

Chimica & Ambiente

UNA RIFLESSIONE SULLE BONIFICHE IN ITALIA

Salvatore Mazzullo

ESPERA: Etica e Scienza Per l'Ambiente

Primo Direttore del Centro Ricerche Ambientali di Ravenna

turi.mazzullo@libero.it

A vent'anni dall'entrata in vigore del D.M. 471/99 la bonifica dei siti inquinati stenta a decollare e il traguardo della conclusione delle bonifiche appare lontano. Dalla serie storica dei dati ISPRA si può azzardare che tale traguardo verrà raggiunto in circa 200 anni per i Siti Interesse Nazionale (SIN) e in circa 35 anni per i Siti di Interesse Regionale (SIR).



Il Sito inquinato di Interesse Nazionale, SIN di Venezia (Porto Marghera): Ri-perimetrazione (linea gialla) ≈1.900 ettari; DGRV 58/2013

A Reflection on Reclamations of Polluted Sites in Italy

Twenty years after the entry into force of the Ministerial Decree 471/99 the reclamation of polluted sites is struggling to take off and the goal of the conclusion of reclamations appears far away. From the historical series of ISPRA data we can venture that this goal will be reached in about 200 years for the National Interest Sites, SIN and in about 35 years for the Sites of Regional Interest, SIR.

Introduzione

Le bonifiche, in Italia, stentano a decollare. Non è sufficiente, infatti, mettere in pratica le buone tecniche, basate sulla conoscenza, per effettuare le bonifiche ma sono necessarie anche le buone relazioni con il territorio, basate sulla fiducia [1].

Un valido punto di partenza per attuare queste due pre-condizioni (buone relazioni e fiducia) può essere una valutazione serena e costruttiva dell'eredità del passato, facendo la scelta difficile ma liberatoria di pronunciare due semplici parole: "mea culpa". Quest'assunzione di responsabilità storica da parte di almeno tre protagonisti del problema delle bonifiche, la proprietà industriale, l'autorità pubblica e l'università nazionale, potrebbe generare la credibilità necessaria per poter operare senza conflitti, nel rispetto dei criteri di trasparenza e certezza dei tempi.

Alla base della difficoltà c'è comunque un problema economico di difficile soluzione. Le bonifiche comportano uno sforzo economico di così vaste proporzioni da dovere essere oggetto di un'innovazione finanziaria che consenta lo sviluppo economico delle aree bonificate e di cui ancora non si scorge traccia negli studi degli economisti.

È possibile azzardare una stima del tempo necessario perché tutti i siti inquinati italiani vengano bonificati? La risposta è affermativa: basta confrontare, con le opportune cautele, lo stato di avanzamento attuale 2018 [2] con lo stato di avanzamento nel 2008 [3].

La situazione 2018 dei Siti inquinati di Interesse Nazionale, SIN

La bonifica dei siti inquinati da attività storica, in particolare, la bonifica dei Siti inquinati di Interesse Nazionale (SIN), stenta a decollare, a vent'anni dal decreto ministeriale D.M. 471/99, attuativo della cosiddetta Legge Ronchi (D.Lgs. 22/96). Né è valso ad accelerare le procedure di bonifica, il testo unico ambientale D.Lgs. 152/06 e successive modifiche. Al momento (2018), la situazione delle bonifiche è ben riassunta dalle Fig. 1a e 1b.

