

Trattamento di acque reflue oleose ad alta concentrazione salina

Marco Apicella,
Nunzio
Bonavita
ABB SpA

Sistema innovativo sviluppato da ABB e utilizzato con successo in diversi impianti di estrazione di petrolio e gas in Nord Africa

Le acque reflue rappresentano un importante problema ambientale in svariati settori industriali [1]: metallurgico, tessile, automobilistico, petrolchimico e aeronautico. Il trattamento convenzionale degli effluenti di processo richiede infatti normalmente una combinazione di processi fisici, chimici e biologici.

Le acque reflue oleose provenienti dai processi di estrazione e lavorazione del gas e del petrolio sono per la maggior parte composte da acqua intrappolata nelle formazioni sotterranee, che viene portata in superficie insieme al gas o al petrolio: in termini di volumi, è il principale sottoprodotto associato alla produzione di questi idrocarburi. La gestione delle acque reflue oleose presenta notevoli sfide e costi elevati per gli operatori [2] e il loro smaltimento può essere problematico in termini ambientali, a causa della loro natura altamente salina.

Oltre all'acqua di formazione, le acque reflue negli impianti di estrazione del gas contengono anche acqua condensata durante il processo e hanno un contenuto più elevato di idrocarburi aromatici a basso peso molecolare, come il benzene, il toluene, l'etilbenzene e lo xilene (BTEX) rispetto ai sottoprodotti dell'estrazione del petrolio. Per questo motivo sono più tossiche delle acque reflue oleose dagli impianti petroliferi. Dagli studi condotti è emerso che le acque scaricate dalle piattaforme di estrazione di gas condensato sono circa 10 volte più tossiche di quelle scaricate dalle piattaforme petrolifere [3].

I sistemi di bonifica delle acque reflue oleose per diversi decenni si sono basati sullo standard API



Il trattamento delle acque reflue oleose provenienti dai processi di estrazione e lavorazione di petrolio e gas risulta particolarmente impegnativo a causa dell'alta concentrazione salina.

In questo articolo si introduce un sistema innovativo e brevettato di trattamento delle acque reflue, sviluppato da ABB e già utilizzato con successo in diversi impianti di disoleazione in Nord Africa. Dopo una descrizione sintetica degli impianti e della tecnologia utilizzata, saranno presentati i primi risultati operativi e i relativi vantaggi, nonché le possibili applicazioni in altri settori industriali.

Salty oily-water treatment technology

Managing oily-waters resulting from Oil&Gas extraction and treatment (Produced Water) is a major challenge due to the high-salt concentration of the wastewater.

This paper introduces an innovative, patented water-treatment technology, developed by ABB and successfully applied on several oily-treatment plants in Northern Africa. After a brief description of the plants and the technology employed, the first operative results are presented. An analysis of the possible extensions to other industrial processes completes the article



650 per la separazione delle acque oleose (OWS), che prevede bacini di decantazione a cielo aperto, con il successivo recupero della parte oleosa flottante e con il trattamento delle acque reflue in bacini di mantenimento, per conferire infine i reflui a impianti di *landfarming*. Questa tecnica ha comportato notevoli livelli di inquinamento, sia atmosferico che delle falde. I sistemi OWS certamente non sono rispondenti ai requisiti più rigorosi delle

moderne normative ambientali, né possono essere utilizzati in siti remoti come opzione di impianto di trattamento completo.

Le acque reflue oleose possono in genere essere separate in una fase acquosa e in una oleosa con sistemi di separazione gravitazionale, per mezzo di un separatore API o di un separatore a piastre parallele. L'olio che si raccoglie in superficie può essere asportato con diversi metodi. Per le separazioni più difficili, o per avere la garanzia di risultati migliori o di un recupero più veloce, si può ricorrere anche alla flottazione. Quest'ultima può essere abbinata anche all'aggiunta di additivi chimici, per migliorare la separazione tra olio e acqua. L'ultrafiltrazione è un'importante tecnologia utilizzata per purificare le acque reflue e renderle idonee allo scarico nei sistemi fognari e produrre un concentrato oleoso sufficientemente ricco da poter essere utilizzato per la combustione.

Nuove configurazioni della tecnologia di separazione hanno consentito svariate nuove opzioni per il trattamento delle acque oleose: dagli idrocycloni ai filtri a coalescenza, dalla flottazione ad aria disciolta fino all'uso dell'ultrafiltrazione per separare e concentrare i singoli reflui. Questi metodi, da un lato, offrono una buona risposta di processo con numerosi valori di portata e consentono di rispettare il limite di 100 mg/l di idrocarburi totali, tipicamente previsto dalle normative sul trattamento, ma non sono in grado di rientrare nei limiti delle nuove proposte di legge europee sulla tutela dell'ambiente e rischiano di non essere conformi alla Direttiva Atex relativa ai processi in ambienti esplosivi [4].

