



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 concentra 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
 α = 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

$$Q=0,47 \times R^{1,369} \times DD^{-0,0858}$$

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:

$$XX = u \times ST + v$$

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:

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

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_w 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 α .

(a)	DD = giorni di secca dall'ultima pioggia=	1
	TGM=	10.000
	K1 = (0,007xTGM^0,89)*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

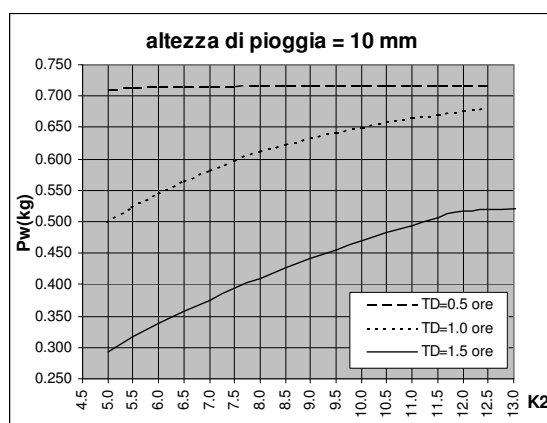


Figura 1 – Variazione di P_w al variare di K2 e TD per un'altezza di pioggia di 10 mm

Nel caso invece di piogge scarse e tempi di corrvazione lunghi la variazione di K2 e di α 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.

ΔK_2 (%)	ΔP_w (%)	
	TD=1.0 (ore)	TD=1.5 (ore)
60.0	26.6	44.2
48.0	17.0	32.2
23.1	11.6	17.7

Tabella 3 – Variazione % di P_w in funzione della variazione % di K_2 , per diversi TD e altezza di pioggia uguale a 10 mm

Tali risultati portano a concludere che la generalizzazione del metodo della FHWA deve essere fatta con una certa cautela: può essere sostanzialmente valida nel caso di piogge abbondanti, può portare ad errori anche rilevanti nel caso di piogge scarse.

Per l'applicazione alla realtà italiana sarebbe pertanto auspicabile una verifica dei coefficienti dell'espressione (1) e questo può essere fatto solo attraverso una ricerca sperimentale estesa sul territorio.

3. I LIMITI DI CRITICITA'

In Italia non esiste una legislazione specifica sui limiti dei carichi inquinanti nelle acque di ruscellamento stradale. Il riferimento normativo a cui riferirsi potrebbe essere il *D.L. 11/05/1999 n.152; Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*, che all'art.29 comma "c" vieta lo scarico in aree sensibili di acque reflue per le quali si registrino valori di concentrazione dei solidi sospesi totali di 25 mg/l per acque reflue industriali e 35 mg/l per quelle urbane.

In Svizzera e in Francia è invece vigente una normativa che riguarda in maniera esplicita lo scarico delle acque di ruscellamento stradale e che individua i limiti di accettabilità nei valori di concentrazione dei solidi sospesi rispettivamente di 25 mg/l e 20 mg/l.

Assimilando le acque di ruscellamento stradale alle acque reflue industriali, già in uno studio precedente[5], sono state fatte alcune considerazioni, utilizzando i risultati del metodo FHWA, su quelli che possono essere i limiti di criticità del problema dell'inquinamento idrico. Nello studio citato sono stati considerati valori del TGM variabili fra 5000 e 30000 veicoli/giorno, lunghezze di drenaggio comprese fra 100 e 1000 m, altezze di pioggia variabili fra 5 e 60 mm e durate di pioggia comprese fra 5 e 60 minuti. È stata analizzata una strada extraurbana ed è stato considerato un bacino afferente di un ettaro per il calcolo del volume d'acqua V_a raccolto dopo la pioggia. La concentrazione del carico inquinante è stata quindi definita dal rapporto P_w/V_a .

Limitatamente a tali dati si è potuto concludere che sia piogge abbondanti e di breve durata, sia piogge scarse e di lunga durata, causano elevati livelli di concentrazione dei solidi totali; queste piogge generano fenomeni di inquinamento sui corpi idrici ricettori e pertanto le acque dovranno essere intercettate e trattate. Piogge abbondanti e di lunga durata, danno luogo a diluizioni degli inquinanti tali da non creare elevate concentrazioni nell'acqua di ruscellamento, e quindi impatti negativi sui corpi ricettori .

