

IV Giornata di Studio – Acque di Prima Pioggia

GESTIONE DELLE ACQUE E AMBIENTE URBANO SOSTENIBILE

I sedimenti in fognatura e le tecniche per la loro rimozione

Alberto Campisano, Enrico Creaco, Carlo Modica



Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale



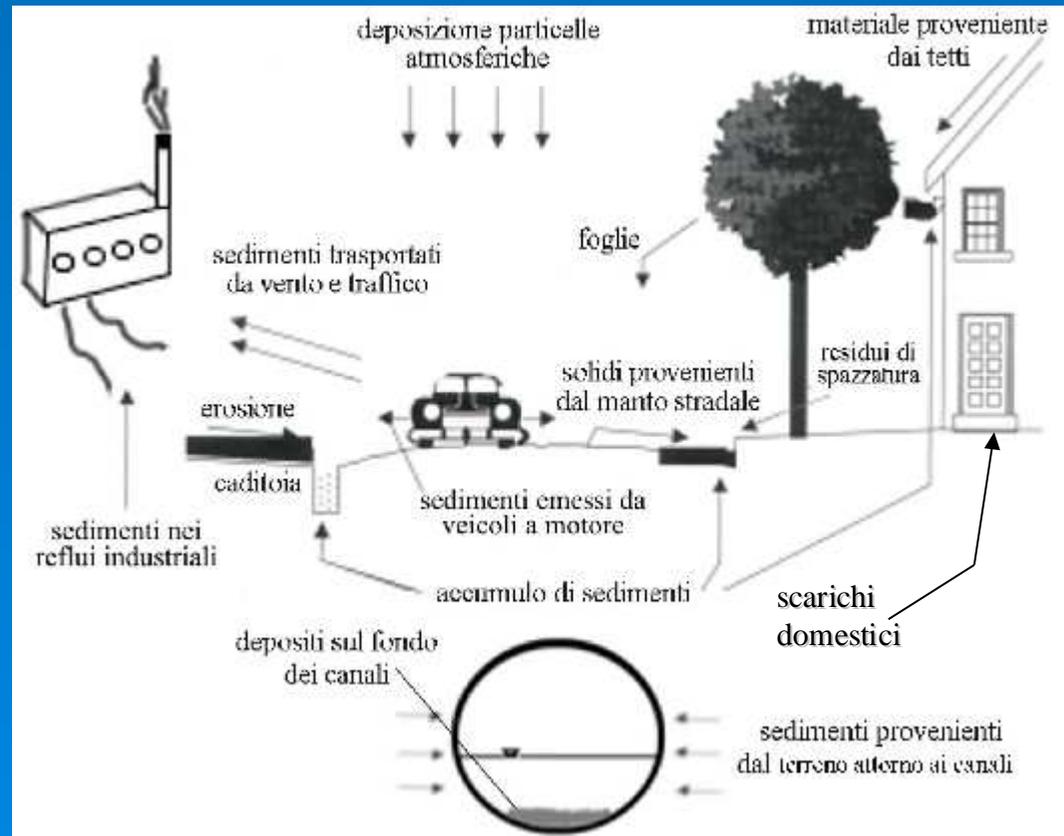
Centro Studi Idraulica Urbana

GENOVA
24 novembre 2006

Posizione del problema

Sedimenti all'interno dei canali fognari: problema di grande rilevanza

Origini principali:
atmosfera;
superfici bacino urbano,
scarichi domestici;
suolo e processi interni
alla rete;
effluenti da aree indust.



Posizione del problema

Classificazione dei sedimenti

5 classi di sedimenti (*Crabtree, 1989; Ashley et al., 2004*):

A: particelle di ghiaia e sabbia sul fondo dei canali, depositi responsabili dell'ostruzione dei canali;

B: classe A in condizioni di cementazione;

C: *near bed solids*, particelle fini (argilla e limo, materiale organico) vettori di inquinanti nell'interfaccia acqua-depositi

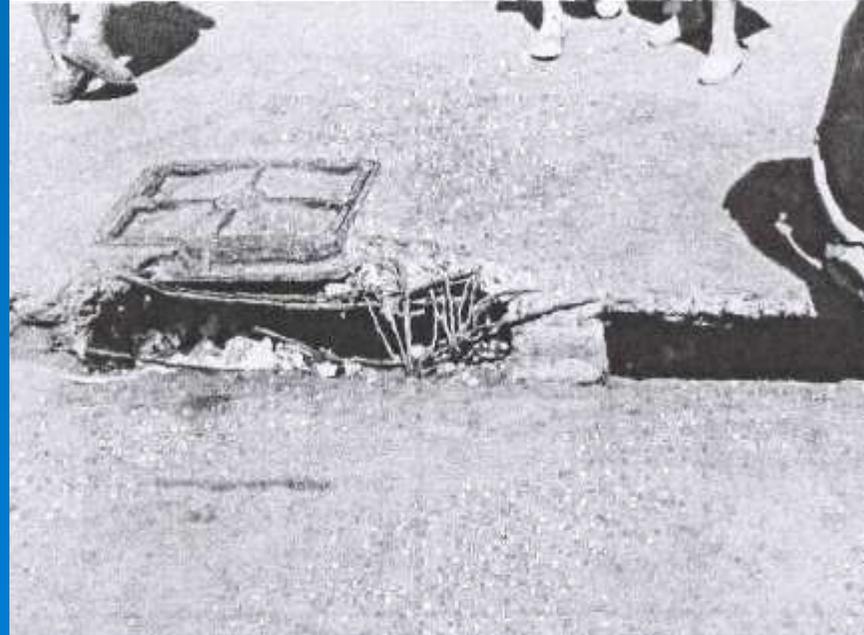
D: biofilm adesi alle pareti dei canali;

