

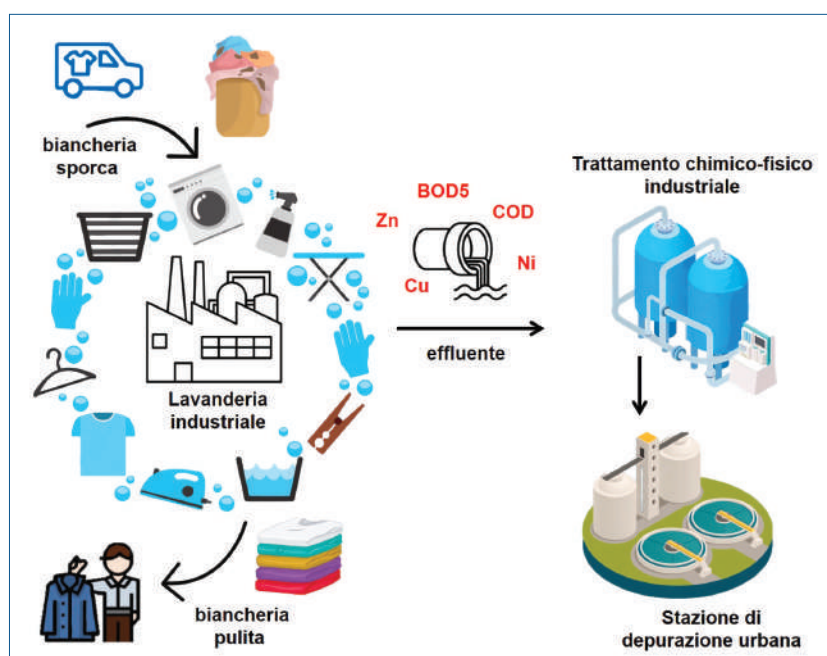


Chiara Mongiovi^a, Dario Lacalamita^{a,b}, Pinalysa Cosma^b,
Paola Fini^b, Grégorio Crini^a
^aChrono-Environnement, Besançon (F)
^bUniversità degli Studi di Bari "Aldo Moro"
gregorio.crimi@univ-fcomte.fr

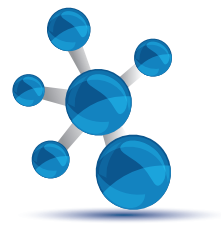
<http://dx.medra.org/10.17374/CI.2023.105.3.40>

PROGETTO MYDREAU: VERSO UNA MIGLIORE CONOSCENZA CHIMICA DEGLI EFFLUENTI DI LAVANDERIA PER UN TRATTAMENTO PIÙ EFFICACE

Le lavanderie industriali, un settore con una forte presenza in Francia e in Italia, sono considerate tra i maggiori utilizzatori di acqua e, di conseguenza, tra i più grandi produttori di acque reflue. Sebbene queste acque vengano trattate in loco e siano conformi alle normative vigenti, le acque di scarico contengono ancora una quantità significativa di inquinamento. Questo articolo mostra che gli scarichi delle lavanderie industriali sono effettivamente complessi e molto variabili, sia in termini di qualità che di quantità. Tuttavia, questi effluenti possono essere considerati biodegradabili, il che suggerisce la possibilità di applicare un trattamento biologico aggiuntivo.



Tra le numerose attività industriali, il settore delle lavanderie occupa, in Francia e in Italia, una posizione rilevante in termini di produzione. Queste attività sono anche conosciute per essere tra le maggiori consumatrici e inquinatrici di risorse idriche, pertanto, nell'ambito della Direttiva Quadro sulle Acque, sono oggi chiamate a compiere sforzi aggiuntivi mirati alla riduzione dei flussi d'inquinamento, in particolare in termini di carico organico, generalmente caratterizzato dai parametri di COD e BOD₅. A tale scopo, è fondamentale migliorare la conoscenza qualitativa e quantitativa degli scarichi da trattare, osservandone, in particolare, la variabilità temporale. Quest'ultimo è uno degli obietti-



vi alla base del progetto di ricerca franco-italiano MYDREAU 2022-2024.

