

Contaminazione da idrocarburi: come recuperare la parte acquosa per il riutilizzo nel ciclo produttivo

■ di Antonello Dimiccoli e Laura Saviano, *consulenti ambientali, studio chimico Kemis*

Non sempre risulta conveniente gestire un refluo come rifiuto speciale allo stato liquido conferendolo a impianti terzi autorizzati, soprattutto in presenza di un alto contenuto di acqua; la problematica diviene ancor più critica quando nemmeno l'alternativa della depurazione e gestione del refluo come scarico idrico risulta praticabile e/o economicamente accessibile. Un caso realmente affrontato in un'azienda toscana dimostra come sia possibile recuperare, con evidenti benefici economici, l'acqua da un rifiuto liquido contaminato da idrocarburi, riutilizzarla all'interno del proprio ciclo lavorativo, consentendo anche una notevole diminuzione dei volumi di rifiuto speciale da smaltire ed evitando la necessità di richiedere un'autorizzazione allo scarico con le relative opere impiantistiche fognarie e depurative.

Rifiuti liquidi

Un'azienda che si occupa di rettifiche di motori di autoveicoli, mezzi pesanti e/o imbarcazioni prevede, tra le fasi preliminari del proprio ciclo lavorativo, il lavaggio delle parti meccaniche, disassemblate dai motori, per mezzo di stadi di lavaggio con detergenti. Le acque reflue prodotte, contaminate da residui oleosi, devono essere gestite, nel rispetto delle normative vigenti in materia ambientale, come scarico idrico industriale, previa depurazione e autorizzazione allo scarico, oppure, in alternativa, come rifiuto speciale allo stato liquido da smaltire presso impianti debitamente autorizzati.

Anche se la gestione delle acque reflue come rifiuto speciale allo stato liquido, conferendolo a impianto terzo autorizzato, rispetto all'alternativa della depurazione finalizzata allo scarico in un corpo recettore, presenta apparentemente (almeno nella fase di investimento iniziale) costi di investimento decisamente molto bassi - limitandosi unicamente a quello per l'allestimento di uno stoccaggio adeguato per il rifiuto - in verità, la sostenibilità economica di questa soluzione, a lungo termine, si rivela decisamente meno allettante, visti i costi fissi da dover sostenere puntualmente per il trasporto e lo smaltimento del rifiuto. L'interesse scompare quasi del tutto se si pensa di dover smaltire come rifiuto liquido un refluo contenente più del 95% di acqua. La strada obbligata, quindi, potrebbe sembrare quella della depurazione chimico-fisica con successivo scarico in un corpo idrico recettore.

Il caso

In un caso realmente affrontato per un'azienda toscana, la questione veniva decisamente complicata dalle difficoltà tecniche e dall'eccessiva onerosità economica per la movimentazione dello scarico fino al corpo recettore.

L'azienda suddetta effettua le operazioni di lavaggio con detergenti

per mezzo di due stadi:

- dapprima in una cabina a spruzzo;
- successivamente, per mezzo di idropulitrice e lancia con un getto di acqua calda ad alta pressione, impiegando acqua direttamente prelevata dalla rete dell'acquedotto comunale.

La gestione del refluo, per quanto sopra accennato, non è conveniente percorrendo la strada del rifiuto speciale; al contempo, però, l'installazione di un depuratore adeguato, in alternativa, non appare una soluzione facile e immediata, sia per lo scarico in fogna sia per lo scarico in corpo superficiale che sul suolo, per i motivi di seguito indicati.

● **Criticità per l'allacciamento in fogna:** da sopralluoghi e verifiche effettuate dal gestore del servizio idrico integrato, delegato dall'AATO, emergeva che il potenziale punto di allaccio nella rete fognaria pubblica era distante circa 500 m dallo stabilimento e avrebbe richiesto la realizzazione di uno scavo su strada asfaltata e, data l'esistenza di quote altimetriche sfavorevoli, anche di una stazione di sollevamento. Oltre agli oneri di allacciamento alla rete fognaria, andavano considerati dunque:

- i costi di investimento per la realizzazione della stazione di sollevamento e per l'acquisto del depuratore (comunque richiesto ai fini

del rispetto dei limiti di legge);

- i costi fissi di esercizio per la conduzione del depuratore e della stazione di sollevamento;
- i costi annuali per il canone di fognatura e depurazione da corrispondere al gestore del servizio idrico;