Nessuno di questi metodi di filtrazione consente però la riduzione dei metalli pesanti, del COD (Contenuto Ossigeno Disciolto), dell'azoto e del fosforo nelle acque reflue oleose, senza abbinarvi processi di trattamento più avanzati, come la precipitazione chimica, l'*air stripping*, l'ossidazione chimica o la filtrazione tramite carboni attivi. Tuttavia, questi processi avanzati non sono in genere adatti

all'implementazione in siti remoti e possono produrre residui che richiedono un ulteriore trattamento o lo smaltimento come rifiuti speciali.

Gli impianti di disoleazione dell'acqua

Dal 2000 al 2006 ABB ha studiato e costruito in Nord Africa sette impianti per la disoleazione delle acque reflue oleose, ubicati in tre diverse aree, per un'importante società del settore oil & gas. La costruzione dei sette impianti è stata portata a termine da ABB in collaborazione con Sarpi (joint-venture tra ABB e Sonatrach).

Dopo la consegna, gli impianti sono stati gestiti e sottoposti a manutenzione dal personale locale fino al 2007 quando, a fronte di un cambiamento delle politiche aziendali, si è deciso di affidare a un'impresa esterna i relativi servizi.

ABB e Sarpi sono inoltre state selezionate per la gestione e manutenzione, con modalità *full service*, per un periodo di 5 anni, di quattro degli impianti di disoleazione costruiti.

La tecnologia di processo

È possibile schematizzare tre cicli di trattamento distinti.

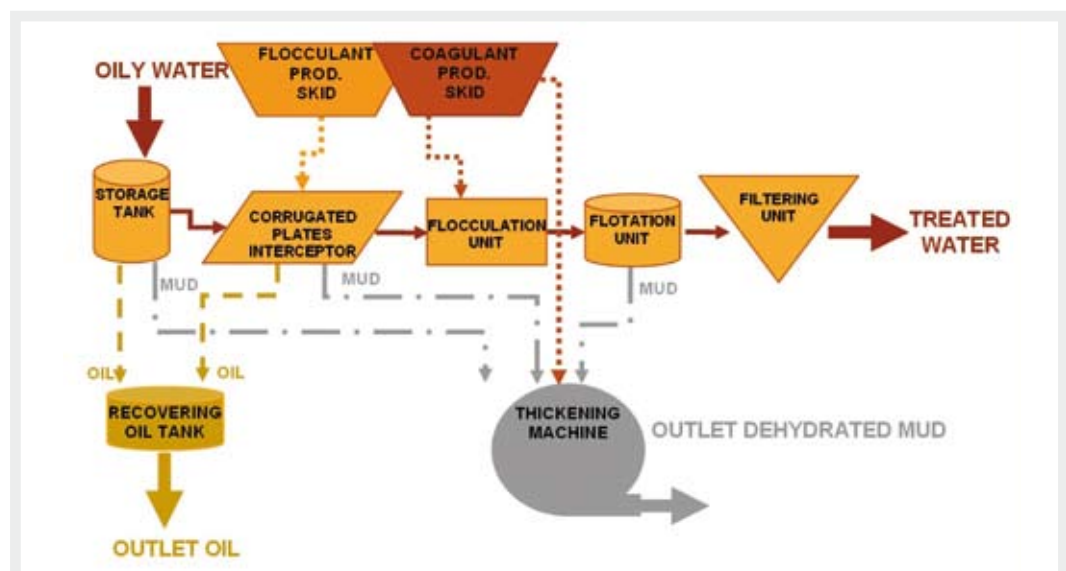
• Ciclo di trattamento acque

L'acqua proveniente dall'impianto di estrazione del gas e del petrolio, contenente idrocarburi e particelle solide in sospensione, viene raccolta in un serbatoio di stoccaggio. L'acqua viene fatta passare attraverso un CPI (*Corrugated Plate Interceptor*) e quindi giunge a un'unità di flocculazione, dove vengono aggiunti additivi chimici specifici (flocculanti e coagulanti). L'acqua è poi trasferita a un'unità di flottazione e quindi viene fatta passare attraverso un'unità di filtrazione, prima di essere iniettata sottoterra.