Senza presunzione di validità generale, in [5] sono stati individuati nei valori del TGM pari a 10.000 veicoli/giorno e della lunghezza di drenaggio pari a 500 m i limiti di criticità del problema. Ciò vuol dire che riducendo le lunghezze di drenaggio a valori

inferiori a 500 m e con un TGM inferiore a 10000 le acque di ruscellamento stradale possono essere scaricate nei corpi ricettori senza necessità di trattamenti ulteriori.

Il risultato sul TGM è confortato anche da altri autori che individuano in 10.000 veicoli/giorno[6] la soglia di criticità del problema.

In base a queste risultanze viene suggerita una metodologia di analisi per la valutazione dell'impatto sui corpi idrici ricettori delle acque di ruscellamento stradale schematizzato con il flow chart di figura 2.

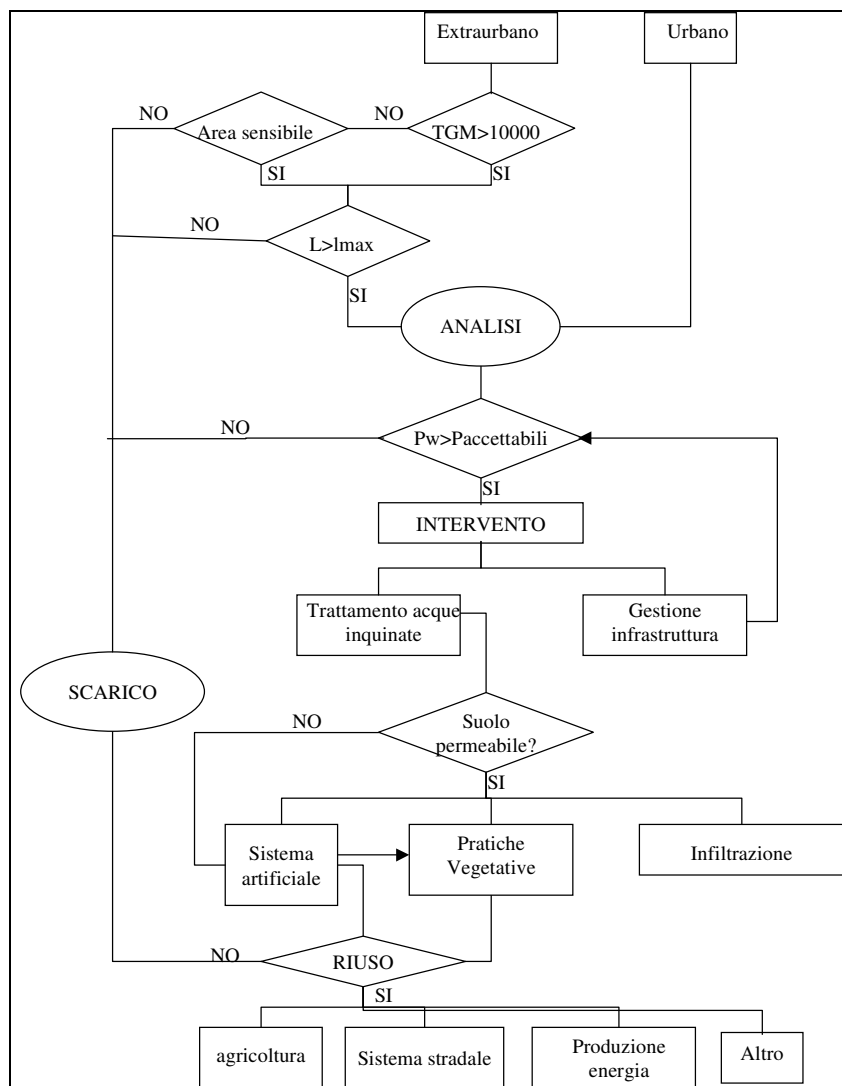


Figura 2 - Flow Chart procedurale per la valutazione di impatto ambientale delle acque di ruscellamento stradale

Nel flow chart viene messo in evidenza come le realtà urbane debbono essere comunque analizzate qualunque siano i valori del traffico giornaliero medio e delle lunghezze di drenaggio a causa della complessità e della molteplicità dei fattori che intervengono in questo ambito.