MYDREAU è un progetto bilaterale che coniuga ricerca universitaria, formazione, sviluppo economico e tutela dell'ambiente. L'intento principale è, dunque, mettere in comune l'esperienza e il *savoir-faire* di ricercatori e di agenti del settore delle lavanderie, al fine di comprendere e conoscere al meglio le acque di scarico prodotte e trovare soluzioni adatte a ridurre l'impatto ambientale, contribuendo così alla protezione delle risorse idriche e degli ambienti acquatici. Le soluzioni proposte mirano ad essere tecnologicamente semplici, chimicamente efficaci, economicamente convenienti e a ridotto impatto ambientale [1].

Lavanderie industriali: un settore che non conosce crisi

Le lavanderie industriali sono stabilimenti destinati al lavaggio di grandi quantità di biancheria o indumenti per conto di grandi utenti (ospedali, strutture sanitarie, case di riposo, alberghi, ristoranti, attività industriali ecc.). La loro esistenza garantisce il buon funzionamento di numerosi settori lavorativi, eppure la loro attività è spesso sconosciuta al grande pubblico. Anche durante il recente periodo di emergenza sanitaria, il settore delle lavanderie ha giocato un ruolo fondamentale nella lotta contro il Covid-19, riuscendo ad adattare il proprio ciclo di produzione sia alla raccolta che al trattamento della biancheria contaminata [2-4].

I capi da lavare possono essere di varia natura: lenzuola ospedaliere, biancheria per alberghi e asili, asciugamani e tovaglie per ristoranti, abiti da lavoro per professionisti ed artigiani, biancheria per saloni di bellezza e spa ecc. Generalmente, tutti gli impianti di produzione applicano processi simili, ma modulati in base al tipo di capo da trattare, al suo grado di sporcizia, alla formulazione dei prodotti impiegati (detergenti, disinfettanti, ammorbidenti, battericidi, profumi, ecc.) e al *savoir-faire* e all'esperienza di ciascuna lavanderia.

Esistono due tipologie di macchinari atti alla produzione: i tunnel di lavaggio continui (processo in continuo), caratterizzati da un minor consumo di acqua, di reagenti e di energia, e le lavacentrifughe (processo in discontinuo), che invece richiedono maggiori consumi di acqua.

Oggi il settore delle lavanderie è in costante crescita, tuttavia, sono quotidianamente chiamate a innovarsi per rimanere competitive. Infatti, spinte dalla necessità di uno sviluppo sostenibile e dalla scarsità di risorse, le lavanderie sono attualmente impegnate ad affrontare varie sfide: nuovi vincoli ambientali (riduzione del flusso di sostanze scaricate nell'ambiente), questioni di risparmio idrico ed energetico (applicazione di sistemi di riciclo e di riutilizzo delle acque reflue, installazione di apparecchiature sempre più efficienti e meno dispendiose), questioni di igiene e di sicurezza (garantire la perfetta cura della biancheria preservando la salute dei clienti e del personale), questioni economiche e sociali (settore altamente competitivo, assunzione di personale qualificato) ecc. Tra tutte queste sfide, la lotta contro il rilascio di sostanze chimiche nell'ambiente è diventata una priorità [5].