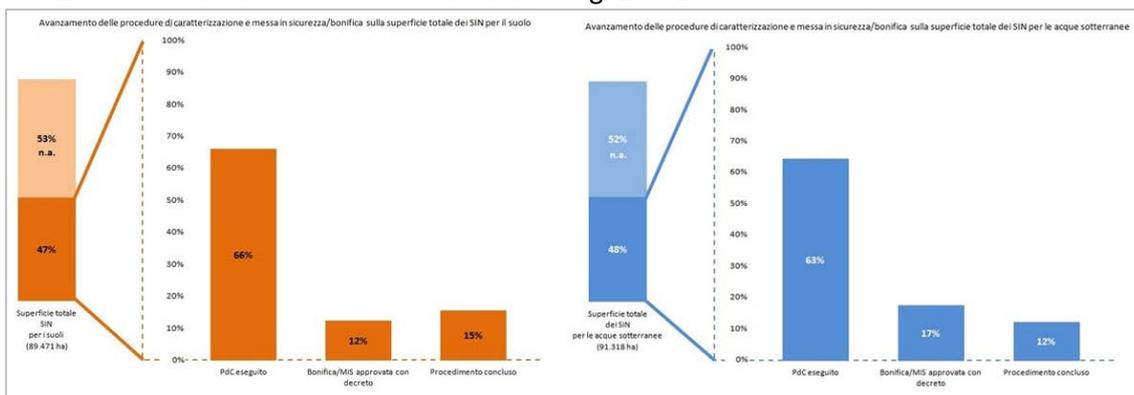
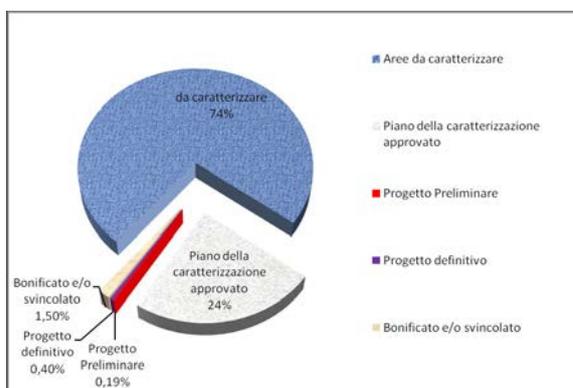


Fig. 1 - Siti di Interesse Nazionale: a) stato di avanzamento delle bonifiche Suoli 2018 [2]; b) stato di avanzamento delle bonifiche Acque 2018 [2]

A commento delle Fig. 1a e 1b, l'annuario ISPRA 2018 fornisce le informazioni principali, di seguito riportate, sui 41 siti contaminati d'interesse nazionale (SIN).

La superficie complessiva a terra dei SIN è pari a 171.268 ha e rappresenta lo 0,57% della superficie del territorio italiano. L'estensione complessiva delle aree a mare ricomprese nei SIN è pari a 77.733 ha. La problematica complessivamente interessa, ad eccezione del Molise, tutte le Regioni italiane. In termini di avanzamento complessivo delle procedure a terra per 35 SIN (ad eccezione di 4 SIN con contaminazione prevalente da amianto e dei SIN Bacino del Fiume Sacco e Officina Grande Riparazione ETR di Bologna), si osserva che la caratterizzazione è stata eseguita ad oggi in oltre il 60% della superficie sia per i suoli che per le acque sotterranee, gli interventi di bonifica/messa in sicurezza sono stati approvati con decreto in più del 12% delle superfici (17% nel caso delle acque sotterranee) e il procedimento si è concluso nel 15% della superficie complessiva per i suoli e nel 12% per le acque sotterranee.

Con riferimento all'area del Delta del Po, nella Regione Veneto è presente il SIN di Porto Marghera. Nella Regione Emilia Romagna è presente il SIN di Sassuolo e il SIN Officina Grande



Riparazione ETR di Bologna, ancora da perimetrare. Nella Regione Friuli Venezia Giulia sono presenti due SIN: Trieste e Caffaro di Torviscosa (ex Laguna di Grado e Marano).

