

# **PROBLEMATICHE RELATIVE ALL'IMPATTO ALLO SCARICO DELLE ACQUE PLUVIALI: Il modello U.T.V.**

G. Silvagni, F. Volpi

Relatore: F. Volpi



## Premessa

Nelle problematiche relative alla salvaguarda ambientale assume oggi sempre maggiore importanza la corretta gestione degli scarichi pluviali dilavanti bacini urbani.

Lo smaltimento delle acque reflue ha costituito oggetto di attenzione già ai tempi degli antichi romani che con la costruzione di grandi collettori affidavano il controllo dell'inquinamento alla diluizione del carico nei corpi idrici recettori.

Allo stato attuale il controllo dell'inquinamento non può esaurirsi solo con l'allontanamento dalle aree urbanizzate delle acque pluviali ma deve accompagnarsi al controllo del loro impatto sull'ambiente ed in particolare sull'effetto di diluizione nei corpi idrici recettori siano essi superficiali che sotterranei.



Le acque di dilavamento urbano sono oggi caratterizzate dal trasporto di numerose sostanze inquinanti che, in ottemperanza alle leggi di tutela ambientale, non possono essere recapitate senza controllo.

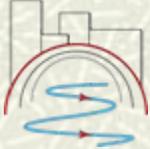
La conservazione di condizioni ambientali ottimali può pertanto perseguirsi soltanto attraverso un approccio globale teso all'analisi del funzionamento del sistema di drenaggio nel suo complesso:

1. Accumulo di materiale inquinante sul bacino;
2. Ruscellamento delle acque;
3. Intercettazione delle caditoie;
4. Onde di piena e di carico in fognatura;
5. Impatto allo scarico sui corpi idrici.

Negli ultimi anni la ricerca scientifica nazionale ed internazionale ha visto catalizzare l'attenzione su tali tematiche con l'obiettivo di definire metodologie di intervento e criteri di progettazione di sistemi di monitoraggio, controllo e gestione dei deflussi urbani.

Di seguito si illustreranno i risultati di due ricerche applicate nell'ambito della città di Roma tese:

6. Al controllo dell'interrimento delle caditoie pluviali;
7. Alla stima delle onde di carico durante un evento di piena.



## Qualità delle acque in fognatura

Dai dati sperimentali disponibili in bibliografia risulta evidente che durante i periodi di pioggia alle portate transitanti in fognatura si accompagna un elevato carico inquinante allo stato particolato per effetto sia di contributi esterni alla rete, materiale solido proveniente dal dilavamento delle superfici del bacino, che di contributi interni al sistema, risollevarimento dei solidi sedimentati durante i periodi di tempo asciutto.

È risultato che la concentrazione dei Solidi Sospesi in tempo di pioggia è pari a circa il 70÷80% del carico totale e che gran parte delle altre sostanze inquinanti è **vettoriata adesiva** alle particelle solide.

- # 83 ÷ 92 % di COD;
- # 77 ÷ 95 % di BOD<sub>5</sub>;
- # 48 ÷ 82 % di TKN;
- # 82 ÷ 99 % di HC;
- # 80 ÷ 99 % di Pb.

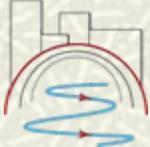
(Chebbo e altri, 1995)

	Roof runoff			Yard runoff			Street runoff		
	min	max.	median	min	max.	median	min	max.	median
% COD	17	91	64	24	78	55	45	94	66
% BOD <sub>5</sub>	3	81	49	41	89	71	41	86	69
% HC	57	97	85	62	96	87	70	99	87
% Cd	3	90	28	33	100	94	51	97	80
% Cu	1	99	58	30	87	71	47*	93*	72*
% Pb	26	99	87	74	99	95	83	100	97
% Zn	0	73	9	10	96	72	44*	96*	75*

(Gromaire-Mertz et al., 1999)

