

XXI CONGRESSO NAZIONALE STRADALE TRIESTE -
GIUGNO 1990

TEMA II : COSTRUZIONE E MANUTENZIONE

CAPITOLO 1 : Argomenti generali

Sottotitolo 2: L'Ambiente

PROBLEMATICHE RELATIVE AL MONITORAGGIO
DELL'INQUINAMENTO IDRICO PRODOTTO DALLE
INFRASTRUTTURE STRADALI

G. REMEDIA, L. DOMENICHINI, L. CERA

1. INTRODUZIONE

La ricerca riguardante lo studio dell'impatto prodotto dalla costruzione e dall'esercizio delle infrastrutture stradali sulle acque superficiali e di falda, di cui il presente rapporto costituisce un primo contributo conoscitivo, rientra in un più ampio programma finanziato con fondi di ricerca MPI 40%, finalizzato all'approfondimento delle tematiche relative all'impatto ambientale delle infrastrutture di trasporto di tipo lineare (strade, ferrovie) o puntuale (aeroporti). Il programma di ricerca è coordinato dal Prof. F. Santagata dell'Università di Ancona e vede coinvolte le Università di Trento, Ancona, Roma - La Sapienza, L'Aquila, Potenza e Reggio Calabria.

Il tema particolare oggetto del presente rapporto affronta un aspetto specifico dell'intera problematica, con riferimento alle infrastrutture stradali, e riguarda i criteri in base ai quali è possibile definire un sistema di monitoraggio della qualità dell'acqua in corrispondenza delle zone in cui questo elemento naturale viene ad essere sollecitato dalle azioni di impatto indotte dalla realizzazione e gestione delle infrastrutture stradali.

Si chiarisce innanzi tutto a quali attivita' si intende riferita la parola "monitoraggio" ed a quali scopi esso si intende finalizzato. Per definire tali scopi pero' si e' ritenuto necessario individuare preliminarmente, attraverso l'esame di quanto in proposito e' riportato nella letteratura tecnica, quali sono le aree di maggiore criticita' del problema. L'esame dei risultati delle ricerche sperimentali effettuate ha evidenziato che gli effetti di inquinamento delle acque sono numerosi e molto diversi a seconda che si esaminino la fase di costruzione dell'infrastruttura, durante la quale predominano le conseguenze dei fenomeni erosivi e di sedimentazione, oppure la fase di esercizio, durante la quale il traffico, le operazioni di manutenzione o eventi a carattere accidentale inducono rispettivamente effetti di inquinamento cronico, ciclico ovvero temporaneo acuto.

Gli effetti dell'inquinamento hanno conseguenze nocive sull'ecosistema idrico, sulla vita vegetale, animale e sull'uomo che si risentono in aree anche molto lontane dal luogo sorgente dell'inquinamento. Tali conseguenze possono produrre perdite del valore nutritivo delle acque, perdita dei caratteri estetici di queste (fenomeni di intorbidimento, colorazione, cattivi odori) ed anche malattie e decessi a causa dell'introduzione di elementi tossici o infettivi.

Una diffusa attivita' di controllo e di misura delle caratteristiche dell'acqua in corrispondenza delle zone ove questa piu' direttamente interagisce con l'operativita' dell'infrastruttura assume quindi una importanza rilevante, della quale non si e' ancora creata una sufficiente sensibilizzazione da parte degli Enti

interessati.

2. IL MONITORAGGIO: DEFINIZIONI E SCOPI

La necessita' di definire in modo obiettivo, attraverso grandezze estensive e/o intensive, le qualita' dell'ambiente naturale al fine di conoscerne i caratteri e di individuare gli eventuali provvedimenti atti a contenere le alterazioni introdotte dall'attivita' dell'uomo porta, come conseguenza, la necessita' di definire un programma di rilevamenti mediante i quali sia possibile valutare le condizioni iniziali e l'evoluzione nel tempo di un certo numero di parametri assunti come indicatori delle qualita' dell'ambiente in esame. L'insieme di queste misure, delle loro distribuzione spaziale e temporale nonche' delle modalita' di analisi ed elaborazione dei dati acquisiti costituisce, in senso generale, quello che va sotto il nome di "monitoraggio".

Diversi possono essere gli obiettivi perseguiti mediante un programma di monitoraggio. In questo senso si possono richiamare i punti di seguito elencati:

- a. prevenzione: controllo delle variabili ambientali o sociali prescelte per

individuare per tempo tendenze negative onde prevenirne gli effetti, ovvero intervenire prima che questi abbiano raggiunto livelli di criticita' intollerabili;

- b. calibratura e validazione dei modelli di previsione: le informazioni acquisite permettono di giudicare sull'utilita', accuratezza ed esaustivita' delle tecniche di previsione utilizzate durante lo studio di impatto ambientale;
- c. creazione di una banca dati: la costituzione di un archivio storico, aggiornato con continuita', consente di individuare dinamiche ambientali evolutive attraverso tecniche di analisi statistica delle serie storiche.

Con riferimento al caso specifico delle infrastrutture di trasporto si potrebbero aggiungere, tra gli obiettivi dell'attivita' di monitoraggio, anche i seguenti:

- d. adeguamento delle normative o dei criteri di progettazione: l'individuazione delle caratteristiche di specificita' di ciascuna situazione progettuale (tracciato a raso, su sede artificiale o in galleria, andamento livellette ecc.) consente di scegliere in modo mirato lo sviluppo di nuovi tracciati in fase di progetto, in funzione della sensibilita' e vulnerabilita' dell'ambiente attraversato;
- e. programmazione degli interventi di adeguamento o manutenzione: l'individuazione di specifici problemi di incompatibilita' coinvolgenti la rete infrastrutturale esistente consente di progettare interventi di mitigazione specifici e mirati in fase di

esercizio;

- f. controllo del comportamento degli utenti: l'accertamento di trasgressioni da parte degli utenti di norme e procedure prestabilite con finalita' di mitigazione di impatti consente, pur trascurando i risvolti punitivi che cio' puo' comportare, di mettere in atto specifiche campagne di informazione. Si, cita per esempio il caso delle reti di monitoraggio del rumore aeroportuale installate nelle vicinanze degli aeroporti al fine di controllare le traiettorie seguite dai piloti durante le procedure di avvicinamento o decollo.

Anche le Norme Tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale (DPCM 27.12.1988) richiamano l'importanza della fase di monitoraggio, quando recitato, all'art. 5 comma 3: "Il Quadro di riferimento ambientale definisce gli strumenti di gestione e di controllo e, ove necessario, le reti di monitoraggio ambientale, documentando la localizzazione dei punti di misura e i parametri ritenuti opportuni".

Cio' introduce una ulteriore accezione del concetto di monitoraggio avente risvolti amministrativi, e cioe' quella che gli studi di impatto devono prevedere il monitoraggio degli effetti ambientali quando, proprio a seguito di detti studi, vengono individuate aree di criticita' per l'ambiente per le quali, data l'inadeguatezza delle attuali conoscenze, non si ritengono pienamente affidabili le valutazioni fatte o sussistono veri e propri dubbi o carenze interpretative.

Proprio con riferimento a quanto sopra si va affermando nella terminologia tecnica del settore la tendenza a denominare "monitoraggio"

soltanto quest'ultima attivita' finalizzata a scopi tecnici e amministrativi specifici, definendo invece col termine di "osservatorio ecologico" l'attivita' di studio e di controllo piu' generale alla quale si riferiscono gli obiettivi elencati in precedenza.

