

Tecnologie e sistemi intelligenti per la gestione sostenibile della risorsa idrica

La gestione sostenibile delle risorse idriche è fondamentale per l'agricoltura, il settore più idroesigente a livello nazionale, per garantire la sicurezza alimentare e mitigare la competizione per l'approvvigionamento idrico, fenomeno acuito da eventi siccitosi sempre più frequenti a causa dei cambiamenti climatici. L'adozione di pratiche agricole sostenibili, l'ottimizzazione dei consumi idrici ed energetici e l'utilizzo di fonti idriche non convenzionali, come le acque reflue depurate, sono misure indispensabili nell'ottica del Water-Energy-Food Nexus. Questo contributo descrive alcune attività ENEA in questo ambito, evidenziando l'importanza di un approccio integrato per affrontare le sfide idriche del settore agricolo.

DOI 10.12910/EAI2024-054

di Luigi Petta, Gianpaolo Sabia, Davide Mattioli, Laboratorio ENEA Tecnologie per la Gestione Circolare di Acqua e Reflui e Girolamo Di Francia, Saverio De Vito, Laboratorio ENEA Energia e Data Science - ENEA

Le interconnessioni tra il sistema idrico integrato, il sistema energetico ed il sistema agricolo – alla base del cosiddetto Water-Energy-Food (WEF) Nexus – rappresentano un aspetto cruciale da considerare nella pianificazione degli usi delle risorse al fine di garantire la sicurezza alimentare, l'efficienza e la sicurezza energetica, la sostenibilità ambientale, la competitività economica e l'innovazione tecnologica. Il comparto maggiormente idroesigente in Italia è il settore agricolo, con 11,6 miliardi di m³ di acqua prelevata e che, in base a dati Istat 2014 (ISTAT 2014, 6° Censimento Generale dell'Agricoltura Utilizzo della Risorsa Idrica a fini Irrigui in agricoltura ISBN: 978-88-458-1805-9), nel periodo 2015-2019 ha costituito in media il 56% del fabbisogno idrico totale, ponendo in evidenza il tema della efficienza d'uso e della compatibilità con i fabbisogni idrici per gli altri usi.

Il caso dell'impiego dell'acqua in ambito agricolo per scopi irrigui appare da questo punto di vista emblematico: più fonti riportano che questo settore consuma oltre il 70% dell'acqua utilizzabile per irrigare solo il 25% delle terre arabili, il che lascia intravedere notevoli margini per l'efficientamento dei processi, in particolare per la digitalizzazione ed il controllo dei consumi idrici ed energetici.

Fenomeni competitivi per l'approvvigionamento della risorsa idrica

D'altro canto, fenomeni competitivi per l'approvvigionamento della risorsa idrica si presentano in particolare in concomitanza di prolungati eventi siccitosi, la cui frequenza è aumentata negli ultimi decenni, come conseguenza dei cambiamenti climatici in atto. Diviene quindi essenziale ricorrere a sistemi sostenibili di gestione della risorsa in ambito agrico-

lo, in termini di fabbisogni energetici e di risparmio di risorse, che includono mini-stoccaggi idrici ed il ricorso a fonti idriche non convenzionali come i reflui depurati, congiuntamente all'applicazione di pratiche agricole sostenibili.

La pratica del riutilizzo degli effluenti depurati viene normata dal recente Regolamento (UE) 741/2020 e richiamata dalla nuova Direttiva (UE) 2024/3019 sul trattamento delle acque reflue urbane. Gli impianti di depurazione si vanno quindi a configurare come veri e propri "processi produttivi" in grado di garantire risorsa idrica riutilizzabile, con volumi pressoché costanti nel tempo e con un livello di qualità 'fit-for-purpose', cioè modulabile in base alle effettive esigenze d'uso.

In termini quantitativi, il potenziale di recupero di acque reflue trattate in Italia è dell'ordine di circa 5,9 mld m³/anno considerando gli impianti di

potenzialità superiore a 2.000 A.E. (circa 4,2 mld m³/anno considerando i soli impianti con capacità superiore a 10.000 A.E. e con livello di trattamento superiore al secondario [1]. Per consentire il riutilizzo in sicurezza, gli impianti di depurazione sono chiamati a rispondere a nuove sfide in termini di adeguamento tecnologico con l'introduzione di processi in grado di garantire anche la rimozione di microinquinanti emergenti.

Tali esigenze di adeguamento si aggiungono agli altri fabbisogni imposti dal nuovo contesto normativo per il settore depurativo, che tra l'altro dovrà garantire il collettamento ed il trattamento degli agglomerati minori (superiori ai 1.000 A.E.), il recupero di materie prime seconde dalle acque reflue ed il miglioramento dell'efficienza energetica fino al conseguimento della neutralità entro il 2045, secondo specifiche scadenze temporali.

