

MODELLO PREVISIONALE DELL'INQUINAMENTO PRODOTTO DALLE ACQUE DI RUSCELLAMENTO STRADALE NEI CORPI IDRICI RICETTORI

Luciano Cera
Paola Di Mascio

GENERALITÀ

La ricerca sull'inquinamento prodotto dalle acque di ruscellamento sulle pavimentazioni stradali, iniziata presso l'Università di L'Aquila e continuata successivamente presso l'Università di Roma "La Sapienza" con finanziamenti di ricerca MURST 40%, ha studiato una procedura per la determinazione della concentrazione delle principali sostanze inquinanti prodotte dal traffico veicolare contenute nelle acque di ruscellamento sui piani stradali.

Un primo intervento [1] su questo argomento è stato presentato a Trieste al XXI Congresso Nazionale delle Strade, nel quale veniva evidenziato come l'impatto sull'ambiente dei deflussi idrici provenienti dai sistemi di drenaggio stradale (sia provvisori in fase di costruzione, che definitivi in fase di esercizio) potesse raggiungere livelli di criticità tali da suggerire una maggiore attenzione nella loro valutazione e quindi la necessità di prevedere sistemi di controllo e di trattamento dei reflui già nella fase progettuale. Nello stesso articolo veniva evidenziata la sostanziale differenza degli effetti prodotti dagli inquinanti in relazione all'ubicazione dell'infrastruttura nel contesto territoriale distinguendo fra ambito urbano, extraurbano e rurale.

Negli ultimi anni il problema del danno all'ambiente causato dagli inquinanti contenuti nelle acque di ruscellamento è stato affrontato in diversi Paesi Europei: in Francia è stata emanato un decreto legge che individua i principali inquinanti e definisce le procedure per lo scarico delle acque di ruscellamento stradale nei corpi ricettori [4]. E' inoltre in atto un programma di ricerca Europeo [5] il cui obiettivo è quello di studiare gli effetti degli inquinanti contenuti nelle acque di ruscellamento dai piani delle pavimentazioni autostradali e confrontarli con altre sorgenti di inquinamento per capire i meccanismi di dispersione di tali inquinanti nell'ambiente.

Negli USA il problema è stato trattato approfonditamente dalla FHWA [2] che ha sviluppato

una procedura per il calcolo della concentrazione degli inquinanti, individuando i limiti di accettabilità dello scarico oltre i quali vengono prodotti effetti negativi sull'ambiente. Altri studi hanno individuato interventi progettuali ecocompatibili tesi a ridurre il carico inquinante prima che il flusso idrico sia definitivamente immesso nei corpi idrici.

Nel presente lavoro è stato analizzato il modello della FHWA, sviluppato sulla base di un'ampia raccolta di dati empirici. Sebbene la sua applicazione al caso italiano necessita di una validazione sperimentale, si ritiene che la procedura sia generale e sufficientemente indicativa per l'individuazione di quei tronchi di strada i quali, note le caratteristiche geometriche, i dati di traffico e gli eventi piovosi, generano effetti dannosi sui corpi idrici ricettori (sorgenti, fiumi, laghi, ruscelli ecc.) o sull'ambiente circostante.

In tali tronchi, devono essere attuati interventi per la minimizzazione dell'impatto sull'ambiente distinguendo:

- infrastruttura in fase di progettazione: si interviene prioritariamente sulle caratteristiche di tracciato, adottando localmente interventi mirati alla minimizzazione degli effetti negativi anche con tecniche di ingegneria naturalistica;
- infrastruttura in esercizio: si interviene con azioni mitigatorie volte all'abbattimento del carico inquinante contenuto nelle acque di ruscellamento prima di essere scaricate nei corpi ricettori finali.

PRESENTAZIONE DELLA PROCEDURA PER IL CALCOLO DEGLI INQUINANTI

La metodologia per il calcolo dei diversi agenti inquinanti presenti nelle acque di ruscellamento stradale, prende le mosse dalla sperimentazione americana menzionata in forza di un contratto di ricerca finanziato dalla FHWA [2]. Tale procedura 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. Gli elementi inquinanti più comuni presenti nelle acque di ruscellamento stradale [1] sono elencati in tabella n.1.