In Francia, le lavanderie sono spesso situate nelle zone periferiche delle città. Di conseguenza, dopo essere state preliminarmente trattate, le acque di scarico in uscita da queste installazioni, sono immesse direttamente nella rete fognaria e convogliate negli impianti di depurazione urbani, all'interno dei quali subiscono un ulteriore trattamento di natura biologica. Per molti anni, le lavanderie hanno compiuto sforzi significativi al fine di ridurre i prelievi idrici e controllare la composizione degli scarichi, monitorando al contempo i volumi di inquinanti inviati nelle stazioni di trattamento urbane. Secondo un primo rapporto dell'Ente Bilaterale Lavanderie Industriali (EBLI), in Italia, il settore è caratterizzato dalla presenza di quasi 600 imprese con un fatturato di 1,3 miliardi di euro l'anno, imprese che per numero di occupati medio sono assimilabili alle industrie petrolifere e dei prodotti farmaceutici di base [6]. I loro scarichi sono quindi conformi alle normative vigenti. Tuttavia, questo settore industriale ha ancora una cattiva immagine in termini ambientali. Si tratta, infatti, di un'attività che non solo consuma molta acqua (milioni di m³ per anno), ma è anche responsabile del rilascio di sostanze ossidabili nell'ambiente. Si tratta principalmente di una policontaminazione organica complessa e variabile dovuta all'uso di detergenti, accompagnata da elevata salinità e torbidità (formulazioni utilizzate, colloidali, microplastiche, ecc.). In generale, le sostanze ossidabili sono caratte-

rizzate per mezzo di due parametri dell'acqua: la domanda chimica di ossigeno (COD) e la domanda biochimica di ossigeno (BOD₅). I valori limite di emissione sono 1.500 mg/L per il COD e 500 mg/L per il BOD₅ in Francia e di 500 mg/L e di 250 mg/L rispettivamente in Italia.

Regolamenti sempre più severi

Dinanzi alla contaminazione e alla scarsità di risorse idriche, le aziende sono chiamate ad adottare approcci più sostenibili ed eco-responsabili. Inoltre, le normative finalizzate a fissare i limiti di rilascio in termini di macroinquinanti (COD, BOD₅, idrocarburi, ecc.) e di sostanze scaricate (metalli, composti organici volatili, idrocarburi policiclici aromatici, nonilfenoli, ecc.) diventano sempre più stringenti. Infatti, in Europa, la presenza di sostanze chimiche nei reflui industriali e le possibili conseguenze sulla salute umana sono una costante fonte di preoccupazione. Fin dagli anni Settanta, le autorità pubbliche hanno messo in atto politiche adeguate, dando vita a un sistema normativo dettagliato e in continua evoluzione in termini di conformità delle acque di scarico. In particolare, con la graduale attuazione della Direttiva Quadro sull'Acqua del 2000, le attività industriali, tra cui il settore delle lavanderie, sono obbligate a proteggere la qualità delle acque e degli ambienti acquatici in cui vengono scaricati i loro reflui dopo essere stati adeguatamente trattati [1].

Tuttavia, la sfida è ardua perché, come in altri settori di attività, è difficile stabilire una valutazione completa e dettagliata dei flussi di sostanze presenti negli scarichi delle lavanderie, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. La composizione e la concentrazione degli effluenti variano a seconda dei cicli di lavaggio, del tipo di biancheria lavata e dei prodotti utilizzati. In aggiunta, alcuni fattori (sporco, prodotti per la pulizia, ecc.) sono difficili da controllare. Anche l'uso dei tunnel di lavaggio continuo complica la ricerca, così come il segreto industriale di molte formulazioni, il quale impedisce la divulgazione di informazioni dettagliate sulla composizione dei prodotti detergenti [2-4].

Inoltre, dati i volumi di acqua impiegati, è difficile trovare un metodo di decontaminazione complementare al trattamento già in uso che sia efficace ed economicamente sostenibile [5, 7]. Una solu-

zione potrebbe essere la filtrazione su membrana, ma i costi sono proibitivi. In ogni caso, prima di considerare qualsiasi azione di trattamento complementare, è necessario avere una conoscenza precisa della composizione chimica degli scarichi e, soprattutto, della loro variabilità temporale. In questo campo le informazioni scientifiche sono scarse e, a nostra conoscenza, esistono pochissimi dati sulla caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle acque reflue di lavanderia e sulla loro variabilità temporale.