Per le strade extraurbane si deve invece analizzare la situazione se si superano i limiti di criticità e ci si trova in area sensibile. Il termine “ANALISI” ha un doppio significato a seconda se si è in fase di progetto o se si sta esaminando una situazione esistente. Nel primo caso essa è un’analisi di tipo previsionale adottando un metodo tipo quello visto

al paragrafo 2, nel secondo caso è invece auspicabile che sia un'analisi di tipo sperimentale con misure dirette della qualità dell'acqua.

Nel caso in cui la quantità di inquinanti presente nelle acque analizzate non sia accettabile, deve essere previsto un intervento di trattamento delle acque o di gestione dell'infrastruttura. Tali interventi verranno descritti al paragrafo 4.

L'acqua trattata e depurata in alcuni casi potrebbe essere raccolta per poter essere poi successivamente riusata in diversi ambiti. Della possibile riutilizzazione dell'acqua di ruscellamento stradale si parlerà al paragrafo 5.

4. INTERVENTI PROGETTUALI DI MITIGAZIONE DELL'INQUINAMENTO IDRICO

4.1. Interventi gestionali

Uno dei modi più efficaci e più economici per mitigare l'inquinamento dei corpi idrici è quello di impedire che le sostanze inquinanti vadano ad interessare le acque di ruscellamento stradale. Con un'attenta gestione dell'infrastruttura si può pertanto abbattere la quantità di inquinante presente nell'acqua di dilavamento.

Esempi di interventi gestionali atti alla mitigazione dell'inquinamento idrico sono:

- *pulizia della strada*: questa operazione, se eseguita regolarmente, può ridurre sostanzialmente il quantitativo di inquinanti nelle acque di ruscellamento. In particolare, la raccolta e lo smaltimento dei detriti animali e vegetali permette il controllo del numero di batteri e del materiale organico nell'acqua di ruscellamento. Inoltre la pulizia della strada evita l'intasamento di tubi e prese di scarico del sistema di drenaggio della infrastruttura;
- *lavaggio programmato della piattaforma stradale*: questa pratica oggi del tutto assente in Italia ma praticata in altri Paesi, ha il grosso vantaggio di abbattere il carico inquinante presente sulla pavimentazione prima che raggiunga valori di criticità; in questo modo si tiene in vita il sistema vegetativo stradale (cunette e scarpate inerbite) che può continuare a svolgere la sua funzione di depurazione anche durante il periodo estivo. Nella gran parte dei casi si riesce ad abbattere il carico inquinante contenuto nelle acque di ruscellamento rilasciandolo gradualmente all'ambiente circostante e spesso evitando che raggiunga le falde freatiche;
- *riduzione delle lunghezze di drenaggio*: possono essere previsti degli scarichi ad intervalli regolari su cordoli e arginelli in modo da permettere all'acqua di disperdersi sul terreno naturale. Cordoli e arginelli infatti formano dei canali nei quali l'acqua di ruscellamento può raggiungere velocità abbastanza elevate, portando con sé sedimenti e sostanze inquinanti. Interrompendo tali elementi strutturali della strada, l'acqua può invece spargersi su larghe aree piantumate, dove la velocità è più bassa e gli inquinanti possono essere trattiene dal terreno e dalla vegetazione;
- *controllo nello spargimento dei sali disgelanti*: in aree soggette al gelo, l'uso ridotto dei sali disgelanti o l'impiego di prodotti alternativi, compatibilmente con le esigenze della sicurezza stradale, può ridurre l'inquinamento dell'acqua. La sabbia per esempio è meno pericolosa per la vegetazione e la vita acquatica, ed in alcuni casi si deve esaminare la possibilità del suo uso in alternativa ai diversi tipi di sali..

4.2 Trattamento delle acque

L'impatto negativo che le acque di piattaforma possono creare sull'ambiente circostante (falde freatiche, corsi d'acqua, piantumazioni a lato strada ecc.) in

moltissimi casi può essere mitigato con il riappropriarsi di pratiche progettuali di ingegneria naturalistica (cunette in terra, scarpate inerbite, piantumazioni idonee ecc.)

Il trattamento delle acque di ruscellamento stradale può avvenire in tre modi:

- per infiltrazione nel terreno,
- mediante pratiche vegetative ,
- con sistemi artificiali.

