

Esperienze sperimentali per lo studio ed il controllo delle acque di prima pioggia a Bologna

Sandro Artina
Marco Maglionico

DISTART – Costruzioni Idrauliche
Università di Bologna -Facoltà di Ingegneria

sandro.artina@unibo.it
marco.maglionico@unibo.it

Aspetti qualitativi nelle reti di drenaggio urbano

Accumulo di inquinanti in tempo secco sulle superfici urbane.



Lavaggio operato dalla pioggia ed ingresso nella rete fognaria.



Trasporto degli inquinanti nei collettori fognari e immissione nei ricettori.

ACCUMULO DI INQUINANTI IN TEMPO SECCO SULLE SUPERFICI URBANE (*BUILD UP*)

ACCUMULO DI INQUINANTI IN TEMPO SECCO

Da indagini sperimentali (Alley, 1981; Alley e Smith, 1981; Bujon e Herremans, 1990) il valore del coefficiente di accumulo è stato dedotto secondo la seguente classificazione in funzione del tipo di urbanizzazione:

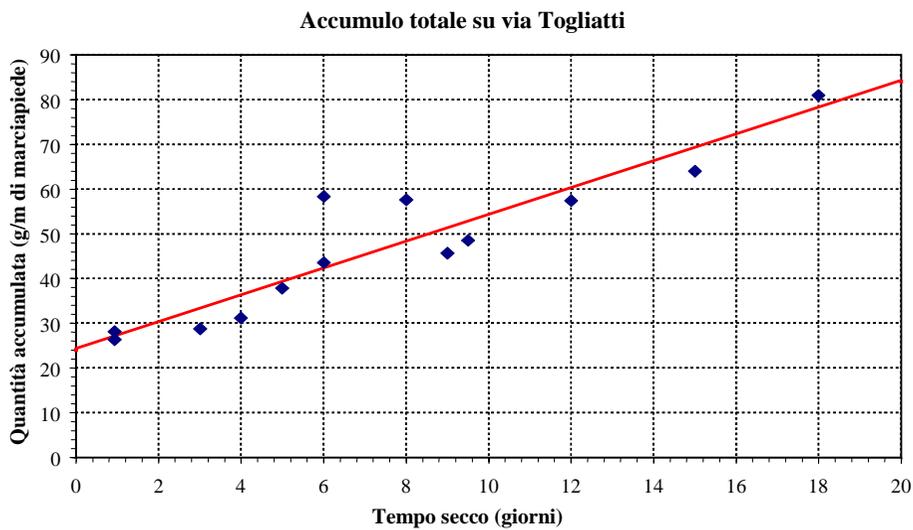
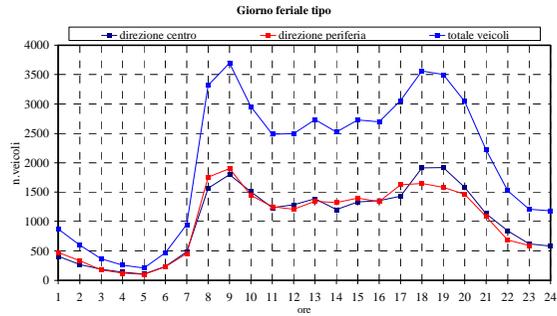
zone residenziali altamente abitate	10÷25	kg/(ha-giorno)
zone residenziali scarsamente abitate	5÷6	kg/(ha-giorno)
zone commerciali	15	kg/(ha-giorno)
zone industriali	35	kg/(ha-giorno)

Caratteristiche qualitative dei sedimenti accumulati lungo una strada
(Sartor et al., 1972, 1974).

<i>Quantità misurate</i>	<i>Valore medio</i> <i>(g/m marciapiede)</i>
Solidi totali	395
BOD5	3,8
COD	26,8
Solidi volatili	28,2
Fosfati	0,31
Nitrati	0,026
Azoto Kjendhal	0,62
Zinco	0,18
Rame	0,056
Piombo	0,16
Nichel	0,014
Mercurio	0,021
Cromo	0,031