3. INQUINAMENTO DELLE ACQUE PRODOTTO DALLE INFRASTRUTTURE STRADALI

3.1 Inquadramento del problema

Negli schemi di principio generali, mediante i quali si e' cercato di inquadrare e classificare dal punto di vista metodologico l'ampia e complessa problematica connessa con lo studio dell'impatto ambientale delle infrastrutture stradali [1,2,3], l'elemento "acqua" compare sempre citato tra le "variabili" ambientali primarie le cui caratteristiche fisico - chimico - biologiche possono venire alterate dalla costruzione e gestione delle infrastrutture stesse. Non altrettanto frequentemente sembra invece che questo aspetto venga considerato negli studi di impatto con la dovuta attenzione e rigore.

I fattori di impatto sull'ambiente idrico, diretti o indiretti, connessi con le infrastrutture viarie sono normalmente riferiti a due momenti successivi della vita dell'opera: alla fase di realizzazione e alla fase di esercizio.

Durante la 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. Di tipo permanente sono invece le modifiche che

possono intervenire, a seguito dei lavori, nei deflussi naturali o nel regime delle falde idriche superficiali o profonde.

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 al traffico veicolare, alle attività di esercizio e di manutenzione stagionali, collegate all'impiego di sali disgelanti, di fertilizzanti o pesticidi, e ad 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 e' su quest'ultimo aspetto, in quanto piu' vistoso e puntualmente piu' grave, che si concentra l'attenzione delle considerazioni di analisi di impatto; cio' pero' non deve portare a trascurare gli altri che, per quanto illustrato nel seguito, possono giungere ad essere altrettanto gravi e certamente piu' diffusi.

3.2. Inquinamento delle acque in fase costruttiva

Durante l'esecuzione dei movimenti di terra connessi con i lavori di costruzione delle infrastrutture, come conseguenza della rimozione della vegetazione naturale, estese superfici di terreno disturbato vengono esposte alle azioni degli atmosferici. Cio' causa un potenziale incremento dell'erosibilita' dei versanti esposti, con effetti negativi diretti sulla qualita' delle acque dei corpi idrici ricettori, sulla vita dei macro e micro organismi acquatici e con conseguenze anche di natura estetica che non si limitano allo stretto ambito delle aree interessate dai lavori o al solo periodo in cui

questi si svolgono, ma giungono ad interessare vaste estenzioni a valle del cantiere con conseguenze a volte anche durevoli nel tempo ben oltre l'ultimazione dei lavori.

Il fenomeno dell'erosione dei terreni smossi produce, come immediata conseguenza, un maggior trasporto di materiale solido; questo si incrementa in proporzione all'estenzione del bacino disboscato e/o privato della cotica erbosa. I valori di erosione possono anche incrementarsi di tre volte rispetto alla situazione indisturbata [4].

Ovviamente, in termini generali, l'erosione potenziale e' legata alla natura dei terreni, alla morfologia del territorio e alle prevalenti condizioni climatiche della zona con principale riferimento, sotto quest'ultimo aspetto, al regime pluviometrico e ai venti. Un dato di riferimento globale proposto e' quello di valutare in circa 13.000 - 14.000 KN/km la quantita' di materiale solido trasportato, per effetto dell'erosione, dai corsi d'acqua nelle vicinanze dei cantieri di costruzioni stradali [5].

L'incremento di trasporto solido si traduce, in zone a valle, in fenomeni di accentuata sedimentazione che alterano la granulometria del fondo dei corsi d'acqua (il che comporta una modificazione quantitativa e qualitativa delle forme di vita biologica) e, in certi casi, anche dalla morfologia degli alvei e delle reti idrografiche stesse.

Questi ultimi fenomeni hanno spesso carattere temporaneo; dopo la fine dei lavori, il ripristino progressivo delle condizioni di equilibrio precedenti porta anche alla ricolonizzazione del corso d'acqua da parte della comunita' biologica.

La reversibilita' tendenziale dei fenomeni non puo' pero' indurre a trascurarne l'importanza,

anche perche' a quelli cui ora si e' accennato possono aggiungersi anche fenomeni di tipo irreversibile connessi col fatto che il livello di acidita' delle acque di dilavamento puo' alterarsi sfavorevolmente al contatto con particolari terreni, con conseguenze a volte assai gravi.

A titolo di esempio, si puo' citare un evento verificatosi nel 1977 durante la costruzione di una autostrada negli Stati del Tennessee e del North Carolina, negli USA [6]. Dopo attenti studi e ricerche, la scomparsa dei pesci da alcuni corsi d'acqua ricettori delle acque provenienti dalla zona ove avevano sede i lavori di costruzione della citata autostrada e' stata posta in relazione con il fenomeno di erosione da parte delle acque meteoriche di orizzonti di argilliti contenenti pirite, esposti durante gli scavi. I solfati presenti in quei terreni, solubilizzati sotto forma di acido solforico nelle acque meteoriche, hanno determinato condizioni di elevata tossicita' per la vita acquatica e la scomparsa dei pesci tutt'ora persiste, dopo un periodo di piu' di 10 anni dalla costruzione della strada.

Quello ora riportato e' solo un esempio, ma il problema delle acque acide di drenaggio non e' infrequente e deve essere affrontato con la dovuta attenzione.

Ogni provvedimento che consente di prevenire accentuati fenomeni erosivi e di controllare la sedimentazione successiva volge certamente a favore della minimizzazione degli impatti; cio' pero' non sempre puo' bastare, rendendosi necessaria, ove la sensibilita' dell'ambiente ricettore lo suggerisce, la messa a punto di un idoneo sistema di monitoraggio che consenta di definire esattamente i contorni quantitativi del problema e scoprire in tempo utile le aree

di potenziale criticita'.

Fonti di inquinamento ulteriori presenti durante la fase costruttiva riguardano anche le attivita' complementari e contemporanee ai movimenti di terra, connesse col funzionamento di impianti di lavaggio degli inerti, di centrali di confezione di calcestruzzi o conglomerati bituminosi. Conseguenze di rilevanza ambientale possono infine derivare dall'impiego, nella formazione di rilevati o all'interno degli strati della sovrastruttura, di sottoprodotti industriali o di rifiuti.

La voce relativa all'impiego di tali materiali e' certamente da inserire nella categoria di impatti "positivi" offerti dalla costruzione di una infrastruttura stradale, e soluzioni in tal senso vanno in ogni caso incoraggiate.

Occorre pero' tenere presente che il rischio di inquinamento connesso con l'utilizzazione di questi materiali, per quanto in realta' ancora poco conosciuto, e' pero' reale. L'impiego delle loppe d'alto forno, per esempio, e' stato riscontrato che puo' dar luogo al rilascio di solfuri e metalli pesanti, mentre l'utilizzazione in Francia di sottoprodotti costituiti da solfato di calcio, derivati dalla fabbricazione dell'acido fosforico, e' stato rilevato produrre pericolose sostanze tossiche [5].

3.3 Inquinamento delle acque in fase di esercizio

3.3.1 Le acque di pioggia

L'acqua di pioggia, nella forma inalterata, e' caratterizzata da basso contenuto di sostanze minerali, tracce di

sostanza organica ed assenza di metalli pesanti. Prima di giungere sulla superficie del suolo la pioggia opera il lavaggio della atmosfera asportando fisicamente, assorbendo, adsorbendo e solubilizzando particelle e sostanze presenti, dovute ad emissioni di fumi, gas e vapori.