Tali risultati portano a formulare l'ipotesi che

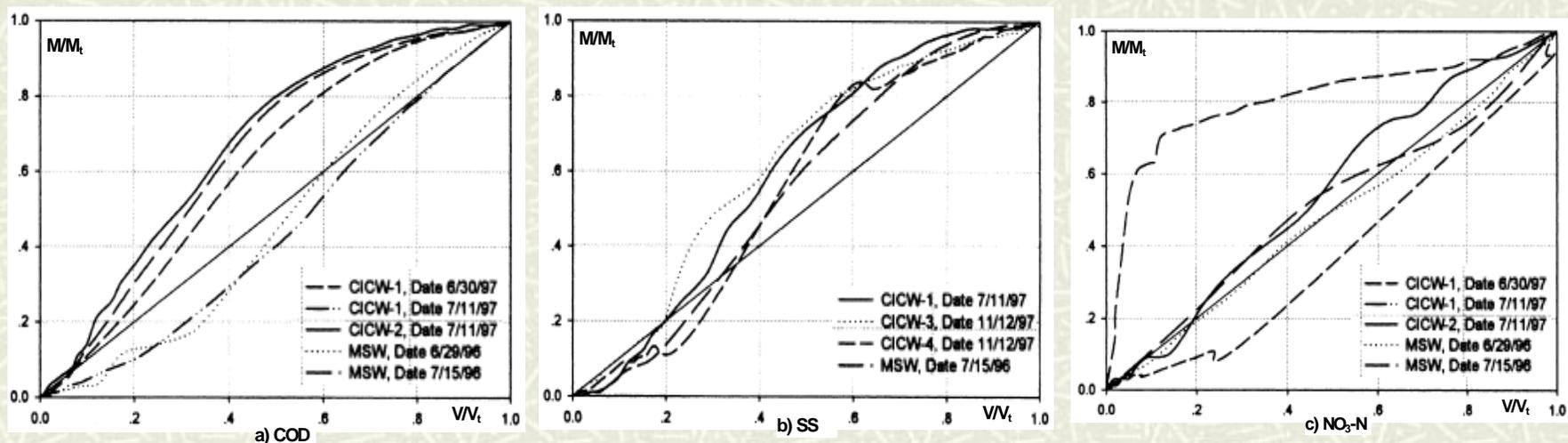
**I Solidi Sospesi costituiscono i Principali Vettori di Inquinanti in Tempo di Pioggia**



## Caratterizzazione degli inquinanti

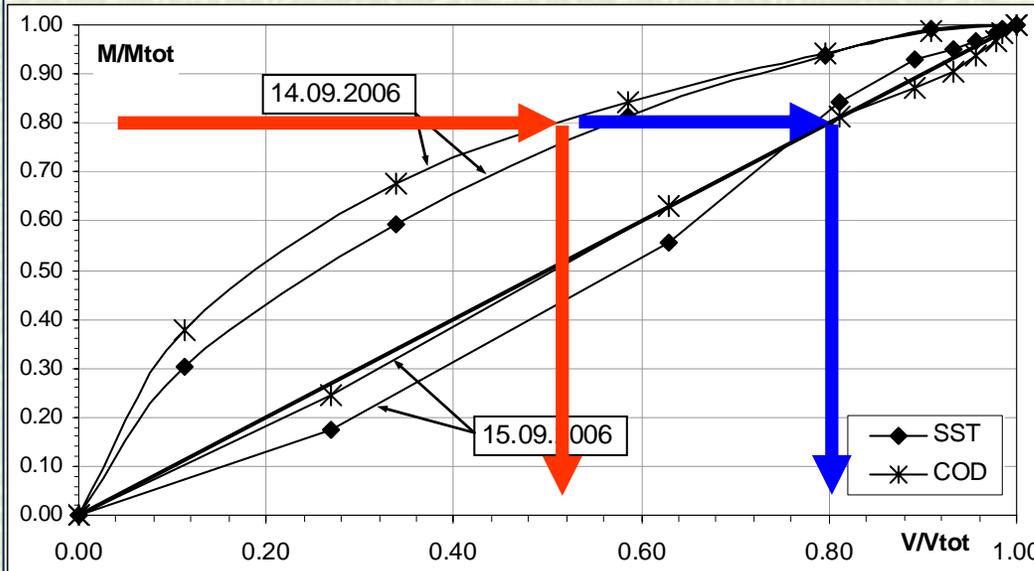
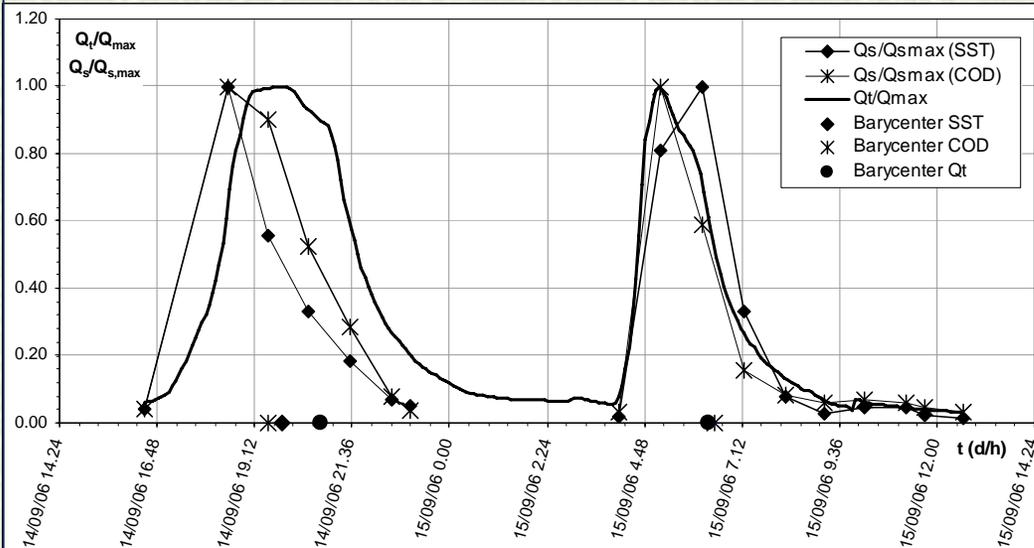
L'analisi dei dati sperimentali raccolti su bacini campione e riportati in bibliografia evidenzia che, in generale, l'onda di carico risulta in fase con l'onda di piena presentando solo un leggero anticipo rispetto a questa.