Campionamento sedimenti in via Togliatti a Bologna

Veicoli transitanti: 48659;
in direzione centro 24500;
media oraria 1021

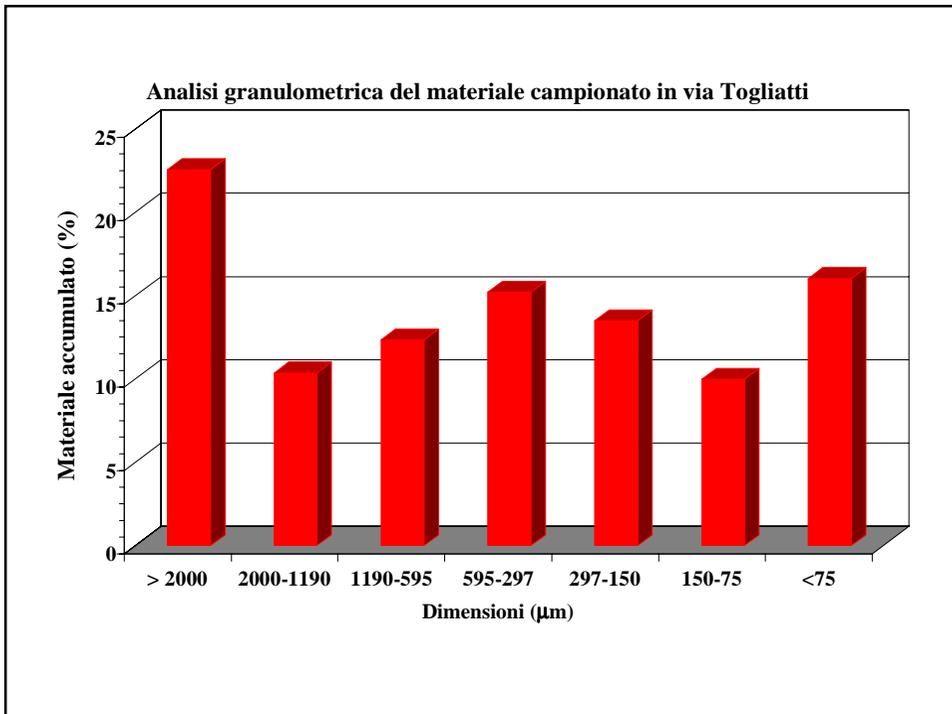


$$\text{Accu} = 3 t_s + 24,02$$

Coefficiente di accumulo 3,00 g/m/giorno



5,7 kg/ha/giorno



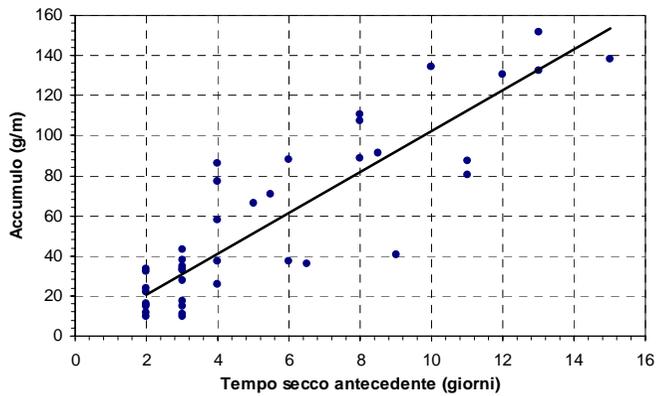
Analisi chimica dei sedimenti stradali

Confronto con i limiti U.S. EPA per giudicare lo stato "non inquinato" (Np), "moderatamente inquinato" (Mp) o "molto inquinato" (Hp).

Parametro	Unità di misura	< 75 µm	75-2000 µm
Manganese	mg/kg	0.965	0.975
Arsenico	mg/kg	4.250	4.700
Bario	mg/kg	436.0	303.0
Cadmio	mg/kg	0.935	0.530
Cromo	mg/kg	125.500	153.500
Mercurio	mg/kg	0.09465	0.03405
Nichel	mg/kg	67.4	64.8
Piombo	mg/kg	496.0	581.5
Rame	mg/kg	496.0	218.0
Vanadio	mg/kg	51.5	30.5
Zinco	mg/kg	611.5	302.0

Parametro	Unità di misura	Np	Mp	Hp	Strada <75 µm	Strada 75-2000 µm
Nichel	mg/kg	<20	20-50	>50	67.4	64.8
Piombo	mg/kg	<40	40-60	>60	496.0	581.5
Zinco	mg/kg	<90	90-200	>200	611.5	302.0
Rame	mg/kg	<25	25-50	>50	496.0	218.0

Tasso di accumulo in Via Lenin a Bologna



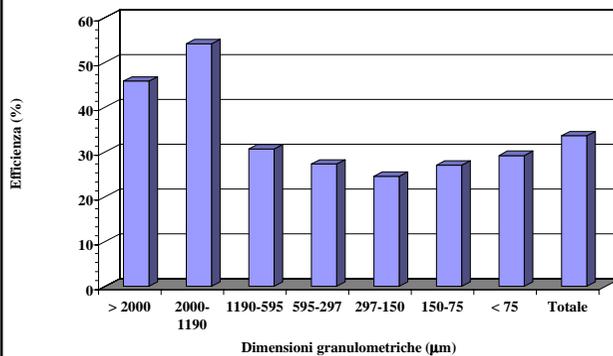
Dimensione (µm)	% in peso
< 75	13
75 - 2000	65
> 2000	22

$$\text{Accumulo (g/m)} = 10,2 * \text{tempo secco (giorni)}$$



12 kg/ha/giorno

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DEI MEZZI DI PULIZIA



DILAVAMENTO DEGLI INQUINANTI DURANTE GLI EVENTI PLUVIOMETRICI (WASH OFF)

Analisi dei campioni in caditoia



	U.M.	DL 152/99	minimo	massimo
pH	-		6,0	6,2
Conducibilità a 20 °C	μS/cm		195	271
Materiali in sosp. totali	mg/l	80	292	434
COD	mg/l	160	232	319
Nitrati	mg/l	20	3,5	7,1
Solfati	mg/l	1000	12,1	24,7
Cloruri	mg/l	1200	6,70	9,38
TOC	mg/l		15,0	24,9
Cadmio (Cd)	mg/l	0.02	0,00011	0,00051
Nichel (Ni)	mg/l	2	0,003	0,005
Piombo (Pb)	mg/l	0.2	0,0035	0,0109
Platino (Pt)	mg/l		< 0,0001	< 0,0001
Rame (Cu)	mg/l	0.1	0,029	0,045
Palladio (Pd)	mg/l		< 0,0001	< 0,0001
Rodio (Rh)	mg/l		0,0001	0,0001
Vanadio (V)	mg/l		0,004	0,005
Zinco (Zn)	mg/l	0.5	0,089	0,122
<i>Vibrio fischeri</i> (inibiz.)	%		10,6	23,0

Analisi dei sedimenti in caditoia



pH	unità pH	7.03
Conducibilità elettrica a 20 °C	μS/cm	496
Nitrati (ione nitrato)	mg/Kg s.s.	19.9
Solfati (ione solfato)	mg/Kg s.s.	165
Cloruri (ione cloruro)	mg/Kg s.s.	8.07
Carbonio organico totale	% s.s.	6.31
Cadmio (Cd)	mg/Kg s.s.	0.588
Nichel (Ni)	mg/Kg s.s.	31.7
Piombo (Pb)	mg/Kg s.s.	283
Platino (Pt)	mg/Kg s.s.	< 0,1
Rame (Cu)	mg/Kg s.s.	122
Palladio (Pd)	mg/Kg s.s.	0.2
Rodio (Rh)	mg/Kg s.s.	< 0,1
Vanadio (V)	mg/Kg s.s.	23.1
Zinco (Zn)	mg/Kg s.s.	612

Confronto con i limiti U.S. EPA per giudicare lo stato “non inquinato” (**Np**),
“moderatamente inquinato” (**Mp**) o “molto inquinato” (**Hp**).