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.

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

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 ₄	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 sperimentazione condotta dalla FHWA è stata inizialmente rivolta ad accertare, per ciascuno dei tre tipi di strada sopra precisati l'origine, il meccanismo di dispersione ed il trasporto degli inquinanti nel sistema di drenaggio stradale.

I fattori che contribuiscono alla produzione ed alla diffusione degli agenti inquinanti possono essere schematicamente individuati in:

- composizione e caratteristiche del traffico e dell'infrastruttura stradale,
- attività di manutenzione,
- condizioni meteorologiche.

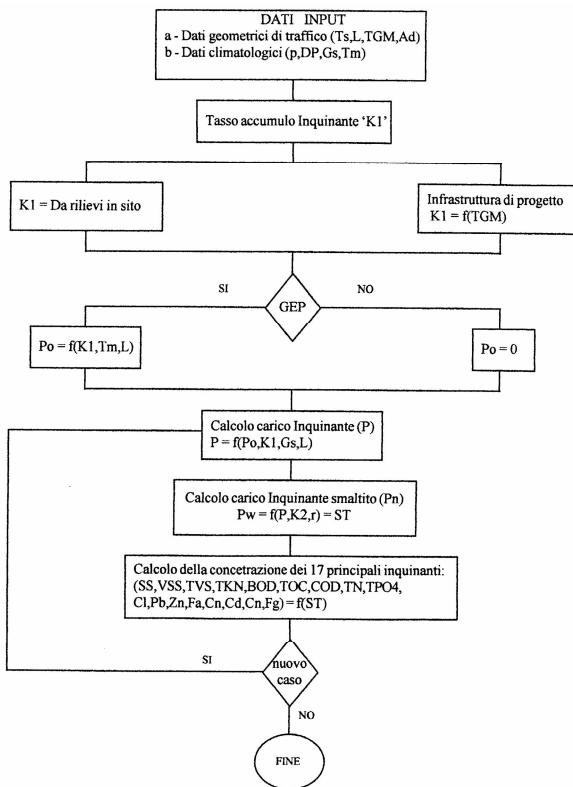
La concentrazione di un inquinante nell'acqua di ruscellamento stradale prima di defluire nel mezzo ricettore, varia in funzione di una serie di parametri:

- l'ubicazione dell'infrastruttura nel contesto territoriale,
- l'esistenza o meno di delimitazioni trasversali che favoriscono l'accumulo o lo smaltimento delle sostanze inquinanti,
- la presenza di cunette in terra, le quali aumentano la capacità di autodepurazione del sistema di drenaggio stradale.

Va comunque precisato che il traffico veicolare anche se risulta essere una delle principali cause, non è la sola ed esclusiva fonte di inquinamento dell'acqua raccolta dal sistema di drenaggio della strada; altri contributi non trascurabili derivano dall'asportazione e dalla solubilizzazione di particelle e sostanze presenti nei fumi, gas e vapori e dalla solubilizzazione di sostanze inquinanti originate da rifiuti liquidi e solidi [3].

La procedura presentata è stata automatizzata secondo lo schema di fig.1 e viene illustrata in dettaglio di seguito.

Fig.1: Schema logico della procedura di calcolo



I dati di input per il calcolo del carico inquinante sono suddivisi in due gruppi:

a) Dati geometrici e di traffico:

- Tipo di strada, secondo le definizioni date (Ts= Tipo I, II, III);
- Lunghezza di drenaggio definita dal percorso dell'acqua sulla pavimentazione stradale prima di essere scaricata (L).
- Traffico Giornaliero Medio (TGM) espresso in veicoli equivalenti.
- Area di drenaggio (Ad) individuata dal bacino afferente.

b) Dati climatologici:

- Pioggia totale (p) durante l'evento considerato espressa in cm.
- Durata dell'evento piovoso espressa in ore (DP);
- Numero di giorni intercorsi fra l'evento piovoso in esame e l'evento piovoso antecedente (GS).