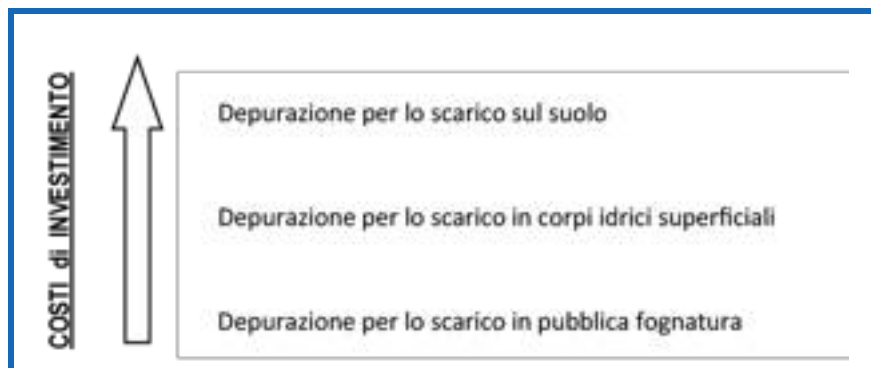
● **criticità per lo scarico in acque superficiali:** il corpo idrico superficiale immediatamente più vicino era distante ca. 600 metri lineari dallo stabilimento. La realizzazione dello scarico avrebbe richiesto, per le sole opere edili (oneri di scavo, smaltimento dei materiali di risulta, acquisto e posa in opera di condotte, chiusini, pozzetti carribili e ripristino del manto stradale) un costo di circa 50.000 €, a cui andavano sommati:

- i costi di investimento per la realizzazione della stazione di sollevamento e per l'acquisto del depuratore (comunque richiesto ai fini del rispetto dei limiti di legge);
- i costi fissi di esercizio per la conduzione del depuratore e della stazione di sollevamento.

Oltre l'ingente spesa, poi, non andavano trascurate le complicazioni date dalla necessità di tutti i permessi occorrenti per l'esecuzione dello scavo.

● **criticità per lo scarico sul suolo:** è noto come, a parità di tipologia di inquinanti da trattare, l'investimento da affrontare per le tecnologie di depurazione vari, in termini di costi, in funzione dei limiti di legge da rispettare sulle concentrazioni degli inquinanti presenti nelle acque da scaricare, ovvero in funzione del corpo recettore finale che riceve l'effluente scaricato.

In particolare, i costi di depurazione crescono all'aumentare della severità imposta dalla legge sui limiti di concentrazione, ovvero aumentano nell'ordine rappresentato in *figura 1*. La necessità di una depurazione mol-



▲ Figura 1 - Costi di investimento per la depurazione di un refluo in funzione del corpo recettore

to spinta, fino ai livelli di concentrazione residua rispettosi dei valori limite di emissione per lo scarico sul suolo, avrebbe richiesto una tecnologia impiantistica più costosa di quella necessaria per lo scarico in fogna o in acque superficiali.

A questo si aggiunga che, per gli oli minerali e gli idrocarburi, la legge impone che le concentrazioni presenti nello scarico finale siano inferiori ai limiti di rilevabilità dei metodi analitici ufficialmente riconosciuti, ovvero - in termini pratici - persiste il divieto di scarico.

Evaporazione sotto vuoto: soluzione ecosostenibile

Viste le difficoltà citate, considerato che l'incremento della competitività dei mercati pone sempre la necessità per un'azienda di avere un'elevata attenzione alla riduzione dei costi e all'efficienza dei processi di lavorazione e alla luce del notevole consumo di acqua di cui l'azienda comunque necessitava per il lavaggio dei motori nel proprio ciclo produttivo, la soluzione ragionevolmente più adeguata al caso specifico sembrava doversi orientare verso l'installazione di una tecnologia di depurazione che consentisse di recuperare l'acqua dal refluo liquido, rimuovendo, al contempo, la necessità dello scarico in un corpo recetto-

re.