4.2.1 Infiltrazione nel terreno

La depurazione dell'acqua superficiale per filtrazione avviene mediante il passaggio attraverso i diversi strati del terreno: per assicurare i processi biologici indotti dai micro-organismi il materiale in sospensione deve passare attraverso uno strato di terreno vegetale di almeno 30 cm per poi continuare attraverso zone minerali non sature nelle quali una serie di processi fisici e chimici completano la trasformazione di tale materiale o lo fissano definitivamente.

La capacità di filtrazione è legata alla permeabilità e allo spessore degli strati di terreno. Tali misure di depurazione delle acque sono caldegiate dalla normativa svizzera in tutti quei casi in cui le caratteristiche del terreno permettono l'infiltrazione e la falda idrica non è destinata ad usi potabili [7].

Esempi di metodi di depurazione per infiltrazione sono:

- *infiltrazione diretta*: l'acqua superficiale viene allontanata mediante infiltrazione diretta lungo la carreggiata stradale. L'intervento più semplice è l'inerbimento delle scarpate dei rilevati sulle quali l'acqua scorre. Quando invece la strada è costruita in trincea o in pianura l'acqua di ruscellamento può essere raccolta in zone depresse opportunamente piantumate poste ai lati dell'infrastruttura. Questa soluzione aumenta l'occupazione del suolo per la costruzione della strada. L'infiltrazione superficiale può essere incrementata predisponendo trincee o canali in ghiaia [7].
- *Bacini di infiltrazione*: quando non è possibile infiltrazione diretta (per esempio in presenza di una falda idrica in area protetta), l'acqua superficiale può essere raccolta e canalizzata in un bacino di infiltrazione. Quest'ultimo potrebbe anche essere uno stagno naturale nel quale il sedimento può accumularsi sul fondo. Il fondo del bacino richiede sempre proprietà filtranti. Se il bacino di infiltrazione è costruito su una base impermeabile deve essere predisposto un filtro artificiale attraverso il quale l'acqua possa essere purificata [7].
- *Pavimentazioni porose*: essendo molto permeabili, queste pavimentazioni riducono il ruscellamento superficiale. Esse sono costituite da conglomerato bituminoso drenante o da masselli autobloccanti a celle aperte o in ghiaia. In quest'ultimo caso viene quasi sempre previsto un foglio di geotessile sotto lo strato di ghiaia per evitare che la porosità di quest'ultimo sia ridotta dalla migrazione del terreno fino sottostante. Le pavimentazioni porose sono efficaci solo su suoli permeabili con falde molto profonde ed hanno comunque un elevato rischio di fallimento per la facilità con cui si occludono i pori, sia per errori costruttivi che per l'accumulo di sedimenti in esercizio. Le pavimentazioni porose sono idonee per aree di parcheggio e strade di accesso con scarso traffico.
- *Filtri in sabbia*: Il loro funzionamento è basato sulla filtrazione dell'acqua di ruscellamento in un letto di sabbia. Generalmente questi filtri vengono usati con un pre-trattamento per rimuovere sedimenti, detriti flottanti, oli e grassi allo scopo di proteggere il filtro stesso. Dopo che l'acqua di ruscellamento è passata attraverso il dispositivo di pre-trattamento, essa può attraversare il filtro di sabbia; le particelle

di sedimento e quelle inquinante sono catturate nei pochi centimetri più profondi di sabbia. I filtri in sabbia vengono impiegati per trattare l'acqua di ruscellamento di, strade di accesso o parcheggi.

4.2.2 Sistemi Naturali

L'altro sistema di depurazione dell'acqua possibile in presenza di terreno permeabile è quello delle pratiche vegetative: la vegetazione può essere impiegata per ridurre la velocità dell'acqua. In questo modo si facilita l'infiltrazione dell'acqua nel terreno e la sedimentazione del particolato e contemporaneamente si riduce l'erosione. Le più comuni pratiche vegetative sono [8]:

