



Acque

Impianti di depurazione autostradali: problematiche gestionali e soluzioni

■ di **Andrea Capriati, Gennaro Schiano e Luca Di Cosimo**, *Golder Associates Srl, Roma*

Gli impianti di depurazione acque reflue assimilabili a domestiche, presenti nelle aree di servizio autostradali, pur essendo di piccola taglia, spesso incontrano grandi difficoltà di funzionamento, sia per le forti variazioni di portata sia per i bassi valori di carico organico in ingresso.

È interessante analizzare in proposito le pratiche adottate per la gestione quotidiana e i risultati ottenuti da una sperimentazione condotta a scala reale su un impianto di questa tipologia, dove è stato somministrato etanolo denaturato al fine di ridurre, entro i limiti previsti dalla normativa vigente, la concentrazione di nitrati nell'effluente dal sedimentatore secondario

La gestione degli impianti di depurazione di reflui assimilabili a domestici e di piccola taglia, con potenzialità pari a circa 500-600 abitanti equivalenti (AE), presenti presso aree di servizio autostradali, può incontrare alcune difficoltà di funzionamento a causa della forte variazione della portata e del basso carico organico in ingresso.

Come noto, sono gli impianti a fanghi attivi a risentire maggiormente di questi problematiche rispetto, ad esempio, agli impianti a biomassa adesa e, pertanto, nel primo caso è necessario prevedere strategie d'intervento, che, ove possibile, permettano di mantenere la configurazione esistente dell'impianto, limitando i costi di gestione e manutenzione, garantendo, nel contempo, il rispetto dei limiti imposti dalla normativa e dei relativi obiettivi di qualità definiti dai Piani di tutela delle acque regionali (PTAR).

Caso in esame

Nel caso esaminato a seguire, saranno descritte:

- prima, le modifiche apportate a un impianto di depurazione reflui domestici a fanghi attivi posto su un'area di servizio autostradale, al fine di ottimizzarne il funzionamento;
- successivamente, le comuni pratiche adottate per la gestione ordinaria dello stesso;
- infine, si presenteranno i risultati ottenuti a valle della sperimenta-