In particolare i baricentri delle due onde risultano nella maggior parte dei casi pressoché coincidenti con un leggero anticipo dell'onda di carico (first flush).



Curve cumulative ( $M/M_t$ ) di carico inquinante per diversi eventi di pioggia (*Lee & Bang, 2000*)

Il fenomeno risulta confermato dai dati sperimentali raccolti sul bacino del collettore Cesarina in collaborazione con l'ACEA ATO2.



## Bacino della Cesarina

(Silvagni et alii, 2007)

## Onde di carico

Il confronto tra le onde di carico relative ai solidi sospesi (SST) e COD e l'onda di piena evidenzia un leggero anticipo delle due onde nel primo evento ed un andamento pressoché in fase nel secondo

## Cumulate del carico (SST e COD)

1. Evento del 14 settembre: per abbattere l'80% dell'onda di carico occorre intervenire sul 50% del volume di piena (circa 54.000 m<sup>3</sup>).
2. Evento del 15 settembre: per abbattere la stessa percentuale di carico inquinante occorre intervenire sull'80% del volume dell'onda di piena (circa 80.000 m<sup>3</sup>)



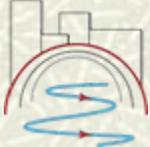
Gli elevati carichi inquinanti addotti dalle acque di drenaggio urbano ai corpi idrici recettori, costituiti in Italia generalmente da corsi d'acqua a regime torrentizio, determinano, specialmente nei periodi di magra, un effetto shock sulle caratteristiche di qualità.

Gli interventi atti a ridurre tali carichi inquinanti non possono quindi prescindere dall'esame comparato dell'intera onda di piena e delle caratteristiche chimico – fisiche e vettoriali del trasporto delle sostanze inquinanti.

***NOTEVOLE IMPORTANZA ASSUME  
LA CONOSCENZA DELL'ONDA DI CARICO***

con particolare riferimento

***ai S.S.T.***



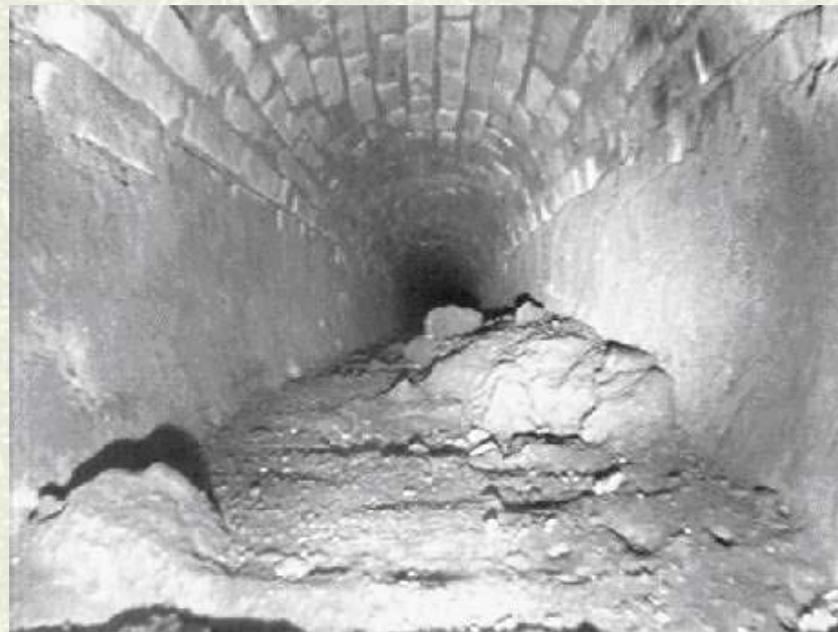
## S.S.T. quali le fonti ???

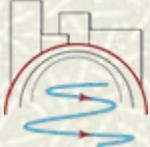
In tempo di pioggia, il materiale solido trasportato in fognatura è determinato da:

- Sorgenti esterne: scarichi civili ed industriali, dilavamento atmosferico e delle superfici dei bacini, imbocchi dei fossi naturali.



- Sorgenti interne: risollevarimento del materiale solido depositato in tempo asciutto sul fondo dei collettori (sedimenti, fanghiglia o *slime*) funzione delle azioni tangenziali della corrente.