L'algoritmo analizzato consente di valutare il *Tasso di accumulo dell'inquinante, 'K1'* sulla pavimentazione stradale. Esso viene definito come la quantità in Kg di sostanze inquinante accumulata su un chilometro di infrastruttura durante l'arco temporale di riferimento ed è espresso in Kg / (Kmxgiorno). Per la

sua valutazione sono considerate separatamente due diverse situazioni:

- Infrastruttura esistente: il metodo più preciso per la sua determinazione è quello sperimentale che richiede il monitoraggio dell'opera,
- Infrastruttura in fase di progetto: il tasso di accumulo dell'inquinante K1 è funzione del traffico giornaliero medio (TGM) e del periodo di tempo trascorso fra due precipitazioni secondo la seguente relazione regressiva elaborato nel corso della ricerca sperimentale riportata in [2]:

$$K1 = 0,007 \times TGM^{0,89} \quad (1)$$

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

$$P = Po + K1 \times GS \times L \quad (2)$$

in cui:

L è la lunghezza di drenaggio

GS è il numero di giorni trascorsi fra due eventi piovosi

Po è la 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

$$Po = K1 \times TM \times L$$

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. Noto 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 :

$$P_w = P (1 - e^{-K_2 \cdot r}) \quad (3)$$

in cui oltre i termini già noti:

P_w = carico inquinante asportato;

K_2 = 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"

$$Q = a \times p^{-b} \times GS^{-c} - d \quad (4)$$

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 [2]

strada tipo :	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":

$$TD = h \times DP + k \quad (5)$$

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 [2].

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 (P_r) sulla pavimentazione stradale rappresenta anche il carico inquinante P_o da inserire nella (2) per studiare gli effetti di un evento piovoso successivo a quello esaminato:

$$P_r = P - P_w = P_o$$

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

$$P_w = ST.$$

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:

$$XX = u \times ST + v \quad (6)$$

dove XX rappresenta il generico inquinante

I coefficienti "u" e "v" sono stati determinati a seguito della sperimentazione eseguita dalla FHWA; quelli relativi ai principali inquinanti sono riportati in tabella 4.

Tab. 4 : Valori dei coefficienti u, v per alcuni inquinanti [2]

Inquinante	Strada Tipo I		Strada Tipo II		Strada Tipo III	
	u	v	u	v	u	v
TVS	.221	13.3	.263	243.0	.32	-32.30
COD	.202	5.47	.193	275.3	.087	.65
BOD	.023	1.5	.03	28.3	-	-
Pb	.0056	-.024	.001	.04	.0004	-.029
Zn	.0008	.014	.00058	.103	.0027	-.011
Fe	.015	.59	.020	-5.0	.014	1.61

Legenda:

TVS = Solidi Volatili Totali
 COD = Richiesta chimica di ossigeno
 BOD = Richiesta Biologica di ossigeno
 Pb = Piombo
 Zn = Zinco
 Fe = Ferro

Occorre ricordare che tutte le espressioni finora riportate sono valide soltanto nel campo della ricerca sperimentale effettuata [2] e pertanto risultano affidabili solo nei limiti riportati in tabella 5.

Tab. 5 : Campo di variazione delle grandezze esaminate nella sperimentazione americana

5A - Infrastrutture su cui è stata eseguita la ricerca sperimentale americana :		
N.	Denominazione	Tipo
1	Milwaukee I-794	I
2	Milwaukee Hwy 45	II
3	Nashville I-40	II
4	Denver I-25	II
5	Harrisburg I-81	III

5B - Dati di traffico rilevati su ogni arteria					
strada n.:	1	2	3	4	5
TGM (veic/g)	53 000	85 000	38 000	149 000	24 000

5C- Dati pluviometrici minimi e massimi per ogni arteria					
strada n.	1	2	3	4	5
valori minimi					
p (mm)	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
DP (h)	.08	.08	.25	.84	.25
intensità (mm/h)					
	15.88	15.88	5.08	1.51	5.08
valori massimi					
p (mm)	66.04	57.91	48.51	29.21	100.58
DP (h)	1.67	6.67	9.00	2.58	15.75
intensità (mm/h)					
	39.54	8.68	5.39	11.32	6.38