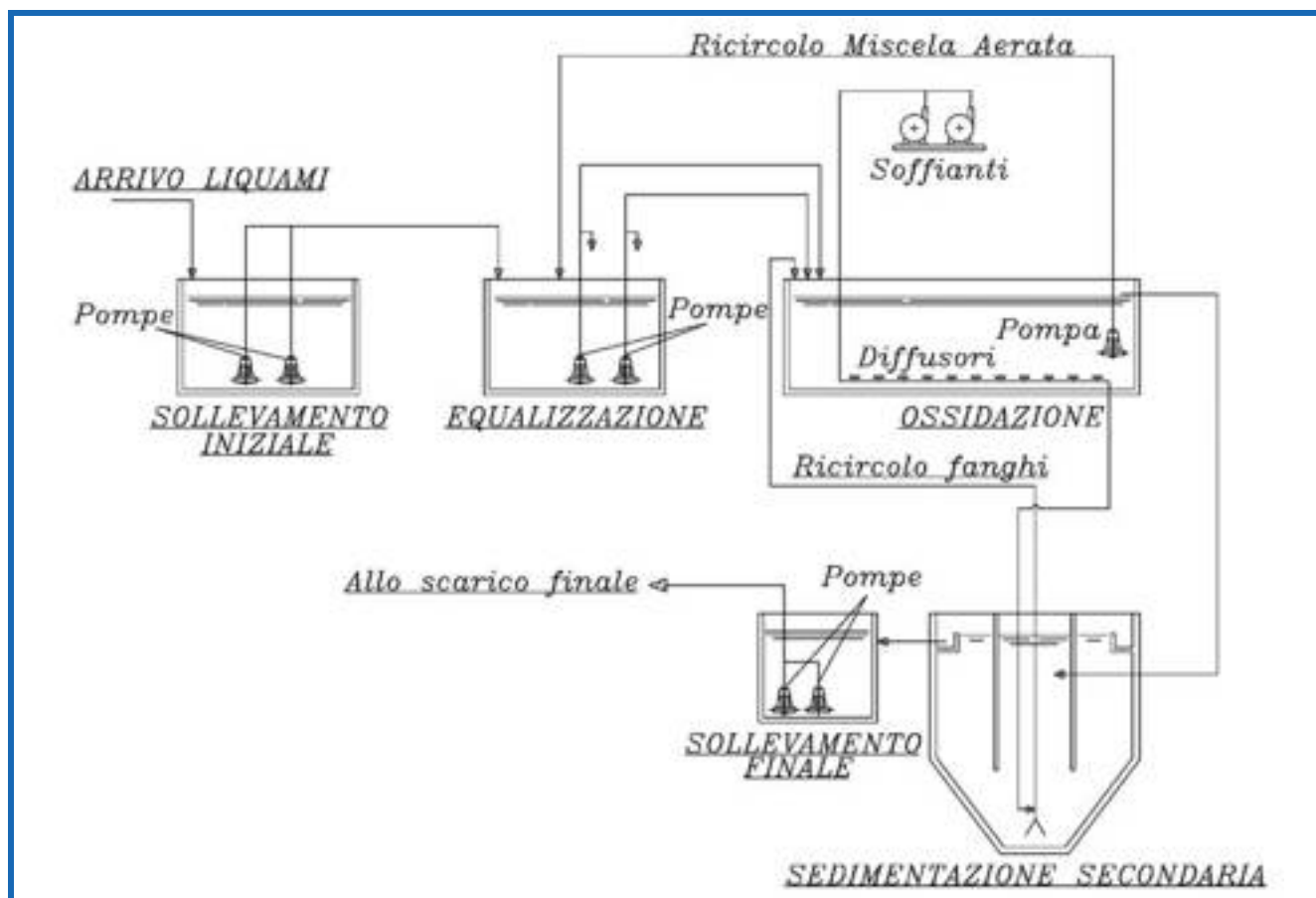
zione effettuata somministrando substrato carbonioso esterno (etanolo denaturato) con l'obiettivo di far sviluppare una biomassa eterotrofa utile alla riduzione della concentrazione dei nitrati entro i limiti di legge.

La necessità di rispettare il limite allo scarico dei nitrati deriva da quanto riportato nel titolo autorizzativo allo scarico rilasciato dalle pubbliche autorità locali che hanno imposto il rispetto dei limiti della *tabella 3* dell'Allegato 5 alla Parte III del D.Lgs. n. 152/06 e s.m.i., limitatamente ai parametri derivanti dal metabolismo umano. La portata media nera in ingresso all'impianto in entrambe le configurazioni è stata stimata in 80 m³/d.

Modifiche apportate all'impianto di depurazione

L'impianto di depurazione a fanghi attivi era inizialmente costituito dalle seguenti unità:

- stazione di sollevamento iniziale;
- bacino di equalizzazione;
- unità di ossidazione/nitrificazione;



▲ Figura 1 - Schema di flusso dell'impianto nella configurazione iniziale

- unità di sedimentazione secondaria;
- stazione di sollevamento finale.

Nella figura 1 viene riportato lo schema di flusso dell'impianto di depurazione nella configurazione iniziale appena descritta.

Per ottimizzare il funzionamento dell'impianto di depurazione, è stata ampliata l'unità di sollevamento iniziale al fine di omogeneizzare i carichi idraulico e organico in ingresso, mentre il bacino di equalizzazione è stato trasformato in un'unità di denitrificazione (si veda la foto 1).

Per tentare, infatti, di ottenere la riduzione dei nitrati nell'effluente entro i limiti imposti dal titolo autorizzativo allo scarico (20 mg/l), partendo da un valore medio di circa 60-70 mg/l a valle del processo di nitrificazione, sono state effet-



▲ Foto 1- Unità di denitrificazione

tuate delle piccole modifiche alla circolazione del refluo nelle varie unità dell'impianto di depurazione.