L'evaporazione sotto vuoto ha rappresentato la soluzione ottimale, realizzando, in concreto, una perfetta simbiosi tra eco-efficienza e sostenibilità economica, poiché ha consentito di:

- recuperare l'acqua e riutilizzarla (la frazione distillata presenta la quasi totale assenza dei contaminati inizialmente presenti);
 - ridurre sensibilmente il volume di refluo da smaltire come rifiuto speciale liquido;
- con benefici in termini di:
- **risparmio nell'approvvigionamento di acqua** dall'acquedotto comunale, grazie al suo riutilizzo;
 - **notevole riduzione dei costi di investimento e gestione** rispetto alle soluzioni alternative di scarico sul suolo, in fogna o in corpo idrico superficiale;
 - **mancata necessità di autorizzazione allo scarico** e, quindi, enorme semplificazione procedurale/amministrativa;
 - **assenza di controlli periodici** da parte delle autorità ambientali competenti. Il riutilizzo interno delle acque non è disciplinato da norme tecniche che ne fissino i requisiti di qualità;
 - **riduzione dei rischi ambientali** per assenza di immissione di scarichi nell'ambiente, quindi riduzione del rischio di sanzioni per even-

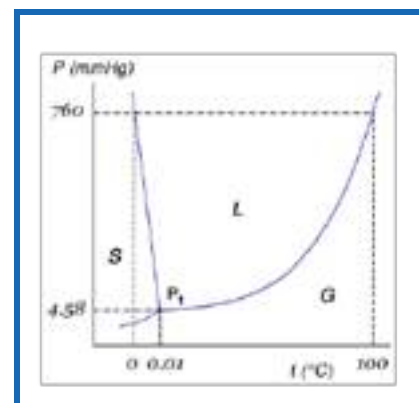
tuali violazioni;

- conseguimento di obiettivi socialmente ed economicamente utili, quali la **tutela dei corpi idrici** e la **corretta gestione della risorsa idrica**.

In *tabella 1* è riportata la caratterizzazione chimico-fisica del refluo tal quale.

Principio di funzionamento dell'impianto

L'evaporazione sotto vuoto consiste nel far evaporare l'acqua, contenuta in una soluzione acquosa, a temperature minori di 100°C, mediante la creazione di un alto grado di vuoto all'interno del distillatore (un'autoclave). Rispetto alla distillazione a pressione atmosferica (cosiddetta "distillazione atmosferica"), le condizioni di lavoro comportano consumi energetici sensibilmente più bassi. È possibile rendersene conto in modo immediato osservando la curva di equilibrio liquido-vapore sul diagramma di stato "P-T" (pressione-temperatura) dell'acqua^[1] (si veda la *figura 2*). Dal grafico risulta evidente, infatti, come un vuoto spinto di 4,58 mmHg di pressione assoluta (ovvero -755,42 mmHg di pressione al manometro) consentirebbe l'evaporazione dell'acqua pura a una tempe-



▲ Figura 2 - Diagramma di stato "P-T" dell'acqua

[1] Il diagramma si riferisce ad acqua pura e non al refluo industriale alimentato all'impianto di evaporazione.

TABELLA 1

ANALISI DELLE ACQUE REFLUE INDUSTRIALI CONFRONTATA CON I VALORI LIMITE DI SCARICO PREVISTI PER I CORPI RECETTORI AMMISSIBILI

Parametro	Unità di misura	Risultati analitici (#)	Valore limite di emissione (‡)		
			rete fognaria	acque superficiali	suolo
pH	-	7,54	5,5 ÷ 9,5	5,5 ÷ 9,5	6 ÷ 8
Conducibilità a 25°C	µS/cm	1.490			
Solidi Sospesi Totali	mg/L	265	200	80	25
BOD5 (O ₂)	mg/L	403	250	40	20
COD (O ₂)	mg/L	2.114	500	160	100
Alluminio (Al)	mg/L	1,1	2,0	1	1
Arsenico (As)	mg/L	< 0,005	0,5	0,5	0,05
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01	0,02	0,02	< l.r.m. (§)
Cromo (Cr) totale	mg/L	< 0,05	4	2	1
Cromo (Cr) VI	mg/L	< 0,05	0,20	0,2	< l.r.m. (§)
Ferro (Fe)	mg/L	7,1	4	2	2
Manganese (Mn)	mg/L	0,2	4	2	0,2
Mercurio (Hg)	mg/L	0,003	0,005	0,005	< l.r.m. (§)
Nichel (Ni)	mg/L	< 0,05	4	2	0,2
Piombo (Pb)	mg/L	0,3	0,3	0,2	0,1
Rame (Cu)	mg/L	0,3	0,4	0,1	0,1
Zinco (Zn)	mg/L	1,5	1,0	0,5	0,5
Fosforo totale (P)	mg/L	4,4	10	10	2
Azoto ammoniacale (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,7	30	15	
Azoto nitroso (N)	mg/L	0,06	0,6	0,6	
Azoto nitrico (N)	mg/L	< 1	30	20	
Oli e grassi animali/vegetali	mg/L	13	40	20	
Idrocarburi Totali	mg/L	103	10	5	< l.r.m. (§)
Tensioattivi anionici	mg/L	1,7			
Tensioattivi non ionici	mg/L	15,0			
Tensioattivi Totali	mg/L	16,7	4	2	0,5
Carica batterica totale (22°C)	UFC/mL				
Carica batterica totale (36°C)	UFC/mL				
Batteri Coliformi	UFC/mL				
Escherichia Coli	UFC/mL				

(#) Metodi di prova adoperati per le determinazioni analitiche: metodi del Manuale APAT IRSA CNR 2003 per i parametri chimico-fisici; metodi UNI EN ISO per i parametri batteriologici.