Fig. 2 - Siti di Interesse Nazionale: Stato di Avanzamento delle Bonifiche 2008 [3]

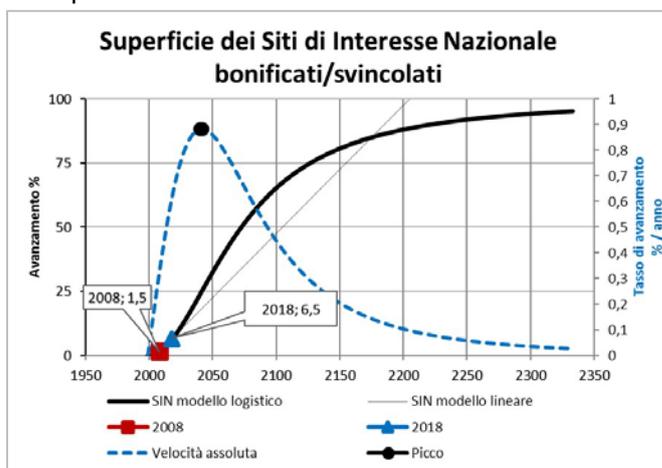
Il confronto della situazione del 2018 con la situazione di dieci anni prima, nel 2008, disciude una sconcertante considerazione quantitativa sul futuro delle bonifiche dei SIN. L'annuario ISPRA 2008 forniva la situazione delle bonifiche dei SIN, di cui alla Fig. 2.

Dal confronto 2008/2018, di cui alla Tab. 1, si deduce che, in 10 anni, le bonifiche sono avanzate del 5%, in termini di aree bonificate o svincolate.

Tab. 1 - Dati storici ISPRA della superficie dei SIR bonificata/rilasciata [2]

Anno	2008	2018
Età (2008 = 0), (anni)	10	20
Superficie bonificata/rilasciata, %	1,5	6,5

È possibile azzardare una stima del tempo necessario perché tutti i siti inquinati italiani vengano bonificati? Nell'ipotesi di mantenimento di questa tendenza, sarebbero necessari 200 anni, per il completamento delle bonifiche dei SIN. Affinando il confronto, mediante una funzione logistica



di avanzamento delle bonifiche, i tempi si allungano, raggiungendo l'ordine di grandezza di 300 anni per il pratico raggiungimento del 100% delle bonifiche, come appare dalla Fig. 3.

Fig. 3 - Stato di avanzamento della bonifica dei Siti di Interesse Nazionale (SIN)

Nella Fig. 3, la linea sottile descrive l'estrapolazione lineare mentre la linea curva in grassetto rappresenta l'estrapolazione logistica di cui all'equazione (4), Schema 1, con i parametri ($\alpha=2$; $\tau=73,5$ anni) La costante di tempo τ di avanzamento delle bonifiche incorpora, sinteticamente, la situazione attuale di interazione pubblico/privato altamente conflittuale e improntata a sfiducia fra le parti. Il miglioramento delle relazioni abbassa la costante di tempo, accelerando lo stato di avanzamento delle bonifiche. La linea tratteggiata rappresenta la velocità di avanzamento annuale delle bonifiche, in termini di superficie bonificata/svincolata, di cui all'equazione (2), Schema 1. Alle condizioni attuali, la massima velocità di avanzamento delle

bonifiche di poco meno dello 0,9% annuo si raggiungerà nel 2040, in corrispondenza del valore massimo presentato dalla curva tratteggiata.

$$\chi = S_a/S_\infty \quad (1)$$

$$\frac{d\chi}{dt} = k \cdot f(\alpha, \chi) \quad (2)$$

$$f(\alpha, \chi) = \alpha \cdot \chi^{1-\frac{1}{\alpha}} \cdot (1-\chi)^{1+\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

$$\chi_a(t) = 100 \cdot \frac{(kt)^\alpha}{1 + (kt)^\alpha} \quad (4)$$

Schema 1

La situazione 2018 dei Siti inquinati di Interesse Regionale, SIR

Secondo l'Annuario dei dati ambientali ISPRA 2018, oltre 22.000 sono i siti potenzialmente contaminati e la quasi totalità è costituita da Siti di Interesse Regionale, (SIR) (Fig. 4).