## La funzionalità di un sistema di drenaggio è legata

### Efficace intercettazione superficiale

#### # Dimensionamento:

Tipologia e localizzazione delle opere di intercettazione:

- Deflussi  $\neq$  acqua;

#### # Gestione:

Controllo della funzionalità delle caditoie stradali;

- Pulizia periodica:

NO allagamenti;

OK corretto deflusso in fognatura;

### Corretta funzionalità della rete fognaria

#### # Dimensionamento corretto dei collettori:

- Deflussi  $\neq$  acqua;
- Trasporto solido;

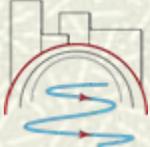
#### # Gestione:

- Controllo del trasporto solido:

NO Interrimenti;

OK Funzionalità idraulica;

#### # Controllo degli scarichi.



## Accumulo superficiale

Legge di accumulo del materiale solido sul bacino (*Alley e Smith, 1981*):

$$M_{\text{acc}} = \left( \frac{\text{Accu}}{\text{Disp}} \right) \cdot S \cdot \text{Peim} \cdot \left( 1 - e^{-\left( \frac{\text{Disp} \cdot \Delta t_s}{24} \right)} \right) + M_r \cdot e^{-\left( \frac{\text{Disp} \cdot \Delta t_s}{24} \right)}$$

In corrispondenza di eventi meteorici isolati ed intensi si è assunto che il materiale solido presente sul bacino sia totalmente dilavato e che tale quantità corrisponda al valore limite:

$$M_{\text{acc},\text{lim}} = \frac{\text{Accu} \cdot S \cdot \text{Peim}}{\text{Disp}}$$

**Accu**, tasso di accumulo del materiale solido [kg/ha/d];

**Disp**, coeff. di dispersione pari a 0.08 d<sup>-1</sup>;

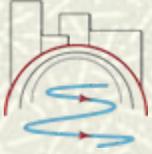
**S**, sup. del bacino [ha];

**Peim**, percentuale di area impermeabile;

**Mr**, massa residua sul bacino [kg]

Con le ipotesi fissate, considerando un volume medio di pioggia  $V_m$ , la concentrazione media assume la seguente espressione:

$$C_s \approx \frac{M_{\text{acc},\text{lim}}}{V_m} \Rightarrow C_s \approx \frac{\text{Accu} \cdot S \cdot \text{Peim}}{V_m \cdot \text{Disp}}$$



## CADITOIE (Silvagni et alii, 1998÷2000)

Ipotesi:

- Il numero medio di eventi pluviometrici intervallati da un periodo secco sufficiente perché si abbia il deposito permanente nel pozzetto è stimato pari al numero medio annuo di eventi *pluviometrici indipendenti* ( $\Lambda$ );
- In corrispondenza di essi sul bacino è presente il valore limite  $M_{acc,lim}$  e si ha il dilavamento completo.

- Materiale solido depositato all'*i*-esimo evento

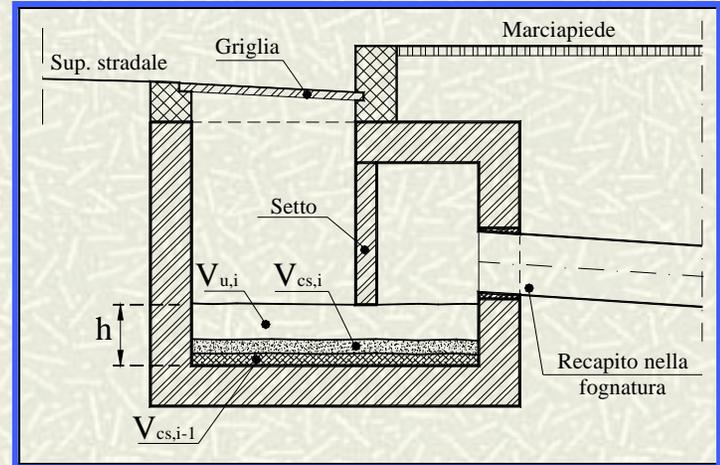
$$\mathbf{V_{cs,i} = C_{cs,i} \cdot V_{u,i}}$$

- ↓  $C_{cs,i}$  concentrazione volumetrica media del materiale;
- ↓  $V_{u,i}$  volume utile del pozzetto [ $m^3$ ].

- Materiale solido totale depositato

$$\mathbf{V_d = \sum_{i=1}^{\Lambda} (V_{cs,i} + V_{t,i})}$$

- $V_{t,i} \cong \alpha_i \cdot V_{cs,i}$   
volume solido immesso per effetto della pulizia superficiale e del flusso veicolare

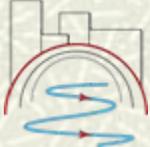


Con le ipotesi assunte il volume totale depositato all'interno del pozzetto è pari a:

$$\mathbf{V_d = V_u \cdot \left( 1 - e^{-\Lambda \cdot \ln \left[ 1 - 2 \cdot \frac{Accu \cdot S \cdot Peim}{Vm \cdot Disp} \right] \cdot \delta} \right)}$$

dove:

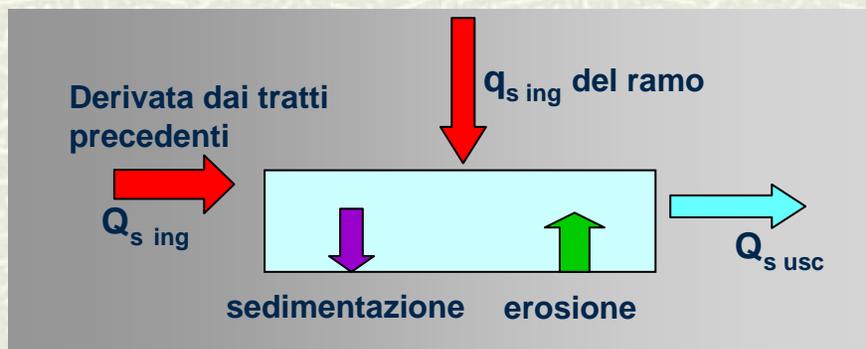
- $V_u$ , volume utile del pozzetto delimitato dal setto [ $m^3$ ];
- $\Lambda$ , numero medio annuo di eventi indipendenti (stimato pari a 10 per la città di Roma).