(‡) Limiti di emissione per lo scarico di acque reflue industriali (Tabella 3 e Tabella 4, Allegato 5, parte terza, D.Lgs. n.152/2006).

(§) Limite di rilevabilità del metodo.

ratura di 0,01°C, decisamente più bassa di quella che sarebbe necessaria, invece, a pressione “atmosferica” (760 mmHg) e pari a 100°C. L'impianto di evaporazione sotto vuoto (si veda la *foto 1*), installato presso l'azienda, raggiunge un grado di vuoto di -0,96 bar, ovvero -720 mmHg (al manometro), equivalenti a una pressione assoluta di 40 mmHg, valore al quale, come si può

meglio osservare dalla *tabella 2*, corrisponde una temperatura di ebollizione dell'acqua di 34°C. Le acque reflue alimentate all'impianto, tuttavia, vanno riscaldate a una temperatura leggermente superiore a quella necessaria per l'evaporazione dell'acqua pura, a causa della presenza di contaminanti che ne innalzano il punto di ebollizione (cosiddetto “fenomeno

dell'innalzamento ebullioscopico dalle proprietà colligative delle soluzioni”).

Inoltre, nella distillazione sotto vuoto del refluo occorre tenere presente che, nelle condizioni di lavoro dell'impianto, non evaporerà solo l'acqua, ma tutte quelle sostanze che hanno una volatilità pari o superiore a quella dell'acqua. Nel caso in esame, però, gli inquinanti

presenti in maggiore quantità nel reflu - che vanno rimossi - sono alto bollenti (in particolare i metalli, i sali, gli oli lubrificanti e i tensioattivi) e il distillato ottenuto è destinato a essere reimpiegato per usi industriali. Pertanto, anche in presenza di un'acqua non pura, il riutilizzo non risulta affatto compromesso.

Ciclo di funzionamento dell'impianto

In figura 3 è riportato uno schema semplificato del ciclo di evaporazione e pompa di calore. L'impianto è costituito da un'autoclave tenuta sottovuoto, all'interno della quale sono situate due sezioni:

- la sezione di ebollizione (ribollitore), sul fondo;
- la sezione di condensazione (condensatore), in testa.

L'unità è gestita da un PLC^[2] (controllore logico programmabile) che consente la marcia automatica senza conduttore di impianto. L'energia utilizzata per attuare tutto il processo è esclusivamente quella elettrica.

- **Liquidi di processo.** Il liquido da depurare viene aspirato in continuo, con controllo di livello, nel-

la sezione di ebollizione dell'autoclave per effetto della depressione creata al suo interno dal sistema del vuoto. Il suo riscaldamento avviene a opera di uno scambiatore di calore, a serpentino immerso, al cui interno circola il freon caldo proveniente dal circuito della pompa di calore. Il contatto del liquido di processo con lo scambiatore di calore ne causa il riscaldamento e, quindi, l'ebollizione a bassa temperatura (circa 35-40 °C). Il vapore d'acqua che si produce, invece, sale verso l'alto ed entra in contatto con lo scambiatore di calore a fascio tubiero, al cui interno circola il freon freddo, e condensa. Il sistema del vuoto estrae il condensato insieme a eventuali gas incondensabili e li invia a un serbatoio di smiscelazione degli incondensabili. Il condensato viene scaricato in continuo per troppo pieno e inviato al serbatoio di stoccaggio (si veda la foto 5) e da qui al riutilizzo. Lo scarico del residuo di distillazione avviene per mezzo di una pompa a membrana attraverso l'apertura di una valvola di fondo pneumatica. Per minimizzare il

rischio trascinamenti di goccioline di acqua, spinte verso l'alto dall'evaporazione, che porterebbero con sé gli inquinanti, viene posto nella sezione alta dell'autoclave, subito prima della sezione di condensazione, un separatore di gocce (*demister*).

