



## TRATTAMENTO E RICICLAGGIO DELLE ACQUE DI RUSCELLAMENTO STRADALE

Luciano Cera  
Ingegnere libero professionista  
Viale dello splendore 12A, 64021 Giulianova (TE)  
Tel: +39 0861.611052 - Fax: +39.08611.611052  
E-mail: lucianocera@ infinito.it

Paola Di Mascio  
Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade  
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"  
Via Eudossiana 18, 00184 Roma  
Tel: +39 06.44585115- Fax: +39.06.44585121  
E-mail: paola.dimascio@uniroma1.it

# TRATTAMENTO E RICICLAGGIO DELLE ACQUE DI RUSCELLAMENTO STRADALE

LUCIANO CERA - libero professionista

PAOLA DI MASCIO – Dipartimento di Idraulica, Trasporti e strade – Università di Roma “La Sapienza”

## SOMMARIO

Una infrastruttura stradale è un'opera che provoca sempre una sostanziale alterazione dell'ambiente in cui si inserisce: sia durante la fase di costruzione dell'opera che in esercizio. Sono note le problematiche legate all'inquinamento atmosferico e da rumore prodotto dal traffico circolante, ma altrettanto non può dirsi per il problema dell'inquinamento “idrico” che a volte può raggiungere livelli di criticità tali da rendere necessari interventi di depurazione. Questo aspetto finora è stato completamente trascurato dalla legislazione vigente, ma che da qualche anno sta attirando l'attenzione di biologi, chimici ed ingegneri (*stradali ed idraulici*),

Per inquinamento idrico si intende l'inquinamento del ricettore finale (*corpo idrico o suolo*), a seguito dello scarico delle acque di ruscellamento della sede stradale prodotte da un evento piovoso.

E' opportuno ricordare [1] che prima di giungere al suolo, le particelle di acqua di pioggia, asportano fisicamente, assorbendo, adsorbendo e solubilizzando sostanze dovute all'emissione di fumi, gas e vapori, le cui quantità sono legate al livello di antropizzazione dell'area; giunte al suolo le particelle di acqua lavano ed asportano i rifiuti generati dal traffico e dalle altre attività umane presenti sulle sedi stradali.

L'analisi di campioni di acqua ha mostrato concentrazioni di elementi inquinanti i cui valori in alcuni casi superano quelli delle acque derivanti dagli scarichi domestici e/o industriali. È evidente quindi che lo scarico diretto in un corpo d'acqua può portare all'alterazione dell'ecosistema fino alla scomparsa totale della vita animale e/o vegetale. Allo stato attuale gli autori della presente nota stanno lavorando per individuare i sistemi più idonei al trattamento delle acque ed al loro eventuale successivo riutilizzo. In precedenti memorie è stata evidenziata la possibilità di uso di tecniche di ingegneria naturalistica come sistema per l'abbattimento dei metalli pesanti, (*essi risultano essere i principali elementi inquinanti nell'acqua di ruscellamento*), al fine di poter immettere nei corpi ricettori le acque così trattate.

La presente memoria affronta la problematica dell'approvvigionamento delle acque ed il successivo eventuale riutilizzo:

- nella prima parte dell'articolo viene analizzato un metodo previsionale del carico inquinante delle acque di ruscellamento stradale, che in funzione del traffico, delle condizioni meteorologiche e dello stato dell'infrastruttura stabilisce le quantità dei singoli elementi nelle acque;
- nella seconda parte dell'articolo viene affrontata la problematica delle varie tecniche di trattamento delle acque di ruscellamento per un successivo riutilizzo. Vengono presi in esame i provvedimenti più idonei quando si è in presenza di elevati carichi inquinanti in vicinanza di zone ad alto valore ambientale (*sorgenti, ruscelli, laghi ecc.*) e si esaminano i casi in cui il trattamento deve prevedere vasche di accumulo, sistemi di fitodepurazione, o altri idonei sistemi per l'abbattimento dei carichi inquinanti.

## ABSTRACT

Roads always provoke a huge impact on the environment, both during the construction and the service life. While we have good knowledge on acoustic and air pollution, it's only during recent years that another kind of pollution has begun to be faced: the road runoff water pollution. It is intended as caused by the water discharging from roads to water streams. It has been neglected for long time, but now it has captured the attention of biologists, chemists and engineers.

We have studied road runoff water pollutants and a model to forecast the quantity of them in waters, according to traffic density, meteorological conditions and the kind of road.