Per rispondere alle esigenze di efficientamento delle tecniche irrigue e fornire una risposta ai nuovi fabbisogni depurativi ed alle sfide tecniche e gestionali per favorire il riutilizzo agricolo delle acque reflue depurate, si rende necessaria la valutazione e l'introduzione di nuove metodologie, tecnologie e sistemi di supporto agli operatori del settore. ENEA è particolarmente impegnata su questi fronti in virtù di diverse attività di ricerca molte delle quali in collaborazione con diversi gestori di impianti di depurazione.

Le attività dell'ENEA

Per quanto riguarda l'efficientamento dei processi irrigui, ENEA conduce attività di ricerca nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca Sistema Elettrico 2025-27, Progetto Risorse Idriche e Sistema Energetico finalizzato alla costruzione di un modello del campo agricolo dal punto di vista

del fabbisogno idrico (digital twin, [2]) per mantenere la specifica coltura in condizioni di crescita ottimali. Il modello viene realizzato grazie ad una rete di sensori IoT, già oggi utilizzati in ambito agricolo (e.g. sensori di umidità del suolo, come rappresentato in Figura 1, [3]).

La mappa così prodotta è inviata ad un sistema di gestione (DSS, Decision supporting System) che confronta lo stato del terreno digitalmente ricreato con le previsioni metereologiche per lo specifico luogo stabilendo se e quando, eventualmente, sia necessario procedere alla irrigazione della coltura. Il sistema di pompaggio asservito al processo agricolo viene quindi attivato nel momento prestabilito, ottimizzando il processo di irrigazione per il corretto ristabilimento dei livelli di acqua nel suolo.

Questo processo è particolarmente virtuoso se la fonte di energia utilizzata è di tipo rinnovabile (e.g. impianto fotovoltaico tradizionale o galleggiante), con la possibilità di immissione in rete dell'energia prodotta e non impiegata per gli scopi irrigui. Ulteriori

margini di ottimizzazione sono rappresentati dalla possibilità di scelta del periodo temporale più favorevole per la vendita alla rete elettrica per massimizzare la rendita del gestore dell'impianto.

Nel caso di sistemi PV flottanti su bacini idrici va inoltre considerato il vantaggio rappresentato dalle minori perdite per evapotraspirazione dai bacini stessi che possono ridursi anche del 40% consentendo un contestuale risparmio di acqua per il processo agricolo.

Come facilmente intuibile, il sistema qui descritto in versione semplificata può essere integrato introducendo nuovi parametri di misura e nuove grandezze da monitorare corrispondenti ai sottosistemi che compongono l'ecosistema W/E/F localmente: ciascuna rete di sensori fornirà un ulteriore layer di conoscenza al sistema DSS, contribuendo all'ottimizzazione del processo di irrigazione e di crescita delle colture, garantendo l'efficienza energetica e la salvaguardia della risorsa idrica, con risparmi anche superiori al 70% [4].

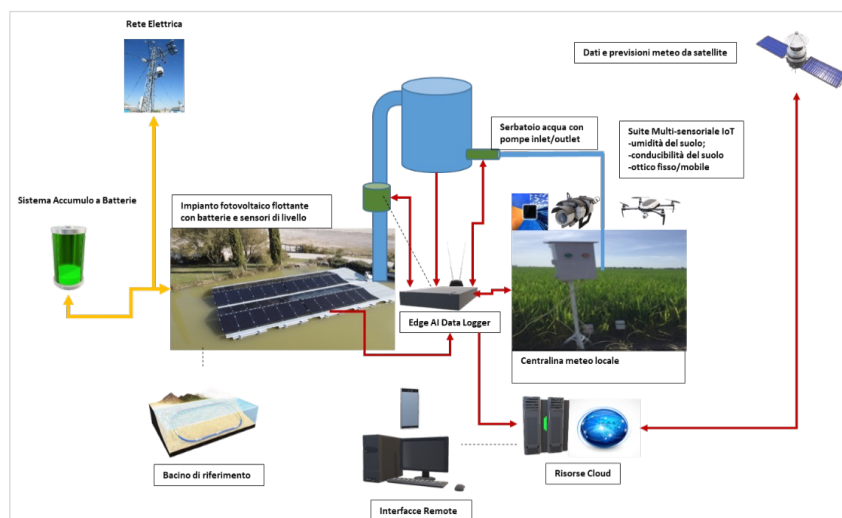


Figura 1: In questo sistema di irrigazione smart, la rete di nodi sensoriali nel campo coltivato guida l'irrigazione del campo a seconda delle necessità. Ciò comporta un notevole risparmio idrico di acqua utilizzabile anche per altri usi e, al contempo, un significativo risparmio di energia elettrica.