5D- Giorni intercorsi fra due eventi piovosi (GS)					
strada n.:	1	2	3	4	5
GS min (g)	1	1	1	1	1
GS max (g)	31	31	17	42	21

5E - Valori medi					
strada n.:	1	2	3	4	5
GS (g)	4.84	6.17	2.79	7.46	3.97
DP (ore)	2.36	4.69	2.95	3.00	4.66
pt (mm)	9.91	10.92	10.67	8.13	14.73
intensità (mm/h)	4.20	2.33	3.62	2.71	3.16

CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI DALL'APPLICAZIONE DEL MODELLO

La procedura presentata è stata automatizzata allo scopo di studiare la variazione del quantitativo dei singoli inquinanti presenti nelle acque di ruscellamento stradali in funzione del tipo di strada e dei parametri meteorologici e di traffico presenti. Nelle fig. 2, 3, 4 è rappresentato l'andamento del contenuto di 3 inquinanti, piombo, BOD, e zinco, contenuti nell'acqua di ruscellamento in funzione dei solidi totali (ST) per le 3 tipologie di strada definite dalla procedura americana.

Risulta evidente la differenza tra il potenziale inquinante prodotto dalle diverse strade:

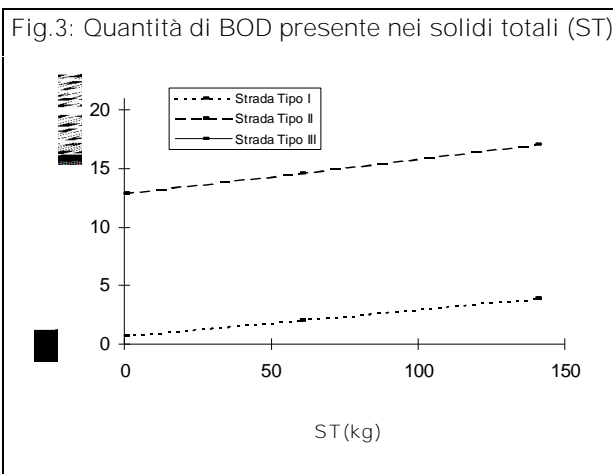
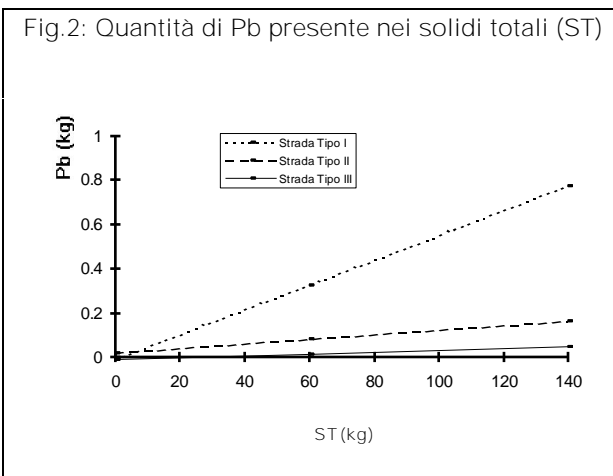
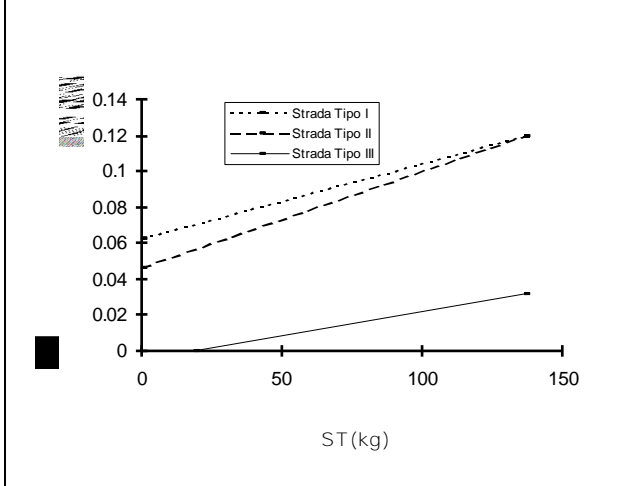


