

# LIVELLI DI INQUINAMENTO DELLE ACQUE DI RUSCELLAMENTO STRADALE: ANALISI DEI METODI DI CALCOLO

(le strade 12/2000)

Luciano Cera  
Paola Di Mascio

## 1. Introduzione

Una infrastruttura stradale è un'opera che provoca sempre un cambiamento nell'ambiente in cui si inserisce. Il suo impatto sulla situazione preesistente produce differenti tipi di inquinamenti: atmosferico, acustico, visivo, idrico. Quest'ultimo è inteso come inquinamento dei corpi idrici a seguito dello scarico delle acque di ruscellamento della sede stradale ed è un aspetto dell'inquinamento da traffico che finora è stato trascurato, soprattutto in Italia, ma che da qualche anno sta attirando l'attenzione di biologi, chimici ed ingegneri (*stradali ed idraulici*).

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 azioni sono legate alle sostanze che vengono prodotte e che si accumulano sulla superficie della pavimentazione o nelle sue vicinanze e sono generate :

- dal traffico veicolare, a seguito della solubilizzazione dei prodotti di scarico e per l'accumulo di sostanze derivanti dall'usura delle parti del veicolo,
- dalle attività di esercizio e di manutenzione stagionali, collegate principalmente all'impiego di sali disgelanti,
- 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.

Questo studio vuole focalizzare l'attenzione solo sull'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. E' pur vero inoltre che nel caso di sversamenti accidentali è nota la quantità e il tipo di liquido pericoloso disperso nell'ambiente per cui è necessario predisporre l'intervento che limita o annulla l'inquinamento prodotto.

Discorso analogo può essere fatto per l'uso di sali disgelanti, il cui effetto sull'ambiente circostante può essere limitato con una scelta adeguata delle sostanze da impiegare o con interventi localizzati per intercettare le acque di dilavamento della superficie stradale contenenti i sali.

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 [3].

## 2. L'inquinamento idrico in fase di esercizio delle infrastrutture stradali

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. In conclusione l'analisi chimica di un campione di acqua prelevato a margine della piattaforma stradale, rivela la presenza di numerosi inquinanti, i più comuni dei quali sono riportati in tabella 1.

**Tab. 1 :** Agenti inquinanti più comuni contenuti nelle acque di ruscellamento e principali fonti di emissione [3]

AGENTI INQUINANTI	PRINCIPALI FONTI DI EMISSIONE
Elementi particellari	Logorio della pavimentazione, operazioni di manutenzione, atmosfera
Nitrati e fosfati	Fertilizzanti provenienti dalle fasce di pertinenza, atmosfera
Piombo	Gas di scarico, consumo pneumatici (additivi minerali), oli lubrificanti, grassi, consumo cuscinetti
Zinco	consumo pneumatici (additivi minerali), olio motore (additivi stabilizzanti)
Ferro	Ruggine carrozzeria, elementi complementari della strada (barriere, segnali ecc.), parti mobili motore
Rame	Rivestimenti metallici, consumo cuscinetti, boccole e ferodi, parti mobili motore, fungicidi, pesticidi usati nelle operazioni di manutenzione
Cadmio	consumo pneumatici (additivi minerali), applicazione di insetticidi
Cromo	Rivestimenti metallici, parti mobili del motore, consumo dei ferodi
Nickel	Gas di scarico dei motori, oli lubrificanti, rivestimenti metallici, consumo delle boccole e ferodi
Manganese	Parti mobili del motore
Bromo	Gas di scarico dei motori
Cianuro	Sostanze agglutinanti usate nei sali disgelanti
Na, Ca	Sali disgelanti, grassi
Cl	Sali disgelanti
SO <sub>4</sub>	Spillamento e perdite di lubrificanti, antigelo, fluidi idraulici, bitumi flussati
PCB	Insetticidi a base di PCB
Batteri patogeni (indicatori)	Rifiuti vari, sostanze organiche putrescibili
Gomma	Consumo dei pneumatici
Amianto	Consumo frizione e freni
Grassi idrocarburi	Oli lubrificanti a base di n-paraffine, anticongelanti, fluidi per comandi idraulici

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. In particolare le cunette in terra aumentano la capacità di autodepurazione del sistema di drenaggio stradale;
- 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.