I caratteri specifici dell'inquinamento delle acque di pioggia sono strettamente legati alle attività antropiche in atto sulla area investita dalla pioggia. Altre sostanze e particelle presenti sono originate da sollevamento di terra e da trasporto di masse d'aria da altre zone.

Il traffico veicolare da luogo, sia in ambito urbano che extraurbano, alla presenza di principalmente di monossidi di carbonio e di metalli pesanti (piombo, zinco, rame, ferro ecc) [7].

La quantità di sostanze raccolte dalla atmosfera e' legata alla durata del periodo asciutto precedente.

Le acque di pioggia quando giungono sulla superficie del suolo risultano già inquinate in concentrazione elevata. Si e' registrato, in casi estremi, che le quantità totali di Solidi Sospesi (SS), COD e di azoto totale portati dalle piogge sono nettamente superiori a quelle del liquame domestico prodotto nell'area nello stesso tempo. Nella tabella 1 sono riportati valori medi ed estremi di inquinanti rilevati nelle acque di pioggia [16].

Al contatto con la superficie del suolo le acque di pioggia si caricano della maggior parte delle sostanze inquinanti. Queste sono originate da:

- rifiuti solidi sversati sul terreno;
- detriti vegetali;

Tab. 1 - Composizione delle precipitazioni (inquinata) [16]

Costituenti	Unità di misura	Concentrazioni medie	
		Letteratura in generale	Valori estremi
Residuo di filtrazione	mg/l	5 - 13	—
COD	mg/l	8 - 20	20 - 322
NO ₃	mg/l	0.6 - 0.7	0.1 - 2.0
NH ₃	mg/l	0.6 - 2.9	0.1 - 1.9
N _{tot}	mg/l	0.7 - 2.8	0.79 - 9.9
P _{tot}	mg/l	0.04 - 0.3	0.04 - 0.6
SO ₄	mg/l	4.4 - 41	—
	mg/l	2.7 - 10	—
Zn	mg/l	0.05 - 0.15	0.02 - 1.9
Cu	mg/l	0.007 - 0.200	≤ 0.06
Pb	mg/l	0.03 - 0.11	≤ 0.24
Cd	mg/l	0.001 - 0.003	≤ 0.013
Fe	mg/l	0.660	≤ 3.04
Mn	mg/l	0.050	≤ 0.10
Cr	mg/l	0.002	≤ 0.08

- fall-out atmosferico;

- rifiuti del traffico urbano

e comportano valori di BOD compresi tra 30 - 200 ppm; SS compresi tra 100 e 10.000 ppm; presenza di metalli pesanti ed inquinamento batterico con presenza di coliformi totali nella quantità compresa tra 10.000 e 250.000 per 100 ml.

Nelle tabelle 2 e 3 sono riportati valori di inquinanti presenti in acque di ruscellamento in ambito urbano [17].

Sono sufficientemente noti i processi di accumulo di inquinanti sulla superficie del suolo. Questi, una volta sversati, vengono

Tabella 2 :

Concentrazioni di alcuni inquinanti nelle acque piovanti di Cincinnati (USA) (Weibel e al., 1964 e 1966)

parametro	valori estremi	media
SS (mg/l)	5 — 1.200	227
VSS (mg/l)	1 — 290	53
COD (mg/l)	20 — 610	111
BOD (mg/l)	2 — 173	17
NO ₂ (*) (mg/l, come N)	0,02 — 0,	0,05
NO (*) (mg/l, come N)	0,1 — 1,5	0,4
NH ₄ (*) (mg/l, come N)	0,1 — 1,9	0,6
N organico (*) (mg/l)	0,2 — 4,8	1,7
N inorganico (*) (mg/l)	0,1 — 3,4	1,0
N totale (mg/l)	0,3 — 7,5	3,1
PO ₄ solubile (mg/l)	< 0,02 — 7,3	1,1
Cl ⁻ organico (*) (mg/l)	0,38 — 4,72	1,7

(*) Limitatamente al periodo luglio 1962 - settembre 1963

(**) su 11 eventi tra l'agosto 1963 e il febbraio 1964

Tabella 3 :

Concentrazioni di alcuni inquinanti nelle acque di ruscellamento di aree di caratteristiche diverse a Stoccolma (Söderlund e Lehtinen, 1972)

parametro	case e terrazze		centro servizi urbani		strada trafficata		area totale	
	media	max	media	max	media	max	media	max
SS (mg/l)	113	800	122	500	262	1000	129	900
VSS (mg/l)	56	540	80	360	132	600	51	420
BOD (mg/l)	10	25	13	25	36	90	9	40
N totale (mg/l)	1,4	4	1,5	4	2,1	4	1,2	3,2
P totale (mg/l)	0,04	0,15	0,09	0,3	0,08	0,3	0,08	0,27
Idrocarburi (mg/l)	30	70	47	100	58	100	41	70
Piombo (mg/l)	0,2	1	1	3	10	100	4	25

trascinati dal vento e dalle correnti indotte dal traffico fino ad incontrare discontinuità superficiali (cunnette, spartitraffico, gradini dei marciapiedi) che ne causano il deposito.

E' per esempio quest'ultimo che rappresenta l'aliquota maggiore, per quantità e per tossicità, di tutto l'inquinamento diffuso dei centri abitati.

Nelle fig. 1 e 2 sono riportate, in funzione del tempo e dell'altezza delle cunette stradali, le quantità di rifiuti accumulati [18]. L'American Public Works Association (APWA) fornisce la relazione

$$L = [311,76 - 266,07 \times 0,839^{(2,48 DP)}] \times (P/DP) \quad (1)$$

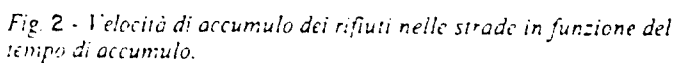
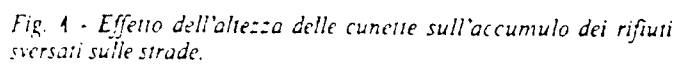
che lega lo sviluppo L di cunetta con la popolazione P (abitanti) e la densità di popolazione DP (abitanti/ha). Tramite la (1), utilizzando i diagrammi di fig. 1 e 2, si può risalire alla quantità di materiali accumulati sulle strade urbane.

Le città sono caratterizzate da una intensa risposta idrologica determinata dalla pavimentazione pressoché totale delle aree, dall'elevato coefficiente di deflusso e da forti portate anche in presenza di afflussi limitati.

Il potenziale di inquinamento da ruscellamento pertanto è sempre elevato.

Nell'arco di tempo annuale può raggiungere il 90% del COD, il 70% del BOD e 20 volte il contenuto di SS del liquame prodotto nello stesso tempo dalla stessa area.

L'arricchimento di carico inquinante è legato alla altezza ed intensità di pioggia, alla durata di tempo asciutto precedente, allo "stato" di pulizia delle strade. Da rilievi



effettuati sulla fognatura del bacino campione NIR Mostacciano, risulta che già' con altezze di pioggia media pari a 1,0 -1,5 mm si ha scorrimento superficiale con sensibile incremento di portate in fogna (fig. 3).