Con riferimento all'area del Delta del Po, la Regione Veneto ha una superficie totale interessata ai SIR di 1.750 ettari, pari a meno dello 0,1% della superficie regionale. La Regione Emilia Romagna ha una superficie totale interessata ai SIR di 3.300 ettari, pari allo 0,14% della

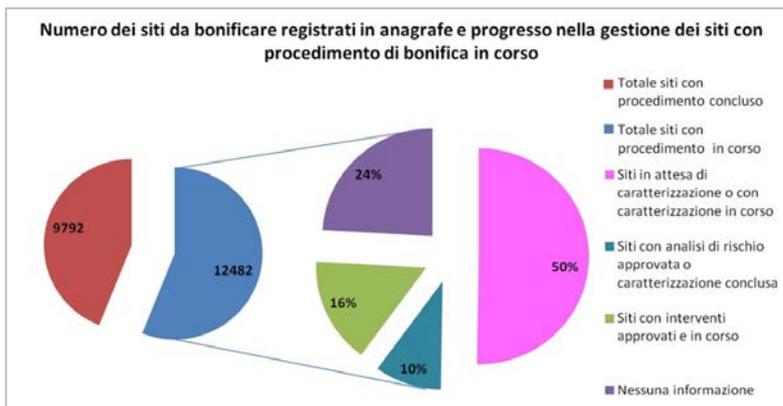


Fig. 4 - Siti di Interesse Regionale: Stato di Avanzamento delle Bonifiche 2018 [2]

Più in dettaglio, l'indicatore ISPRA 2018 fornisce informazioni sui siti contaminati riferiti a 18 Regioni e a 1 Provincia autonoma: i siti registrati da bonificare sono oltre 22.000 mentre i siti bonificati sono circa 10.000, pari al 44% del numero totale dei SIR. Per quanto attiene ai 12.000 siti da bonificare, il 24% è nello stato di nessuna attività in corso mentre il restante 76% ha il procedimento di bonifica in corso, così ripartito: 50% in attesa di caratterizzazione o con caratterizzazione in corso, 10% con analisi di rischio approvata o comunque caratterizzazione conclusa, 16% con interventi approvati ed in corso.

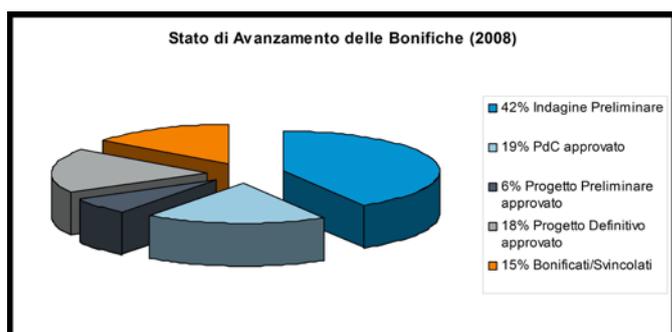


Fig. 5 - Siti di Interesse Regionale: Stato di Avanzamento delle Bonifiche 2008 [3]

Dal confronto 2008/2018 si deduce che, in 10 anni, la bonifica dei SIR è avanzata del 29%, in termini di numero dei siti bonificati o svincolati, di conseguenza, nell'ipotesi di mantenimento di questa tendenza, saranno necessari 35 anni, per il completamento della bonifica dei SIR.

Considerazioni conclusive

Per quanto attiene ai Siti di Interesse Nazionale, SIN, si ricava che, in 10 anni, le bonifiche sono avanzate del 5%, in termini di aree bonificate o svincolate e quindi, nell'ipotesi di mantenimento di questa tendenza, sarebbero necessari 200 anni, per il completamento delle bonifiche. Affinando il confronto, mediante una funzione logistica di avanzamento delle bonifiche, i tempi si allungano, raggiungendo l'ordine di grandezza dei 300 anni per il pratico raggiungimento del 100% delle bonifiche.