### 3. Lo stato dell'arte dei metodi previsionali dei carichi inquinanti nelle acque di ruscellamento stradale

La letteratura tecnica suggerisce diverse metodologie per la caratterizzazione quantitativa del carico inquinante prodotto in esercizio dalle infrastrutture stradali. Alcuni modelli disponibili sono basati su formulazioni semiempiriche in cui il tempo è la variabile indipendente principale e possono essere riassunti in quattro tipi fondamentali [5]:

1. modelli lineari :  $P = a_1t$
2. modelli polinomiali:  $P = a_2t^{b_1}$
3. modelli esponenziali:  $P = P_L(1 - e^{-b_2t})$
4. funzioni di Michaelis-Melton:  $P = P_L[t/(a_3+t)]$

dove  $P$  = quantità di inquinante sulla superficie stradale  
 $P_L$  = limite superiore della quantità di inquinanti accumulati  
 $t$  = tempo dopo l'ultimo evento piovoso o di pulizia della strada  
 $a_i, b_i$  = coefficienti ed esponenti caratterizzanti le specifiche condizioni del sito.

L'equazione di tipo 3, è attualmente quella più utilizzata rispetto alle altre per descrivere in maniera soddisfacente i processi di deposito, rimozione e risospensione degli inquinanti presenti; per la valutazione del carico inquinante trasportato dall'acqua di ruscellamento stradale nei corpi idrici ricettori, interessa la parte che viene rimossa, la quale è direttamente proporzionale alla quantità di materiale che rimane e cioè:

$$dP/dt = -CxP \quad (1)$$

dove  $P$  è la quantità di inquinante rimasto sulla superficie,  $t$  è il tempo e  $C$  è una costante.

Integrando la (1) e assumendo che  $C$  vari con la quantità di acqua di ruscellamento, la quantità di materiale  $P_w$  trasportato durante l'intervallo di tempo  $\Delta t$ , è pari a

$$P_w = P_o - P = P_o [1 - e^{(KQ\Delta t)}]$$

Dove,  $P_o$  è la quantità di inquinante presente all'inizio del periodo di tempo  $\Delta t$ ,

$K$  è una costante che caratterizza il sito,

$Q$  è la portata di acqua di ruscellamento durante  $\Delta t$ .

Espressioni di questo tipo sono state assunte nei documenti tecnici del Ministero dei Trasporti francese [6] e nel manuale sviluppato dalla Federal Highway Administration statunitense (FHWA) [4]. Quest'ultimo consente di calcolare le portate di deflusso dalla piattaforma e determinare la concentrazione (o il carico totale) dei principali elementi inquinanti presenti nelle acque di ruscellamento stradale a seguito di eventi piovosi; tale metodo verrà illustrato in dettaglio nel paragrafo successivo.

Altre ricerche sperimentali hanno portato allo sviluppo di modelli semplici in cui non compare la variabile tempo. Alcuni autori [9,10], hanno ricavato la seguente relazione per la valutazione del carico cumulativo annuale di inquinanti:

$$TSS = K * VDS * RC \quad (7)$$

in cui:  $TSS$  = valore totale dei solidi sospesi;

$K$  = costante di proporzionalità variabile fra 1,7 e 7,4 (i valori più elevati rappresentano situazioni il cui il piano viabile è inquinato da terreno sciolto proveniente dall'area circostante la strada)

VDS = numero medio annuo di veicoli che percorrono la strada durante eventi piovosi;  
RC = coefficiente di deflusso.

Altri autori [9] pongono in relazione la quantità dell'inquinamento delle acque anche alla velocità dei veicoli, alla composizione del traffico, ai fattori di congestione ed alle normative vigenti nel Paese di appartenenza sul controllo delle emissioni di gas di scarico dei veicoli, mediante espressioni del tipo:

$$Y = a + bX \quad (8)$$

dove: Y = carico inquinante  
X = numero di veicoli durante l'evento piovoso  
a, b = costanti

E' evidente la difficoltà di reperire i dati richiesti nelle (7) e (8) sul numero di veicoli che percorrono la strada durante i periodi di pioggia.

