

DEPURAZIONE

ACQUA - ARIA - SUOLO

I sistemi ZLD Zero Liquid Discharge GESTIONE DEI REFLUI

Un insieme di tecnologie e soluzioni progettate per eliminare il rilascio di qualsiasi effluente liquido da un impianto, recuperando acqua e materiali preziosi

Negli ultimi anni, l'attenzione verso la sostenibilità ambientale e la riduzione dell'impatto delle attività industriali sull'ecosistema è cresciuta esponenzialmente. In questo contesto, i sistemi di scarico zero (ZLD - Zero Liquid Discharge) si sono affermati come una soluzione innovativa ed efficace per la gestione delle acque reflue. Tali sistemi sono infatti progettati per garantire che i reflui prodotti dai processi industriali non vengano scaricati nell'ambiente, ma piuttosto recuperati e riutilizzati. Questo approccio non solo minimizza l'inquinamento, ma permette anche il riutilizzo di preziose risorse idriche, contribuendo a una maggiore efficienza nei consumi. Inoltre, le aziende che adottano pratiche sostenibili come l'adozione di sistemi ZLD migliorano la loro reputazione e attraggono investimenti. L'implementazione di un sistema ZLD offre quindi numerosi vantaggi, ma è necessario valutare diversi aspetti, a cominciare dai costi di investimento iniziali, sebbene nel lungo periodo il riutilizzo delle acque reflue porta a significativi risparmi. Va altresì detto che adottare un sistema ZLD aiuta le aziende a rispettare normative sempre più rigorose riguardo la gestione delle acque reflue, oltre che essere agevolati nell'accedere a bandi e finanziamenti.



FUNZIONAMENTO DEI SISTEMI ZLD E TECNOLOGIE EMERGENTI

Il funzionamento di un sistema ZLD si basa su diverse tecnologie integrate, che includono:

- Pretrattamento che consiste nella rimozione dei solidi sospesi, delle sostanze inquinanti, di COD (domanda chimica di ossigeno) e torbidità mediante processi chimici e fisici. Nel sistema ZLD la concentrazione dei solidi disciolti viene solitamente ottenuta mediante tecnolo-

gie a membrana, quali l'osmosi inversa (RO), l'elettrodialisi (ED) o una combinazione di RO ed ED, con cui è possibile ottenere un recupero superiore al 98% dell'acqua trattata.

- Evaporazione delle acque trattate, che permette di separare l'acqua dai solidi disciolti mediante evaporatori a film sottile o evaporatori multi-effetto.

- Cristallizzazione dei solidi residui che vengono poi raccolti, permettendo di ottenere materiali utili da rivendere per ulteriori lavorazioni

(come certi sali tipo NaCl, Na₂SO₄, ecc.) o da smaltire in modo sicuro. I processi di cristallizzazione stanno infatti guadagnando attenzione per la loro capacità di trasformare i sali presenti nelle acque reflue in solidi facilmente gestibili.

- Recupero dell'acqua condensata durante il processo di evaporazione, che può essere riutilizzata nei cicli produttivi, riducendo così la richiesta di nuova acqua.

Recentemente, sono state sviluppate diverse tecnologie emergenti nel campo dei sistemi ZLD, tra cui: membrane avanzate di filtrazione, come le membrane osmotiche, che consentono un trattamento dell'acqua più efficiente e sostenibile; biotecnologie, che offrono approcci innovativi per il trattamento delle acque reflue attraverso l'uso di microorganismi.

EVAPORATORI E CRISTALLIZZATORI

Nell'ambito dei sistemi ZLD gli evaporatori e i cristallizzatori sono le due tecnologie principali.

Gli evaporatori termici sono quegli strumenti che consentono una concentrazione efficiente delle acque reflue, riducendo praticamente a zero il volume dei liquidi da smaltire

ZERO LIQUID DISCHARGE

e quindi da trattare. L'efficienza stessa dell'evaporatore termico è quindi essenziale per consentire significativi risparmi energetici rispetto ad altri metodi convenzionali. La cristallizzazione è diventata la tecnologia fondamentale nel ZLD e rappresenta il miglior modo per recuperare e riciclare i rifiuti solidi. Il metodo consiste nel trasformare la materia solubile presente nelle acque reflue in particelle solide attraverso la cristallizzazione, al fine di facilitare la successiva separazione e il riutilizzo. Tali impianti funzionano inducendo la sovrassaturazione in una soluzione attraverso il riscaldamento e l'evaporazione dell'acqua, che stimola il soluto a formare cristalli solidi che possono essere separati e raccolti.