At the moment we are looking for the most suitable systems for water treatment and its recycling. In the past we have already shown how useful is phyto-depuration system for pulling down heavy metals, in order to let treated waters in the environment. This paper faces the problem of water collection and recycling:

- at the beginning of the article we propose a method to quantify the runoff water pollution from a section of road after a rain;
- the second part of the article deals with the treatment techniques of road runoff waters in order to reuse them.

## 1. INTRODUZIONE

Una infrastruttura stradale produce differenti tipi di inquinamenti nell'ambiente in cui si inserisce: atmosferico, acustico, visivo, idrico. Quest'ultimo è inteso come inquinamento dei corpi idrici a seguito dello scarico delle acque di ruscellamento della sede stradale.

I fattori di impatto sull'ambiente idrico (fiumi, laghi, acque dolci in genere) diretti o indiretti, connessi con le infrastrutture viarie sono normalmente riferiti a due fasi successive della vita dell'opera: la realizzazione e l'esercizio.

*Durante la fase di costruzione* dell'infrastruttura si manifestano alterazioni delle caratteristiche dei corsi d'acqua o degli acquiferi che hanno generalmente carattere temporaneo e che sono principalmente legate a fenomeni di erosione superficiale e di successiva sedimentazione. Il fenomeno è strettamente legato alla natura del terreno, alla morfologia del territorio ed alle prevalenti condizioni climatiche, in particolare al regime pluviometrico ed ai venti.

La reversibilità tendenziale dell'inquinamento idrico in fase di costruzione non deve comunque indurre a trascurarne l'importanza. Esistono infatti anche delle modifiche di tipo permanente nei deflussi naturali o nel regime delle falde idriche superficiali o profonde connesse con il fatto che il livello di acidità delle acque di dilavamento può alterarsi sfavorevolmente al contatto con particolari terreni creando elevati livelli di tossicità. Pertanto, laddove si hanno terreni particolari e la sensibilità dell'ambiente lo suggerisce è opportuno impiantare un idoneo sistema di monitoraggio che consenta di definire quantitativamente il problema e scoprire in tempo utile le aree di potenziale criticità.

*Durante la fase di esercizio* i fattori di impatto sono connessi con attività diverse i cui effetti spesso vengono a sovrapporsi. Tali attività sono legate alle sostanze che si accumulano sulla superficie della pavimentazione o nelle sue vicinanze e che vengono prodotte:

- dal traffico veicolare, a seguito della solubilizzazione dei prodotti di scarico e per l'accumulo di sostanze derivanti dall'usura delle parti del veicolo,
- da eventi accidentali connessi con lo sversamento sul piano stradale e/o nelle fasce di pertinenza di sostanze pericolose o tossiche a seguito di incidenti che coinvolgono autocisterne o simili.

Spesso è su quest'ultimo aspetto, in quanto più vistoso e puntualmente più grave, che si accentra l'attenzione; non bisogna però trascurare gli altri che possono essere altrettanto gravi e certamente più diffusi.

In questo studio si considera solo l'inquinamento idrico in fase di esercizio dovuto al traffico veicolare. I problemi dovuti allo sversamento di liquidi pericolosi in seguito ad incidenti merita infatti una trattazione a parte. Questo aspetto va studiato puntualmente, individuando le zone più a rischio di incidente e predisponendo il necessario per intervenire tempestivamente. Il problema ovviamente va studiato in funzione della sostanza versata e della natura della zona e affrontato volta per volta risultando abbastanza difficile predisporre una metodologia generale di intervento.

In maniera completamente diversa va invece affrontato l'inquinamento idrico prodotto in fase di esercizio delle infrastrutture stradali dovuto al traffico veicolare. In questo caso infatti prima ancora di pensare alle modalità di abbattimento dell'inquinamento prodotto, bisogna valutare la quantità di inquinante, che non è noto a priori e di cui ancora non si hanno dati sufficienti per implementare un algoritmo previsionale di calcolo. Il monitoraggio di tali inquinanti è infatti ancora una pratica poco diffusa, soprattutto in Italia, nonostante che il problema fu evidenziato già nel XXI Congresso Nazionale delle Strade a Trieste nel 1990 [1].

## 2. VALUTAZIONE DEL CARICO INQUINANTE DELLE ACQUE DI RUSCELLAMENTO STRADALE

Le acque di pioggia quando giungono al suolo sono già inquinate in concentrazione elevata avendo asportato e solubilizzato particelle e sostanze presenti nell'atmosfera. Al contatto con la superficie del suolo, esse si caricano ulteriormente della maggior parte delle sostanze inquinanti originate da rifiuti liquidi e solidi, detriti vegetali e animali, rifiuti del traffico veicolare. La produzione di tali inquinanti è legata sia a fattori meteorologici che alle caratteristiche fisiche e di traffico dell'infrastruttura.