Le prime acque di pioggia risultano molto cariche di inquinanti e di detriti a seguito del lavaggio delle strade. Questo si realizza in modo consistente sia in occasione di eventi pluviometrici di breve durata e di notevole intensità', sia a seguito di piogge di lunga durata e debole intensità'. Eventi piovosi

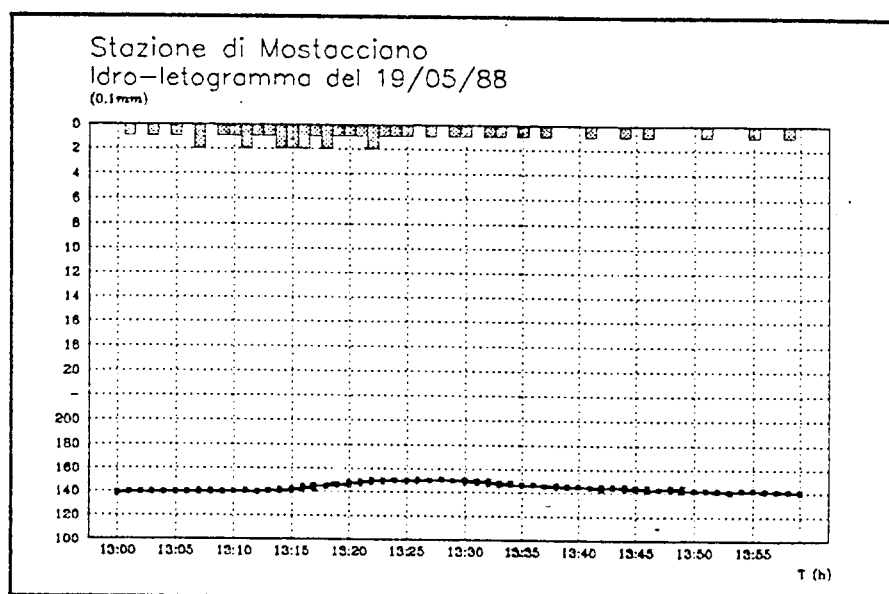


FIGURA 3 : IDRO - IETOGRAMMA del 19.05.88. nella
STAZIONE NIR MOSTACCIANO

deboli e brevi, pur non causando il completo lavaggio delle strade, danno luogo a carichi inquinanti modesti, ma di elevata concentrazione.

In concomitanza di notevoli portate di pioggia

puo' manifestarsi l'asportazione di inquinanti che in tempo asciutto sono andati incontro al fenomeno della sedimentazione, sia nel caso di reti bianche, in occasione di piogge di bassa intensita', sia nel caso di reti unitarie.

Nelle fig. 4 e 5 sono riportati i diagrammi temporali di flusso e di carico inquinante rilevati in reti di fognatura [19]. E' evidente l'anticipo del picco di inquinante rispetto al picco del flusso per periodi di tempo asciutto antecedente superiori a 3 giorni, fenomeno che scompare nel caso di eventi pluviometrici ravvicinati.

L'elevato carico inquinante di dette sostanze rende le acque di prima pioggia particolarmente inquinate.

Nella fig. 6 e' riportato un tipico esempio di incremento di carico inquinante in tempo di pioggia registrato nella rete di fognatura di Ostia in occasione dell'evento pluviometrico del 19-20.06.1987.

E' ben evidente l'effetto di parziale lavaggio superficiale dovuto dalle basse precipitazioni del 19.06.1987 seguito dall'intensa azione di lavaggio delle strade associata al lavaggio delle fogne in concomitanza della forte meteora del 20.6.1987 (v. fig. 7).

Sulla base delle considerazioni e degli esempi riportati, si puo' affermare che le acque di ruscellamento urbano raccolte da fogne pluviali hanno carichi inquinanti non trascurabili e confrontabili con quelli delle fogne nere e miste funzionanti in tempo asciutto, e che le acque di ruscellamento urbano raccolte da fognature unitarie presentano un carico inquinante superiore a quello delle sole acque nere e delle sole acque bianche. Pertanto lo sversamento delle acque di pioggia, specie le

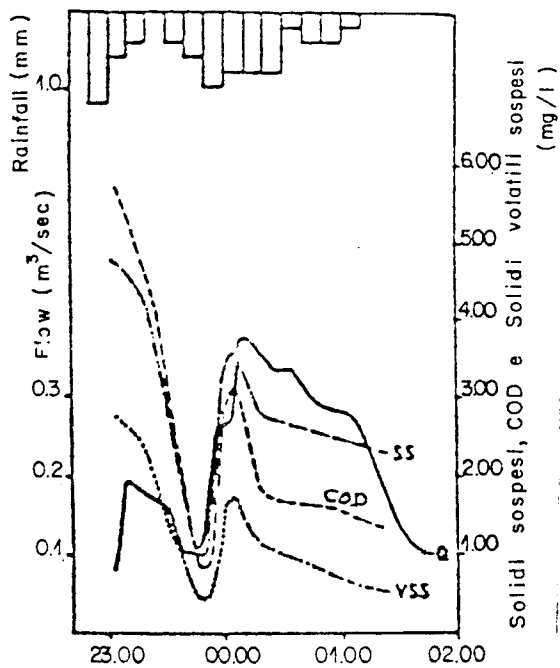


Fig. 4
Andamenti
del deflusso e
di alcuni para-
metri qualitati-
vi durante un
evento piovoso
con ADWP > 3
giorni.

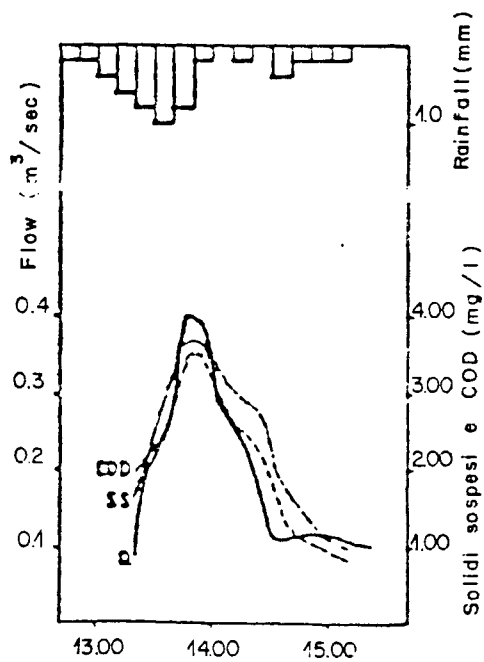


Fig. 5
Andamenti del de-
flusso e di alcuni
parametri qualita-
tivi durante un
evento piovoso con
ADWP < 3 giorni

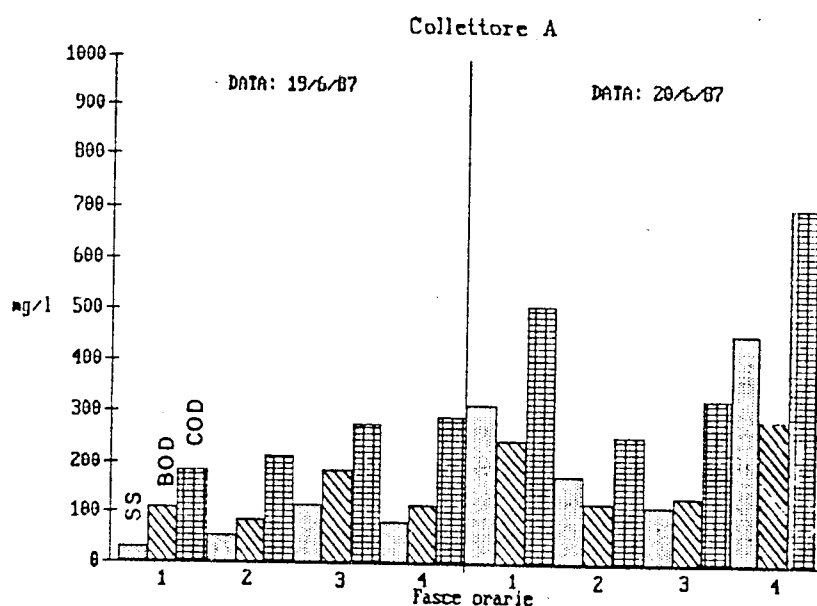


FIGURA 6 : CARICHI INQUINANTI REGISTRATI per FASCE ORARIE di 6 ORE nella STAZIONE di OSTIA, nel PERIODO 19-20 / 06 / 1987

prime, nei corpi idrici ricettori determina in ogni caso l'apporto di un notevole carico inquinante.