Progetto MYDREAU

Gli obiettivi di questa collaborazione tra industria e università sono:

- i) stilare un elenco delle principali sostanze utilizzate nelle formulazioni per il bucato con l'aiuto dei fornitori di prodotti;
- ii) evidenziare la variabilità chimica degli scarichi per un determinato numero di parametri dell'acqua (COD, BOD₅) e sostanze;
- iii) valutare la biodegradabilità dell'acqua, in particolare la frazione refrattaria del COD, e metterla in relazione con la variabilità temporale;
- iv) proporre soluzioni di decontaminazione mirate alla rimozione di un numero maggiore di inquinanti, tra cui metalli, idrocarburi e carico organico.

Questo articolo riassume i risultati raggiunti finalizzati a concretizzare questi obiettivi.

Protocollo sperimentale

In questo studio sono presentati i risultati ottenuti analizzando 13 campioni di acque reflue reali caratteristiche dell'attività quotidiana dell'azienda partner. Si tratta di una lavanderia industriale francese che tratta tra i 6.000 e i 7.000 kg di biancheria al giorno, consumando tra i 120 e i 130 m³ di acqua. Prima di inviarli all'impianto di depurazione cittadino, l'azienda tratta internamente i propri effluenti tramite un processo chimico-fisico. Per rispettare la normativa vigente, la lavanderia è, inoltre, tenuta a monitorare ed analizzare mensilmente i parametri COD e BOD₅, i cui valori limite di emissione sono rispettivamente 1500 mg/L (o in termini di flusso 285 kg/giorno) e 500 mg/L (o 57 kg/giorno). I valori medi annuali dichiarati dall'industria per tre anni consecutivi sono stati: 920, 896 e 822 mg/L per il COD e 445, 450 e 417 mg/L per il BOD₅.

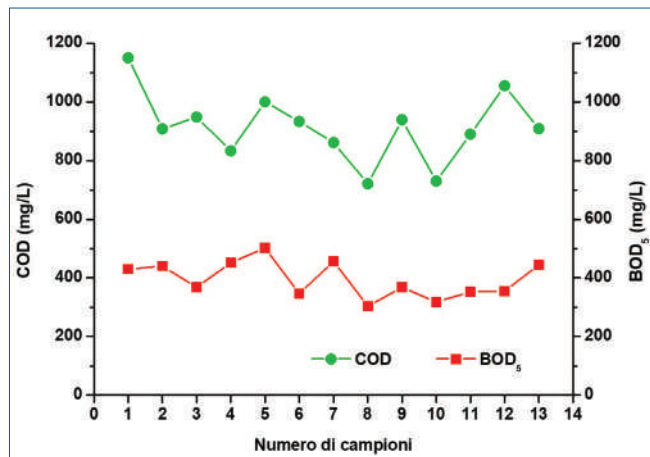


Fig. 1 - Concentrazioni dei parametri COD e BOD₅ per i 13 campioni analizzati (ogni campione è caratteristico del giorno di attività; valori limite di emissione: 1.500 mg/L per il COD e 500 mg/L per il BOD₅)

Risultati del monitoraggio analitico

La Fig. 1 descrive le concentrazioni dei parametri COD e BOD₅ per i 13 campioni analizzati. I risultati mostrano che, nonostante il trattamento chimico-fisico subito, la quantità di inquinanti residua non è trascurabile e, soprattutto, muta nel tempo. Questa variazione non può essere controllata perché dipende dalla variabilità della produzione industriale e della merce da trattare. Una produzione aleatoria causa, infatti, la formazione di effluenti ugualmente variabili in termini di tipologia e concentrazione di inquinante. Tuttavia, il trattamento chimico-fisico messo in atto nella stazione di depurazione interna all'azienda non è in grado di tenere conto di questa variabilità del flusso in entrata e, di conseguenza, anche le acque in uscita dall'impianto saranno affette dalla stessa variabilità. Ad ogni modo, le concentrazioni di COD e BOD₅ ritrovate nei 13 campioni, sono conformi alle normative con un valore medio pari a 914±84 mg/L per il COD e 395±54 mg/L per il BOD₅.

Esprimendo questi stessi risultati in termini di flussi giornalieri, si può notare che le quantità di inquinanti scaricate nell'impianto di depurazione cittadino sono anch'esse elevate, ma conformi alle normative. Il flusso medio di COD è di 108 kg/giorno (rispetto ad un valore limite di emissione pari a 285 kg/giorno), quello di BOD₅ è di 57 kg/giorno (valore limite di emissione di 57 kg/giorno).