## Modello di trasporto U.T.V.

La modellazione del trasporto solido si basa sul bilancio di massa dei solidi trasportati:

**Il materiale solido uscente dal singolo tratto è pari al materiale solido in ingresso +/- il materiale solido eroso / depositato**



## MODELLO U.T.V.

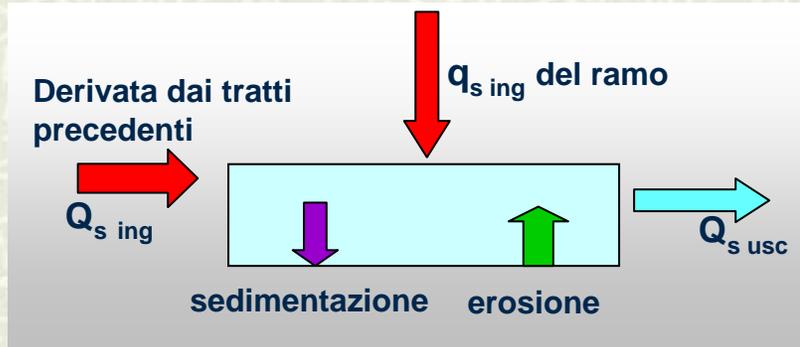
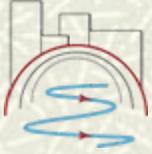
Calcolo della concentrazione volumetrica dei solidi ( $C_v$ ) attraverso le equazioni di Verbanck.

$$C_v = \frac{1}{5.16} \frac{u_{*,b}^3}{g \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} w_s R}$$

*Verbanck (1996÷2000).*

$g$ , accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ];  
 $R$ , è il raggio idraulico [ $m$ ];  
 $W_s$ , velocità di caduta libera delle particelle in acqua [ $m/s$ ];  
 $\rho_s$  il peso specifico del materiale solido [ $kg/m^3$ ]  
 $u_{*,b}$  è la velocità tangenziale al letto di sedimenti  
funzione della velocità media e della scabrezza.

Il trasporto solido è governato dal valore della velocità di sedimentazione delle particelle e della velocità della corrente.



Portata solida in ingresso all'istante  $t$

$$q_{s,ing}(t) = C_s Q(t)$$

Portata solida che la corrente ha la capacità di trasportare all'istante  $t$ :

$$Cap_s(t) = C_v(t) \cdot \rho_s \cdot Q(t)$$

$\rho_s$  il peso specifico del materiale solido [kg/m<sup>3</sup>]

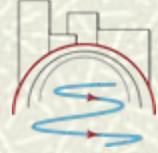
Massa presente sul fondo al passo temporale  $i$ :