Parametro	Unità di misura	Np	Mp	Hp	Caditoia	Strada <75 μm	Strada 75-2000 μm
Nichel	mg/kg	<20	20-50	>50	31.7	67.4	64.8
Piombo	mg/kg	<40	40-60	>60	283	496.0	581.5
Zinco	mg/kg	<90	90-200	>200	612	611.5	302.0
Rame	mg/kg	<25	25-50	>50	122	496.0	218.0

**TRASPORTO DEGLI
INQUINANTI NEI
COLLETTORI FOGNARI E
IMMISSIONE NEI RICETTORI**

IL BACINO SPERIMENTALE DI VIA TOGLIATTI

Caratteristiche del bacino:

- situato a sud-ovest di Bologna nei pressi del fiume Reno;
- superficie contribuyente afferente l'impianto: 6 ha circa;
- superficie della vasca: 170 m² circa;
- impianto di sollevamento costituito da 3 pompe da 350 l/s ciascuna;



Foto aerea del bacino

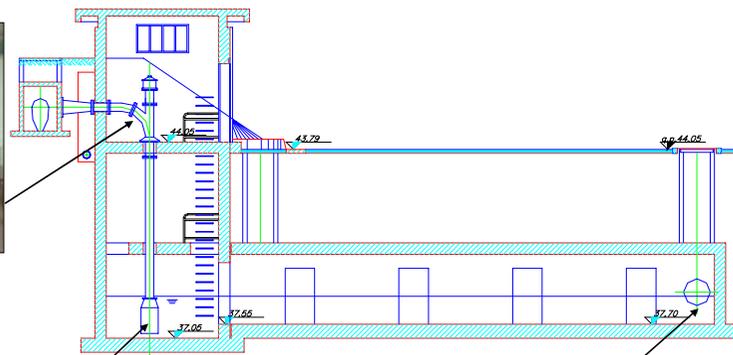
Schema dell'impianto di sollevamento



Vista interna



Parte sommersa



Il condotto d'ingresso

STRUMENTAZIONE INSTALLATA



Pluviometro



Interno del campionatore



Campionatore



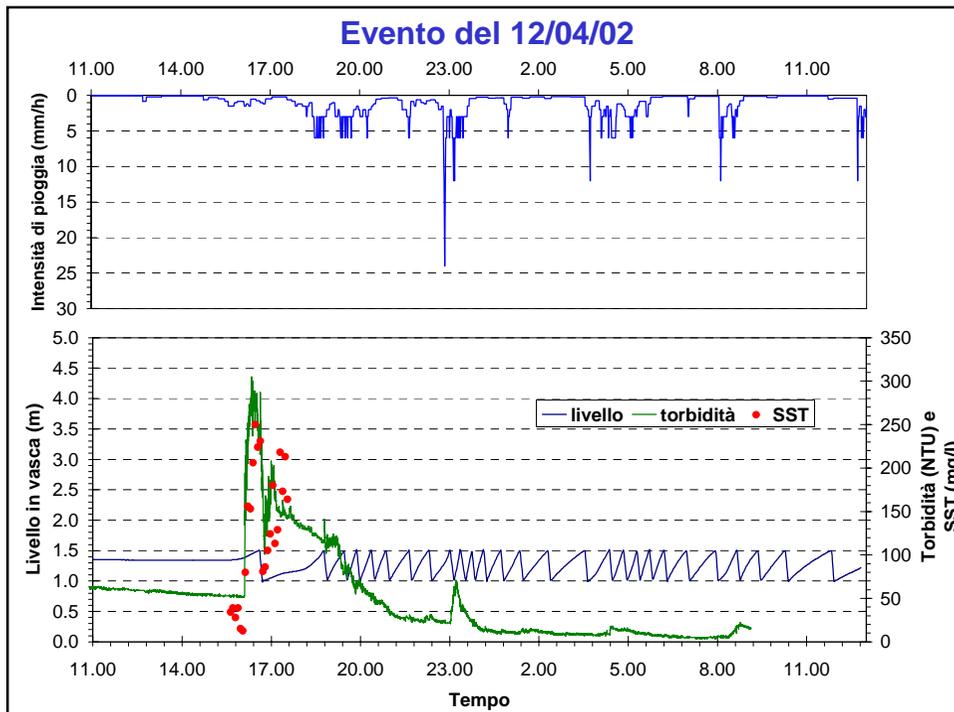
*Misuratore di livello
piezoresistivo*



*Sonda del
torbidimetro*

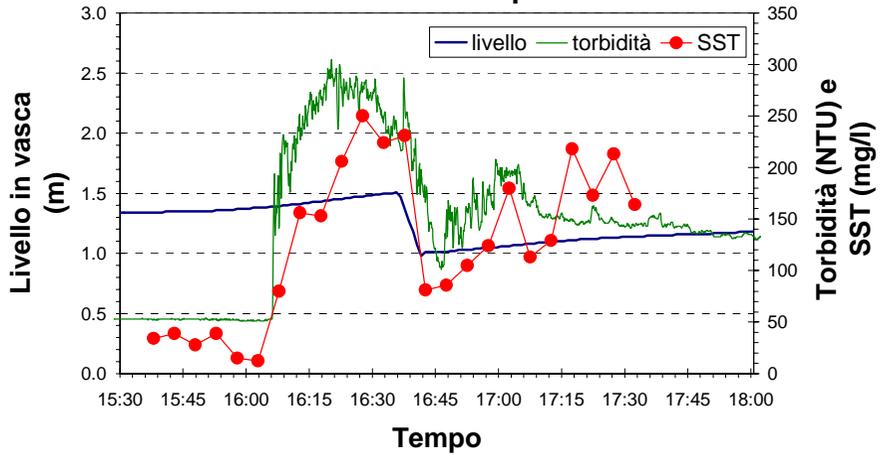


*Data logger del
torbidimetro*

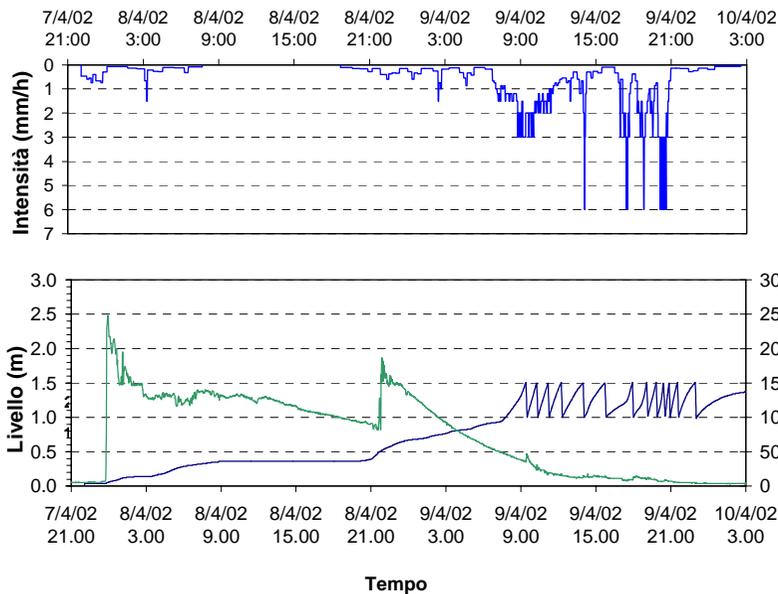


Dettaglio dell'evento del 12 aprile 2002

Correlazione torbidità - solidi sospesi totali



Evento del 8 - 10 aprile 2002

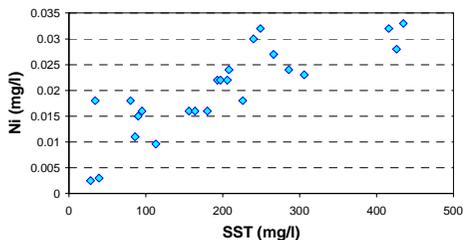


Analisi dei campioni in vasca

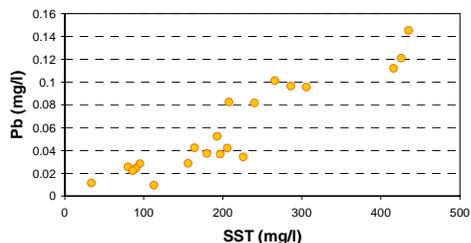
data e ora	SST (mg/l)	pH	Cond. el. a 20 °C (µS/cm)	COD (mg/l)	Nitrati (mg/l)	Solfati (mg/l)	Cloruri (mg/l)	TOC (mg/l)	Cadmio (mg/l)	Nichel (mg/l)	Piombo (mg/l)	Rame (mg/l)	Vanadio (mg/l)	Zinco (mg/l)	Test Vibrio (% inibiz.)	Test Daphnia (% inibiz.)
Limite 152/99	80	5.5-9.5		160	20	1000	1200		0.02	2	0.2	0.1		0.5		
6/3/02 7.50	208	7.14	704	256	21.7	44.4	133	27.5	0.00031	0.024	0.0826	0.118	0.016	0.381	24.33	accett.
6/3/02 7.51	249	7.23	709	308	14.5	44.4	139	26.7	0.00074	0.032	0.189	0.173	0.019	0.638	12.91	accett.