*I fattori meteorologici* che contribuiscono all'accumulo degli inquinanti nelle acque di ruscellamento stradale sono:

- l'altezza di pioggia;
- la durata della pioggia;
- il numero di giorni del periodo secco precedente l'evento piovoso.

I primi due fattori condizionano il tempo di lavaggio della superficie stradale, il terzo la quantità di inquinanti presenti .

*I fattori legati alle caratteristiche fisiche dell'infrastruttura* sono:

- la composizione della piattaforma stradale: l'esistenza o meno di delimitazioni longitudinali quali cunette, barriere di sicurezza, marciapiedi, cigli, arginelli, ecc. può favorire l'accumulo o lo smaltimento delle sostanze inquinanti;

- il tipo di pavimentazione: il materiale costituente la pavimentazione determina il valore del coefficiente di deflusso dell'acqua dalla superficie stradale;
- le pendenze della strada: definiscono il percorso e quindi la lunghezza di drenaggio;
- il rapporto fra la superficie impermeabile (costituita da pavimentazione stradale, banchine, marciapiedi, ecc.) e la superficie totale del bacino afferente: da esso dipende la quantità di acqua che non viene assorbita dal terreno e che viene intercettata dal sistema di drenaggio dell'infrastruttura.

I fattori legati al traffico sono:

- il traffico giornaliero medio (TGM),
- la composizione del traffico,
- le caratteristiche dei veicoli.

Dal traffico dipende la quantità di emissioni e quindi di inquinanti presenti nell'acqua di ruscellamento, dalle caratteristiche dei veicoli dipende il tipo di dette emissioni.

La letteratura tecnica suggerisce diverse metodologie per la caratterizzazione quantitativa del carico inquinante prodotto in esercizio dalle infrastrutture stradali. Sulla scorta degli studi e delle ricerche fino ad oggi eseguite, si ritiene che la formulazione più idonea (e che risulta attualmente la più utilizzata) sia quella di un modello esponenziale del tipo:

$$P_w = P[1 - e^{-\alpha(t-t_0)}] \quad (1)$$

- dove
- $P_w$  = quantità di inquinante sulla superficie stradale
  - $P$  = quantità di inquinante presente sul piano viabile all'istante iniziale  $t_0$
  - $t$  = tempo dopo l'ultimo evento piovoso o di pulizia della strada
  - $\alpha$  = esponente caratterizzante le specifiche condizioni del sito avente le dimensioni dell'inverso di un tempo

Le ipotesi di base da cui discende la formulazione presentata sono :

1) la quantità di inquinante presente nell'acqua di ruscellamento stradale al tempo (t)  $P_w(t)$  è direttamente proporzionale alla quantità di inquinante accumulatasi sulla superficie stradale  $V(t)$  e cioè:

$$P_w(t) = \alpha V(t) \quad (2)$$

2) la diminuzione nel tempo della quantità di inquinante presente sulla pavimentazione stradale è pari all'aumento dell'inquinante nell'acqua di ruscellamento, in altre parole la quantità di polveri solubilizzate dall'acqua di pioggia le ritroviamo nella stessa quantità nell'acqua di pioggia. Il fenomeno di smaltimento dell'inquinante è pertanto governato dall'equazione di continuità:

$$\frac{dV}{dt} + P_w(t) = 0 \quad (3)$$

Sostituendo la (2) nella (3) si ottiene la seguente equazione differenziale:

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = 0 \quad (4)$$

La cui soluzione è la (1):

$$P_w = P[1 - e^{-\alpha(t-t_0)}] \quad (1)$$

Espressioni di questo tipo sono state assunte nei documenti tecnici del Ministero dei Trasporti francese [2] e nel manuale sviluppato dalla Federal Highway Administration statunitense (FHWA)[3].

Gli autori ritengono che il metodo messo a punto dalla FHWA, pur con i suoi limiti sperimentali, è quello che tratta l'argomento in maniera più completa e che può essere utilmente applicato a casi reali. Il metodo è già stato ampiamente illustrato in [4], ed in questa sede solo dei brevi cenni funzionali al discorso che qui si vuole affrontare.