- **Sistema del vuoto.** Il sistema per la generazione del vuoto (pressione residua di 40 mmHg) è costituito da una pompa centrifuga accoppiata a un eiettore "Venturi". Quest'ultimo utilizza come fluido motore il distillato prodotto dall'evaporatore stesso. Il sistema del vuoto è raffreddato con regolazione autonoma in modo da aumentare l'efficienza del sistema del vuoto che dipende dalla temperatura del fluido motore. Nella foto 6 si può osservare un particolare della linea del vuoto con in evidenza l'eiettore Venturi.
- **Circuito della pompa di calore.** Le calorie necessarie per l'evaporazione del liquido e le frigorifiche necessarie per la condensazione del vapore sono sviluppate da un circuito termodinamico a pompa di calore con freon. Quest'ultimo, in fase vapore, è riscaldato per effetto della compressione da

TABELLA 2

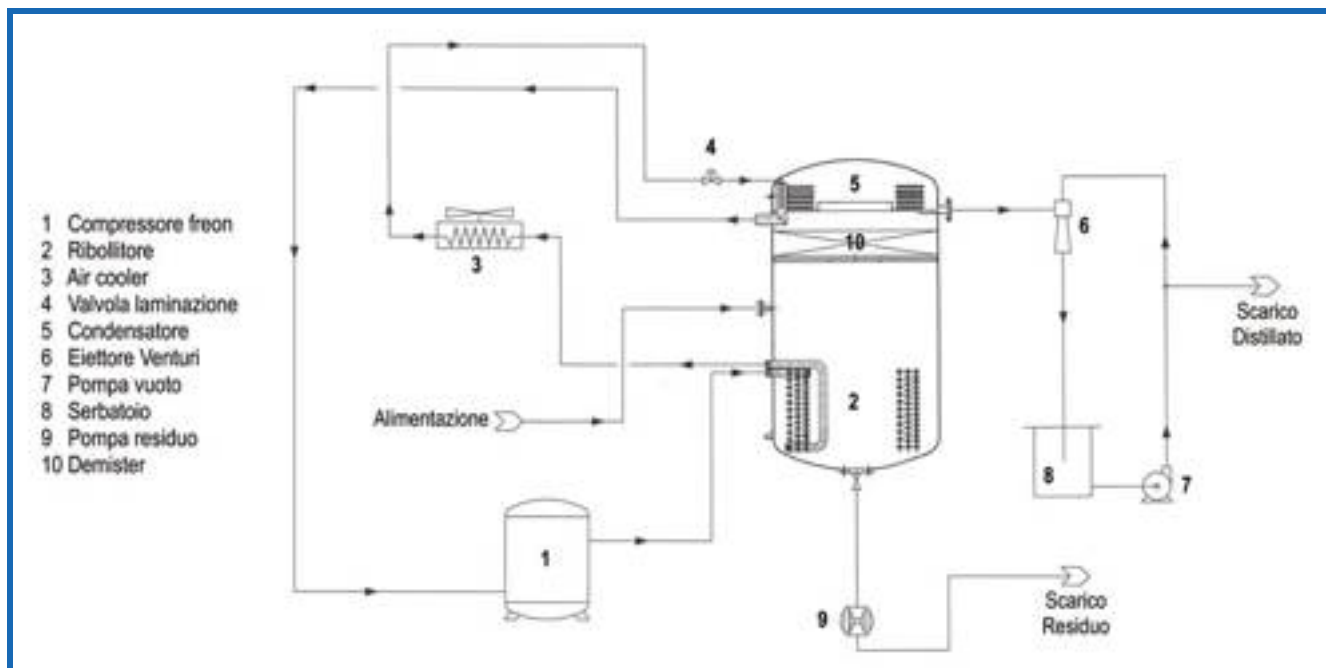
TENSIONE DI VAPORE DELL'ACQUA (‡)

(T_{EB} = TEMPERATURA DI EBOLLIZIONE; T_{VAP} = TENSIONE DI VAPORE)

T_{EB} (°C)	T_{VAP} (mmHg)	T_{EB} (°C)	T_{VAP} (mmHg)	T_{EB} (°C)	T_{VAP} (mmHg)
20	17,5	27	26,7	34	39,9
21	18,7	28	28,3	35	42,2
22	19,8	29	30,0	36	44,6
23	21,1	30	31,8	37	47,1
24	22,4	31	33,7	38	49,7
25	23,8	32	35,7	39	52,4
26	25,2	33	37,7	40	55,3

(‡) fonte: Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th ed., R.H. Perry, D.W. Green, McGraw-Hill Companies.