Ricordiamo infine che sono stati sviluppati altri modelli che affrontano il problema con un approccio completamente diverso: i modelli probabilistici e quelli di bilancio delle masse

Un modello probabilistico è stato sviluppato dalla FHWA [12,13] assumendo distribuzioni normali del logaritmo di tutti i dati di input; la distribuzione della qualità dell'acqua risulta anch'essa normale. L'analisi richiede dati sul sito, quali l'area di drenaggio, la percentuale di superficie impermeabile e la natura del sito (urbano o rurale) e sui dati di pioggia. Dati di flussi e concentrazioni in diversi siti sono stati analizzati per determinare la Concentrazione dell'Evento Medio (CEM) definita dal rapporto fra la massa totale di inquinante scaricata durante ogni pioggia e il volume totale di ruscellamento. I valori di CEM vengono rappresentati da una distribuzione normale a due parametri, completamente definita dalla media e dalla varianza. I modelli probabilistici sono comunque fortemente dipendenti dal tipo di distribuzione assunta, quindi di difficile applicazione.

I modelli di bilancio delle masse quantificano la massa di inquinanti prodotti in un sito in funzione dei valori delle emissioni registrati nel sito stesso. Come i modelli probabilistici, anche quelli di bilancio delle masse forniscono il valore della CEM, il quale è legato alla portata di acqua di ruscellamento, alla velocità di rimozione delle polveri, alla frequenza ed entità delle precipitazioni, alla concentrazione degli inquinanti contenuti nelle acque di pioggia, [12].

Dall'esame della letteratura, riteniamo 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 per il quale si hanno a disposizione dati per essere utilmente applicato a casi reali. Pertanto pur essendo già stato ampiamente illustrato in [1] si ritiene utile riassumerlo.

#### 4. Il metodo della FHWA

La procedura suddivide le infrastrutture in 3 tipologie:

- *Tipo I*: strada urbana o in viadotto con il 100% di superficie pavimentata e dotata di barriere di sicurezza;
- *Tipo II*: 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;
- *Tipo III*: strada rurale con circa il 20% di area pavimentata sul totale del bacino afferente, caratterizzata dalla presenza di banchine e cunette non rivestite.

La quantità complessiva di inquinante P presente sul piano viabile nel generico momento "i" della vita dell'infrastruttura è fornita dalla relazione:

$$P = P_0 + K1 \times GS \times HL \quad (2)$$

in cui:

K1 = *Tasso di accumulo dell'inquinante*, 'K1' sulla pavimentazione stradale. Esso viene definito come la quantità in Kg di sostanza inquinante accumulata su un chilometro di infrastruttura durante l'arco temporale di riferimento ed è espresso in Kg / (Km x giorno). K1 è funzione del traffico giornaliero medio (TGM) e del periodo di tempo trascorso fra due precipitazioni secondo la seguente relazione regressiva [4]:

$$K1 = 0,007 \times TGM^{0,89} \quad (3)$$

HL = lunghezza di drenaggio

GS = numero di giorni trascorsi fra due eventi piovosi

Po = quantità di carico inquinante presente sull'infrastruttura all'inizio dell'osservazione. Nel caso più generale, Po è la quantità di sostanze inquinanti presenti sulla pavimentazione stradale dopo che l'evento piovoso "i-1" ha asportato una parte del carico inquinante presente; Po rappresenta quindi le condizioni iniziali dell'evento "i". Per calcolare Po 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 Po = 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

$$Po = K1 \times TM \times HL$$

in cui, a oltre i termini già noti TM è il tempo di accumulo cioè il numero di giorni trascorsi dall'ultimo evento piovoso; TM è limitato ad un valore massimo legato all'ubicazione territoriale dell'infrastruttura e ad altri fattori quali: vento, traffico, tipo di barriera ecc.

Nota il carico inquinante totale P presente sul tratto di strada in esame, la quantità di esso asportato dal generico evento piovoso è fornita dalla relazione :

$$Pw = P (1 - e^{-K2 \cdot r}) \quad (4)$$

in cui oltre i termini già noti:

Pw = carico inquinante asportato;

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

5 per una strada di tipo I (urbana)

6.5 per una strada di tipo II (extraurbana)

12 per una strada di tipo III (rurale)

r = grandezza avente le dimensioni di una portata unitaria, pari al rapporto fra il volume efficace unitario di acqua "Q" (espresso in mm) presente nel bacino di drenaggio affluente ed il tempo di dilavamento "TD" (espresso in ore).