Un punto chiave del presente studio è quello di comprendere l'origine delle elevate quantità di ca-

rico organico. Per rispondere a questa domanda, è stato effettuato un primo screening delle schede tecniche di tutti i prodotti impiegati in azienda. I dati d'insieme così raccolti sono scarsi, soprattutto a causa della riservatezza di molti produttori. Ad ogni modo, in alcune formulazioni è stato possibile notare la presenza di idrocarburi, tensioattivi anionici, alchilfenoli etossilati, fosforo, idrocarburi aromatici e metalli. Alcuni di questi inquinanti sono stati effettivamente ritrovati nei 13 campioni analizzati. La Fig. 2 mostra, ad esempio, i risultati ottenuti per idrocarburi, tensioattivi e nonilfenolo. Anche in questo caso, la variabilità è notevole. I valori medi misurati sono di 12±5 mg/L per gli idrocarburi, 11±2 mg/L per i tensioattivi e 2±1 mg/L per i nonilfenoli. Inoltre, i risultati riportati in Tab. 1 mostrano la presenza sistematica di 13 minerali, in particolare 5 metalli (Al, Cu, Fe, Sr e Zn) aventi concentrazioni basse ma molto variabili (come nel caso di ferro e zinco). Al contrario, gli 8 idrocarburi policiclici aromatici analizzati sono stati ritrovati solo occasionalmente.

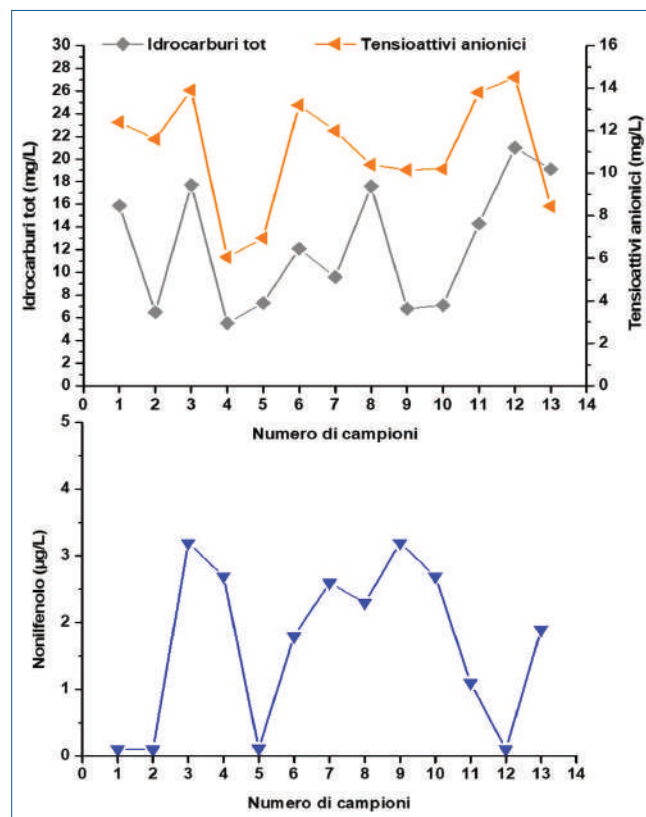


Fig. 2 - Concentrazioni di idrocarburi totali, tensioattivi e nonilfenoli nei 13 campioni analizzati