I recenti sviluppi nei metodi di cristallizzazione hanno migliorato drasticamente le prestazioni dei processi ZLD, consentendo un miglior recupero di prodotti preziosi dai reflui industriali. Questi successi riflettono non solo la capacità tecnica della cristallizzazione, ma anche il suo potenziale di trasformare i rifiuti in risorse, ridurre la generazione di rifiuti e garantire una tecnologia verde.

APPLICAZIONI INDUSTRIALI

I sistemi ZLD trovano applicazione in numerosi settori industriali. Nella produzione chimica, ad esempio, l'acqua è frequentemente utilizzata come solvente. I sistemi ZLD permettono di riciclare l'acqua, riducendo così la dipendenza da fonti d'acqua esterne e minimizzando i rifiuti tossici.

Anche le operazioni estrattive generano enormi quantità di acque reflue. Implementando sistemi ZLD, le aziende possono trattare i reflui minerari, recuperando metalli e mi-

nerali preziosi. Stesso dicasi per l'industria alimentare e delle bevande, un comparto che produce elevate quantità di reflui biologici. Con i sistemi ZLD, è possibile trattare e riutilizzare queste acque di scarico, ottimizzando le risorse idriche. In generale, i settori industriali in cui i sistemi ZLD trovano applicazione sono: industria farmaceutica, chimica, petrolifera e oil&gas, produzione di energia, acciaierie e industria mineraria, industria cartaria, concerie e industria tessile, alimenti e bevande, agricoltura, trattamento acqua potabile.



I SISTEMI ZLD IN ITALIA E NEL MONDO

I sistemi ZLD sono oggi più diffusi in India, Cina e Medio Oriente per ragioni ambientali e di scarsità idrica, ma stanno prendendo piede anche in Europa e Usa, soprattutto in settori tessile, energia, chimico e alimentare. Esistono, infatti, interessanti casi reali e progetti pilota, principalmente in quegli ambiti dove l'acqua è un costo rilevante e le normative sugli scarichi sono stringenti.

Tra gli esempi italiani di applicazioni ZLD o quasi-ZLD, possiamo citare: la Centrale Enel di Torrealaliga Nord nel Lazio, dove sono stati installati sistemi avanzati di trattamento e riciclo delle acque di processo, con l'obiettivo di minimizzare (e in alcuni cicli azzerare) gli scarichi liquidi, specialmente per le acque di raffreddamento e di lavaggio caldaie; la raffineria Eni di Sannazzaro de' Burgondi a Pavia, che ha adottato sistemi di trattamento che spingono verso il riuso totale delle acque reflue interne, avvicinandosi al modello ZLD per ri-

Continua a pag.28

ZERO LIQUID DISCHARGE

Continua da pag. 27

I sistemi ZLD Zero Liquid Discharge

durre gli scarichi nel fiume Po; nei poli chimici Versalis di Ravenna e Priolo Gargallo, in cui parte degli impianti è già dotata di sistemi a ciclo chiuso con riciclo spinto delle acque reflue industriali; il distretto conciario di Santa Croce sull'Arno in Toscana, dove le concerie hanno consorzi di depurazione con sistemi di riciclo spinto delle acque di processo, e alcuni impianti hanno linee che raggiungono il concetto di ZLD, recuperando acqua per riutilizzo interno e trasformando i concentrati in sali riutilizzabili; il distretto tessile di Prato, di cui molte aziende usano sistemi di ultrafiltrazione e osmosi inversa per recuperare acqua dalle tintorie, con alcuni progetti pilota di ZLD a scala industriale; numerosi stabilimenti farmaceutici in Lombardia ed Emilia-Romagna, come Menarini e Chiesi, hanno introdotto sistemi di trattamento spinto per riutilizzare internamente gran parte delle acque reflue, con tecnologie tipiche del ZLD (evaporatori sottovuoto + RO); consorzi lattiero-caseari in Emilia-Romagna e Veneto, con alcuni caseifici che hanno adottato sistemi ZLD per ridurre scarichi e recuperare acqua dal siero e dai reflui di lavaggio, riutilizzandola in processi non a contatto con il prodotto; stabilimenti di imbottigliamento come San Benedetto, Nestlé, San Pellegrino, che hanno avviato impianti di trattamento avanzato con recupero quasi totale dell'acqua usata nei cicli produttivi.