Piu' in generale, l'inquinamento dell'acqua di pioggia prodotto in esercizio da una infrastruttura stradale e' dovuto ad una considerevole quantita' di sostanze (metalli pesanti, sali, acidi, idrocarburi, particelle batteriche e patogene ecc) derivati dai numerosi fattori di impatto connessi con l'esercizio dell'infrastruttura.

Con riferimento piu' specificatamente ai fattori d'impatto diretti, nella tabella 4 e' riportata una lista dei piu' comuni agenti

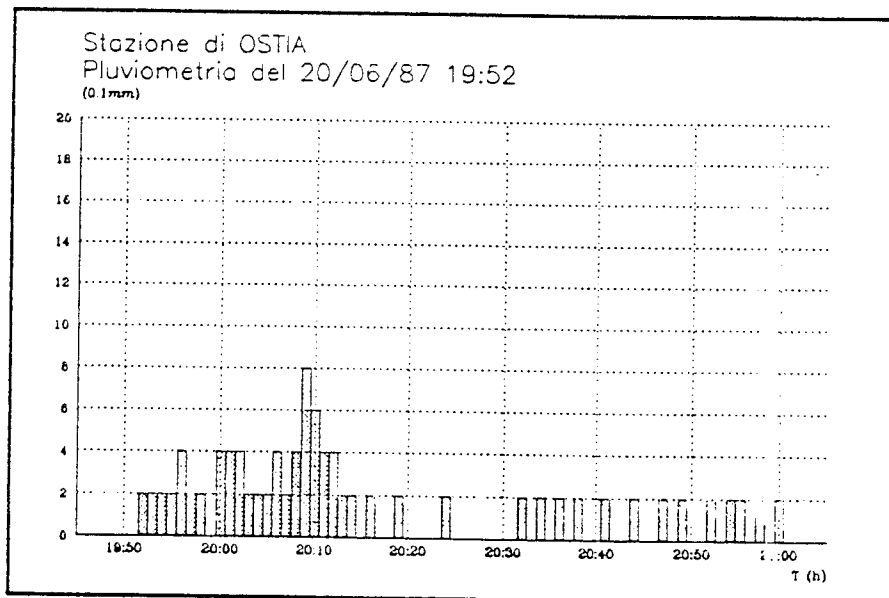


FIGURA 7 : IDROGRAMMA del 20.06.87 nella
STAZIONE di OSTIA

inquinanti presenti negli affluenti dei sistemi di drenaggio delle acque di pioggia delle strade e delle rispettive principali sorgenti [7].

Come conseguenza di tali evidenze sperimentali, si ha che, qualora sversate direttamente nei corpi idrici ricettori, le acque provenienti dai sistemi di drenaggio dell'infrastruttura stradali possono causare notevoli fenomeni di inquinamento ambientale a seguito dell'immissione di sostanze che vengono a modificare i caratteri dell'ecosistema. L'inquinamento conseguente dei corsi d'acqua o dei bacini lacustri o marini assume particolare importanza quando sugli stessi, a valle, insistono utilizzazioni per usi per esempio potabili o

Tabella 4: Agenti inquinanti piu' comuni e loro principali sorgenti

Agenti inquinanti	Sorgenti principali
Elementi particel.	Consumo pavimentazione, operazioni di manutenzione, atmosfera
Nitrati e fosfati	Applicazione fertilizzanti nelle fasce di pertinenza, atmosfera
Piombo	Gas di scarico motori, consumo pneumatici (additivi minerali), olii lubrificanti, grassi, consumo cuscinetti
Zinco	Consumo pneumatici (additivi minerali), olio motore (additivi stabilizzanti)
Ferro	Ruggine della carrozzeria, degli elementi complementari (barriere di sicurezza ecc), parti mobili del motore
Rame	Rivestimenti metallici, consumo cuscinetti e boccole, parti mobili del motore, consumo ferodi, fungicidi e pesticidi impiegati nelle operazioni di manutenzione
Cadmio	Consumo pneumatici (additivi minerali), applicazione di insetticidi

Cromo	Rivestimenti metallici, parti mobili del motore, consumo ferodi
Nickel	Gas di scarico motori, oli lubrificanti, rive- stimenti metallici, con- sumo boccole, consumo ferodi
Manganese	Parti mobili del motore
Bromo	Gas di scarico motori
Cianuro	Sostanze agglutinanti u- sate nei sali disgelanti
Na, Ca	Sali disgelanti, grasso
Cl	Sali disgelanti
SO4	Spillamenti e perdite lu- brificanti, antigelo, fluidi idraulici, bitumi flussati
PCB	Insetticidi a base di PCB
Batteri patogeni (indicatori)	Rifiuti, sostanze orga- niche putrescibili
Gomma	Consumo pneumatici
Amianto	Consumo frizione e freni
Grassi e idrocarburi	Oli e lubrificanti a base di n - paraffine, anticongelanti, fluidi per comandi idraulici

quando essi stessi sono sede di attivita' antropiche o di allevamento di specie animali (molluschi marini, crostacei, pesci ecc). Gli effetti di sversamenti nei corpi idrici risultano aggravati in concomitanza di fenomeni di accumulo quali si manifestano nelle falde e nei laghi.

Si puo' concludere affermando che le acque di tempo di pioggia prodotte dalle infrastrutture stradali, costituiscono un pesante contributo all'inquinamento dei corpi idrici.

Pur consci di tale realta', ancora, in Italia, la problematica e' poco sentita negli ambiti progettuale e gestionale e cio' si riflette sulla assenza attuale di prescrizioni generali che regolino la qualita' di questo tipo di effluenti prima della immissione nei corpi ricettori, come avviene invece per gli scarichi di altre attivita' umane, sia residenziali che industriali.

3.3.2 Lo sversamento di liquidi pericolosi

Il verificatosi, anche frequentemente, specie sulla rete autostradale, di incidenti gravi nei quali si ha il rovesciamento di cisterne contenenti liquidi pericolosi, tossici, infiammabili impone di considerare con la massima attenzione il grado di criticita' che si puo' generare in ciascuna specifica situazione e fornire, nei casi ove cio' si rende necessario, una conveniente risoluzione al problema della prevenzione.