Inquinante/ Parametro	Unità	Campioni	n
P	mg/L	4,5±0,8	13
B	mg/L	0,22±0,18	13
Ca	mg/L	123±80	13
K	mg/L	6,6±2,4	13
Mg	mg/L	4,2±2,1	13
Na	mg/L	544±140	13
S	mg/L	175±24	13
Si	mg/L	3,1±0,4	13
Al	µg/L	434±261	13
Cd	µg/L	8,4±9,5	2
Cr	µg/L	17±14	7
Cu	µg/L	188±92	13
Fe	µg/L	1192±797	13
Mn	µg/L	21±10	6
Ni	µg/L	17±9	5
Pb	µg/L	16±15	3
Sr	µg/L	123±79	13
Zn	µg/L	578±310	13
Fluorantene	ng/L	33,4±9,2	6
Naftalene	ng/L	42,7±6,5	3
Pirene	ng/L	31,5±8,7	6
Benzo[a]antracene	ng/L	41,1±4,8	4
Benzo[a]pirene	ng/L	32,2±10,0	4
Dibenzo[ah]antracene	ng/L	69,3±3,8	3
Indeno[1,2,3-cd]pirene	ng/L	63,6±20,6	4
Benzo[ghi]perilene	ng/L	24,5±7,8	4

Tab. 1 - Concentrazioni di minerali e idrocarburi policiclici aromatici ritrovate nei 13 campioni analizzati (n rappresenta il numero di campioni in cui il target è stato rivelato)

Il parametro COD di un'acqua rappresenta la quantità totale di sostanze ossidabili, mentre la BOD₅ rappresenta la percentuale di materia organica biodegradabile. La differenza tra questi due parametri rappresenta, quindi, la frazione di materia non biodegradabile o debolmente biodegradabile. Ne consegue che la COD è sempre superiore alla BOD₅ e che la BOD₅ può essere considerata la parte biodegradabile del COD. Questi parametri sono, quindi, importanti perché forniscono informazioni sull'evoluzione delle acque di scarico, permettono di valutarne la biodegradabilità o l'impatto sulle naturali attività di autodepurazione dell'ambiente e dei batteri implicati. Infatti, bisogna, ricordare che il partner industriale del pro-

getto MYDREAU scarica le sue acque trattate nell'impianto di depurazione delle acque cittadino, il quale utilizza un processo di natura biologica per trattare le acque reflue, e quindi degli scarichi non biodegradabili apporterebbero disturbi al normale funzionamento della stazione.

In Francia, un'acqua, per poter essere classificata come biodegradabile, deve possedere un valore di COD/BOD₅ minore o uguale a 2,5. Più il rapporto è piccolo, più l'acqua è considerata biodegradabile. Inoltre, il rapporto COD/BOD₅ dovrebbe essere relativamente costante nel tempo. Dal punto di vista applicativo, la conoscenza e la quantificazione di questo parametro è, quindi, cruciale al fine di poter scegliere un trattamento complementare mirato al miglioramento della qualità degli scarichi.

I risultati della Fig. 3 mostrano che, per i 13 campioni analizzati, il valore medio del rapporto COD/BOD₅ è di 2,3±0,4. Questo valore è vicino al valore di riferimento di 2,5, il che suggerisce che un trattamento biologico potrebbe essere un'ottima azione complementare al trattamento chimico-fisico già in atto. Tuttavia, la deviazione standard associata a questo valore è significativa, pertanto, prima di prendere in considerazione la messa in atto di un trattamento secondario, sarebbe preferibile ottimizzare le condizioni utilizzate nel trattamento chimico-fisico per aumentarne la resa depurativa e quindi ridurre la variabilità temporale degli effluenti (soprattutto in termini di rapporto COD/BOD₅).