INDUSTRIA TESSILE, SISTEMI ZLD E USO DI CO₂

Il settore tessile è caratterizzato da acque di scarico alcaline che derivano principalmente da processi produttivi che coinvolgono prodotti chimici caustici come l'idrossido di sodio e la calce idrata. Queste sostanze sono comunemente utilizzate nelle fasi di preparazione, tintura e finitura, soprattutto per i tessuti in cotone e pelle. Di conseguenza, gli effluenti generati presentano livelli di pH elevati, spesso superiori a 11. Se rilasciati senza un adeguato trattamento, questi reflui possono danneggiare le infrastrutture, alterare gli habitat acquatici e contaminare suolo e falde acquifere. I metodi di neutralizzazione con-



venzionali in genere prevedono l'aggiunta di acidi minerali forti, come l'acido solforico o cloridrico. Pur essendo efficaci nell'abbassare il pH, queste sostanze possono aumentare la salinità dell'effluente introducendo solfati o cloruri e sollevano problemi di sicurezza a causa della loro natura corrosiva e dei requisiti di manipolazione. Un approccio alternativo e più sostenibile per neutralizzare tali reflui alcalini prevede l'uso dell'anidride carbonica che, quando viene disciolta in acqua, reagendo con le sostanze alcaline forma acido carbonico (H₂CO₃), un acido debole in grado di regolare il pH in modo graduale e controllato. Questa tecnica offre diversi vantaggi rispetto ai metodi tradizionali, tra cui: riduzione dell'uso di prodotti chimici e dei costi operativi; minore impatto ambientale grazie all'assenza di in-

quinanti secondari (ad esempio, cloruri, solfati); maggiore sicurezza, poiché la CO₂ non presenta gli stessi rischi di manipolazione degli acidi minerali; maggiore precisione e controllo nel processo di regolazione del pH.

Tra l'altro la CO₂ necessaria al trattamento può essere ottenuta dai processi di combustione industriale, ossia dai gas di scarico di caldaie o generatori della stessa industria tessile, i quali contengono una percentuale significativa di CO₂, che può essere catturata e purificata in loco. Ciò non solo ne consente il riutilizzo, ma contribuisce anche alla riduzione delle emissioni atmosferiche di CO₂. Il gas purificato viene quindi introdotto nei reflui attraverso un sistema dedicato che ne garantisce la diffusione e la reazione ottimale. In alternativa, la CO₂ può essere fornita anche in forma compressa

(bombole), consentendo un'implementazione flessibile e modulare. Grazie all'uso di CO₂, quindi, che riduce efficacemente l'alcalinità senza un'eccessiva acidificazione, l'acqua ottenuta può essere sottoposta a ulteriori trattamenti o riutilizzata nel ciclo produttivo. Infatti, questo metodo di trattamento L'uso della CO₂ per la neutralizzazione delle acque reflue industriali può essere perfettamente integrato in sistemi per il recupero totale dell'acqua. Nelle configurazioni ZLD, infatti, la CO₂ facilita il trattamento di flussi alcalini senza aumentare il carico salino, che altrimenti potrebbe compromettere i processi a valle come l'ultrafiltrazione, l'osmosi inversa o l'evaporazione. L'integrazione della neutralizzazione con CO₂ con soluzioni avanzate di trattamento delle acque industriali, come lo ZLD, risponde a esigenze operative immediate, rappresentando strumenti essenziali per un'industria tessile più resiliente e responsabile dal punto di vista ambientale.