[2] PLC è l'acronimo di "programmable logic controller".



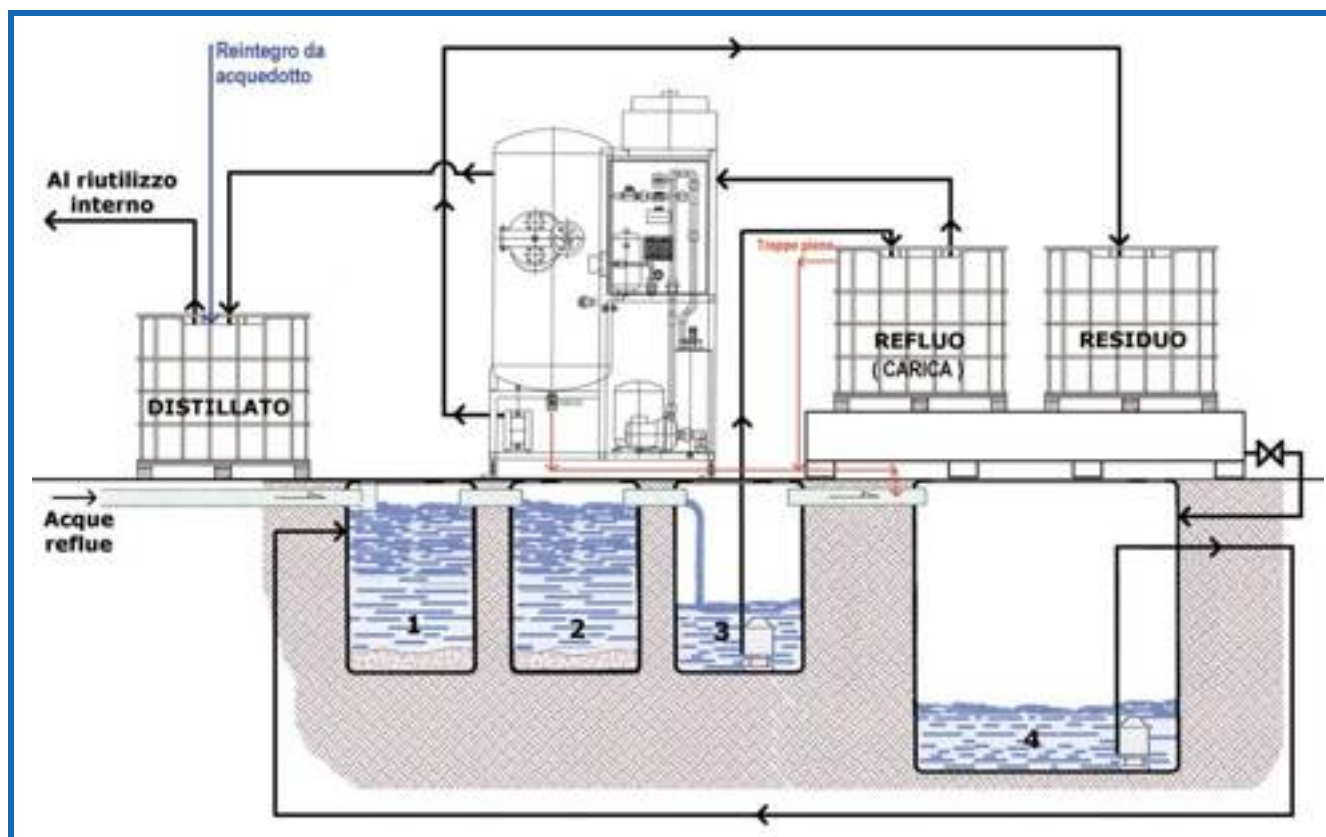
▲ Figura 3 - Schema semplificato del ciclo di evaporazione e pompa di calore

parte di un compressore ad azionamento elettrico; in seguito, passa attraverso lo scambiatore a serpentino immerso e cede una parte del suo calore al liquido in fase di trattamento. In questo modo, il freon si raffredda e inizia a condensare. Uno scambiatore "a pacco alettato" (*air cooler*) completa la condensazione del fluido refrigerante cedendo il calore in eccesso all'ambiente. A questo punto il freon in fase liquida viene inviato ai due circuiti di espansione (sezione di condensazione e serbatoio del distillato del sistema del vuoto).