Uno studio statistico del problema, esteso a quattro tronchi di autostrada e ad un periodo di 12 anni, eseguito per conto della Societa' delle Autostrade del Sud della Francia [5], ha permesso di valutare in circa l'1%/anno/km la frequenza di incidenti in cui si e' verificato

lo sversamento di liquidi pericolosi. Il che vuol dire che, su 100 km di autostrada, si e' verificato un incidente ogni anno, frequenza questa certamente non trascurabile se correlata all'entita' del danno sull'ambiente.

In assenza di specifici provvedimenti, le conseguenze di questi eventi sono sostanzialmente variabili in funzione del prodotto versato e delle caratteristiche dell'ambiente ricevente. I processi di infiltrazione verticale, con impregnazione di una consistente massa di terreno e con possibilita' di inquinamento della falda idrica sotterranea, sono legati alla natura del terreno (elevata permeabilita' o terreni fessurati producono una rapida e spesso incontrollabile diffusione dell'agente inquinante), al grado di saturazione del terreno ed alla natura del prodotto sversato e al grado di reattivita' del prodotto con le componenti attive del suolo.

La diffusione dei prodotti nei corpi idrici di superficie, proprio in quanto le modalita' dell'evento sono spesso incompatibili con la capacita' di recupero del corso d'acqua, comporta il piu' delle volte la distruzione totale o parziale in una vasta zona (estesa anche a decine di km) di flora e fauna fluviale, con ulteriori evidenti gravi rischi nel caso in cui il corpo idrico e' sede di prelevi per scopi potabili ed industriali.

Quanto ora detto impone di considerare questa problematica con grande attenzione, adottando idonei dispositivi di controllo al momento dell'atto del trasporto stesso delle sostanze pericolose, misure preventive di tipo costruttivo e predefinite procedure di intervento in caso di incidenti.

Interessanti esempi di soluzioni costruttive adottate in casi di elevata sensibilita'

idrogeologica degli ambienti attraversati sono stati inseriti in recenti progetti autostradali (variante di valico dell'autostrada A1 nel tratto Firenze - Bologna, autostrada Aosta - Monte Bianco e nella captazione per uso potabile delle acque della galleria di valico del Gran Sasso d'Italia).

Tali problemi ovviamente, nei tratti all'aperto, conducono alla necessita' di controllare e intubare lungo tutto il tronco ad elevata criticita' il 100% delle acque di pioggia che interessano la sede stradale, sia in zone in scavo, sia in rilevato evitando, in quest'ultimo caso, il convogliamento dei liquidi verso i fossi di guardia al piede dei rilevanti stessi.

Tratti in galleria e, a maggior ragione, in viadotto dovrebbero richiedere cautele simili nella quasi totalita' dei casi.

3.3.3 Modelli di previsione dell'inquinamento delle acque di pioggia in zona extraurbana

Nella letteratura tecnica sono reperibili un certo numero di studi appositamente effettuati per caratterizzare quantitativamente il carico inquinante prodotto in esercizio dalle infrastrutture stradali e raccolto sulla superficie viabile dalle acque meteoriche, al fine di definire l'entita' dell'impatto prevedibile sui corsi d'acqua o sui bacini ricettori.

Tra i modelli citati in uno studio riguardante la possibilita' di utilizzazione di zone umide naturali o artificiali come potenziali sistemi di disinquinamento delle acque di lavaggio delle piattaforme stradali [7] e' riportato ad

esempio quello messo a punto nell'ambito di un programma di ricerca americano finanziato dalla FHWA e basato su una serie di misure sperimentali effettuate in sei Stati [8]. Tale procedura consente la valutazione delle portate di deflusso della piattaforma e della concentrazione e carico totale per 17 elementi inquinanti in tre condizioni tipiche e cioè:

- in area urbana, in viadotto, con 100% di superficie pavimentata e con corsie delimitate da barriere di sicurezza;
- in aree pavimentate con cigli e arginelli, con punti di deflusso a intervalli predefiniti e percorsi di drenaggio protetti o non protetti;
- in zona extrarurbana con quota della banchina raccordata a quella delle corsie di traffico, con banchine pavimentate e cunette o fossi non rivestiti.

Gli elementi caratterizzanti l'inquinamento delle acque di deflusso comprendono il carico totale di solidi, i solidi sospesi, i solidi volatili totali e sospesi, l'azoto totale (N), l'NO₂, l'NO₃, il BOD, il COD, il TOC, il fosforo totale (PO₄), il Cl e i metalli pesanti (Pb, Zn, Fe, Cu, Cr, Cd,).

I dati di ingresso nel modello sono costituiti dai dati climatologici (pioggia totale, durata di pioggia, durata del periodo secco) e dai dati caratterizzanti la situazione in esame (superficie totale afferente, traffico giornaliero medio, tipo di situazione, sviluppo in lunghezza dell'area in esame). I valori pluviometrici possono essere riferiti a serie storiche (medie annuali, valori annuali estremi ecc) oppure a temporali di progetto caratterizzati da un predefinito periodo di ritorno (10, 15 anni o più).

Altre ricerche sperimentali effettuate nello Stato di Washington [9,10] hanno portato a sviluppare un modello analitico idoneo ad essere impiegato in una procedura di valutazione dell'impatto messa a punto dagli A. stessi. Il metodo comprende un unico modello semplice per la valutazione del carico cumulativo annuale di inquinamenti, rappresentato dalla relazione:

$$TSS = (K) (VDS) (RC) \quad (2)$$

in cui:

TSS = valore totale dei solidi sospesi;

K = costante di proporzionalità, variabile tra 1,7 e 7,4 (i valori più elevati sono rappresentativi di situazioni in cui il piano viabile risulta inquinato da terreno sciolto proveniente dall'area circostante la strada, quando questa attraversa per esempio zone aride o semiaride);

VDS = numero medio annuo di veicoli che percorrono la strada durante eventi piovosi;

RC = coefficiente di deflusso.

La procedura comprende anche altre fasi attraverso le quali è possibile stimare probabilisticamente gli effetti più acuti prodotti da un singolo episodio di pioggia e quelli potenziali indotti da situazioni non ricorrenti, quali possono essere quelle stagionali connesse con le operazioni di manutenzione, incidenti con sversamento di liquidi o altre situazioni particolari.

L'analisi delle condizioni di inquinamento è estesa alla valutazione della quantità annua degli altri elementi inquinanti utilizzando

coefficienti moltiplicativi del valore TSS calcolato con la (2) che, nel caso dei metalli pesanti, vengono considerati variabili linearmente in funzione del traffico.

L'interesse della procedura risiede anche nella possibilita' di valutare l'effetto di provvedimenti progettuali introdotti al fine di mitigare l'impatto.

I risultati a cui gli A. pervengono mediante questo modello sembrano tendenzialmente ridimensionare il problema generalizzato riguardante gli effetti inquinanti prodotti in zona extraurbana dalle infrastrutture stradali in esercizio; cio' consente di concentrarne l'attenzione solo ai casi specifici di particolare criticita', finalizzando alla risoluzione di questi i costosi interventi di mitigazione.

Ad analoghe conclusioni pervengono Kerri ed altri [11] con riferimento a campagne di misurazioni effettuate nel periodo 1975 - 78 su autostrade urbane in California.

Le regressioni statistiche ricavate dall'analisi delle misure effettuate, aventi un andamento del tipo di quello riportato in fig. 8, riferita all'elemento inquinante Pb, hanno evidenziato che, in condizioni normali di esercizio, e cioe' in assenza di incidenti o di evidenti perdite di carburante, i livelli di inquinamento prodotti non giungono a superare i valori critici di concentrazione.