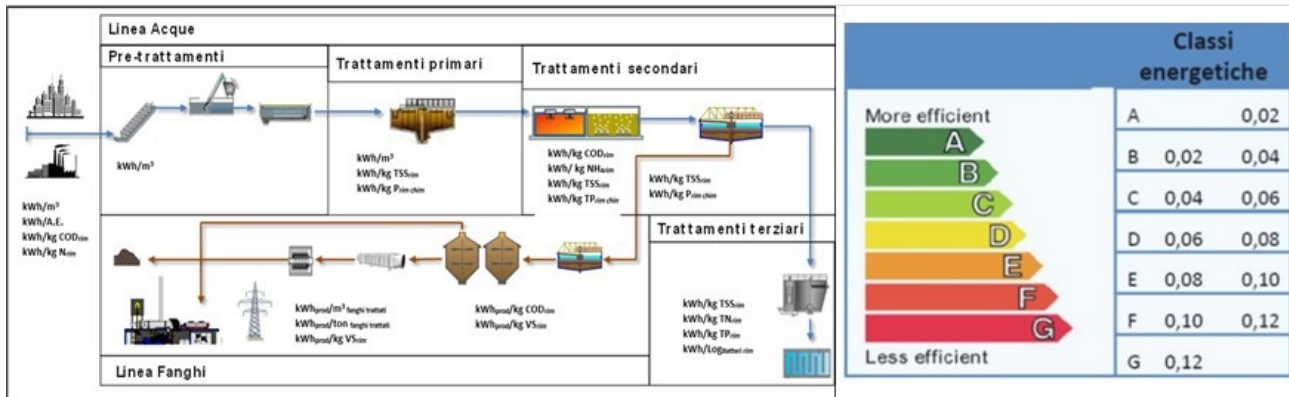


Figura 2: Nella parte sinistra si rappresenta un tipico schema di impianto di depurazione, suddiviso in sezioni di trattamento, riportando gli indicatori di performance energetica (KPI) riferiti all'intero impianto e alle singole sezioni. A destra, i criteri per l'attribuzione delle classi energetiche sulla base di un indice sintetico (GEI, Global Efficiency Index) sviluppato da ENEA.

Valutare l'efficienza energetica degli impianti di depurazione

Per quanto concerne il tema del riuso, sono tuttora in corso **attività in collaborazione con il Gruppo HERA finalizzate alla messa a punto di un sistema per il monitoraggio on-line della qualità degli effluenti depurati in relazione ai parametri previsti dal Reg. (UE) 741/2020 e della carica microbiologica (*E. coli*)**, presso l'impianto di depurazione di Cesena. Le attività sono state avviate nell'ambito del progetto VALUE CE-IN (POR-FESR 2014-2020) e proseguono **nell'ambito dei progetti Ecosister (PNRR EI - Mis-**

sione 4 Componente 2 Investimento 1.5) ed Intech4Water (PR-FESR 2021-2027).

Analogamente, nell'ambito delle attività di ricerca previste dalla Ricerca di Sistema Elettrico (PTR 2022-24 ma anche nel successivo PTR 2025-27), **sono state e verranno indagate tecnologie di trattamento quaternario in grado di garantire i necessari rendimenti di rimozione dei microinquinanti emergenti**, garantendo al contempo la sostenibilità e l'ottimizzazione energetica dei processi. Nello stesso ambito progettuale, inoltre, si sta provvedendo alla **definizione e messa a punto di un approccio per**

la valutazione dell'efficienza energetica degli impianti di depurazione (rappresentato in Figura 2), la loro classificazione e l'individuazione, mediante l'uso di modelli matematici di simulazione delle linee di trattamento impiantistico, di possibili scenari di ottimizzazione [5], [6], [7], [8]. Le misure di intervento sugli impianti includono anche l'opzione, prevista dal nuovo contesto normativo in divenire, di coniugare le loro esigenze gestionali ed operative con gli obiettivi di neutralità energetica, mediante schemi di produzione di energia rinnovabile off-site.

per info: luigi.petta@enea.it

Riferimenti Bibliografici:

1. Waterbase UWWTD - data call 2021 <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/6244937d-1c2c-47f5-bdf1-33ca01ff1715>.
2. Warren Purcell, Thomas Neubauer, Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review, Smart Agricultural Technology, Volume 3, 2023, 100094, ISSN 2772-3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.
3. Dhanaraju, M.; Chenniappan, P.; Ramalingam, K.; Pazhanivelan, S.; Kaliaperumal, R. Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. Agriculture 2022, 12, 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
4. Cáceres, G.; Millán, P.; Pereira, M.; Lozano, D. Smart Farm Irrigation: Model Predictive Control for Economic Optimal Irrigation in Agriculture. Agronomy 2021, 11, 1810. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091810>.
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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