La quantità di carico inquinante asportato dal generico evento piovoso è fornita dalla relazione :

$$P_w = P (1 - e^{-K2 * Q/TD}) \quad (5)$$

in cui:

$P$  = quantità complessiva di inquinante presente sul piano viabile all'istante  $t_0$ . Essa deve essere rilevata sperimentalmente e varia in funzione del traffico presente sulla strada, del numero di giorni trascorsi tra due eventi piovosi e della lunghezza di drenaggio. In mancanza di rilievi sperimentali, lo studio americano propone la seguente relazione:

$$P = P_0 + K1 \times GS \times HL \quad (6)$$

$K1$  = *Tasso di accumulo dell'inquinante, 'K1'* sulla pavimentazione stradale in Kg / $(Kmxgiorno)$  funzione del traffico giornaliero medio (TGM):

$$K1 = 0,007 \times TGM^{0,89} \quad (7)$$

$HL$  = lunghezza di drenaggio

$GS$  = numero di giorni trascorsi fra due eventi piovosi

$P_0$  = quantità di sostanze inquinanti presenti sulla pavimentazione stradale dopo che l'evento piovoso "i-1" ha asportato una parte del carico inquinante presente;  $P_0$  rappresenta quindi le condizioni iniziali dell'evento "i". Per calcolare  $P$  è necessario pertanto conoscere l'entità dell'evento piovoso antecedente a quello in esame, distinguendo fra:

- evento successivo ad una pioggia che ha completamente asportato dalla pavimentazione stradale tutti i rifiuti presenti: tale evento è definito Grande Evento Piovoso (GEP) e  $P_0 = 0$ ;
- evento successivo ad una pioggia di intensità e durata tali da non riuscire a dilavare completamente tutti i rifiuti presenti sulla pavimentazione stradale. In questo caso  $P_0 = K1 \times TM \times HL$  in cui, a oltre i termini già noti  $TM$  è il tempo di accumulo cioè il numero di giorni trascorsi dall'ultimo evento piovoso;

$K2$  = coefficiente di lavaggio che secondo i risultati della sperimentazione americana, assume i seguenti valori :

- 5 per una strada urbana o in viadotto con il 100% di superficie pavimentata e dotata di barriere di sicurezza definita nel manuale FHWA di *tipo I*
- 6.5 per una strada extraurbana con circa il 40% di area pavimentata sul totale del bacino afferente, caratterizzata dalla presenza di cigli ed arginelli, punti di deflusso ad intervalli predefiniti, percorsi di drenaggio protetti o non protetti definita di *tipo II*;

- 12 per una strada rurale con circa il 20% di area pavimentata sul totale del bacino afferente, caratterizzata dalla presenza di banchine e cunette non rivestite definita di *tipo III*;

Q = volume efficace unitario di acqua (mm) presente nel bacino di drenaggio funzione dell'altezza di pioggia R e del numero di giorni intercorsi fra due eventi piovosi DD secondo la relazione

$$Q=0,47xR^{1,369} x DD^{-0,0858}$$

TD = tempo di corrivazione (ore).

Il carico inquinante P finora genericamente definito, rappresenta la quantità di solidi totali (ST) asportati dal piano viabile dall'evento piovoso "i", cioè:

$$P = ST.$$

La scelta dei solidi totali come grandezza caratteristica dell'inquinante trasportato deriva dalla elevata correlazione con gli altri elementi monitorati osservata dai ricercatori americani.

La quantità dei singoli inquinanti presenti nelle acque di ruscellamento viene quindi legata al contenuto di solidi totali con relazioni del tipo:

$$XX = u x ST + v$$

dove XX rappresenta il generico inquinante e "u" e "v" sono coefficienti determinati a seguito della sperimentazione eseguita dalla FHWA per i quali si rimanda al testo originale [3].

Occorre ricordare che tutte le espressioni finora riportate sono valide soltanto nel campo della ricerca sperimentale effettuata. In particolare, per applicazioni a casi del nostro Paese, è necessaria una verifica dei valori assunti.

Si è infatti osservato che al variare dei valori sperimentali dei coefficienti del metodo descritto variano sostanzialmente i valori della quantità stimata del carico inquinante.

In particolare si è analizzata l'influenza della variabilità del parametro K2 che è quello che influenza la forma dell'espressione esponenziale (1) o (5). Confrontando gli esponenti delle due equazioni e facendo l'analisi per un tempo pari al tempo di corrivazione si ottiene la seguente equivalenza:

$$\alpha = K2*Q/TD^2$$

È stato analizzato il caso di una strada extraurbana mantenendo fissi i parametri indicati nella tabella 1(a) e considerando le due altezze di pioggia indicate nella tabella 1(b). In base a tali valori sono stati definiti i valori di Q, secondo le espressioni fornite ancora dalla FHWA, riportati ancora in tabella 1(b).