In assenza di specifiche procedure, il calcolo di "Q" e "TD" può essere fatto utilizzando le seguenti relazioni sperimentali di natura regressiva elaborate su grandezze misurate in unità anglosassoni:

- Volume efficace unitario di acqua "Q"

$$Q = a \times p^b \times GS^c - d \quad (5)$$

dove:

p e GS sono dati di input e rappresentano rispettivamente l'entità della precipitazione ed il numero di giorni intercorsi fra 2 eventi piovosi;

a,b,c,d sono coefficienti determinati sperimentalmente in funzione dell'ubicazione dell'infrastruttura nel contesto territoriale. I valori proposti per i 3 tipi di strada sono riportati in tabella 2.

**Tab. 2 :** Valori dei coefficienti a, b, c, d [4]

strada	a	b	c	d
I	0.969	1	0	0.019
II	0.470	1.369	0.0858	0
III	0.845	1.892	0.654	0

- Tempo di dilavamento "TD":

$$TD = h \times DP + k \quad (6)$$

dove:

DP = durata in ore della precipitazione;

h, k = coefficienti che tengono conto del periodo asciutto fra due eventi piovosi (GS). I valori dei coefficienti sperimentali sono riportati in tab. 3.

**Tab. 3** : Valori dei coefficienti h, k [4].

Strada Tipo	GS < 10 gg		GS > 10 gg	
	h	K	h	K
I	1.12	0.69	1.12	0.69
II	1.27	2.16	1.06	1.79
III	1.48	8.28	1.92	4.18

Determinato il carico inquinante eliminato dall'evento piovoso, la quantità di quello residuo (Pr) sulla pavimentazione stradale rappresenta anche il carico inquinante Po da inserire nella (2) per studiare gli effetti di un evento piovoso successivo a quello esaminato:

$$Pr = P - Pw = Po$$

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

$$Pw = ST.$$

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 [4].

Occorre ricordare che tutte le espressioni finora riportate sono valide soltanto nel campo della ricerca sperimentale effettuata [4]. In particolare, per applicazioni a casi del nostro Paese, è necessaria una verifica dei valori assunti.

## 5. Valutazione dell'impatto ambientale sui corpi idrici ricettori

Il metodo di calcolo proposto nel manuale FHWA è stato applicato a diverse situazione tipo assumendo come variabile i valori del Traffico Giornaliero Medio (*fra 5000 e 30000 veic/giorno*) ed è stata valutata la concentrazione del carico inquinante Pw per tre diverse lunghezze di drenaggio HL= 100, 500, 1000 m. E' stato considerata una strada extraurbane di tipo II, caratterizzate da un valore di K2 = 6.5

Sono inoltre stati considerati i seguenti dati meteorologici:

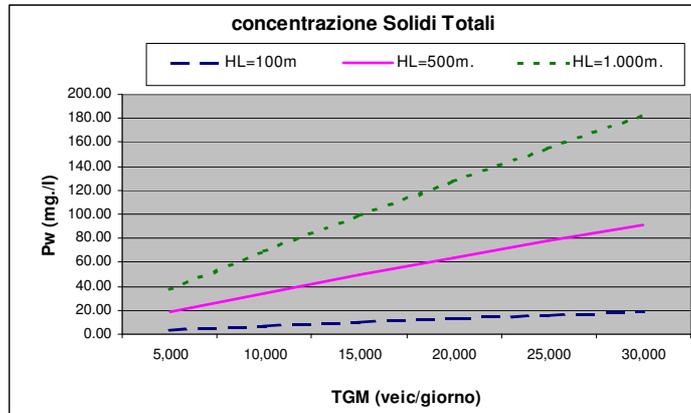
- altezza di pioggia = 1.00 cm
- durata della pioggia = 5 minuti.
- periodo di accumulo delle polveri sull'infrastruttura = 1 giorno (per il calcolo di Po).