Altra interessante conclusione dello studio citato, contrariamente a quanto riscontrato in area urbana [5,16], e' che la durata del periodo asciutto tra due eventi piovosi ed il traffico cumulativo corrispondente non sono risultate variabili statisticamente significative per la valutazione del carico inquinante totale. Cio' e' stato posto in relazione alla turbolenza generata dal continuo passaggio dei veicoli che mantiene pulita la superficie delle

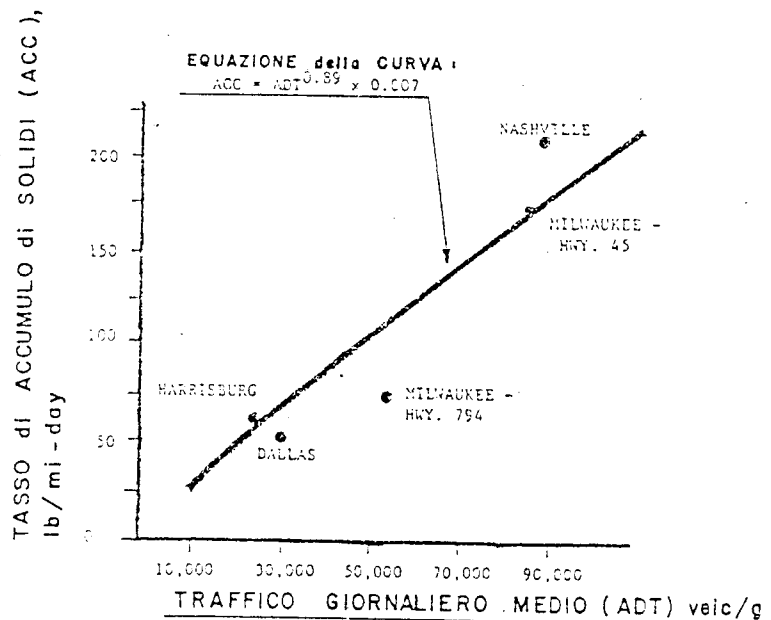


FIGURA 9 : TASSO di ACCUMULO di SOLIDI in FUNZIONE del TMG [7]

Al di sotto di un traffico di 10.000 veicoli il contributo all'inquinamento delle acque dovuto alle acque di lavaggio delle piattaforme e' molto basso al punto che alcuni Autori [10] individuano in tal valore, e nella contemporanea presenza di fossi di guardia non rivestiti e di un rapporto tra superficie impermeabile (pavimentazione) e superficie complessiva del bacino afferente inferiore a 0,01, la soglia di criticita' del problema.

4. CRITERI PER LA IMPOSTAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO

4.1 Monitoraggio in fase di costruzione

Per tenere sotto controllo la qualita' delle acque dei corpi ricettori durante la realizzazione di una infrastruttura occorre predisporre un programma di monitoraggio articolato in tre fasi consecutive: monitoraggio prima, durante e dopo lo svolgimento dei lavori di costruzione. Il motivo di tale suddivisione risiede nella necessita' di costruire un quadro di riferimento iniziale delle qualita' chimico - fisiche - biologiche dell'acqua nel quale successivamente inserire i dati provenienti dai controlli durante la costruzione. In questo modo e' possibile individuare le alterazioni significative dei parametri sotto controllo. Ovviamente, per avere dati attendibili e tener conto delle eventuali fluttuazioni stagionali naturali delle proprieta' dei corpi idrici in esame, le misure prima dell'inizio dei lavori debbono essere estese ad un arco temporale di almeno un anno, e dovranno essere eseguite con una frequenza da definire caso per caso, comunque non inferiore a un controllo al mese.

Durante l'esecuzione dei lavori le misurazioni vanno eseguite a scadenze piu' ravvicinate, fino ad arrivare a misure giornaliere qualora si ravvisino i sintomi di gravi e rapide alterazioni. Quando cio' si verifica, sara' opportuno considerare la sospensione dei lavori fino a che non viene accertata e, se possibile, rimossa la causa.

In tal senso si e' infatti orientata la FHWA americana, dettando in proposito specifiche procedure [14].

Dopo la fine dei lavori, il programma di monitoraggio dovra' prevedere la continuazione delle misure per accertare che l'intero sistema di drenaggio superficiale delle acque, alterato dalla presenza della nuova infrastruttura,

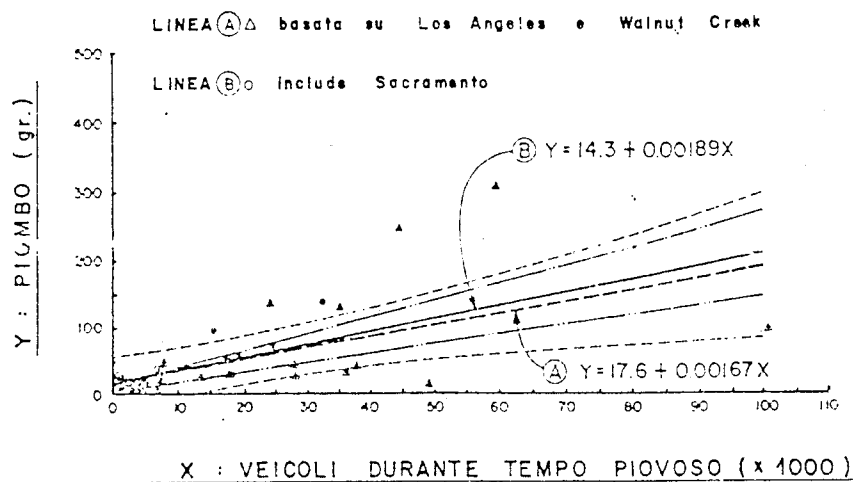


FIGURA 8 : PIOMBO in FUNZIONE del TRAFFICO che si SVOLGE in PERIODI di PIOGGIA [11]

corsie di traffico e della banchina.

Relazioni formalmente analoghe alla (2), riferite ai singoli elementi inquinanti, sono state proposte anche da Wanielista ed altri [12] i quali hanno adottato quali costanti di proporzionalità i tassi di deposito caratteristici di ciascun tipo di inquinante [13].

Dai modelli ora richiamati risulta che la quantità e qualità dell'inquinamento delle acque sono direttamente legate all'intensità del traffico; alcuni Autori [8] la pongono anche in relazione alla velocità dei veicoli, alla composizione del traffico, ai fattori di congestione e ai regolamenti specifici di ciascun paese riguardanti il controllo delle emissioni dei gas di scarico da parte dei veicoli. Una relazione che esplicita quantitativamente questa dipendenza è riportata in fig. 9.

raggiunga un nuovo equilibrio e per valutarne le qualità'.

I principali parametri fisico - chimici da misurare per caratterizzare il grado di inquinamento dell'acqua sono la torbida', il PH, l'acidita' o alcalinita', la temperatura, la conducibilita' elettrica, l'ossigeno disciolto, i contenuti totali di solidi sospesi, l'entita' dei sedimenti e i solidi disciolti.

Dato pero' che il tasso di inquinamento ha come effetto anche quello di distruggere gli organismi acquatici, e' stato proposto di prevedere anche analisi biologiche volte ad accertare la presenza e la quantita' di macroinvertebrati, i quali, grazie alla loro limitata mobilita', la loro numerosita' e la loro lunga vita, sono risultati essere ottimi indicatori di inquinamento [14].