6/3/02 8.03	240	7.21	712	282	21.8	45	140	23.8	0.00014	0.03	0.0815	0.121	0.01	0.441	11.84	accett.
6/3/02 8.07	266	7.24	659	308	21.2	44.2	140	26.9	0.00028	0.027	0.101	0.131	0.018	0.474	14.21	accett.
6/3/02 8.10	306	7.17	687	325	19	42	133	33.5	0.00036	0.023	0.0956	0.138	0.019	0.485	13.31	accett.
6/3/02 8.14	286	7.16	692	306	19.2	41.7	134	32.8	0.00017	0.024	0.0964	0.138	0.019	0.449	12.83	accett.
6/3/02 8.20	426	7.36	576	380	13.3	31.5	106	23.9	0.00039	0.028	0.121	0.174	0.027	0.577	9.68	accett.
6/3/02 8.24	416	7.36	545	353	12.6	28.6	100	26.2	0.00044	0.032	0.112	0.188	0.029	0.581	8.39	accett.
6/3/02 8.25	435	7.33	585	373	14.1	33.1	110	29.7	0.00047	0.033	0.145	0.189	0.024	0.669	11.55	accett.
8/4/02 1.03	95	6.9	703	315	20.1	60	128	59.7	0.00024	0.016	0.0284	0.155	0.011	0.374	-32.71	accett.
8/4/02 1.21	80	7.13	809	271	17.2	60.9	152	51.5	0.00022	0.018	0.0256	0.136	0.009	0.396	10.1	accett.
8/4/02 1.37	90	6.95	860	270	18.7	70.0	198	55.5	0.00015	0.015	0.0241	0.139	0.009	0.297	13.9	accett.
9/4/02 2.37	193	7.39	867	328	14	48.4	191	42.8	0.00035	0.022	0.0522	0.164	0.016	0.564	9.84	accett.
9/4/02 2.59	197	7.08	888	345	14.3	50.1	195	29.3	0.00019	0.022	0.0368	0.144	0.011	0.462	-25.78	accett.
9/4/02 3.23	226	7.19	836	334	14.2	48	191	41.8	0.00039	0.018	0.0343	0.143	0.011	0.462	10	accett.
11/4/02 15.38	34	7.73	412	42	6.30	22.3	39.5	11.3	0.00006	0.018	0.0114	0.036	0.004	0.874	-12.71	accett.
11/4/02 16.13	156	7.77	329	80	6.56	23.9	44.7	20.5	0.00017	0.016	0.0286	0.067	0.009	0.462	-17.22	accett.
11/4/02 16.23	206	7.77	368	116	6.96	23.7	59.0	19.7	0.00019	0.022	0.0419	0.093	0.013	0.562	-7.51	accett.
11/4/02 16.48	86	7.76	312	65	6.74	21.6	46.7	15.2	0.00017	0.011	0.0222	0.056	0.007	0.333	-0.25	accett.
11/4/02 17.03	180	7.74	351	108	6.46	21.4	59.3	13.3	0.00021	0.016	0.0374	0.088	0.007	0.333	-33.3	accett.
11/4/02 17.33	164	7.75	349	112	6.27	21.5	61	14.4	0.00021	0.016	0.0423	0.093	0.011	0.435	-25.7	accett.