Considerando inoltre un bacino afferente S di 10.000 m<sup>2</sup> (*pari ad un tratto di strada largo 10 m o 20 m e lungo 1000 m o 500 m*) è stato calcolato il volume di acqua da trattare V = QxS e da questa la concentrazione di inquinanti nell'acqua di ruscellamento pari a Pw/V. L'andamento della concentrazione in funzione del TGM è riportato in fig.1.

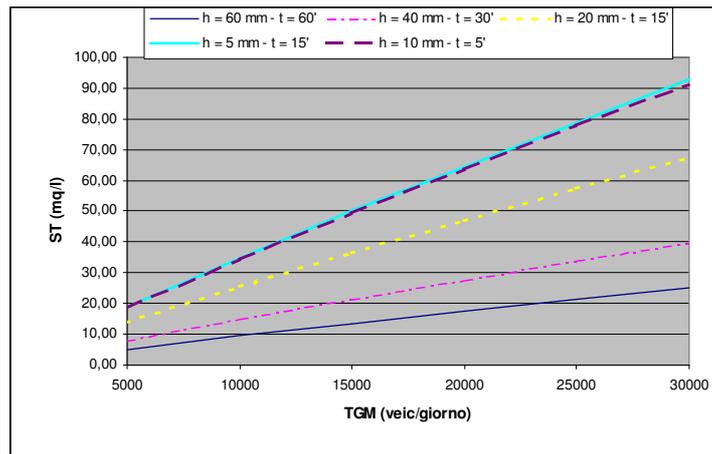
In Italia non esiste una legislazione specifica sui limiti dei carichi inquinanti nelle acque di ruscellamento stradale. L'unico riferimento normativo potrebbe essere il D.L. 11/05/1999 n.152; *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente 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 di acque reflue urbane e industriali che non rispettino i valori limite di accettabilità dei solidi sospesi totali di 25 mg/l, ovvero, per scarichi già autorizzati, nel periodo di transizione di tre anni il limite di 80 mg/l. Per le aree sensibili vale invece il limite di 35 mg/l. Confrontando tali limiti con i risultati del metodo FHWA graficizzati si può concludere che, con i dati pluviometrici considerati, riducendo le lunghezze di drenaggio a valori inferiori a 500 m e con un TGM inferiore a 10000 veicoli/giorno non si raggiunge la criticità del problema.

Per valutare l'influenza delle piogge sul livello degli inquinanti in fig. 2 è riportata la concentrazione dei solidi totali nell'acqua di ruscellamento stradale per una lunghezza di drenaggio di 500 m ed un periodo di accumulo dell'inquinante di 1 giorno, sempre al variare del TGM.

**Fig. 1:** Concentrazione del carico inquinante nelle acque di ruscellamento stradale per diverse lunghezze di drenaggio



**Fig. 2:** Concentrazione del carico inquinante nelle acque di ruscellamento stradale per diverse altezze e durate di pioggia