$$M_{dep}(i) = M_{t=0} + \sum_{j=0}^i [Q_{s,ing}(j) - Q_{s,usc}(j)] \Delta t$$

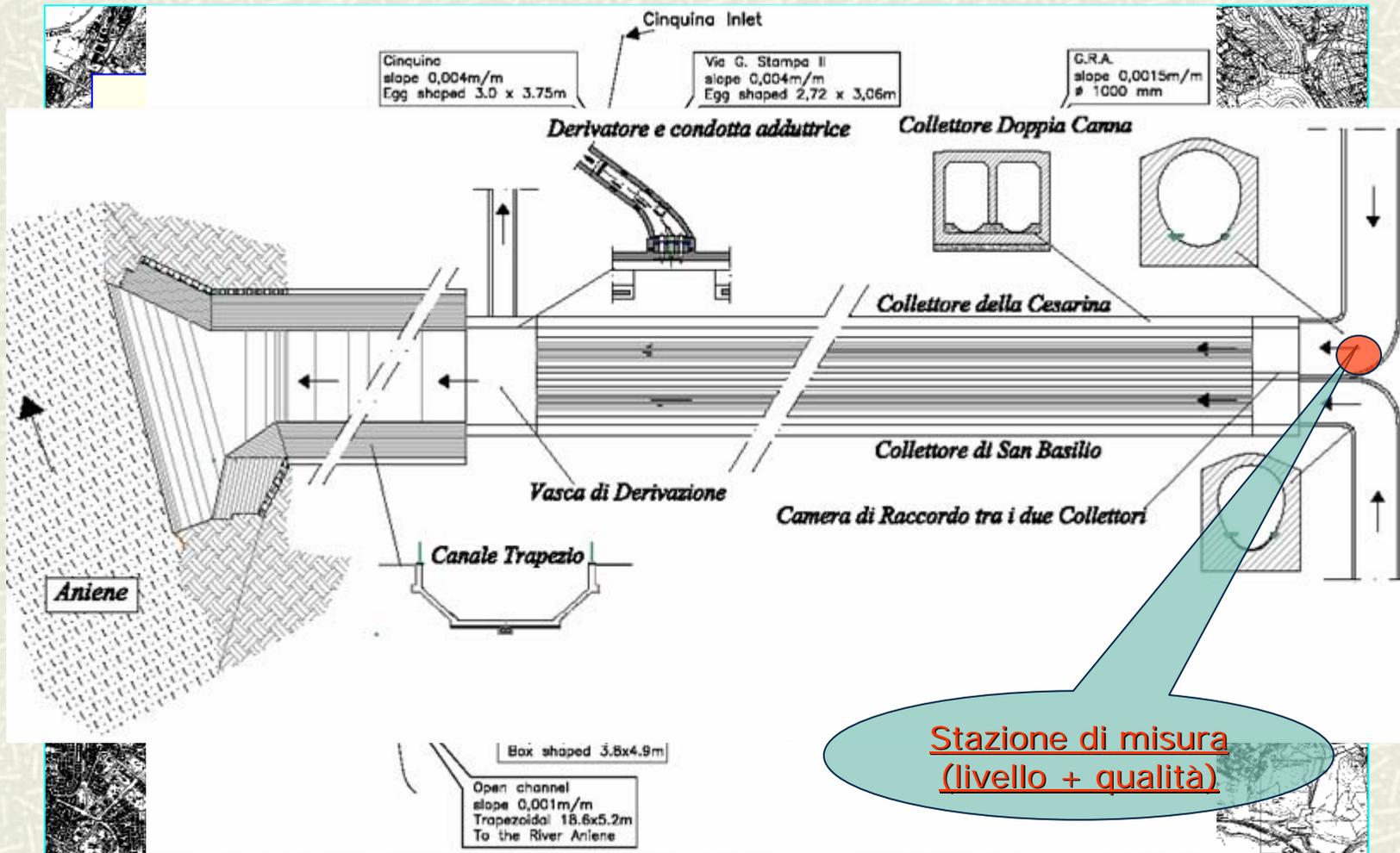
Portata solida in uscita al passo temporale  $i$ :

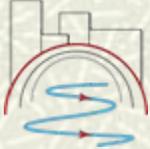
$$Q_{s,usc}(i) = \begin{cases} Cap_s(i) & \text{se } M_{t=0} + \sum_{j=0}^i [Q_{s,ing}(j) - Q_{s,usc}(j)] \Delta t + Q_{s,ing}(i) \Delta t > Cap_s(i) \Delta t; \\ \frac{M_{t=0} + \sum_{j=0}^i [Q_{s,ing}(j) - Q_{s,usc}(j)] \Delta t + Q_{s,ing}(i) \Delta t}{\Delta t} & \text{altrimenti;} \end{cases}$$

NOTA : Il bilancio è eseguito tronco per tronco nelle ipotesi semplificative di materiale non coesivo e di risposta immediata del sistema in termini di erosione e deposito.



Per il Comune di Roma i parametri della legge di accumulo e del modello di trasporto sono stati tarati sperimentalmente sulla base di un'indagine dapprima sviluppata sulle caditoie stradali (anni 1998/00) e quindi sul bacino campione della Cesarina (2005 ad oggi).

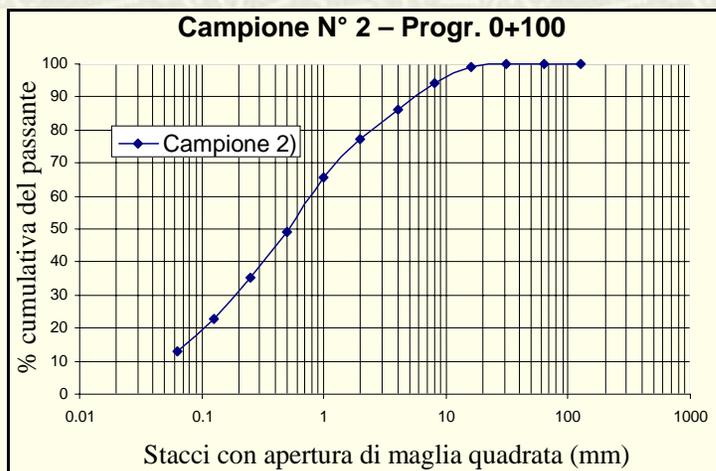
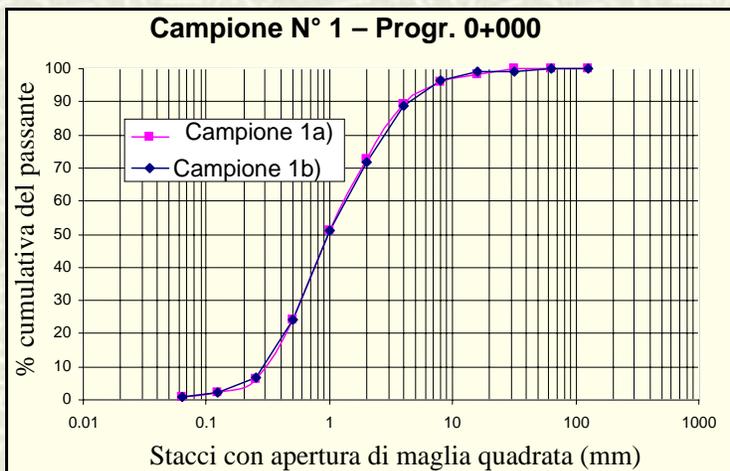