Fig.4: Quantità di Zn presente nei solidi totali (ST)



- in ambito urbano (strade di tipo I) la presenza dei metalli pesanti nei solidi totali (nelle fig. 2 e 4 sono riportati gli andamenti delle quantità di Piombo e Zinco), è più elevata che in ambito extraurbano (strade di tipo II), dove invece sono presenti in misura maggiore gli inquinanti di natura biologica (nel caso particolare il BOD riportato in fig.3);

- le strade rurali (tipo III) presentano in genere problemi minori rispetto alle altre due tipologie di strada; in particolare l'inquinamento biologico dovuto al BOD è del tutto assente (fig.3).

Si è inoltre studiata la variazione di concentrazione dei 3 elementi Pb, Zn, BOD nelle acque di ruscellamento in funzione di tre grandezze fondamentali: intensità di pioggia, lunghezza di drenaggio e traffico giornaliero medio. La variabilità di questi tre parametri ha permesso di analizzare la procedura e individuare i limiti di criticità del problema.

A titolo esemplificativo, si è fatto riferimento solo alle strade urbane ed extraurbane (tipo I e II) che da quanto visto in precedenza presentano le concentrazioni maggiori di inquinanti. In particolare sono state prese in considerazione un'arteria urbana primaria ed una extraurbana secondaria di tipo II, come definite dalle norme CNR.

Nelle fig. 5-6-7-8-9-10 è riportata la concentrazione dei tre inquinanti espressa in mg/l al variare dell'intensità di pioggia, della lunghezza di drenaggio e del Traffico Giornaliero Medio. Nelle stesse

figure, con una retta parallela all'asse delle ascisse, è riportato il limite di accettabilità della concentrazione di un'acqua reflua per poter essere immessa in un corpo ricettore superficiale o profondo, come previsto dalla L. n.319/76 Tab A.

L'esame delle curve delle figure 5 e 6 mostra un andamento sensibilmente diverso della concentrazione del piombo per le due tipologie di strade esaminate.