Correlazioni tra i parametri

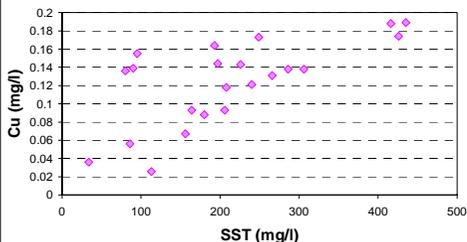
Correlazione SST - Nichel



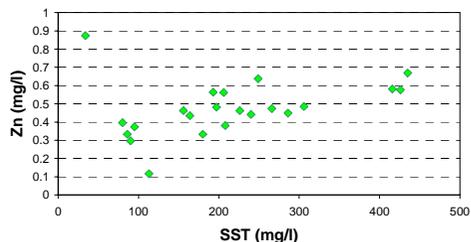
Correlazione SST - Piombo



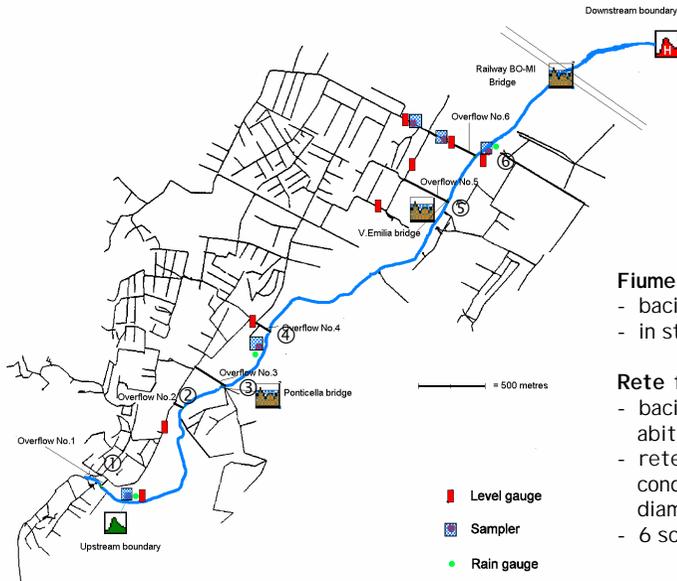
Correlazione SST - Rame



Correlazione SST - Zinco



Area di studio del Progetto di Ricerca INNOVATION



Fiume Savena:

- bacino: 160 km²
- in studio: 6 km a Bologna

Rete fognaria:

- bacino: 600 ha con 70000 abitanti,
- rete di 67 km (930 condotti sopra i 300 mm di diametro),
- 6 scaricatori significativi.

Scaricatori sul Torrente Savena



Il Torrente Savena



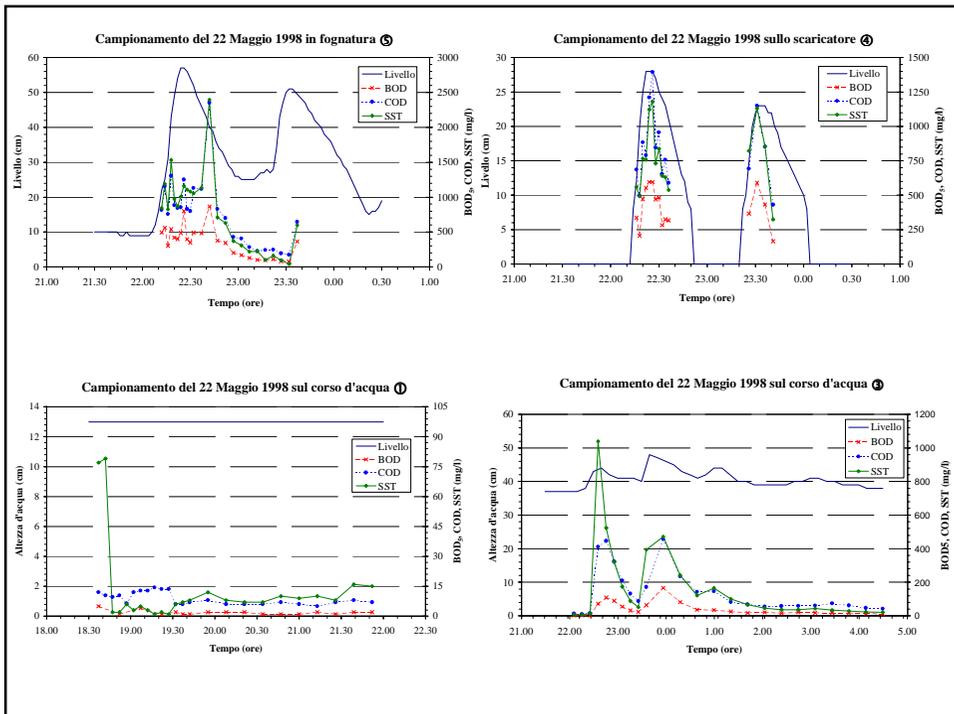
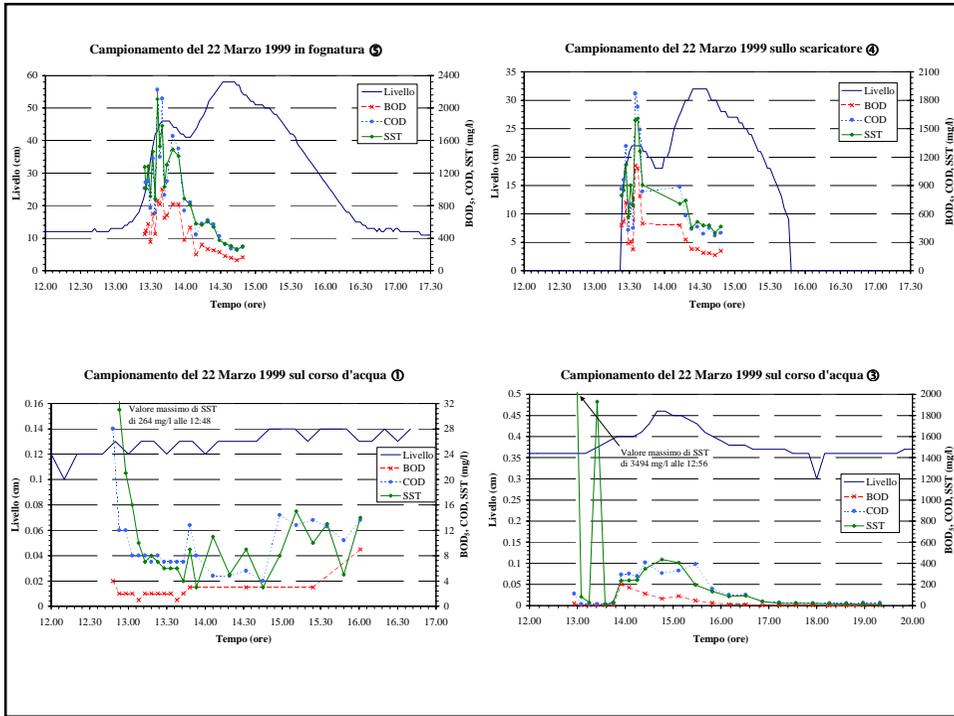
Strumenti installati lungo il corso d'acqua