Per il Comune di Roma i parametri della legge di accumulo e del modello di trasporto sono stati tarati sperimentalmente sulla base di un'indagine dapprima sviluppata sulle caditoie stradali (anni 1998/00) e quindi sul bacino campione della Cesarina (2005 ad oggi).

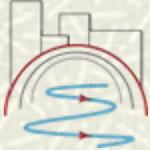
### Velocità di sedimentazione e densità del materiale

Dall'analisi granulometrica dei sedimenti presenti nel collettore scatolare sono stati ottenuti valori di  $d_{50}$  pari a 1.0 mm, nel tratto iniziale, e 0.50 mm nel tratto finale.



$$W_s = 0.006 \text{ m/s}$$

$$\rho_s = 1500 \text{ kg/m}^3$$



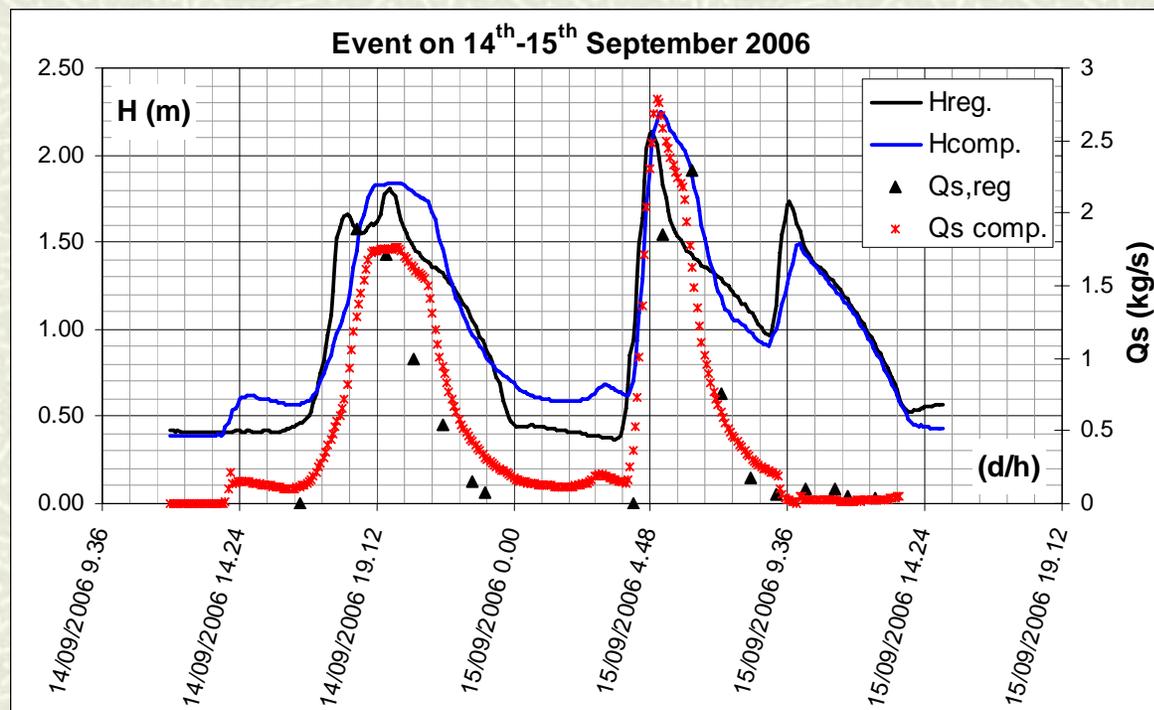
Per il Comune di Roma i parametri della legge di accumulo e del modello di trasporto sono stati tarati sperimentalmente sulla base di un'indagine dapprima sviluppata sulle caditoie stradali (anni 1998/00) e quindi sul bacino campione della Cesarina (2005 ad oggi).

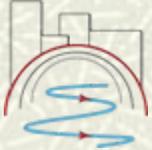
### Modello di accumulo

I parametri specifici del modello di accumulo sono stati tarati sulla base dei dati sperimentali.