- *nastri erbosi*: sono strisce di vegetazione, generalmente erba, poste fra la sorgente inquinante (la strada) e il corpo idrico ricettore. Vengono impiegati soprattutto in aree residenziali ed intorno a ruscelli e stagni. I nastri erbosi non riescono comunque a trattenere abbastanza acqua di ruscellamento tanto da ridurre il colmo dello scarico. Per questo motivo, vengono sempre impiegati congiuntamente ad altre misure. I nastri erbosi riducono il sedimento, il materiale organico e molte tracce di metalli grazie all'azione filtrante della vegetazione, all'infiltrazione nel terreno e al deposito di sedimento.
- *Biofiltri*: sono canali in terra ricoperti di erba. Vengono generalmente impiegati in aree residenziali, in corrispondenza degli scarichi delle cunette o negli spartitraffico autostradali. I biofiltri riducono l'inquinante dell'acqua di ruscellamento stradale mediante infiltrazione nel terreno e nell'erba, sedimentazione delle particelle solide e riduzione della velocità e della portata di colmo dell'acqua. La capacità dei biofiltri di rimuovere gli inquinanti è piuttosto bassa e dipende da numerosi fattori: portata d'acqua, pendenza dei canali, densità e altezza dell'erba, permeabilità del terreno sottostante.
- *Sistemi di trattamento acquatico*: possono dividersi in wetland naturali, wetland artificiali e sistemi di piantagioni acquatiche. Dei tre tipi, le wetland artificiali sono quelle che negli ultimi tempi ricevono la maggior attenzione da parte dei tecnici. Esse sono dei sistemi acquatici a contatto con il suolo, a volte provviste di uno strato isolante. Le wetland artificiali hanno la stessa capacità di migliorare la qualità dell'acqua delle wetland naturali con il vantaggio del controllo sul sito e di poter essere progettate e gestite in modo da ottimizzare tale capacità. La capacità di rimozione degli inquinanti delle wetland artificiali varia pertanto in un intervallo molto ampio, ma sono comunque sempre efficaci per la rimozione di un gran numero di sostanze. Tra i più importanti processi di rimozione che esse conducono ci sono: la sedimentazione, ottenuta mediante la riduzione della velocità e l'infiltrazione per mezzo della vegetazione idrofita. Questi processi possono rimuovere elevati quantitativi di solidi sospesi, di materiale organico e di metalli. Oli e grassi sono effettivamente rimossi attraverso raccolta delle acque nel bacino, fotodegradazione e azione microbiologica. I costituenti dissolti quali materie organiche solubili, ammoniaca e orto-fosfati hanno invece un basso rateo di rimozione. Adeguatamente costruite e mantenute le wetland possono avere un grande potere di rimozione degli inquinanti dalle acque di ruscellamento stradale.

In tabella 4 è riportato un breve quadro riepilogativo della capacità di rimozione degli inquinanti di alcuni sistemi di trattamento delle acque praticabili in presenza di terreni permeabili.

4.2.3 Sistemi di depurazione artificiali

In presenza di zone sensibili, quali corsi d'acqua, falde acquifere superficiali, colture a lato della strada particolarmente delicate (si pensi alla zona delle risaie che costeggiano le grandi infrastrutture viarie e /o ferroviarie) ecc., contestualmente a volumi di traffico elevato e in presenza di terreni impermeabili, il trattamento dell'acqua può ottenersi con sistemi di depurazione artificiali e cioè in vasche.

	Sedimenti	Metalli	Materiale organico	Oli e grassi	Batteri
Filtri in sabbia	Molto alta	Molto alta	Moderata	Alta	Moderata
Pratiche vegetative	Moderata	Moderata	Bassa	Moderata	Bassa
Wetland artificiali	Molto alta	Alta	Moderata	Molto alta	Alta

Tabella 4 - Efficienza di rimozione degli inquinanti di alcuni sistemi di trattamento delle acque

Queste assolvono alla loro funzione da sole o in combinazione con altri sistemi in funzione delle peculiarità del terreno ma soprattutto del livello di depurazione che si vuole raggiungere.

Come criterio generale di dimensionamento va evidenziata l'opportunità di convogliare in esse solo le masse liquide formatesi a seguito di un evento piovoso che abbiano interessato il tratto di strada antistante la vasca stessa.