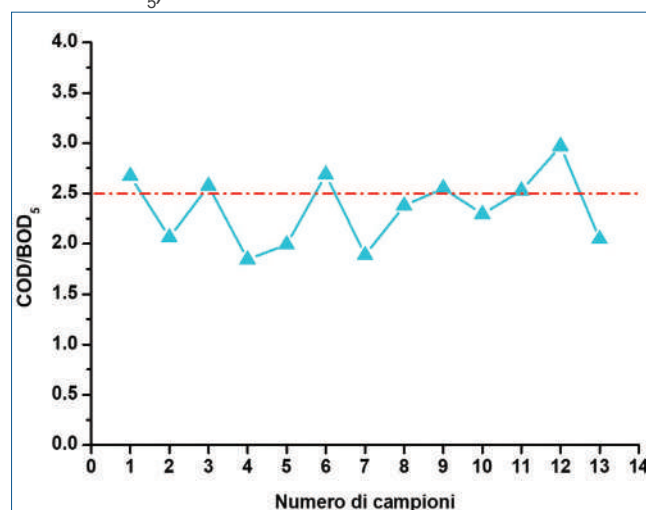


Fig. 3 - Evoluzione del rapporto COD/BOD₅ per i 13 campioni analizzati

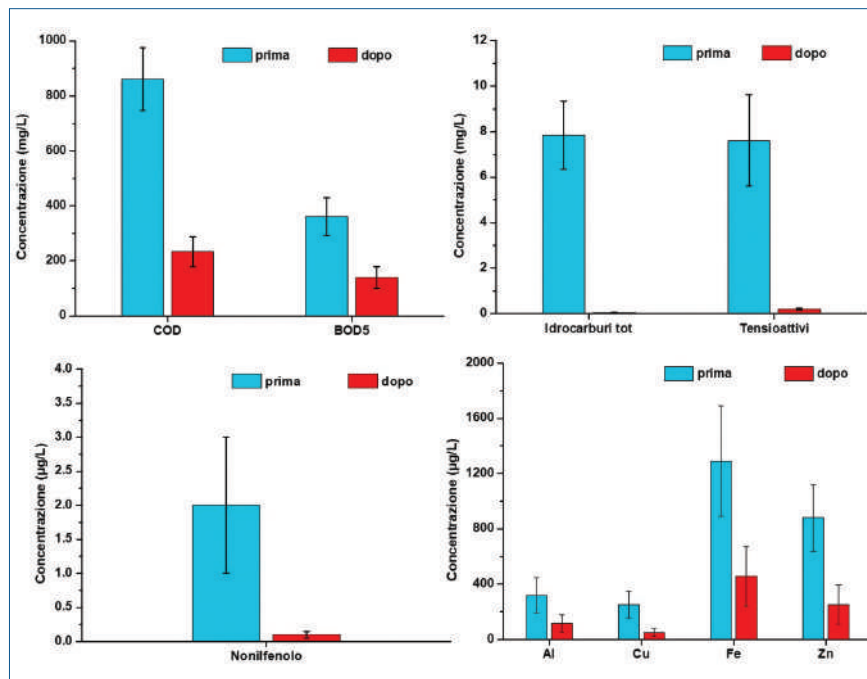


Fig. 4 - Confronto delle concentrazioni di COD, BOD₅, idrocarburi totali, tensioattivi, nonilfenoli e di 4 metalli nei 13 campioni prima e dopo adsorbimento su carbone attivo

Trattamento a base di carbone attivo

Nell'ambito del trattamento delle acque, la soluzione più diffusa per ridurre il carico organico è l'adsorbimento su carboni attivi. Al fine di valutare questa possibilità, sono stati realizzati dei test sui 13 campioni di acqua analizzati, i cui risultati sono descritti in Fig. 4. Questi ultimi dimostrano l'efficienza del carbone attivo nel diminuire i valori di COD e BOD₅. L'efficienza di rimozione è particolarmente elevata nel caso di idrocarburi, tensioattivi e nonilfenolo, i cui tassi di adsorbimento sono vicini al 100%. Anche le concentrazioni di specie metalliche come Al, Cu, Fe e Zn diminuiscono, probabilmente in virtù del loro essere complessate ad altre molecole (per lo più di natura organica) presenti in soluzione.

L'adsorbimento su carbone migliora significativamente anche l'indice di biodegradabilità delle acque scaricate, in quanto la media dei rapporti COD/BOD₅ passa da $2,3 \pm 0,4$ a $1,6 \pm 0,3$ valore ben inferiore a quello di riferimento di 2,5.