In particolare, il bacino di equalizzazione è stato, come detto, adibito a unità di denitrificazione, atti-

vando la linea, già esistente, di ricircolo della miscela areata dall'ossidazione e inviando nel bacino stesso anche la portata di ricircolo fanghi mediante *air-lift* (si veda la *foto 3*).

Al fine di mantenere la biomassa

denitrificante in sospensione e favorire la reazione di denitrificazione, sono stati installati:

- un *mixer* (si veda la *foto 2*) di opportuna potenza di mescolamento (1 kW);
- un orologio a ciascuna delle sof-

fianti a servizio dell'unità di ossidazione per imporre dei cicli aerobici/anossici nell'unità stessa, al fine di far avvenire la reazione di denitrificazione anche in questa unità.

L'unico reale ampliamento rispetto alla configurazione iniziale, a valle dei calcoli di dimensionamento effettuati, è stata l'installazione di un serbatoio (si veda la *foto 4*) al fine di fornire un volume integrativo all'unità di denitrificazione.

Pertanto, allo stato attuale l'impianto risulta così strutturato:

- stazione di sollevamento iniziale;
- unità di denitrificazione;
- unità di ossidazione/nitrificazione;
- unità di sedimentazione secondaria;
- stazione di sollevamento finale.

Nella *figura 2* viene riportato lo schema di flusso dell'impianto di depurazione nella configurazione finale appena descritta.

Gestione ordinaria di un impianto di depurazione a fanghi attivi

Oltre al problema della somministrazione di substrato carbonioso esterno (si veda oltre) si riscontrano spesso altre criticità nella gestione di impianti di depurazione biologici, specie se di piccole dimensioni, come il caso in questione, perché non dotati di particolari unità o dispositivi appositamente dedicati alla risoluzione di questi aspetti critici.

Una prima criticità che normalmente si incontra nella gestione degli impianti di depurazione è il problema degli **odori**. Nel caso in oggetto, non esistendo una linea fanghi dedicata alla stabilizzazione degli stessi, oltre a praticare lo spurgo mediante autobotte direttamente dal sedimentatore secondario, al fine di evitarne un eccessivo accumulo nel sistema, periodicamente viene



▲ Foto 2 - Mixer



▲ Foto 3 - Air-lift ricircolo fanghi

applicata un'opportuna dose di polvere di calce sullo strato di fango che si viene a formare all'interno del bacino di sedimentazione.

Questa applicazione si rende necessaria, soprattutto, nel periodo estivo, quando le alte temperature ambientali aumentano le cinetiche biologiche della biomassa, che, in presenza delle condizioni anaerobiche che si vengono a formare all'interno dello strato di fango, danno luogo a composti odoriferi, potenzialmente pericolosi e corrosivi come il metano e l'acido solfidrico.

La somministrazione di polvere di calce sullo strato di fango permette l'innalzamento del valore del pH su valori decisamente superiori a 7, creando, pertanto, condizioni di vita sfavorevoli alla biomassa, che, dunque, si stabilizza, mineralizzandosi e riducendo, in questo modo, la formazione di composti odoriferi.