• Ciclo di trattamento olio

Gli idrocarburi flottanti sulla superficie dell'acqua

Fig. 1 - Le cinque fasi principali del processo di trattamento delle acque oleose



all'interno del serbatoio di stoccaggio e nel CPI vengono raccolti mediante disoleatori (a disco) e raccolti in un serbatoio per l'olio di recupero, prima dell'invio all'impianto di produzione del cliente.

• Ciclo di trattamento fanghi

I flocchi sviluppatasi all'interno del CPI e dell'unità di flocculazione sono inviati all'unità di flottazione. L'aggregazione dei flocchi prosegue fino a che si trasformano in fanghi, che vengono raschiati dall'unità di flottazione e inviati all'ispessitore. Vengono inviati all'ispessitore anche i fanghi raccolti sul fondo del serbatoio di stoccaggio, nell'unità di flottazione e nell'unità di flocculazione.

Il processo di trattamento acque è costituito da cinque fasi principali (**figura 1**):

- stoccaggio;
- separazione fisica;
- flocculazione (additivi chimici);
- flottazione;
- ispessimento e disidratazione.

L'acqua proveniente dall'impianto di estrazione gas e petrolio contiene idrocarburi e particelle solide in sospensione. Queste impurità vengono eliminate con metodi fisici (differenza di densità; sedimentazione; filtrazione; centrifuga statica) e con l'aggiunta di specifici additivi chimici.

Nella fase di stoccaggio, inizialmente l'acqua viene raccolta nel serbatoio di stoccaggio, dove gli idrocarburi più leggeri si raccolgono sulla superficie e vengono recuperati tramite il disoleatore e inviati al serbatoio di recupero.

Dal serbatoio di stoccaggio l'acqua viene trasferita al CPI per dare il via al processo di separazione fisica dell'acqua dagli idrocarburi. L'olio che galleggia sulla superficie dell'acqua viene recuperato per mezzo di un disoleatore (a disco) e inviato al serbatoio dell'olio di recupero. L'acqua all'interno del CPI viene addizionata con uno specifico agente flocculante per consentire la produzione di flocchi, che continuano ad aggregarsi fino a quando si depositano come fanghi, facilitando così il recupero degli idrocarburi e delle particelle solide.

La terza fase avviene nell'unità di flocculazione (**figura 2**), dove all'acqua presente viene aggiunto uno specifico coagulante al fine di rimuovere il materiale colloidale (**figura 3**).

Dall'unità di flocculazione l'acqua passa all'unità di flottazione, dove si inietta aria compressa che formando piccole bollicine raggruppa i flocchi e li porta in superficie. I solidi galleggianti vengono rimossi e inviati all'ispessitore. L'acqua trattata segue poi un iter diverso a seconda della sede:

- in una regione, l'acqua dopo il trattamento passa in un bacino esterno dove evapora;
- nell'altra regione viene inviata a un'unità di filtrazione e quindi viene iniettata nel sottosuolo.

Nella quinta e ultima fase, che consiste nell'ispessimento solido e nell'essiccazione, le particelle so-



Fig. 2 - Unità di flottazione



Fig. 3 - Acqua in uscita dall'unità di flottazione

lide raccolte nell'unità di flottazione, i fanghi provenienti dal serbatoio di stoccaggio, dal CPI e dall'unità di flocculazione vengono agglomerati e centrifugati. I fanghi centrifugati sono poi stoccati in un'area esterna.

In questi casi specifici il problema del trattamento acque è stato particolarmente difficile da affrontare. Gli autori hanno dovuto condurre lunghe ricerche e numerosi test, sperimentando svariati prodotti commerciali comunemente utilizzati per le acque industriali e oleose, ma senza giungere a risultati completamente accettabili.

La nuova formulazione stechiometrica di prodotti tradizionali ha tuttavia raggiunto risultati sorprendentemente buoni e ha fornito un'indicazione della direzione migliore in cui muoversi. Dopo avere condotto ulteriori esperimenti, si è giunti a progettare e realizzare un dispositivo montato su pallet, in grado di lavorare e preparare in automa-

tico l'additivo nel dosaggio ottimale, a partire dalle materie prime, anche in paesi in via di sviluppo.

È stata ottimizzata anche la fase di filtrazione: l'acqua che passa attraverso i filtri viene miscelata con lo stesso additivo. In tal modo la filtrazione meccanica tradizionale è supportata da una filtrazione chimica (i grani di sabbia vengono rivestiti dall'additivo chimico).

Infine, il processo è abbastanza flessibile da consentire un'ulteriore personalizzazione secondo le esigenze e/o caratteristiche specifiche dell'impianto. In base alla nostra esperienza, la capacità di comprendere le sfide relative a un particolare tipo di acqua e di ambiente e di adattarsi non è meno importante delle tecnologie utilizzate.