Fig.5: Strada Tipo I: Pb

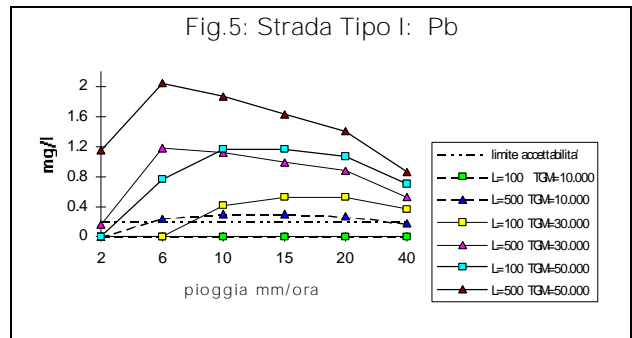


Fig.6: Strada Tipo II: Pb

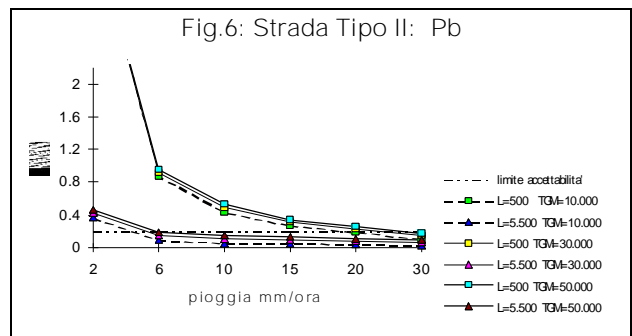


Fig.7: Strada Tipo I: BOD

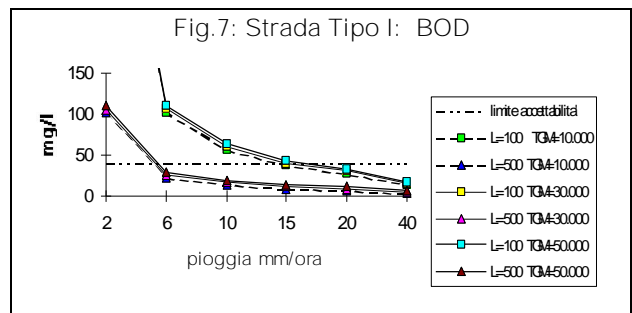
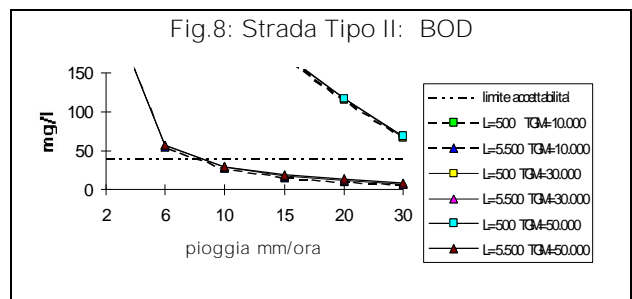
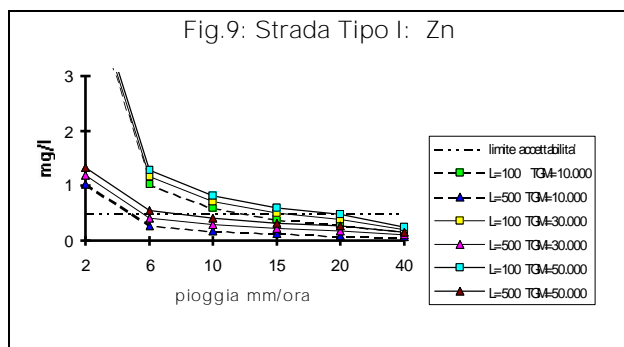


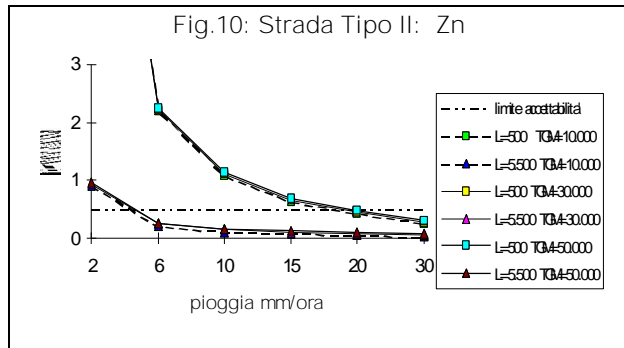
Fig.8: Strada Tipo II: BOD





Nelle strade urbane (tipo I) all'aumentare dell'intensità di pioggia corrisponde inizialmente un aumento della concentrazione del piombo fino ad un massimo in corrispondenza di un valore della precipitazione variabile in funzione inversa con la lunghezza di drenaggio, oltre il quale la concentrazione del Pb diminuisce.

A parità di intensità di pioggia il potere inquinante delle acque di ruscellamento sull'ambiente circostante aumenta con la lunghezza di drenaggio e con il TGM. Dalla fig.5 si evidenzia come queste ultime due grandezze influiscono in maniera limitata sulla concentrazione del piombo quando l'intensità di pioggia supera i 40 mm/h.



In ambito urbano, per le condizioni esaminate, risulta che la concentrazione del Pb nelle acque reflue è contenuta nei limiti della L. n. 319/76 (0.2 mg/l) per traffici non superiori a 10000 veicoli al giorno. Nei casi in cui il TGM supera tale soglia è necessario condurre uno studio di dettaglio per analizzare il problema, conducendo analisi sull'entità delle precipitazioni possibili e sul livello di sporcizia accumulatasi. In tale caso può essere opportuno creare le condizioni per cui si riducano le lunghezze di drenaggio. Per esempio, per piogge superiori a 30 mm/h, per TGM=30000, affinché la concentrazione di Pb sia inferiore al limite di 0.2

mg/l, la lunghezza di drenaggio non deve superare 120 m circa.