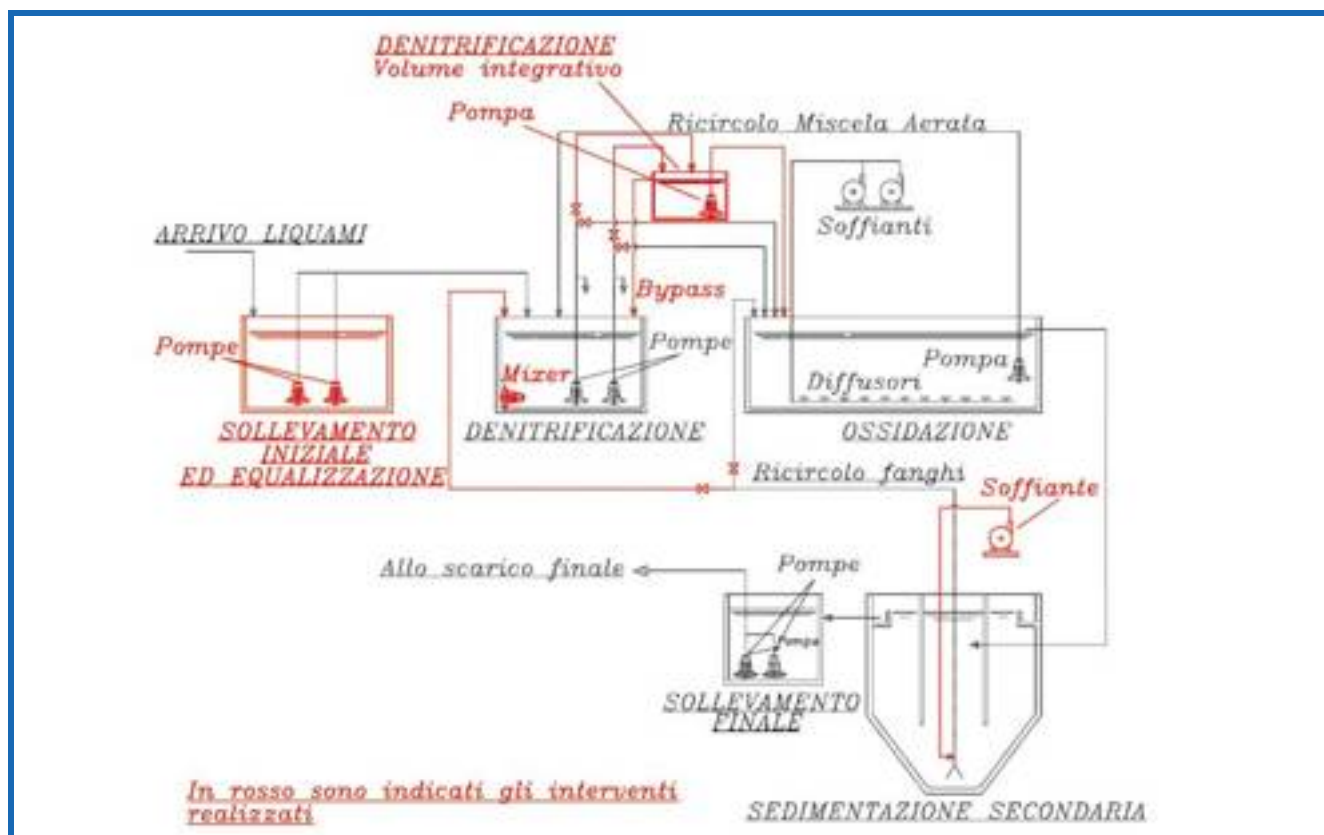
Altro problema operativo derivante

dallo strato di fango presente all'interno del bacino di sedimentazione è la sua **scarsa sedimentabilità** dovuta alla presenza di aria ri-

masta intrappolata tra i fiocchi di fango durante il loro convogliamento dalla sezione di ossidazione/nitrificazione a quella di sedimenta-



▲ Foto 4 - Serbatoio integrativo denitrificazione



▲ Figura 2 - Schema di flusso dell'impianto nella configurazione finale

zione secondaria. L'aria intrappolata all'interno del "cuscinco" di fango tende a farlo flottare in superficie anziché sedimentare sul fondo della vasca.