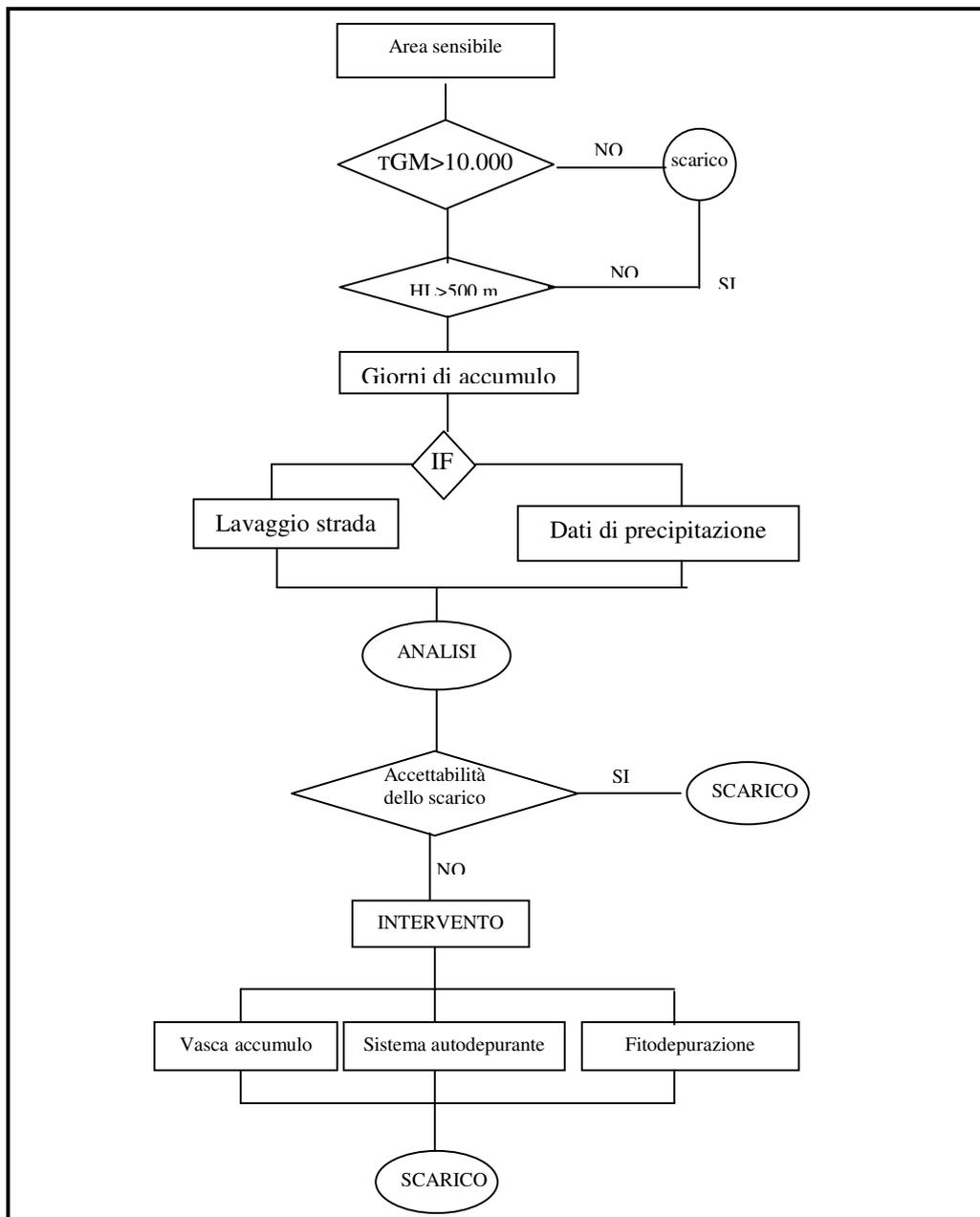
Dal grafico si evince che sia piogge abbondanti e di breve durata ( $h=10\text{ mm}$ ,  $t=5\text{ minuti}$ ), sia piogge scarse e di lunga durata ( $h=5\text{ mm}$ ,  $t=15\text{ minuti}$ ), causano elevati livelli di concentrazione dei solidi totali; queste piogge generano fenomeni di inquinamento sui corpi idrici ricettori e pertanto le acque dovranno essere intercettate e trattate. Piogge abbondanti e di lunga durata ( $h=60\text{ mm}$ ,  $t=60\text{ minuti}$ ), danno luogo a diluizioni degli inquinanti tali da non creare elevate concentrazioni nell'acqua di ruscellamento, e quindi impatti negativi sui corpi ricettori finali. Anche dall'esame del grafico presentato, e senza presunzione di validità generale, si può affermare che per valori del TGM inferiori a 10.000 veic/giorno e lunghezze di drenaggio inferiori a 500 m., 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 [8] la soglia di criticità del problema.

I pochi esempi fatti dimostrano come a volte il problema dell'inquinamento delle aree sensibili dovuto alle acque di ruscellamento stradale non debba essere trascurato, e comunque risulta impossibile definire in maniera univoca dei limiti di criticità del problema.

Per questo motivo 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 fig.3.

**Fig. 3:** Flow Chart procedurale per la valutazione di impatto ambientale delle acque di ruscellamento stradale



## 5. Conclusioni

In questo studio sono stati analizzati i diversi metodi previsionali del carico inquinante nelle acque di ruscellamento stradale. Fra i diversi modelli esaminati, il più completo e di pratica applicazione risulta quello sviluppato della Federal Highway Administration negli USA. Con tale metodo, in funzione dei dati sulle piogge, sul traffico e sull'infrastruttura, può essere calcolata la concentrazione 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.