Come previsto, il trattamento mediante adsorbimento su carbone attivo può ridurre i flussi di inquinanti. Tuttavia, nel caso delle lavanderie, questa soluzione non è facilmente attuabile da un punto di vista economico. In effetti, i volumi di effluente da trattare e le elevate concentrazioni di carico organico satu-

rerebbero troppo rapidamente i reattori, costringendo ad un cambio frequente del materiale adsorbente. I costi annui di mantenimento della stazione ne sarebbero negativamente influenzati. A complicare la situazione, è anche l'elevata torbidità delle acque di lavanderia, causata dalla presenza di colloidali difficili da eliminare. Questo particolato molto fine può impattare il corretto funzionamento dei reattori, contribuendo al fenomeno di colmatazione.

Pertanto, la soluzione proposta nell'ambito del progetto MYDREAU è stata quella di ottimizzare *in primis* i processi chimico-fisici già usati dall'industria, al fine di ridurre al massimo i valori di COD, e solo in un secondo momento prendere in considerazione un trattamento su carboni attivi.

Conclusioni

I risultati di questo articolo dimostrano che gli scarichi prodotti dagli impianti di lavanderia industriale sono complessi e altamente variabili, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Prima di prendere in considerazione qualsiasi azione complementare al trattamento chimico-fisico già in atto, è stato necessario caratterizzare gli effluenti non solo in termini di COD e BOD₅, ma anche di idrocarburi, tensioattivi e nonilfenoli. Al termine di tale studio, due possibili trattamenti secondari sono stati individuati: un trattamento biologico (grazie agli indici di biodegradabilità vicini al valore limite) e un adsorbimento su carbone attivo (il quale oltre a diminuire i flussi di inquinanti, migliora l'indice di biodegradabilità). Tuttavia, la messa in atto di un trattamento a base di carboni è complicata dagli elevati volumi di effluente da trattare quotidianamente e dalla presenza di colloidali e di elevati valori di carico organico. In seguito a questo lavoro, i partner industriali del progetto MYDREAU hanno iniziato a orientarsi verso l'opzione del trattamento biologico, con l'obiettivo di ottimizzare ugualmente le condizioni del trattamento chimico-fisico già utilizzato.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'Université de Franche-Comté (Progetto MYDREAU 2022-2024), la Région Bourgogne Franche-Comté, il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FEDER), l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro e le lavanderie industriali per il loro sostegno finanziario. La dottoranda Chiara Mongiovi ringrazia la Région Bourgogne Franche-Comté per la borsa di studio. Il Dr. Dario Lacalamita ringrazia ugualmente la Région Bourgogne Franche-Comté per aver finanziato il suo contratto biennale in Francia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Morin-Crini, G. Crini, *Eaux Industrielles Contaminées*, Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, France, 2017, p. 512, ISBN: 978-2-84867-589-3, <http://pufc.univ-fcomte.fr/>
- [2] J.K. Braga, M.B.A. Varesche, *American Journal of Analytical Chemistry*, 2014, **5**, 8.
- [3] K.N. Sheth *et al.*, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2017, **4**, 50.
- [4] M. Procházková, V. Máša, *Chemical Engineering Transactions*, 2022, **94**, 577.
- [5] N. Morin-Crini *et al.*, *Environmental Chemistry Letters*, 2022, **20**, 2311.
- [6] Ente Bilaterale Lavanderie Industriali (EBLI), Osservatorio sul settore delle lavanderie industriali-primo rapporto, 2015
- [7] N. Morin-Crini *et al.*, *Journal of Environmental Protection* 2013, **4**, 53.

Mydreau Project: towards a Better Chemical Knowledge of Laundry Water for a More Efficient Treatment

The industrial laundries, a sector with a strong presence in France and Italy, is considered to be one of the largest users of water, and therefore one of the largest producers of wastewaters. Although these wastewaters are treated on site and comply with the regulations in force, the discharge waters still contain a significant amount of pollution. This article shows that discharges from industrial laundries are indeed complex and highly variable, both in terms of quality and quantity. However, these effluents can be considered as biodegradable, which suggests the possibility of applying biological additional treatment.

NUOVA
ENERGIA PER LA
TUA AZIENDA