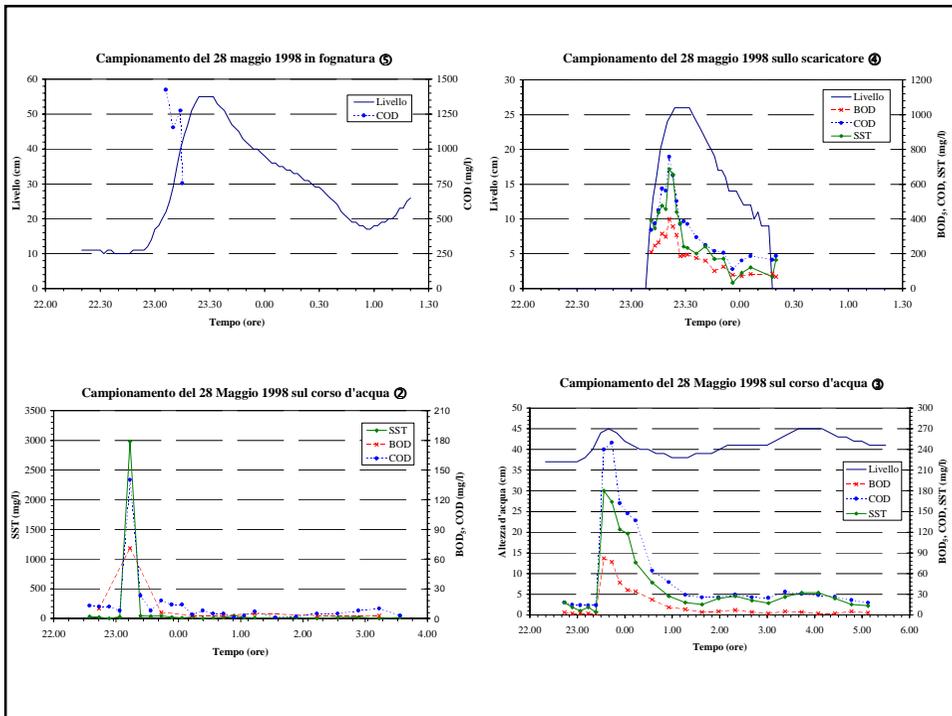


Campionatore a 24 bottiglie



Pluviometro integrato con il campionatore





Caratterizzazione del liquame fognario in tempo asciutto

**Valori di concentrazione nei reflui
urbani (Masotti, 1987)**

Parametro	Concentrazione (mg/l)		
	Alta	Media	Bassa
BOD ₅	450	300	170
COD	1000	500	250
Solidi Sospesi Tot.	550	380	220
Azoto Totale	85	40	20
Fosforo Totale	20	10	6
Oli e grassi	150	100	50

Ora	BOD ₅ [mg/l]	COD [mg/l]	SST [mg/l]
08:30	450	540	622
09:30	241	340	343
10:30	383	420	483
11:30	346	400	469
12:30	229	347	391
13:30	200	400	392
14:30	362	595	622
15:30	260	340	310
16:30	224	290	288
17:30	276	320	386
18:30	438	475	537
19:30	455	490	634
20:30	390	435	465
21:30	333	395	462
22:30	420	480	625
06:30	315	560	571
07:30	350	540	573
Media	334	433	481

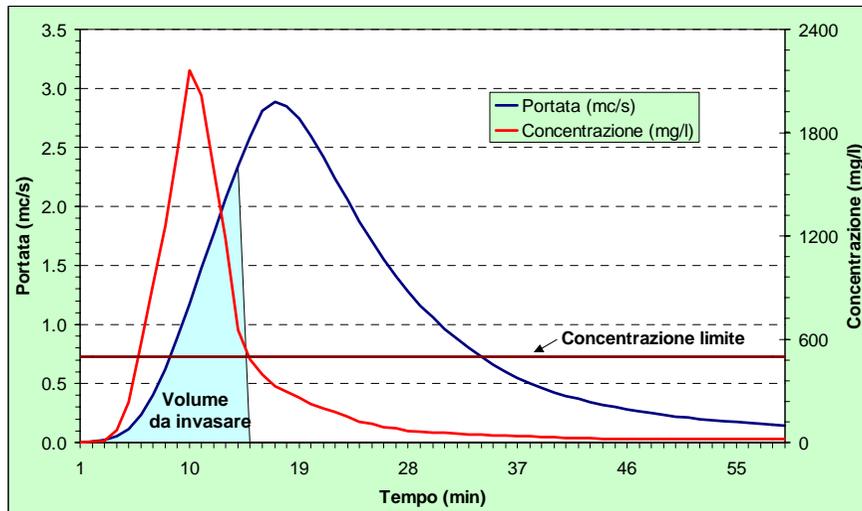
**Misure effettuate in tempo secco
nella rete fognaria di Bologna
il 24-25 giugno 1998**

CONTROLLO DELLE ACQUE DI “PRIMA PIOGGIA”

Aspetti Normativi per il controllo delle acque di “prima pioggia”

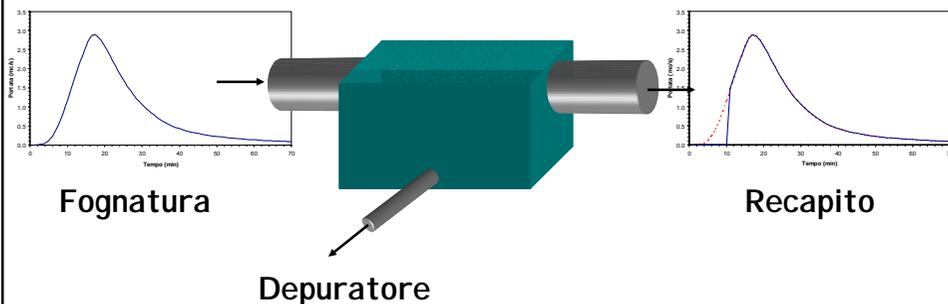
D.Lgs. 11 Maggio 1999 n. 152	D.Lgs. 18 agosto 2000 n. 258
<p>Articolo 39 (Acque di prima pioggia e di lavaggio di aree esterne)</p> <p>1. Le regioni disciplinano i casi in cui può essere richiesto, che le acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne non recapitanti in reti fognarie siano convogliate e opportunamente trattate in impianti di depurazione per particolari stabilimenti nei quali vi sia il rischio di deposizione di sostanze pericolose sulle superfici impermeabili scoperte.</p>	<p>Articolo 39 (Acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia)</p> <p>1. Ai fini della prevenzione di rischi idraulici e ambientali, le regioni disciplinano:</p> <p>a) le forme di controllo degli scarichi di acque meteoriche di dilavamento provenienti da reti fognarie separate;</p> <p>b) i casi in cui può essere richiesto che le immissioni delle acque meteoriche di dilavamento, effettuate tramite altre condotte separate, siano sottoposte a particolari prescrizioni, ivi compresa l'eventuale autorizzazione.</p> <p>2. Le acque meteoriche non disciplinate ai sensi del comma precedente non sono soggette a vincoli o prescrizioni derivanti dal presente decreto.</p> <p>3. Le regioni disciplinano altresì i casi in cui può essere richiesto che le acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne siano convogliate e opportunamente trattate in impianti di depurazione per particolare ipotesi nelle quali, in relazione alle attività svolte, vi sia il rischio di dilavamento dalle superfici impermeabili scoperte di sostanze pericolose o di sostanze che creano pregiudizio per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici.</p> <p>4. È comunque vietato lo scarico o l'immissione diretta di acque meteoriche nelle acque sotterranee.</p>