Decisamente migliore è la situazione riguardante la bonifica dei Siti di Interesse Regionale, SIR. Dal confronto 2008/2018 si ricava che, in 10 anni, le bonifiche sono avanzate del 29%, in termini di numero dei siti bonificati o svincolati e quindi, nell'ipotesi di mantenimento di questa tendenza, sarebbero necessari circa 35 anni, per il completamento delle bonifiche.

Questa breve analisi fa emergere con drammatica evidenza che difficilmente le bonifiche verranno concluse nel corso di questa generazione. Sarà necessario un fortissimo patto

superficie regionale. La Regione Friuli Venezia Giulia, ha una superficie totale interessata ai SIR di circa 800 ettari pari allo 0,1% della superficie regionale.

intergenerazionale affinché questo pesante lascito venga accettato e portato avanti dalle generazioni future sino al completamento, secolare, dei lavori di bonifica.

Gli organi di informazione parlano spesso dei costi delle bonifiche, tuttavia non si dovrebbe parlare di *costi delle bonifiche* quanto, piuttosto, di *restituzione di valore al territorio*, attraverso le bonifiche. Una stima di questo valore delle bonifiche per i Siti di Interesse Nazionale ha l'ordine di grandezza di 75 miliardi di euro mentre per i Siti di Interesse Regionale del delta del Po tale stima si attesta sui 5 miliardi di euro. Più aleatoria, per incompletezza dei dati disponibili nelle anagrafi regionali, è la stima del valore delle bonifiche dei Siti inquinati di Interesse Regionale presenti in tutto il territorio italiano.

"I problemi non possono essere risolti con la stessa mentalità con la quale sono stati creati" (A. Einstein). A questo riguardo è molto promettente la decisa presa di posizione degli adolescenti, attraverso la giornata di manifestazione, "*Fridays for future*" del 15 marzo 2019, di volersi impegnare per la salvaguardia del Pianeta. La *restituzione di valore al territorio* attraverso le bonifiche può costituire, per queste nuove generazioni, la creazione di un'identità e un senso di appartenenza quale è stato per la generazione del dopoguerra l'impegno corale per la ricostruzione dell'Italia dopo le devastazioni della seconda guerra mondiale.

Appendice: modello matematico di avanzamento delle bonifiche

La descrizione dello stato di avanzamento delle bonifiche in Italia è stato fatto attraverso un modello di crescita, mediante adattamento giudizioso della teoria di crescita dei cristalli di Avrami [4]. Ogni processo di crescita, infatti, potrebbe essere descritto come il risultato di tre fenomeni: la nascita dei nuclei di crescita delle specifiche azioni di bonifica nella massa dei siti da bonificare (cinetica di nucleazione), la successiva crescita intorno a tali nuclei (cinetica di crescita vera e propria) e l'arresto della crescita quando il sistema in accrescimento viene a urtare con impedimenti di vario genere, finanziari, tecnologici, legali, di opinione pubblica e, più in generale, di conflitto fra shareholders e stakeholders, (processo di "impingement"). Alle condizioni speciali che entrambe le cinetiche di nucleazione e crescita soddisfino alle stesse regole ("ipotesi iso-cinetica") è possibile raggruppare i tre fenomeni in un'unica equazione per la crescita cumulativa. Per comodità di trattazione analitica delle equazioni, faremo uso del modello di crescita cumulativa sviluppato da M.C. Tobin [5]. In questo lavoro ci limitiamo ai Siti di Interesse Nazionale ma il procedimento è immediatamente trasferibile anche ai Siti di Interesse Regionale.

Nel nostro modello, lo stato di avanzamento delle bonifiche è indicato dal simbolo χ . Questa variabile adimensionale χ esprime la percentuale delle superfici S_a bonificate/svincolate, rispetto al totale delle superfici da bonificare, S_∞ (Schema 1). Il parametro χ può, pertanto, assumere valori tra zero, all'inizio delle attività di bonifica (1999, anno di pubblicazione del D.M. 471/99) e 100% al momento della conclusione delle bonifiche. La cinetica dello stato di avanzamento delle bonifiche è descritta da un'equazione differenziale ordinaria del primo ordine nella variabile χ (eq. 2) con la condizione iniziale $\chi(0) = 0$, cioè, stato di avanzamento nullo all'inizio dell'era delle bonifiche, (1999). L'equazione (2) descrive l'andamento della velocità assoluta di crescita annuale delle bonifiche. La costante cinetica k ha le dimensioni dell'inverso di un tempo ed è un descrittore della costante di tempo caratteristica di evoluzione temporale del fenomeno delle bonifiche.