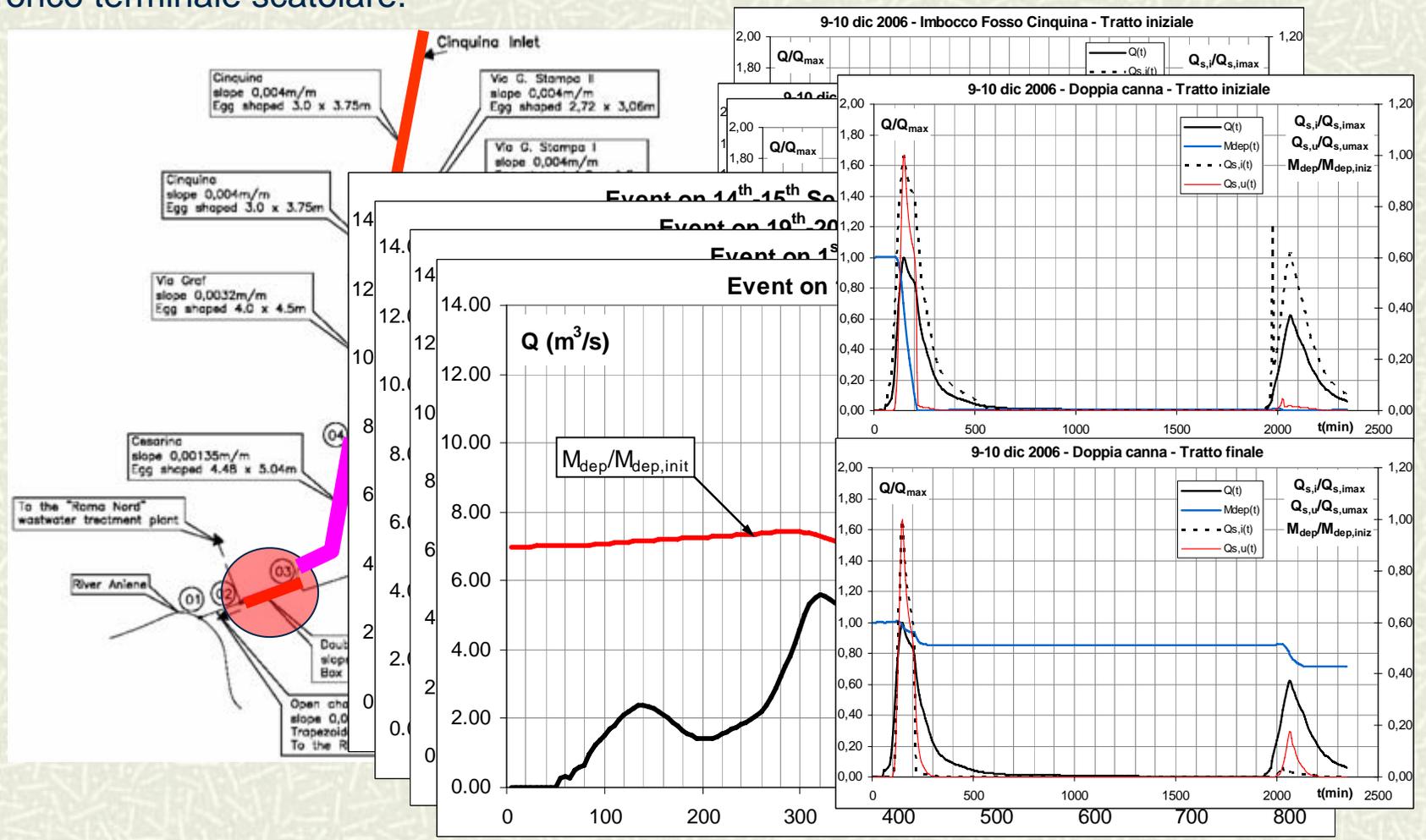
BACINO	Peim	Accu [kg/ha/d]
Fosso Cesarina	15%	6
Fosso Cinquina	40%	6
Urbano	65%	10

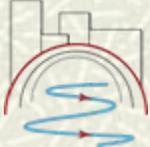




## Applicazioni del modello al Collettore della Cesarina

I risultati della modellazione del trasporto solido al collettore della Cesarina ha evidenziato una sostanziale corrispondenza con quanto rilevato in loco: esistenza di fenomeni di deposito nel tronco terminale scatola.





## Considerazioni conclusive

1. La tutela ambientale dei corpi idrici recettori delle reti di drenaggio urbano impone la caratterizzazione quali – quantitativa delle acque pluviali.
2. Le modalità di trasporto degli inquinanti in fognatura hanno evidenziato la necessità di disporre sia in fase di progettazione che di gestione di un modello atto a caratterizzare l'onda di carico; con particolare attenzione ai Solidi Sospesi Totali.
3. Il modello U.T.V. implementato e tarato sul bacino di grande estensione (Cesarina) è risultato un utile strumento per caratterizzare a livello quali – quantitativo i fenomeni del trasporto solido: esso è implementato su piattaforma Hynet.
4. I dati sperimentali raccolti e le simulazioni effettuate hanno evidenziato la difficoltà, per bacini di grandi dimensioni, di ricorrere a vasche di pioggia come presidio dello scarico delle acque pluviali.
5. L'utilizzo di un modello di trasporto consente di simulare e quantificare per piccoli bacini l'effetto delle vasche di pioggia e, per grossi collettori, soluzioni legate a tecniche di sedimentazione e di presidio agli imbocchi dei fossi naturali.