Per ovviare a questo inconveniente, impianti di più grandi dimensioni sono dotati di degasatori che consistono sostanzialmente in un'unità in cui è posto un agitatore della miscela areata in grado di liberare l'aria trattenuta al suo interno. Questa unità può essere anche realizzata mediante un semplice pozzetto a caduta che, creando turbolenza per il salto del liquame, libera l'aria presente al suo interno. Nel caso in questione, non essendo presente questa sezione e dato che la configurazione dell'unità di ossidazione è del tipo a pistone (PFR) - ovvero con la lunghezza molto maggiore della larghezza - si è ridotta progressivamente l'aria distribuita alla miscela partendo dall'ingresso e spostandosi verso l'uscita, agendo sulle valvole a sfera della rete di somministrazione dell'aria.

In questo modo, si è fornita più aria nelle sezioni iniziali della vasca dove ragionevolmente il carico inquinante risulta maggiore e si è ridotta nelle sezioni finali dove il carico inquinante ha già raggiunto valori più bassi e, dunque, la richiesta di ossigeno non può essere pari a quella dell'ingresso della vasca di ossidazione/nitrificazione.

In questo modo, il fango che viene trasferito all'unità di sedimentazione secondaria risulta meno carico di aria e possiede, di conseguenza, migliori caratteristiche di sedimentabilità.

Inoltre, questo accorgimento permette anche di ricircolare i nitrati nell'unità di denitrificazione dedicata, riducendo la concentrazione di ossigeno libero nel liquame, che ridurrebbe il rendimento della rimozione dei nitrati, in quanto l'ossigeno libero sarebbe più facilmen-

TABELLA 1
PARAMETRI CARATTERISTICI DEL LIQUAME IN INGRESSO ALL'IMPIANTO

Parametro	Unità di misura	Valore medio
pH	-	7,95
SST	mg/l	82,60
COD	mg/l	220,60
bCOD	mg/l	111,04
BOD ₅	mg/l	69,40
Azoto ammoniacale	mg/l	103,34
Azoto nitrico	mg/l	0,11
Azoto nitroso	mg/l	< LR
Fosforo totale	mg/l	10,37
Tensioattivi totali	mg/l	1,62

te utilizzabile dalla biomassa eterotrofa quale agente ossidante del substrato carbonioso esterno somministrato.

Etanolo denaturato: quantità da somministrare

A monte dell'impianto di depurazione, è tuttora presente una fossa "Imhoff" che assolve alla funzione di trattamento primario attraverso una camera di sedimentazione e una di digestione anaerobica. Tuttavia, se da un lato questo dispositivo è in grado di far sedimentare circa il 55-65% dei solidi sospesi totali (SST), dall'altro riduce anche il valore della domanda biochimica di ossigeno (BOD₅) di circa il 25-35% [rif. bibliografia: 1].

Pertanto, il liquame, ancora oggi, presenta le caratteristiche medie in ingresso all'impianto di depurazione, riportate in *tabella 1*.

La riduzione di BOD₅ in ingresso provoca una deficienza della quantità di substrato carbonioso biodegradabile (bCOD), necessario all'abbattimento dei nitrati nell'unità di denitrifica-

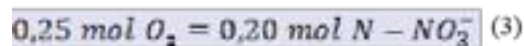
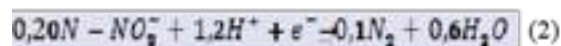
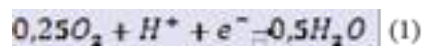
zione (60-70 mg/l), in quantità tale da garantire il rispetto del relativo limite allo scarico (20 mg/l).

Per questo motivo, è stato necessario prevedere un'aggiunta di bCOD da fonte esterna, al fine di raggiungere una concentrazione tale da permettere la riduzione dei nitrati. La scelta è ricaduta sull'etanolo denaturato perché ha permesso di ottenere la maggior quantità di bCOD al prezzo di mercato più basso.

Per stimare la quantità di etanolo denaturato da somministrare si è fatto riferimento a dati riportati in studi precedenti [2].

Nelle reazioni di ossidoriduzione sia l'ossigeno libero sia l'azoto contenuto nei nitrati posseggono un potere ossidante.