Il calcolo del carico inquinante P<sub>w</sub> è stato effettuato per tre tempi di corrivazione:

$$TD = 0.5 - 1.0 - 1.5 \text{ ore}$$

I risultati sono riportati in tabella 2 e, limitatamente al caso di altezza di pioggia pari a 10 mm, in figura 1.

Dalla tabella 2 si evince che per piogge abbondanti (R=30 mm) e per tempi di corrivazione brevi (TD=0.5 ore), la stima della quantità del carico inquinante nelle acque di ruscellamento stradale non è sensibile alla variazione di K2 e quindi di  $\alpha$ .

|     |                                                                |        |
|-----|----------------------------------------------------------------|--------|
| (a) | DD = giorni di secca dall'ultima pioggia=                      | 1      |
|     | TGM=                                                           | 10.000 |
|     | K1 = (0,007xTGM <sup>0,89</sup> )*0.454/1.609 (kg/km-giorno) = | 7      |
|     | HL = Lunghezza di drenaggio in Km =                            | 0,1    |
|     | TM = giorni dall'ultima pioggia (max 20 giorni)=               | 1      |
|     | Po=                                                            | 0      |
|     | P=Po + K1 x TM x HL=                                           | 0,72   |

|     |                                   |                                        |
|-----|-----------------------------------|----------------------------------------|
| (b) | Altezza della precipitazione (mm) | $Q=0,47xR^{1,369} x DD^{-0,0858}$ (mm) |
|     | 30                                | 1,50                                   |
|     | 10                                | 0,33                                   |

Tabella 1 – Valori dei parametri per lo studio di sensibilità della variazione della stima della quantità del carico inquinante al variare di K2.

| K2   | precipitazione=30 mm |              |              | precipitazione=10 mm |              |              |
|------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|
|      | TD=0.5 (ore)         | TD=1.0 (ore) | TD=1.5 (ore) | TD=0.5 (ore)         | TD=1.0 (ore) | TD=1.5 (ore) |
| 5.0  | 0.717                | 0.717        | 0.712        | 0.711                | 0.500        | 0.294        |
| 6.0  | 0.717                | 0.717        | 0.715        | 0.715                | 0.546        | 0.337        |
| 7.0  | 0.717                | 0.717        | 0.716        | 0.716                | 0.582        | 0.376        |
| 8.0  | 0.717                | 0.717        | 0.717        | 0.717                | 0.611        | 0.410        |
| 9.0  | 0.717                | 0.717        | 0.717        | 0.717                | 0.634        | 0.441        |
| 10.0 | 0.717                | 0.717        | 0.717        | 0.717                | 0.651        | 0.469        |
| 11.0 | 0.717                | 0.717        | 0.717        | 0.717                | 0.665        | 0.494        |
| 12.0 | 0.717                | 0.717        | 0.717        | 0.717                | 0.676        | 0.517        |

Tabella 2 – Variazione di  $P_w$  al variare di K2, TD e altezza di pioggia

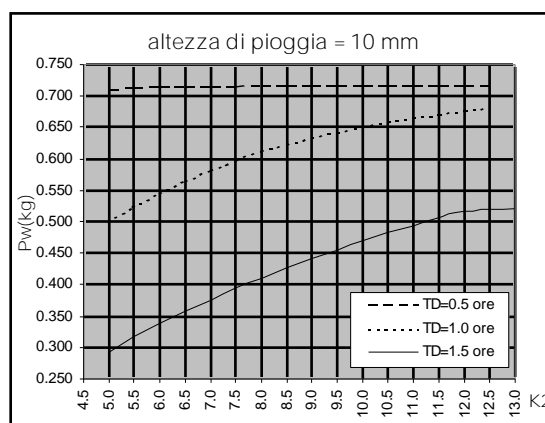


Figura 1 – Variazione di  $P_w$  al variare di K2 e TD per un'altezza di pioggia di 10 mm

Nel caso invece di piogge scarse e tempi di corrvazione lunghi la variazione di K2 e di  $\alpha$  porta a sensibili variazioni della stima della quantità di inquinanti. In tabella 3 sono riportate le variazioni percentuali del carico inquinante in funzione delle variazioni percentuali della costante K2.

Bisogna infine considerare che il carico inquinante calcolato con il metodo FHWA è direttamente proporzionale alla quantità P che a sua volta è direttamente proporzionale ad un'altra costante K1 funzione del TGM, anche essa definita sperimentalmente.