- Per effetto dell'espansione, attraverso le valvole di laminazione, il freon si raffredda e assorbe calore evaporando. Un ramo del circuito raggiunge lo scambiatore a fascio tubiero, in testa all'autoclave, per condensare il vapore d'acqua prodotto dall'apparecchiatura, mentre l'altro ramo raggiunge lo scambiatore del sistema del vuoto per mantenerne l'efficienza. Il ciclo si chiude con la riunificazione dei due rami del circuito e l'aspirazio-



▲ Foto 1 - Impianto di evaporazione sotto vuoto da 700 L/giorno



▲ Figura 4 - Schema generale del processo di depurazione e riutilizzo del rifiuto liquido

ne del fluido refrigerante in fase vapore da parte del compressore.

L'evaporatore e il riutilizzo del distillato nel processo industriale

In riferimento allo schema generale dell'impianto riportato in figura 4 e nelle foto 2, 3 e 4:

- **stoccaggio del refluo da trattare (carica impianto).** Le acque reflue industriali, generate nel piazzale di lavaggio motori, vengono canalizzate verso tre serbatoi interrati, disposti in serie, che consentono di ottenere una sedimentazione grossolana preliminare. La geometria delle condutture di deflusso evita di far accumulare strati oleosi nei primi due serbatoi favorendo l'invio della fase oleosa al depuratore. Dal serbatoio 3 il refluo viene pompato a una cisternetta, fuori terra, in polietilene, che funge da ser-

batoio di carica del depuratore, dotata di linea di scarico per troppo pieno, recapitante nel serbatoio 4 che funge da stoccaggio di emergenza. I controlli di livello, gestiti da PLC, arrestano l'evaporatore in caso di basso livello nel serbatoio di carica. Il serbatoio di stoccaggio di emergenza consente un'autonomia tale da coprire i tempi di intervento del manutentore dell'impianto in caso di *upset*;

- **alimentazione all'evaporatore.** Il refluo contenuto nel serbatoio di carica del depuratore viene direttamente aspirato, per effetto della depressione, dall'evaporatore e sottoposto a processo di evaporazione sottovuoto da cui si ottengono il distillato e il residuo concentrato;
- **dosaggio di additivi in linea.** L'impianto di evaporazione è dotato di un sistema di dosaggio,

completamente gestito da PLC, che consente, quando necessario, l'aggiunta di un additivo sulla linea di carica dell'impianto, immediatamente a monte dell'ingresso nell'evaporatore (antischiuma, battericida ecc.);

- **estrazione del distillato, stoccaggio e suo riutilizzo.** L'estrazione del distillato avviene in automatico sulla linea di ricircolo del vuoto. Il distillato viene così raccolto in un barilotto e da qui, con controllo di livello e valvola automatica, inviato al serbatoio di accumulo del distillato costituito da una cisternetta, fuori terra, in polietilene. Le acque distillate vengono inviate al riutilizzo interno mediante autoclave, installata all'interno del serbatoio di accumulo, alimentando sia la cabina a spruzzo, sia l'idropulitrice con lancia. A causa delle perdite evaporative dell'acqua che inevita-



▲ Foto 2 - Rifiuto liquido contaminato da idrocarburi



▲ Foto 3 - Stoccaggio interrato del refluo contaminato



▲ Foto 4 - Accumulo di emergenza del refluo contaminato

bilmente si generano per effetto della nebulizzazione prodotta dall'idropulitrice, è stata anche collegata una linea di reintegro del livello minimo nel serbatoio di accumulo delle acque distillate. Il reintegro avviene con acqua prelevata dall'acquedotto comunale;

● **estrazione e rilancio del residuo concentrato, stoccaggio e smaltimento.**

L'evaporazione dell'acqua, all'interno del depuratore, fa sì che il prodotto di fondo si vada progressivamente concentrando di prodotti altobollenti. Raggiunta la concentrazione desiderata, verificata con una presa campioni di fondo, il residuo viene scaricato tramite una pompa, comandata manualmente dal pannello di controllo, e inviato in un serbatoio di accumulo costituito da una cisternetta, fuori terra, in polietilene. Una serie di prove in campo hanno consentito di stabilire che è possibile marciare con l'impianto per 15-20 giorni prima di dover scaricare il residuo. Una volta riempito il serbatoio di accumulo del residuo, questo viene sostituito agevolmente con un nuovo serbatoio. Il residuo concentrato viene gestito come rifiuto speciale liquido e conferito a ditta specializzata e autorizzata per lo smaltimento. Come si può notare dalla *foto 4*, al di sotto dei serbatoi di stoccaggio della carica impianto e del residuo concentrato è stato posto un bacino di contenimento affinché, in caso di perdite accidentali delle cisternette, il liquido ivi raccolto possa essere trasferito all'interno del serbatoio 4.