Nelle strade extraurbane (tipo II) la concentrazione di Pb ha invece un andamento sempre decrescente all'aumentare dell'intensità di pioggia e risulta poco sensibile sia alla variabilità del traffico che alla lunghezza di drenaggio.

Eccetto che per intensità di pioggia inferiori ai 10 mm/h, una variazione di L da 500 a 5500 m non porta ad evidenti variazioni di concentrazioni del Pb. Si può individuare come limite di criticità del problema una pioggia inferiore a 20 mm/h con lunghezze di drenaggio superiori a 500 m.

Le Fig. 7, 8, 9 e 10 mostrano rispettivamente la variabilità della concentrazione del BOD e dello Zinco nelle strade di tipo I e II. Sia nel caso del BOD che dello Zn l'aumentare dell'intensità di pioggia provoca un decadimento della concentrazione e le curve hanno lo stesso andamento decrescente. In tutti i grafici la lunghezza di drenaggio interviene in modo sensibile nella diminuzione della concentrazione mentre l'aumento del traffico ha poca influenza.

Come già detto, l'inquinamento biologico (fig.8) risulta più importante in ambito extraurbano rispetto all'urbano. Per lunghezze di drenaggio inferiori a 500 m e per le intensità di pioggia usualmente registrate in Italia non si raggiungono mai valori ammissibili di concentrazione di BOD. Bisogna aumentare le lunghezze di drenaggio fino a valori piuttosto elevati (5500 m). Ciò vuol dire che per l'eliminazione del BOD dalle acque reflue difficilmente si riesce ad intervenire agendo sui percorsi di drenaggio, ma bisogna prendere provvedimenti progettuali più specialistici quali, per esempio, vasche di depurazione o sistemi di fitodepurazione.

In ambito urbano invece, già con lunghezze di drenaggio di 100 m, si riesce a contenere l'inquinamento biologico delle acque nei limiti consentiti, quando le intensità di pioggia sono maggiori o uguali a 15 mm/h.

Per lo zinco si possono fare essenzialmente le stesse considerazioni. Il problema è certo meno grave in quanto anche in ambito extraurbano la concentrazione di Zn è piuttosto contenuta quando l'intensità di pioggia raggiunge o supera i 20 mm/h e con lunghezze di drenaggio non inferiori a 500 m.

Tale valore di L è comunque ancora piuttosto elevato tanto da ritenere valido, anche per l'eliminazione di questo inquinante quanto detto per gli interventi progettuali volti alla soluzione dei problemi legati alla concentrazione del BOD.

CONCLUSIONI

L'articolo ha trattato la determinazione della concentrazione di alcuni agenti inquinanti presenti nelle acque di ruscellamento stradale applicando una metodologia messa a punto negli Stati Uniti dalla FHWA.

L'applicazione del modello ha evidenziato come l'inquinamento delle acque reflue generate da un evento piovoso che interessa un'arteria stradale, non sempre può essere trascurato, presentando in alcuni casi concentrazioni di elementi inquinanti tali da influire irreparabilmente sull'ecosistema circostante (*corpi idrici ricettori, ambiente florofaunistico*).

In tali casi il problema va affrontato con metodiche progettuali specifiche a seconda che si tratti di progettare l'infrastruttura o che la stessa sia in esercizio, individuando quelle che la direttiva 91/271 della CEE definisce "*aree sensibili*" ed in queste aree le acque reflue vanno intercettate prima di essere scaricate definitivamente.

In funzione della quantità e del tipo di agente inquinante prodotto dall'infrastruttura vanno progettati interventi specifici che tengano conto della gravità del problema. In molti casi può essere sufficiente prevedere cunette di piattaforma non rivestite (per es. in erba); la vegetazione che riveste le cunette assolve la duplice funzione di rallentare la velocità di scorrimento dell'acqua e di assorbire le sostanze inquinanti in essa contenute.