I vantaggi dell'implementazione del sistema innovativo

L'approccio innovativo e il relativo impianto offrono il vantaggio aggiuntivo di una relativa economicità; inoltre, è possibile eliminare in misura considerevole i metalli pesanti con un processo analogo allo scambio ionico.

Il processo di trattamento acque è stato selezionato in virtù di alcuni evidenti vantaggi intrinseci alla sua implementazione. Il nostro approccio infatti:

- può essere adattato per il trattamento di acque oleose con un grado di salinità elevato;
- non dipende dal pH delle acque da trattare;
- non dipende dalla temperatura delle acque da trattare;
- vanta la massima flessibilità in termini di portata (dallo 0 al 100% di portata massima dell'acqua in ingresso);
- aumenta il rendimento energetico minimizzando il numero di pompe, grazie all'uso della gravità.

Inoltre, il sistema è contraddistinto da un ingombro ridotto (copre un'area interna di soli 35 m di larghezza per 80 m di lunghezza), può essere gestito facilmente dagli operatori locali e utilizza additivi chimici che possono essere prodotti in loco a partire da ingredienti base facili da reperire e di costo contenuto, una caratteristica molto vantaggiosa in zone desertiche come quelle di questi progetti.

Per finire, è opportuno notare che, grazie alla sua configurazione, il sistema può essere montato su skid (in fabbrica o in laboratorio) e successivamente collaudato *in situ* prima dell'installazione e della messa in servizio finali.

Utilizzo degli impianti e dei risultati

Gli impianti sono gestiti in modo efficiente e continuativo 24 ore al giorno.

Le attività operative comprendono:

- controlli periodici dei parametri di processo (in loco e in sala comandi);
- registrazione dei valori dei parametri di processo;
- analisi dei valori dei parametri di processo e dei trend;
- gestione dell'impianto sulla base dei trend dei parametri di processo (apertura e chiusura delle valvole di controllo; aggiunta e riduzione degli additivi chimici ecc.);
- controllo visivo di impianti e strumenti;
- diagnosi preliminare in caso di funzionamento non corretto (rumorosità, vibrazioni, temperatura anomala ecc.);
- ripristino degli additivi chimici;
- registrazione dei consumi di additivi chimici;
- messa in sicurezza degli impianti prima di iniziare gli interventi di manutenzione;
- fermate programmate degli impianti;
- avviamento degli impianti;
- coordinamento con gli addetti alla manutenzione e con il tecnico di laboratorio.

Le attività di manutenzione si fondano su un piano di manutenzione dettagliato, elaborato sulla base dei manuali di manutenzione degli impianti e di un'analisi delle loro criticità, al fine di assicurare l'operatività e l'affidabilità degli impianti e di garantire la piena conformità con i requisiti in materia di ambiente, salute e sicurezza.

Il piano di manutenzione prevede la riduzione degli interventi di manutenzione correttiva e la massimizzazione della manutenzione programmata e preventiva, inclusi i seguenti interventi:

- revisioni generali;
- ispezioni delle apparecchiature statiche e meccaniche;
- controllo dei componenti elettrici e della strumentazione;
- sostituzione delle parti di ricambio;
- rabbocco dei lubrificanti;
- pulizia generale.

Al fine di assicurare un corretto funzionamento degli impianti di disoleazione, un tecnico di laboratorio responsabile dell'analisi delle acque per tutti gli impianti di una regione provvede regolarmente all'esecuzione di analisi di laboratorio. Inoltre, per assicurare un corretto funzionamento degli impianti di disoleazione, è opportuno provvedere

Tab. 1 – Risultati di qualità dell'acqua di un impianto di disoleazione

	Unità di misura	Acqua in ingresso	Acqua in uscita	Valori contrattuali
Idrocarburi (HC)	mg/kg	278,90	0,70	5
Solidi in sospensione (TSS)	mg/kg	11,05	0,34	20 (come SiO ₂)
Grado di filtrazione	µm	>> 5	< 5	5



Fig. 4 - L'acqua dopo il trattamento

giornalmente alle seguenti analisi qualitative sui campioni di acqua:

- concentrazione di idrocarburi (HC);
- concentrazione di solidi in sospensione (TSS) o della torbidità;
- grado di filtrazione (solo per una regione);
- pH (solo per il flocculante).

Dopo l'avviamento e il rodaggio dell'impianto, le analisi di laboratorio condotte hanno sempre dato risultati eccellenti, come si può vedere dalla **tabella I**.