SCENARIO FUTURO DELLA TECNOLOGIA ZLD

I sistemi ibridi che combinano varie tecnologie in un unico sistema possono rappresentare un'opzione interessante per migliorare i processi ZLD. Quando l'efficienza dell'osmosi inversa è combinata con evaporatori di ultima generazione, questi sistemi massimizzano il recupero dell'acqua nonché l'efficienza energetica. I costi operativi e l'impatto ambientale vengono ridotti, riducendo gli ostacoli sulla strada verso lo ZLD, ad esempio, l'alto consumo di energia e i costi di manutenzione.

I sistemi ibridi hanno molti vantaggi. Un beneficio importante è l'alto tasso di recupero dell'acqua che riduce la quantità di scorie per unità di acqua destinata a trattamenti termici. Ad esempio, una soluzione membrana-termica può fornire tassi di recupero molto elevati anche con effluenti complessi. Con lo sviluppo di questo approccio è presumibile che le future innovazioni nel campo dello ZLD possano essere legate all'uso di materiali più sostenibili e all'IA per migliorare le prestazioni e la flessibilità dei sistemi ZLD.

Nel prossimo futuro, soluzioni avanzate come membrane autola-



Continua a pag. 30

ZERO LIQUID DISCHARGE

Continua da pag. 28

I sistemi ZLD Zero Liquid Discharge

vanti e media filtranti rafforzati con nanoparticelle potrebbero rivoluzionare lo ZLD. Questi sviluppi offrono la possibilità di migliorare l'efficienza e la durata dei sistemi di trattamento, il che aprirebbe lo ZLD a un ventaglio più ampio di industrie.

PIU' EFFICIENZA OPERATIVA GRAZIE ALL'AI

L'intelligenza artificiale svolge un ruolo sempre più fondamentale nell'ottimizzazione delle prestazioni e dell'efficienza del sistema ZLD. Grazie all'uso dell'IA, le aziende possono raggiungere livelli senza precedenti di efficienza operativa attraverso il monitoraggio in tempo reale e l'analisi predittiva. Questo salto tecnologico consente un controllo preciso sui processi di trattamento, garantendo un'allocazione ottimale delle risorse e minimizzando i tempi di inattività.

I sistemi ZLD più efficaci sono quelli in grado di adattarsi ai cam-



biamenti in tempo reale. Ad esempio, l'IA può prevedere la tendenza di incrostazioni e inquinamento nei sistemi a membrana, così che le azioni preventive/ proattive possano essere eseguite prima che diventino problemi gravi. Questa strategia preventiva non solo migliora le prestazioni, ma aumenta anche la durata di un componente, riducendo i costi di manutenzione e il tempo di inattività.

SFIDE E CONSIDERAZIONI

Nonostante i significativi vantaggi, l'implementazione di sistemi ZLD presenta anche alcune sfide, a cominciare dall'investimento iniziale per installare e gestire impianti ZLD che può essere veramente elevato, il che può rappresentare una barriera per alcune aziende. Come pure i costi energetici per il loro funzionamento, ma su questo aspet-

to alcune aziende stanno sperimentando una gestione intelligente delle forniture di energia, includendo fonti di energia rinnovabile, e l'uso dell'intelligenza artificiale per ottimizzare il controllo degli impianti.

Altro aspetto riguarda la complessità delle tecnologie coinvolte, che richiedono competenze specializzate e formazione del personale.

Da non sottovalutare è anche la gestione dei residui solidi perché, anche se i sistemi ZLD riducono le acque reflue, possono comunque generare solidi residui che devono essere gestiti in modo adeguato.

CONCLUSIONI

I sistemi di Zero Liquid Discharge rappresentano quindi una soluzione promettente per affrontare le sfide legate alla gestione delle risorse idriche e alla sostenibilità ambientale. Sebbene ci siano ostacoli nell'implementazione, i vantaggi a lungo termine per le aziende e per l'ambiente giustificano l'investimento in queste soluzioni. Inoltre, con l'evoluzione tecnologica è probabile che i sistemi ZLD diventino sempre più comuni nel panorama industriale globale.