Il fattore di forma $f(\alpha, \chi)$ assume la forma analitica rappresentata dall'eq. 3. Questa funzione ci dice che lo stato attuale delle bonifiche cresce proporzionalmente allo stato di avanzamento delle bonifiche, con un andamento sub-lineare dato dal secondo fattore; ci dice anche che la crescita non procede all'infinito ma si estingue gradualmente, proporzionalmente alla quota mancante di bonifiche, con un andamento super-lineare dato dal terzo fattore.

Il numero reale positivo $\alpha = n+1$ si riferisce alla dimensione geometrica delle bonifiche, ($n=1$ significa sviluppo delle bonifiche di tipo direzionale, per contagio, quale è il caso dell'insieme complessivo della bonifica dei SIN stimolata dagli obblighi di legge; $n=2$, significa sviluppo di superficie, quale è il caso di un singolo SIN affetto da inquinamento superficiale; $n=3$, significa sviluppo di volume, quale è il caso di un singolo SIN affetto da inquinamento volumetrico). La cinetica dello stato di avanzamento delle bonifiche, descritta dall'equazione (2), può essere integrata analiticamente, dando luogo alla soluzione integrale, che fornisce lo stato attuale di avanzamento delle bonifiche $\chi_a(t)$, in funzione del tempo. L'equazione (4) ha la forma di una funzione di tipo logistico: all'inizio cresce velocemente, con l'andamento della funzione potenza $(kt)^\alpha$ per poi gradualmente rallentare portandosi, definitivamente, a un plateau. Da questa soluzione dell'equazione analitica si vede immediatamente che quando il tempo corrente t è tale che $kt=1$, allora lo stato di avanzamento delle bonifiche raggiunge il valore $\chi=1/2$, cioè il 50% del valore massimo accessibile all'equilibrio. Pertanto la costante cinetica k corrisponde all'inverso del tempo di semivita del processo di bonifica.

La curva descritta dall'equazione (4) può essere utilizzata per rappresentare i dati sperimentali di uno specifico processo. Per far questo è necessario conoscere i valori dei due parametri liberi (k, α) che dopo identificazione, a partire dai dati storici ISPRA di Tab. 1, assumono i valori ($\alpha=2$; $\tau=73,5$ anni).

L'andamento della curva logistica dello stato di avanzamento delle bonifiche è rappresentato in Fig. 3 dalla curva in grassetto mentre la velocità assoluta di avanzamento percentuale annuo delle bonifiche è data dalla curva tratteggiata.

Osservazioni critiche al modello delle bonifiche

L'ipotesi fondamentale di questo lavoro è che il modello dello stato di avanzamento delle bonifiche possa essere descritto dall'equazione differenziale $d\chi/dt = k f(\alpha, \chi)$, in cui il secondo membro si scrive come prodotto di una costante cinetica k e di un fattore di forma $f(\alpha, \chi)$ funzione solo del valore della variabile χ . È opportuno soffermarsi e fare alcune considerazioni su questa scelta, per apprezzarne appieno la portata e le conseguenze.