Pertanto, facendo riferimento a una singola mole di elettroni, si ottiene la seguente equivalenza tra i due elementi, ricavata dalle relative semireazioni:



che espressa in peso diventa:

$$2,86 \text{ gr } O_2 = 1 \text{ gr } N - NO_3^- \quad (4)$$

Sempre da riferimenti di letteratura [2], è noto che il bCOD rimosso dalla flora batterica è in parte utilizzato dalla biomassa per la sintesi cellulare e in parte ossidato, così come riportato nella relazione seguente:

$$bCOD_r = bCOD_{syn} + bCOD_o \quad (5)$$

Volendo esprimere la (5) in termini di rapporto tra quantità di bCOD da somministrare e nitrati da rimuovere, ricordando la (4), con alcuni passaggi si ottiene:

$$\frac{bCOD_r}{N - NO_3^-} = \frac{2,86}{1 - 1,42Y} \quad (6)$$

con Y che rappresenta il rendimento di crescita netto della biomassa denitrificante, che, nel caso oggetto di studio, può essere assunto pari a circa 0,07 gVSS/gbCOD.

Di conseguenza, in queste condizioni la quantità stechiometrica necessaria risulterebbe pari a 3,17 grammi di bCOD per grammo di nitrati da rimuovere.

Coerentemente, riferimenti di letteratura [3] indicano un intervallo compreso tra 4 e 15 grammi di bCOD per grammo di nitrati da rimuovere. Nel caso in questione, è stata scelta la quantità di 5 grammi di bCOD. Poiché, dai calcoli effettuati, la quantità stimata di nitrati da rimuovere nell'impianto è risultata pari a 4,5 kg/d, la quantità di bCOD necessaria nell'influyente avrebbe dovuto essere pari a 22,5 kg/d.

Osservando la *tabella 1*, si può notare che il rapporto COD/BOD₅ è pari a circa 3,2, il che indica che non tutto il COD in ingresso all'impianto può essere considerato facilmente biodegradabile. Di conseguenza, sem-

pre con riferimento alla *tabella 1*, è stata utilizzata la concentrazione del bCOD, corrispondente a un valore in peso di circa 8,9 kg/d, che precauzionalmente è stato fissato, per la stima della quantità di etanolo denaturato, pari a 8 kg/d.

Il deficit di bCOD da integrare con etanolo denaturato è risultato pertanto pari a 14,5 kg/d, che equivale a circa 9 litri/d. Per operare a favore di sicurezza, attualmente vengono somministrati all'impianto 12 litri/d

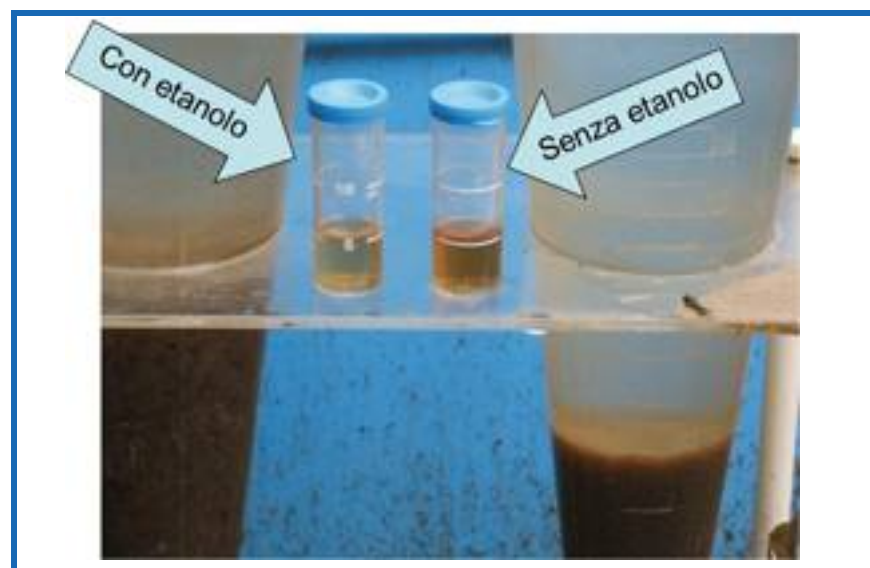
di etanolo denaturato, considerando anche il fatto che il prodotto disponibile sul mercato ha un grado di purezza del 90 o 94%.