Si distinguono due tipi di vasche:

1. Vasche di decantazione o di laminazione delle acque piovane

Si tratta di vasche che consentono la separazione delle sostanze pesanti contenute nell'acqua facendo transitare il flusso liquido in entrata con una velocità ridotta; una accurata progettazione permette il deposito anche delle particelle più piccole prima che l'acqua sfoci nel bacino idrico. Le dimensioni delle vasche devono essere calcolate con particolare attenzione in funzione dalla quantità d'acqua che devono raccogliere: è essenziale infatti evitare che le acque di prima pioggia, che sono in assoluto le più cariche di inquinanti, trascinino senza subire la fase di depurazione e raggiungano direttamente i sistemi ricettori finali. Ottimi risultati possono essere ottenuti anteposando o combinandole con i sistemi di filtrazione descritti precedentemente. Per quanto attiene agli aspetti idrologici ed idraulici, particolare attenzione va posta all'ubicazione di questi presidi, individuando quelle zone ove sono frequenti periodi asciutti dopo scrosci significativamente intensi avendo l'accortezza di dimensionarle per contenere l'aliquota dell'ideogramma di piena corrispondente al lavaggio della superficie stradale.

Il dimensionamento di tali vasche non risulta immediato: attualmente esistono alcune interessanti soluzioni ricavate in simulazione, utilizzando modelli matematici, tarati su dati sperimentali. E' comunque interessante riferirsi ad alcune indicazioni pratiche [9]:

- In Germania e Svizzera consigliano 25-50 m³ per ettaro di superficie impermeabile sottesa;
- La normativa lombarda impone di considerare i primi 5 mm di pioggia.

2. Vasche di raccolta di liquidi a seguito di sversamenti accidentali

Sono sistemi di raccolta e smaltimento di liquidi inquinanti in genere provenienti da avarie o incidenti occorsi agli automezzi, possono trovare utilizzo anche nel caso di

acque ricche di oli o grassi tipiche dei piazzali di aree di servizio. In questo caso deve essere mantenuto in perfetta efficienza il sistema dei condotti in uscita per evitare lo sversamento nell'ambiente circostante. E' evidente che l'ubicazione di questo tipo di vasche è correlato alla probabilità che in un dato tronco si verifichi un incidente, argomento questo che esula dalla attuale trattazione e su cui non ci si soffermerà oltre. Ci preme però sottolineare come sia indispensabile valutare le situazioni di evidente criticità in termini di rischio di incidente contestualmente all'individuazione degli ambiti più vulnerabili sotto il profilo ambientale.

5. CICLO FINALE : IL RIUSO

Lo stato attuale della ricerca ma soprattutto la quasi totale latitanza degli Enti proprietari di strade impedisce un costruttivo approfondimento in materia di riuso delle acque di ruscellamento stradale.

Il sistema stradale deve essere visto come un vero e proprio bacino costituito generalmente da una parte impermeabile (carreggiata) e da una zona (a volte molto più ampia) permeabile delimitata dai fossi di guardia a protezione delle scarpate.

Il bacino così delimitato è un sistema chiuso che a seguito di un evento piovoso raccoglie e trasporta una quantità di acqua non trascurabile.

Il problema maggiore è causato dall'acqua di prima pioggia che risulta essere quella più inquinata e pertanto il dimensionamento del sistema di depurazione va fatto sulla scorta di queste piogge. Un riferimento utile è rappresentato dalla normativa regionale della Lombardia che prevede di considerare i primi 5 mm di acqua raccolta nei primi 15 minuti (che per un ettaro di superficie equivalgono ad un volume di 50 m³ pari alla capacità della vasca richiesta in Germania ed in Svizzera).

L'acqua depurata viene in genere scaricata in un corpo idrico ricettore, un lago o un fiume; in regioni caratterizzate da una crescente carenza di risorse idriche, ma non solo in quelle, viene spesso utilizzata per alimentare falde (*cfr. sistema di depurazione per infiltrazione*), irrigare coltivazioni di prodotti agricoli non commestibili, alimentare infrastrutture civili ed industriali, produrre energia per l'alimentazione di strumenti a servizio della infrastruttura. Un'ulteriore ipotesi di riuso può essere quello del lavaggio della strada, al fine di evitare un eccessivo accumulo di polveri inquinanti sulla pavimentazione stradale.