Conseguenze matematiche del modello

A causa di questa scelta, l'equazione differenziale è indipendente dalla storia passata ma dipende solo dallo stato corrente χ . In altri termini, lo stato del sistema in qualunque tempo futuro è univocamente determinato dal suo stato in un qualche assegnato tempo pregresso. In molte situazioni reali questa è una manifesta assurdità e, probabilmente, anche la nostra situazione è fra queste! Tuttavia, è un'utile anche se palese assurdità. Il difetto di molti modelli matematici non sta tanto in questa limitazione, quanto nella mancanza di consapevolezza di questa limitazione [6]. Un modello matematico di un processo reale va utilizzato fin tanto che fornisce previsioni in ragionevole accordo con le osservazioni. Se si pone a confronto la complessità dei fenomeni fisici con la semplicità di questo modello matematico non è sorprendente che si potrà essere forzati a modificarne la formulazione, di tanto in tanto, allo scopo di ottenere più accurati risultati. È notevole, tuttavia, come una profonda comprensione di molti processi reali possa essere conseguita per mezzo di ipotesi assai rudimentali!

Conseguenze fisiche del modello

Per ipotesi, il fattore di forma assume l'espressione $f(\alpha, \chi)$. Il senso di questa funzione è che la velocità di crescita delle bonifiche è nulla non solo all'origine del processo, quando $\chi=0$, ma anche quando $(1-\chi)=0$, cioè alla fine del processo. Ciò implica che c'è una fase di crescita, si raggiunge un massimo e poi c'è una decrescita nella velocità di variazione del processo. Da un punto di vista fisico, il fattore di forma rende ragione dell'ipotesi che un sistema finito non può crescere all'infinito ma tende a stabilizzarsi raggiungendo un valore di saturazione: la superficie totale da bonificare S_{∞} .

Capacità predittiva del modello

La speciale scelta del fattore di forma permette di integrare analiticamente l'equazione differenziale in modo da soddisfare la condizione iniziale, $\chi(0)=0$, ottenendo così l'espressione analitica o stato di avanzamento delle bonifiche, riportata in eq. 4. Questa è una funzione di tipo logistico, a due parametri liberi (k, α) che sono stati identificati sulla base della serie storica di dati ISPRA sulle bonifiche che copre circa 20 anni cioè un decimo della durata pratica di questo ciclo (~200 anni), come si evince a posteriori dal diagramma di Fig. 3. La serie storica dei dati di bonifica è relativamente breve e questo fatto invita alla prudenza nell'utilizzo previsionale del modello. Il parametro k ha il carattere di una costante cinetica e determina l'intensità della velocità di variazione del processo. Esso incorpora gli effetti degli sviluppi tecnologici apportati nel tempo ai processi e alle tecnologie di bonifica ed è plausibile che tali sviluppi continueranno nel tempo. Se però si accetta che la forma dell'equazione cinetica di governo del fenomeno rimanga immutata, allora l'effetto di un aumento della costante cinetica (dovuto al miglioramento della tecnologia), sarà quello di anticipare nel tempo l'insorgenza del picco di velocità, ma non di cambiarne la forma e quindi le caratteristiche essenziali. Queste considerazioni fanno emergere anche la direzione verso la quale orientare un miglioramento di questo modello elementare: aggiornare la coppia dei parametri identificati del processo di bonifica (k, α) man mano che sono disponibili nuovi dati storici e incorporare gli effetti degli sviluppi delle tecnologie di bonifica sulla costante cinetica $k(t)$. Questi effetti dovranno essere descritti da altrettante equazioni, da affiancare alla formulazione attuale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Mazzullo, *La Chimica e l'Industria*, 2009, **91**(1), 80.
- [2] ISPRA, Siti Contaminati di Interesse Nazionale e Regionale - Dati 2018.
- [3] S. Mazzullo, *La Chimica e l'Industria*, 2009, **91**(8), 80.
- [4] M. Avrami, *J. Chem. Phys.*, 1939, **7**, 1103; 1940, **8**, 212; 1941, **9**, 177.
- [5] M.C. Tobin, *J. Polym. Sci.; Polym. Phys. Ed.*, 1974, **12**, 399.
- [6] R. Bellman, R. Roth, *Quasi-linearization and the identification problem*, World Scientific Publ., Singapore, 1983.