In aggiunta alle indagini sopra dette occorre effettuare anche rilevamenti idrologici (portata del corpo idrico e precipitazioni) al fine di disporre dei dati necessari per analizzare i risultati delle indagini, interpretarli ed impostare protezioni significative.

Il progetto della rete di rilevamento e misura e' un'altro aspetto molto importante da definire caso per caso, in modo tale da riuscire a costruire un quadro sufficientemente rappresentativo della situazione reale. Il linea generale sara' opportuno effettuare misure in punti a monte e a valle della zona di immissione delle acque provenienti dal cantiere e di scegliere punti in cui siano assenti turbolenze o singolarita'.

4.2 Monitoraggio in fase di esercizio

Durante la fase di esercizio il controllo degli inquinanti viene effettuato sulle acque di lavaggio della piattaforma stradale, raccolta dalle opere di drenaggio superficiali, e in corrispondenza delle eventuali opere di mitigazione poste in essere (vasche o bacini naturali o artificiali di raccolta e trattamento).

Questo tipo di monitoraggio viene previsto solamente quando gli studi iniziali di impatto hanno rivelato situazioni di possibile criticita' sia in relazione al carico inquinante previsto, sia con riferimento alla qualita' dei ricettori o all'uso che delle acque di questi ultimi viene fatto. Una particolare attenzione va rivolta in questi casi anche al controllo del grado di inquinamento delle falde.

Occorre considerare pero' che, qualora si individuino in fase di studio carichi inquinanti superiori a quanto accettabile, il progetto dell'opera dovra' prevedere opportuni sistemi di mitigazione per cui il monitoraggio non sara' riferito al controllo delle acque di lavaggio della piattaforma, quanto piuttosto al corretto funzionamento delle opere di mitigazione.

Il primo invece sara' impiegato nel caso di monitoraggio di infrastrutture esistenti.

In questi casi, gli strumenti per il controllo della qualita' dell'acqua sono quelli tipici della fisica, della chimica, e della biochimica; procedure specifiche riferite al caso delle acque di lavaggio delle piattaforme stradali sono state messe a punto dall'FHWA americana [15] in manuali nei quali sono precisati criteri per la scelta delle zone da sottoporre a controllo, per la definizione del programma di misure, per la scelta delle apparecchiature e per l'analisi dei risultati.

5. CONCLUSIONI

L'esame del problema dell'impatto delle infrastrutture stradali sulle qualità dell'acqua dei corpi idrici ricettori dei deflussi provenienti dai sistemi di drenaggio sia provvisori (in fase di costruzione) sia definitivi delle strade ha evidenziato quanto il problema sia concreto e richieda attenzione da parte dei progettisti e dei gestori delle infrastrutture.

Gli studi effettuati per mettere a punto da un lato gli strumenti di indagine previsionale indispensabili per poter individuare in fase progettuale le potenziali situazioni di criticità e dall'altro idonei programmi e sistemi di controllo degli indicatori ambientali significativi hanno evidenziato con chiarezza la sostanziale differenza degli effetti di impatto in ambienti fortemente diversificati, quali quelli riferiti all'ambito urbano e extraurbano. Mentre nel primo caso le campagne di misurazioni effettuate hanno consentito, sia pur in forma ancora dispersa e frammentaria, di accertare l'esistenza di condizioni di inquinamento piuttosto accentuate, nel caso delle infrastrutture extraurbane la situazione è ancora poco conosciuta. I modelli di previsione proposti in questo secondo caso sono ancora piuttosto grossolani e comunque molto legati alle situazioni specifiche sulle quali essi sono stati calibrati. La loro generalizzazione a situazioni diverse deve pertanto essere effettuata con cautela.

Si ritiene pertanto che occorra ancora estendere la fase conoscitiva della materia, mediante un impiego diffuso dell'attività di

monitoraggio applicata ad entrambe le fasi di costruzione e di esercizio dell'infrastrutture stradali. Solo attraverso l'acquisizione di un numero sempre maggiore di dati sperimentali e' possibile infatti costruire un appropriata sensibilita' verso questo aspetto del problema riguardante l'impatto ambientale delle infrastrutture stradali.

Riferimenti bibliografici

- [1] R. Marini, G. Mummolo, A. Lo Porto, "Le metodologie di valutazione di impatto ambientale", Quaderno n. 76, CNR - Istituto di ricerca sulle acque, 1987.
- [2] S. Caracoglia, "Infrastrutture di trasporto e impatto ambientale", Autostrade, n. 2, 1988.
- [3] S. Malcevschi, "Liste di controllo per la V.I.A.", Progettare per l'ambiente-VIA, n. 12, Dic. 1989.
- [4] R. L. Beschta, "Long-term patterus of sediment production following road construction and loggin in the Oregon - coast - range", Water Resour. Res. 14, n. 6, 1978.
- [5] Ministere des Transports, " Protection des eaux contre la pollution d'origine routiere - Donnees gennerales", Dir. des Routes et de la Circoltation Routiere, Paris, Dicembre 1980.
- [6] C. P. Yew, P. B. Makowski, "Water Quality Monitoring of Highway Construction", Proc. 3rd Nat. Conf. on Hydraulic Eng., ASCE, Aug. 1989.

- [7] N. P. Kobriger, e al. "Guidelines for the Management of Highway Runoff on Wetlands", TRB, NCHRP Rep. 264, 1983.
- [8] N. C. Krobiger, T. L. Meinholz, M. K. Gupta, R. W. Agnew, "Constituents of Highway Runoff", FHWA, Rep. RD-81/004 (1981).
- [9] R. R. Horner, B. W. Mar, "Guide for Assessing Water Quality Impacts of Highway Operation and Maintenance", TRB, Rep. 948, 1983.
- [10] R. R. Horner, B. W. Mar, "Assessing the Impacts of Operating Higwhays on Aquatic Ecosystems", TRB, Rec. 1017, 1985.
- [11] K. D. Kerri, J. A. Racin, R. B. Howell, "Forecasting Pollutant Loads from Highway Runoff", TRB, Rec. 1017, 1985.
- [12] M. P. Wanielista, e al., "Shallow - Water Roadside Ditches for Stormwater Pollution", Florida Dep. of Transp., FL - ER - 3 _ 78, 1978.
- [13] D. G. Shahneen, "Contribution of Urban Roadway Usage to Water Pollution", EPA Rep. 600/2 - 75 - 004, 1975.
- [14] W. Y. Ballinger, B. S. Bergendahl, "Highway Water Quality Monitoring Manual", FHWA - DP - 43 - 2, 1979.
- [15] M. K. Gupta e al., "Constituent of Highway Runoff", DOT Rep. FHWA/RD - 81/043, 1981
- [16] H. H. Hahn, T. G. Schmitt, "Aspetti ambientali delle fognature", Ingegneria ambientale, Vol 17, n. 3/4, 1988.

- [17] G. Calenda, "Il contributo delle acque pluviali urbane all'inquinamento idrico", Ingegneria sanitaria, 1975.
- [18] R. M. A. Napoli, "La citta'; fonte di inquinamento non puntuale", Ingegneria Ambientale, Vol. 12, n. 3/4, 1988.
- [19] R. C. Thornton, A. J. Sauf, "Temporal variation of pollutants in two combined sewer systems", 4th Intern. Conf. on Urban Storm Drainage, Lousanne, 1987.