Nella *tabella 2* vengono riportati i risultati ottenuti a valle della sperimentazione. Confrontando la concentrazione dei nitrati riportata in *tabella 2* con il valore a valle del processo di nitrificazione, si ottiene un'efficienza del processo di rimozione leggermente inferiore al 90% (si veda la *foto 5*).

TABELLA 2

VALORI MEDI DEI PARAMETRI DELL'EFFLUENTE IN USCITA DAL SEDIMENTATORE SECONDARIO

Parametro	Unità di misura	Valore medio
pH	-	7,57
SST	mg/l	10,43
COD	mg/l	29,00
bCOD	mg/l	8,53
BOD ₅	mg/l	5,33
Azoto ammoniacale	mg/l	2,36
Azoto nitrico	mg/l	7,50
Azoto nitroso	mg/l	0,10
Fosforo totale	mg/l	5,77
Tensioattivi totali	mg/l	0,10



▲ Foto 5 - Efficienza rimozione nitrati

Conclusioni

Lo studio analizzato ha voluto mettere in risalto le difficoltà funzionali che spesso si incontrano su impianti di depurazione di reflui assimilabili a domestici, di piccola taglia, del tipo a fanghi attivi, presenti presso aree di servizio autostradali, quali odori e scarsa sedimentabilità del fango.

Inoltre, uno degli aspetti critici maggiormente presenti presso tale tipologia di impianti è quello della riduzione della concentrazione di substrato carbonioso biodegradabile utile al processo biologico dell'impianto a causa della frequente presenza di fosse "Imhoff" a monte di impianti della suddetta tipologia. Pertanto:

- sono stati preliminarmente eseguiti piccoli interventi di adatta-

mento sull'impianto, al fine di ottenere un'unità dedicata di denitrificazione;

- successivamente, da aprile 2011, al fine di ottemperare alle prescrizioni imposte dal titolo autorizzativo allo scarico e, in particolare, per la riduzione entro i limiti di legge della concentrazione dei nitrati, è stata avviata una sperimentazione con etanolo denaturato presso l'impianto in oggetto.

Questa sperimentazione si è resa necessaria in quanto la quantità di substrato carbonioso biodegradabile presente nell'influente non era, per i motivi sopra esposti, sufficiente a garantire l'abbattimento dei nitrati entro valori ritenuti accettabili dalla normativa attualmente vigente.

Facendo, pertanto, riferimento a dati disponibili in letteratura, è

stata calcolata la quantità di etanolo denaturato ritenuta utile a integrare la quantità di substrato carbonioso biodegradabile presente nell'influente.

Dalle analisi svolte sino a oggi e dai relativi valori medi riportati in *tabella 2* si evince una concentrazione dei nitrati al di sotto dei limiti previsti per legge, confermando che l'impiego di etanolo denaturato rappresenta una soluzione efficace sia per la riduzione dei nitrati sia per il contenuto onere economico rispetto ad altre sostanze con comportamenti simili, come il metanolo o l'acido acetico.

Nello specifico l'efficienza di rimozione dei nitrati, raggiunta tramite la sperimentazione effettuata in questo studio, si è attestata di poco al di sotto del 90% •

Foto e figure a cura di Golder Associates Srl

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barrella, Grillo, *L'evapotraspirazione*, Ed. Geva, 1^a ed.
- [2] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering*, Ed McGraw-Hill, 4^a ed.
- [3] Peng, Ma, Wang, 2006, *Denitrification potential enhancement by addition of external carbon sources in a pre-denitrification process*, Journal of Environmental Sciences 19 (2007), 284-289