Grado di abbattimento degli inquinanti

In *tabella 3* sono riportati i risultati della caratterizzazione chimico-fisica del refluo in uscita dall'impianto (distillato), confrontati con il refluo in entrata ("tal quale").

TABELLA 3

ANALISI DEL REFLUO IN USCITA DALL'IMPIANTO (DISTILLATO) CONFRONTATA CON IL REFLUO IN ENTRATA (TAL QUALE)

Parametro	Unità di misura	Risultati analitici (#)	
		tal quale	distillato
pH	-	7,54	6,05
Conducibilità a 25°C	μS/cm	1490	69
Solidi Sospesi Totali	mg/L	265	< 0,1 (§)
BOD5 (O ₂)	mg/L	403	45
COD (O ₂)	mg/L	2114	123
Ferro (Fe)	mg/L	7,1	< 0,01 (§)
Oli e grassi animali/vegetali	mg/L	13	< 0,01 (§)
Idrocarburi Totali	mg/L	103	< 0,01 (§)
Tensioattivi Totali	mg/L	16,7	3,6
Carica batterica totale (22°C)	UFC/mL		assente
Carica batterica totale (36°C)	UFC/mL		assente
Batteri Coliformi	UFC/mL		assenti
Escherichia Coli	UFC/mL		assente

(#) Metodi di prova adoperati per le determinazioni analitiche: metodi del Manuale APAT IRSA CNR 2003 per i parametri chimico-fisici; metodi UNI EN ISO per i parametri batteriologici.

(§) Limite di rilevabilità del metodo.



▲ Foto 5 - Serbatoi di stoccaggio della carica (a sinistra) e del residuo di distillazione



▲ Foto 6 - Particolare della linea del vuoto con l'eiettore Venturi (sulla destra)

Come si può osservare dalla *tabella*, il trattamento di depurazione del refluo industriale, generato

dalle operazioni di lavaggio dei motori e delle loro parti meccaniche, consente di ottenere acque distilla-

te con un elevato grado di abbattimento degli inquinanti.

In particolare, vista la presenza di



▲ Foto 7 - Campioni in ingresso e in uscita dall'evaporatore sotto vuoto

degli ottimi rendimenti, con:

- una resa in distillato del 98% in volume;
- una resa in residuo di distillazione del 1% in volume;
- una stima di perdite evaporative dovute agli incondensabili di ca. 1% in volume.

Stime economiche sommarie

Da una stima sommaria dei costi unitari di depurazione e smaltimento del rifiuto liquido emerge in modo chiaro la convenienza economica del trattamento di evaporazione sottovuoto rispetto allo smaltimento come rifiuto.

Infatti, il consumo elettrico specifico dell'impianto di evaporazione è di ca. 0,15 kWh/L.

Applicando conservativamente una tariffa oraria del kWh di 0,14 €/kWh, si calcola un costo unitario della depurazione di soli 21 €/m³ (il costo degli additivi è stato stimato come trascurabile rispetto ai costi elettrici), contro un costo unitario per lo smaltimento come rifiuto liquido compreso, secondo i prezzi medi di mercato del 2009 ÷ 2010, tra 120 e 170 €/m³.

Inoltre, in quasi due anni di esercizio dell'impianto il consumo di acqua approvvigionata dall'acquedotto comunale si è ridotto del 90% circa e, ancor più rilevante economicamente, il volume di rifiuto speciale liquido smaltito (residuo di distillazione) è stato di soli 1,5 m³/anno.

personale addetto alle operazioni di lavaggio dei motori e quindi più a contatto con l'acqua recuperata, tra gli inquinanti è stata prestata particolare attenzione alla riduzione della carica batterica del distillato, mediante l'additivazione stechiometrica di ipoclorito di sodio in carica all'impianto.

La qualità del distillato è stata così resa idonea al suo riutilizzo nel processo da cui si genera il refluo.

In foto 7 e 8 sono raffigurati i campioni prelevati in ingresso e in uscita dall'impianto di depurazione.

In termini di resa percentuale del processo di distillazione, in più di un'occasione sono stati misurati sperimentalmente in campo



▲ Foto 8 - Campione di distillato in uscita dall'evaporatore