Dimensionamento delle vasche di “prima pioggia”



Schema di vasca di “prima pioggia”

Riducono il picco inquinante dovuto al lavaggio operato dalla pioggia delle superfici urbane trattenendo la prima parte dell'evento meteorico.



Controllo delle acque di “prima pioggia”

Metodi che non tengono conto in modo diretto delle caratteristiche del corpo idrico ricettore:

Viene individuato una parte del volume dell’evento meteorico che deve essere trattenuto (la Legge della Regione Lombardia 62/85 individua le acque di prima pioggia come i primi 5 mm dell’evento meteorico (questo equivale ad avere degli invasi pari a 50 m³/ha);

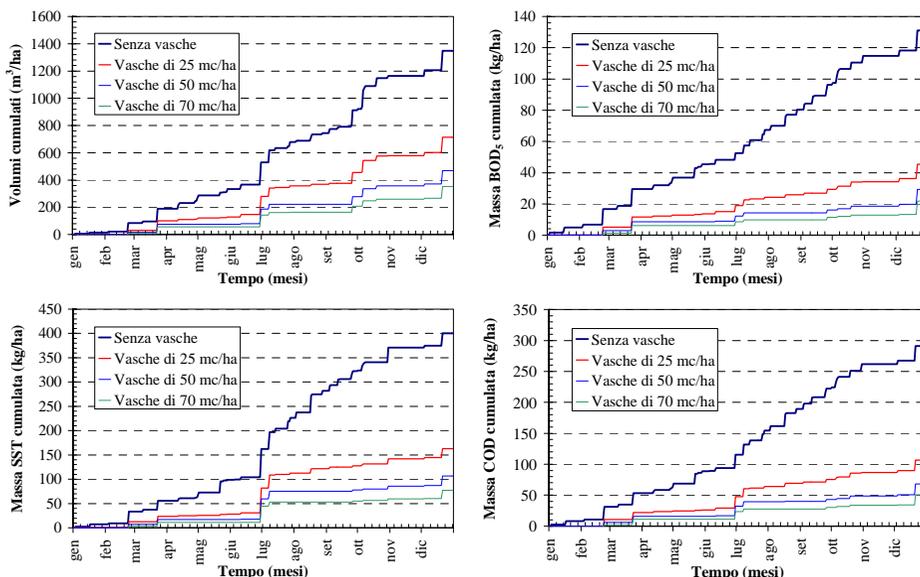
Le normative di alcuni Paesi Europei prescrivono di dimensionare le vasche di prima pioggia in modo tale da impedire che più di 7-10 eventi meteorici, in un anno, diano luogo a scarico nei corpi idrici ricettori.

Si possono fare delle considerazioni sulle masse inquinanti sversate nei ricettori, fissato un limite di concentrazione.

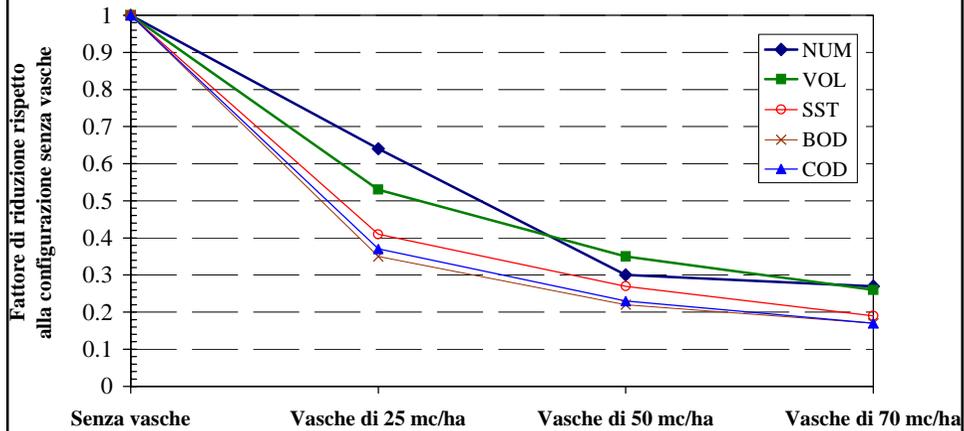
Metodi che analizzano in modo integrato il sistema fognatura-corpo idrico ricettore:

ad esempio la metodologia UPM (Urban Pollution Management) inglese; in tali casi è indispensabile l’adozione di modelli di calcolo dinamici, con diversi gradi di semplificazione, per lo studio degli aspetti quali-quantitativi.

Volumi e masse di BOD₅, SST, COD immessi dagli scaricatori della rete fognaria di Bologna nel Torrente Savena nella situazione attuale e adottando vasche di prima pioggia di diverse dimensioni.



Fattore di riduzione dei volumi totali sversati (VOL), del numero degli scarichi (NUM) e delle masse scaricate nelle diverse configurazioni esaminate.