L'applicazione del metodo, in determinate condizioni ambientali, ha portato alla individuazione di soglie di criticità, al di sotto delle quali il problema dell'inquinamento idrico dei corpi ricettori dovuto alle acque di ruscellamento stradale è trascurabile, per cui non risulta indispensabile la realizzazione di impianti di trattamento delle acque.

È stato presentato solo il caso delle strade extraurbane per le quali sono stati individuati i limiti che definiscono la soglia di criticità del problema :

- Traffico Giornaliero Medio (TGM) inferiore a 10.000 veicoli/giorno
- Lunghezza di drenaggio (HL) inferiore a 500 m,

Nei casi in cui almeno uno dei parametri sopra individuati supera i valori limite dati, è necessario procedere al monitoraggio del tratto di strada interessata.

Tali valori sono stati definiti considerando i valori ammissibili dei solidi totali previsti dal *D.L. 11/05/1999 n.152* recante disposizioni in materia di tutela delle acque dall'inquinamento; si fa presente comunque che tale norma non fa specifico riferimento alle acque di ruscellamento stradale, e la sua applicabilità al caso stradale è stata una estensione degli autori.

L'applicazione della metodologia previsionale ha evidenziato l'impossibilità di definire dei limiti precisi oltre i quali imporre il trattamento delle acque, per cui si rende necessaria la messa a punto di una metodologia operativa da applicare in Italia, per la valutazione caso per caso del livello di concentrazione degli inquinanti nelle acque di ruscellamento stradale.

La carenza di dati a disposizione non ha permesso la validazione del modello al caso italiano; gli autori si auspicano che la presa di coscienza del problema porti ad uno scambio di dati ed informazioni tali da poter portare a compimento una procedura ad hoc per il caso italiano, appena abbozzata con il flow chart presentato in fig. 3.

### Riferimenti bibliografici

- [1] 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 –
- [2] L. Cera, P. Di Mascio  
*Come e quanto inquina il traffico veicolare*  
Energia e materie prime n.89 Gen/Feb 1993
- [3] G. Remedia, L. Domenichini, L. Cera  
*Problematiche relative al monitoraggio dell'inquinamento idrico prodotto dalle infrastrutture stradali*  
XXI Congresso Nazionale delle Strade - Trieste 1990 –
- [4] 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
- [5] M.J. Hall, R.S. Hamilton  
*Highway Runoff Transport Modelling*  
Studies in Environmental Science 44 - Highway Pollution- Elsevier, 1991
- [6] Ministère des Transports – Direction Générale des Transports Intérieurs  
*Protection des eaux contre la pollution d'origine routière*  
SETRA
- [7] R.R. Horner, B.W. Mar  
*Guide for Assessing Water Quality Impacts of Highway Operation and Maintenance*  
TRB, Rep. 948, 1983.
- [8] R.R. Horner, B.W. Mar  
*Assessing the Impacts of Operating Highways on Aquatic Ecosystems*  
TRB, Rec. 1017, 1985.
- [9] N.C. Krobiger, T.L. Meinholz, M.K. Gupta, R.W. Agnew  
*Constituent of Highway Runoff*  
FHWA, Rep. RD-81/004, 1981.
- [10] D.R. Gaboury, E.D. Driscoll, J.D. Sartor  
*A Probabilistic Methodology for Estimating Water Quality Effects from Highway Stormwater Runoff*  
Sci, Total Environ., vol. 59, pp 447-456, 1987.
- [11] E.W. Strecker, E.D. Driscoll, P.E. Shelley, D.R. Gaboury, J.D. Sartor  
*The U.S. Federal Highway Administration Receiving Water Impact*  
Sci, Total Environ., vol. 93, pp 489-498, 1990.
- [12] D.M. Revitt, R.S. Hamilton, R.S. Warren  
*The Transport of Heavy Metals within a Small Urban Catchment*  
Sci, Total Environ., vol. 93, pp 359-373, 1990.