Dalla tabella si deduce che il contenuto di idrocarburi e la concentrazione di solidi in sospensione nell'acqua in uscita sono risultati, rispettivamente, 7 e 55 volte inferiori rispetto alle specifiche contrattuali stipulate con il cliente.

Le **figure 4 e 5** mostrano una valutazione visiva dei risultati del processo di depurazione delle acque.

L'impianto utilizza apparecchiature (pompe, motori, compressori ecc.) e strumentazione (indicatori, trasmettitori ecc.) standard, che non richiedono conoscenze o esperienze specifiche agli operatori.

L'utilizzo dell'impianto di disoleazione è relativamente semplice e l'intero processo è controllato e regolato da un DCS (*Distributed Control System*) di ABB che si trova nella sala comandi.

La disposizione e il profilo idraulico dell'impianto sono studiati per massimizzare l'uso della gravità e per ridurre il numero di pompe.

I componenti elettrici e della strumentazione sono Atex. L'impianto è protetto da un sistema antincendio (acqua, schiuma e CO₂).

La costruzione e l'approntamento dell'impianto



Fig. 5 - L'acqua prima, durante e dopo il trattamento

hanno richiesto circa due anni (includendo 6 settimane per il preavviamento e la messa in servizio).

Possibili ampliamenti e conclusioni

La strategia di trattamento dell'acqua oleosa e la sua attuazione sopra descritte si sono dimostrate di grande successo per diversi aspetti:

- innanzitutto, sono stati raggiunti e superati i target di *performance* in termini di qualità dell'acqua rilasciata dopo il trattamento;
- in secondo luogo, queste *performance* sono state realizzate in un breve lasso di tempo e, con una procedura attenta e intelligente, e si sono dimostrate sostenibili nel tempo;
- da ultimo, ma non meno importante, si tratta di una configurazione a basso consumo energetico,

che consente all'operatore di minimizzare i costi di gestione.

Grazie alle sue caratteristiche intrinseche, l'approccio descritto è idoneo al trattamento delle acque reflue oleose con un grado elevato di salinità e costituisce una scelta ottimale per il trattamento delle acque reflue oleose degli impianti di estrazione di gas e petrolio.



Marco Apicella ha progettato, realizzato e gestito impianti oil & gas, centrali elettriche e progetti industriali in tutti i continenti. In ABB dal 1988 è attualmente responsabile dei progetti di Full Service e di Global Consulting nella Regione Mediterranea.



Nunzio Bonavita è Technology Manager della Divisione Process Automation di ABB per la Regione Mediterranea.

Laureato in Fisica all'Università di Pisa, dopo aver maturato esperienza nell'analisi dati e nella modellistica matematica nell'esperimento per la ricerca del Quark Top al Fermi National Laboratory (Batavia, Illinois), si è occupato di controllo di processo e simulazione in ambito industriale a partire dal 1987, prima con Elsag Bailey e successivamente con ABB.

Dopo aver ricoperto ruoli di responsabilità a livello internazionale nell'area delle applicazioni di automazione avanzata, ha esteso

il proprio campo di attività a settori quali l'ottimizzazione nella gestione delle acque in ambito industriale, in qualità di manager del relativo Centro di Competenza internazionale.

Autore di oltre 50 paper pubblicati su riviste tecniche o presentati a conferenze internazionali, dall'anno accademico 2009-2010 Bonavita è Professore a Contratto presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova.

Questa metodologia promette comunque di essere estesa senza difficoltà e con successo agli impianti di trattamento acque reflue oleose negli ambienti più svariati di produzione e trattamento di petrolio e gas. Per non parlare del potenziale e vasto mercato costituito dalla produzione di petrolio da sabbie bituminose in regioni come l'Alberta, in Canada, dove il processo di estrazione richiede volumi d'acqua considerevoli. ■

Bibliografia

- [1] Zeman L., Zydney A.L.: *Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications* – Marcel Dekker; 1996 - 618 pagine, 1996
- [2] US Department of Energy (DOE): *A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane* - W-31-109-Eng-38, 2004
- [3] Jacobs R.P., Grant R.O.H., Kwant J., Marquaine J.M., Mentzer E.: *The Composition of Produced Water from Shell Operated Oil and Gas Production in the North Sea*, "Produced Water - J.P. Ray and F.R. Englehart (Eds.), Plenum Press, New York, 1992
- [4] Orlebeke D.: *Electro-Catalytic Oxidation of Oily-Wastewater Process Streams* – http://www.waterandwastewater.com/www_services/ask_tom_archive/electro_catalytic_oxidation_of_oily_wastewater_process_streams.htm