Una interessante esperienza italiana [10] è stata presentata al convegno AIPCR del 1998: l'acqua proveniente dal depuratore ipogeo e quella trattata proveniente dallo scorrimento superficiale è stata riutilizzata all'interno di un'area di pertinenza autostradale, nel periodo stagionale conveniente (100 – 200 giorni/anno). L'acqua depurata è stata re-impiegata nell'irrigazione a pioggia e a goccia già predisposto allo scopo nelle aiuole interne e nelle aree verdi ricreative della stazione di servizio. Da un punto di vista economico è stato calcolato che il tempo di ammortamento dell'impianto realizzato è di 6 anni.

6. CONCLUSIONI

In questo studio si è illustrata una procedura metodologica per affrontare il problema dell'inquinamento dei corpi idrici ricettori delle acque di ruscellamento stradale.

Il primo problema da studiare in questo caso è analizzare quanto sia inquinata l'acqua da scaricare. Tale analisi nel caso di infrastrutture esistenti può essere fatta sperimentalmente prelevando dei campioni di acqua da portare in laboratorio, nel caso

di infrastrutture in progetto può essere fatta teoricamente impiegando dei modelli previsionali.

In questo articolo è stato analizzato il metodo previsionale del carico inquinante nelle acque di ruscellamento stradale sviluppato della FHWA negli USA. Con tale metodo, in funzione dei dati sulle piogge, sul traffico e sull'infrastruttura, può essere calcolata la quantità dei solidi totali nelle acque di ruscellamento stradale. Va comunque sottolineato che il metodo, messo a punto negli USA con una cospicua quantità di osservazioni sul campo, necessita di una validazione per gli eventi pluviometrici, le infrastrutture ed il traffico italiani; esso infatti fa uso di relazioni regressive che sono valide solo nel campo dei valori della sperimentazione americana.

Nei casi in cui il carico inquinante superi i limiti di accettabilità richiesti per i corpi ricettori, l'acqua deve essere depurata prima dello scarico. I metodi di trattamento da impiegare possono essere molto diversi fra loro: la scelta di un metodo piuttosto che un altro dipende dalle condizioni locali. Se il terreno è permeabile e le falde che lo interessano non sono protette per usi potabili potrebbero essere impiegati metodi di infiltrazione o pratiche vegetative. Negli altri casi sono più idonei sistemi artificiali quali le vasche di raccolta.

Dopo il trattamento, se la raggiunta qualità dell'acqua lo permette, si può pensare al riuso dell'acqua stessa in agricoltura, per l'irrigazione di aree verdi nelle pertinenze stradali o di parchi pubblici, per la pulizia della strada, per la produzione di energia e impieghi simili.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] G. Remedia, L. Domenichini, L. Cera "Problematiche relative al monitoraggio dell'inquinamento idrico prodotto dalle infrastrutture stradali" XXI Congresso Nazionale delle Strade - Trieste 1990 –
- [2] Ministère des Transports – Direction Générale des Transports Intérieurs "Protection des eaux contre la pollution d'origine routière" SETRA
- [3] Kobriger N.P., Meinholz T.L., Gupta M.R., Agnew R.W. "Predictive Procedure For Determining Pollution Characteristics In Highway Runoff" FHWA/RD - 81/044
- [4] L. Cera, P. Di Mascio "Modello previsionale dell'inquinamento prodotto dalle acque di ruscellamento stradale nei corpi idrici ricettori", XXIII Congresso Nazionale delle Strade, Verona 1998.
- [5] L. Cera, P. Di Mascio, titolo originale : "Livelli di inquinamento delle acque di ruscellamento stradale: analisi dei metodi di calcolo", pubblicato con il titolo "Il calcolo dell'inquinamento delle acque", Le strade, 12/2000.
- [6] R.R. Horner, B.W. Mar "Assessing the Impacts of Operating Highways on Aquatic Ecosystems" TRB, Rec. 1017, 1985.
- [7] Pfister, R. (1999) "Swiss legislation concernig drainage and treatment of surface water from roads". *Routes/Roads No. 302* .
- [8] <http://h2osparc.wq.edu/bar.map> "Roads"
- [9] A. Benedetto "Idraulica Stradale e protezione ambientale", Le strade 12/2000.
- [10] R.C. Tommasi, C.G. Cainieri "Esperienza di fitodepurazione di acque di piazzale sulla A28 "Reuse-Water" a fini irrigui", XXIII Congresso Nazionale delle Strade – Verona 1998.