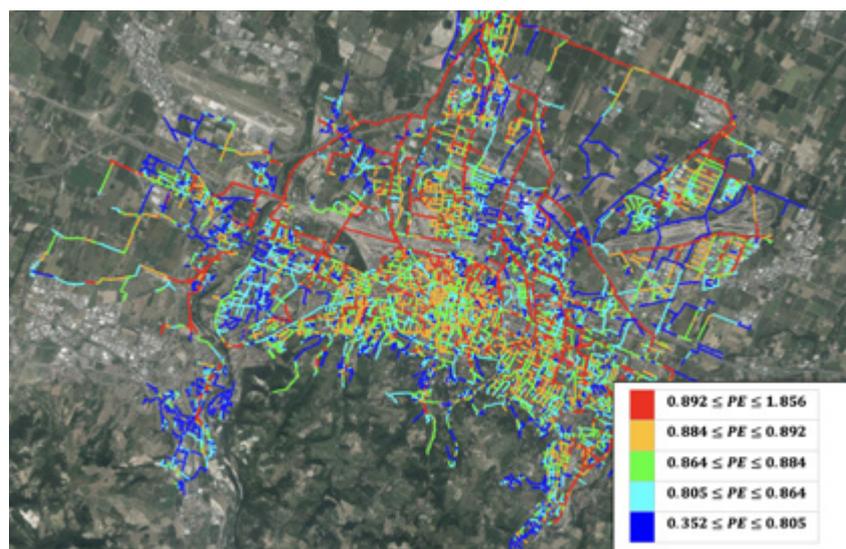


Fig. 2 - Indice di potenzialità energetica (PE) rappresentato attraverso il software QGIS per la fognatura della città di Bologna. I diversi colori evidenziano le differenti potenzialità dei vari collettori che costituiscono il reticolo drenante.

Le mappe di potenzialità energetica

Le mappe di potenzialità energetica permettono la visualizzazione immediata delle condotte fognarie maggiormente idonee all'installazione della tecnologia per il recupero del calore dalle acque reflue, tenendo conto dei parametri che maggiormente ne influenzano l'efficienza. Attraverso l'introduzione di tali mappe mirate alla semplificazione del processo di identificazione dei collettori più idonei, si vuole semplificare ed accrescere l'applicabilità di tali tecnologie, al fine di migliorare il bilancio energetico del ciclo idrico urbano. **Date le potenzialità di recupero di energia termica dalle acque reflue in fognatura, è necessario valutare l'effetto della diminuzione della temperatura delle acque reflue immesse nella rete fognaria.** Per questo è stato esaminato l'impatto sulle prestazioni degli impianti di depurazione, tramite approccio modellistico, in termini di tassi di **rimozione del carico di azoto**. Sono stati utilizzati differenti software in serie per la simulazione di scambi termici delle acque reflue nella rete fognaria e nelle vasche di impianti di depurazione e per l'analisi degli andamenti dei processi biologici di nitrificazione e denitrificazione responsabili della rimozione dei carichi azotati. Lo scambio di calore nei collettori fognari, tra le acque reflue e l'ambiente, è stato

studiato tramite l'impiego del già citato software TEMPEST, mentre per il calcolo della variazione netta di temperatura delle acque reflue nelle vasche di trattamento dell'ID si è utilizzato il codice di calcolo "Basin Temperature" sviluppato da ricercatori dell'University of California, dell'Università di Firenze e del Politecnico di Milano^[5]. Le simulazioni hanno permesso di calcolare le variazioni termiche nei diversi mesi dell'anno, dipendenti soprattutto dalla differenza tra la temperatura dei reflui e la temperatura del suolo. I risultati hanno consentito di verificare come, in presenza di recupero termico in fognatura, in virtù delle temperature mediamente più basse dei reflui fognari, lo scambio termico tra reflui terreno determina un limitato riscaldamento netto dei reflui per tutto il periodo invernale. Successivamente, il software BioWin 6.0 sviluppato da EnviroSim Associates Ltd^[6] è stato utilizzato per la simulazione di un impianto di depurazione standard di media potenzialità prevedendo per il comparto biologico vasche anossiche e aerobiche in serie, con ricircolo della portata areata, in modo da analizzare l'effetto delle variazioni termiche stagionali dei reflui sul metabolismo dei batteri ammonio e nitrito ossidanti e denitrificanti. Dai risultati ottenuti è stato possibile verificare come, per il range di variazione di temperatura calcolato, l'entità degli effetti

sul metabolismo batterico risulta principalmente connesso ai tempi medi complessivi di permanenza dei fanghi nel comparto biologico (i.e. SRT Sludge Retention Time). Per impianti con SRT < 20 giorni, come la maggior parte degli impianti di denitrificazione-nitrificazione esistenti, vi sono significativi effetti di inibizione della nitrificazione con implicite riduzioni dei tassi di rimozione dei carichi azotati. Lo studio ha evidenziato come, per questo tipo di impianti, in alternativa al recupero di energia termica in fognatura, il recupero termico a valle dello scarico sia da preferire, giacché in tale casistica non sono richiesti interventi di modifica strutturale e le rese energetiche sono solo leggermente inferiori. Tale differenza modesta è inoltre controbilanciata dalla migliore qualità dell'acqua in uscita all'impianto di depurazione, che facilita la gestione dello scambiatore di calore, meno soggetto a processi di sporco, e dalle minori variazioni di portata. **In merito all'utilizzo dell'energia generata, occorre valutare attentamente quale sia la domanda in prossimità dell'impianto di depurazione. Qualora l'ID abbia un SRT maggiore di 20 giorni, invece, il recupero di calore direttamente dalla fognatura è un'opzione valida, che può essere considerata.**

per info: davide.mattioli@enea.it

Riferimenti:

1. Maglionico M. Altobelli M. (2021) Recupero del calore dalle acque reflue Report RdS/PTR2020
2. Mattioli D., Giuliano A., Sabia G., Petta L., Di Fabio S., Granieri M., Nuzzi R., Langone M., Farina R. (2021). Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione. Report RdS/PTR2021/185
3. Dürrenmatt, D. J., & Wanner, O. (2008). Simulation of the wastewater temperature in sewers with TEMPEST. *Water Science and Technology*, 57(11), 1809-1815. doi:10.2166/wst.2008.291
4. Rossman, L. Storm Water Management Model; User's Manual; 2015;
5. S. Lippi, D. Rosso, C. Lubello, R. Canziani, and M. K. Stenstrom, "Temperature modelling and prediction for activated sludge systems," *Water Sci. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 125-131, 2009, doi: 10.2166/WST.2009.587;
6. EnviroSim Associates LTD. Available online: <http://envirosim.com/products/biowin>.