Provvedimenti idonei quando si è in presenza di elevati carichi inquinanti in vicinanza di zone ad alto valore ambientale (*sorgenti, ruscelli, laghi ecc.*) devono essere adottate vasche di accumulo, sistemi di fitodepurazione, o altri idonei sistemi per

l'abbattimento dei carichi inquinanti. Con le vasche di accumulo, le acque di risulta della pavimentazione, vengono fatte transitare in una vasca a ridosso dell'infrastruttura dove i sedimenti decantano e le acque vengono depurate, prima di essere immesse nel corpo idrico. Con i sistemi di fitodepurazione le acque inquinate vengono convogliate su aree piantumate con specie vegetali idonee, scelte in funzione del tipo di inquinante presente.

Rimandando a studi successivi la problematica della fitodepurazione, peraltro già ampiamente sperimentata in Italia per l'abbattimento del carico inquinante delle acque reflue per gli scarichi civili, a titolo di esempio in tab. 6 [6] sono riportate le capacità di assorbimento di alcuni metalli pesanti contenuti nelle acque di ruscellamento stradale da parte di essenze utilizzate nei sistemi di fitodepurazione.

In sintesi quindi il problema si riconduce alla valutazione del carico inquinante presente su un tratto di strada ed alla caratterizzazione delle aree sensibili messe in relazione con la qualità dell'ambiente circostante, introducendo differenti limiti di accettabilità dello scarico. In alcuni casi risulterà necessario prevedere sistemi di raccolta e trattamento delle acque reflue differenziati in relazione alle effettive necessità prima di essere definitivamente scaricate nei mezzi ricettori, per i quali è comunque sempre opportuno aumentarne le capacità autodepuranti naturali. La problematica esposta che attualmente riveste ampio interesse in ambito europeo, necessita di un ulteriore approfondimento al fine di calibrare il metodo presentato al caso italiano. In particolare sarebbe utile acquisire dati sull'entità degli inquinanti contenuti nelle acque di ruscellamento stradale e correlarli con i dati di traffico per individuare un algoritmo di validità generale che possa consentire una concreta applicazione sia alle infrastrutture esistenti, che permettere valutazioni preventive al fine di proporre, laddove necessari, interventi di trattamento delle acque reflue provenienti dalla strada.

Tab 6: Capacità di assorbimento di metalli pesanti contenuti nell'acqua per tipologia di essenza (Kg/ha)

Nome essenza	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	P	N
Cattalis										
Typha Augustifolia		0.006	0.068	15.80	11.22	0.027		0.629	30	230
Typha latifolia		0.01	0.36		13.66			0.6	30	180
Giunchi e canne										
Phragmites comunis		0.028	0.188	41.2	7.44	0.068		1.658	40	3/800
		0.04	0.35		15.6	0.068		0.5		
Juncus roemerianus									20	1200
Erbe										
Phararis arudinacea	0.003						0.25		43	430
Spartina alterniflora				5.6					6	1200
	0.004	0.026		5.25	0.22					
				3.84						
Spart+Phar.	0.0004						0.0086			
Altre specie										
Jiustica americana			0.55	24	2			4.2		
Salicornia pacifica	0.23		1				0.5	0.56		
Eichornia	0.14		13.44	30.2	20.2	0.33	0.44	2.68	297	20
	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	P	N
Carex stricta		0.02	0.052	103.4	26.38	0.067		1.714	2	80
Scirpus lacustris		0.023	0.0161	26.2	40.32	0.058		1.68	67	170

BIBLIOGRAFIA

[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] 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

[3] L. Cera, P. Di Mascio

Come e quanto inquina il traffico veicolare
Energia e materie prime n.89 Gen/Feb 1993

[4] J.P. Chistory, G. Bonnet

Multifunction concrete roadways potentials in urban areas
VI International Purdue Conference On Concrete Pavement Design and Materials for High Performance, Indianapolis, November 18-21.1997

[5] G. Mudge

POLMIT - Pollution Of Soil And Water By Road And Traffic Source: Dispersal Mechanisms, Pathways And Mitigation Measures
Risk 1997

[6] Symposium: Costructured Wetlands In Cold Climates
Niagara On The Lake Ontario - Canada- 4.5 June 1996