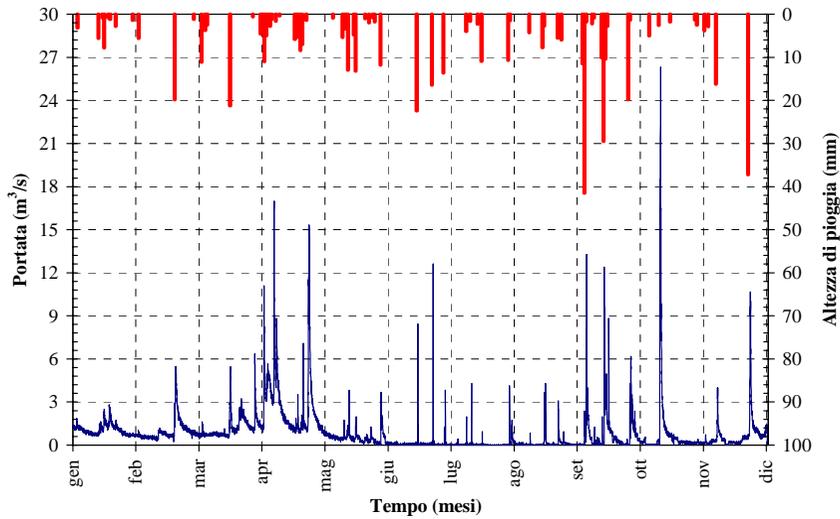


Dimensionamento di vasche considerando le caratteristiche del corpo idrico ricettore

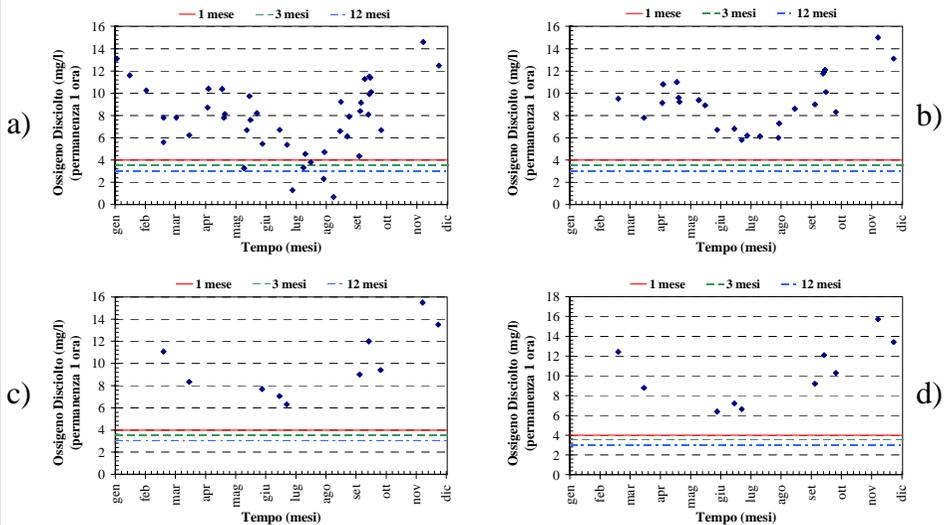
Limiti di concentrazione per l'Ossigeno Disciolto per garantire la vita dei ciprinidi definiti dalla procedura UPM (Foundation for Water Research, 1994)

Tempo di ritorno	Concentrazione minima di Ossigeno Disciolto (mg/l)		
	1 ora	6 ore	24 ore
1 mese	4,0	5,0	5,5
3 mesi	3,5	4,5	5,0
1 anno	3,0	4,0	4,5

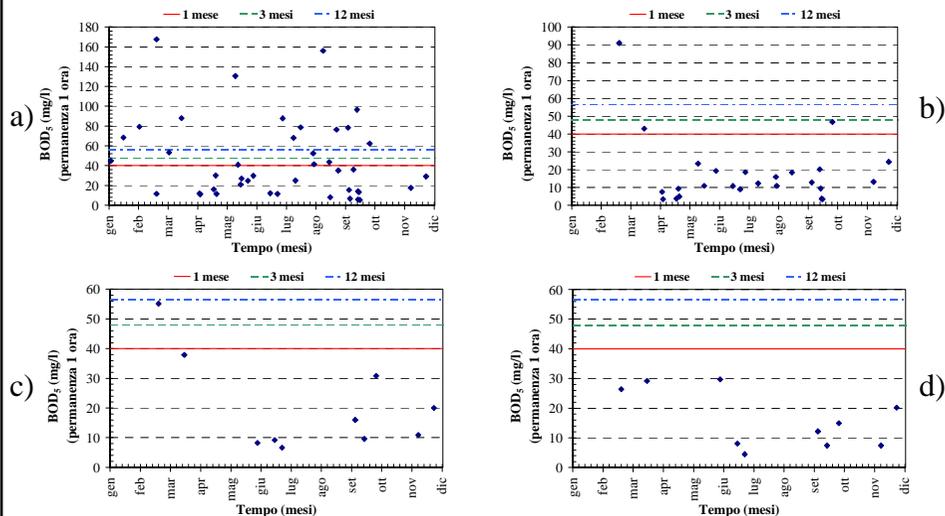
Piogge e portate registrate nel Torrente Savena alla sezione di chiusura del tratto studiato nel 1998



Concentrazioni massime di Ossigeno Disciolto con tempo di permanenza 1 ora, senza vasche di prima pioggia (a) e con vasche di 25 (b), 50 (c) e 70 (d) m³/ha.



Concentrazioni massime di BOD₅ con tempo di permanenza 1 ora, senza vasche di prima pioggia (a) e con vasche di 25 (b), 50 (c) e 70 (d) m³/ha.



Manutenzione degli invasi

- Ispezioni regolari almeno una volta all'anno per valutarne le condizioni.
- Rimozione dei solidi accumulati.



Esempio di massa che transita nei collettori durante gli eventi pluviometrici

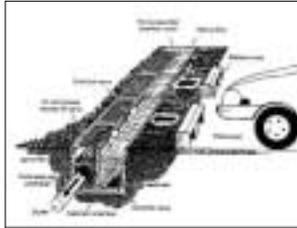


Data inizio evento	25/04/94	02/05/94	28/10/94	23/06/95	13/09/95	13/11/95	21/08/97
Durata evento (min)	105	77	290	536	633	932	85
Livello massimo (m)	0.44	0.2	0.78	1.47	0.47	0.33	0.47
Portata massima (l/s)	889.3	164.8	2331.9	4125	998.2	504.2	1017.6
Durata campionamento (min)	40	35	84	409	370	671	165
Tempo secco ant. (ore)	216	149	128	232	402	246	76
Conc. max SS (mg/l)	910	1846	279	684	474	1402	1492
Portata massica max SS (g/s)	550	212	209	792	317	663	335
Massa totale (kg)	384	212	394	2017	537	1993	470

Best management practices (BMP) per la gestione delle acque meteoriche

Sistemi vegetati

- Fasce filtro
- Aree tampone
- Canali inerbiti



Sistemi filtranti

- Filtri a sabbia

Sistemi ad infiltrazione

- Bacini di infiltrazione
- Canali filtranti
- Pozzi asciutti
- Pavimentazioni filtranti



Sistemi di fitodepurazione