E: materiali fini e organici depositati sul fondo di vasche e di serbatoi presenti in rete.

classe di sedimenti	densità alleggerita (kg/m ³)	% di sedimento per dimensione dei grani (mm)			contenuto organico (%)
		minimo-medio-massimo			
		<0.063	0.063-2.0	2.0-5.0	
A	1720	1-6-30	3-6-87	3-33-90	7
B	1720	1-6-30	3-6-87	3-33-90	7
C	1170	29-45-73	5-55-71	0	50
D	1210	17-32-52	1-62-83	1-6-20	61
E	1460	1-22-80	1-69-85	4-9-80	22

Problemi idraulici

Occlusioni degli ingressi alla rete (caditoie e pozzetti)



Cause:

- carenza di piani operativi di gestione periodica dei sedimenti;
- interventi solo puntuali di manutenzione straordinaria;
- scarso interesse e limitate segnalazioni da parte della popolazione.

Problemi idraulici

Aggravio derivante da particolari situazioni locali

Nei comuni etnei grandi quantità di sabbia vulcanica durante gli eventi eruttivi

Ad es.: evento novembre 2002:

- stime per circa 3 mm di sabbia vulcanica nera sul territorio comunale (Ct);
- decine di migliaia di mc di sabbia da avviare in discarica



durante

...dopo...

...alla fine...

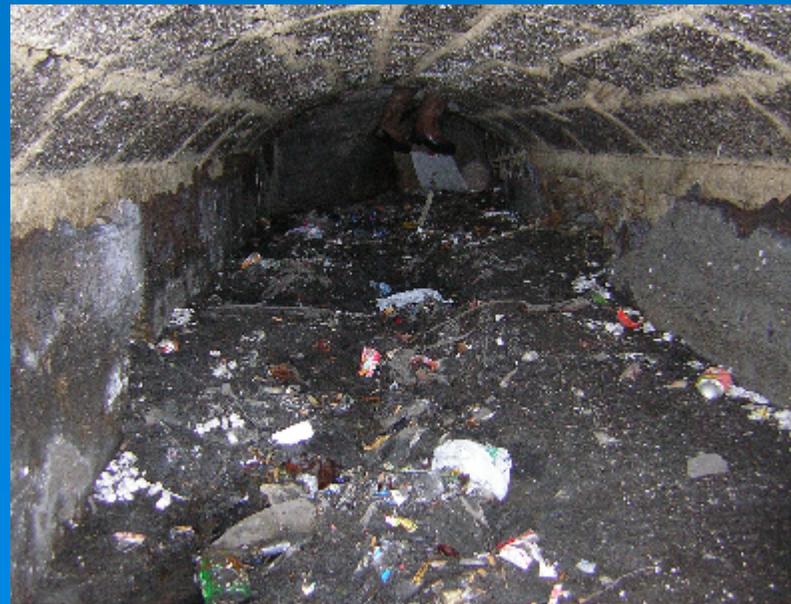


Problemi idraulici

Accumulo dei sedimenti sul fondo dei canali...



...e forte riduzione della capacità idraulica di portata



Problemi idraulici

Aumento dei rischi di andata in pressione,
di allagamento durante le piogge intense...

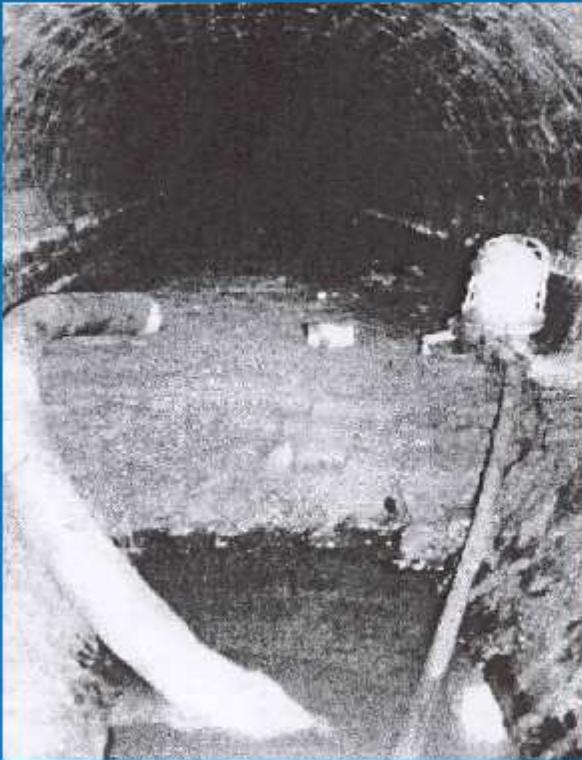


...e di possibili collassi strutturali



Problemi idraulici

Compattazione dei sedimenti...



...e trasformazioni biochimiche all'interno dei depositi



Problemi ambientali

Densità medie di inquinanti su superfici urbane (Reinertsen, 1982)

Tipo di superficie	Solidi (g/m ²)
Marciapiede, strada affollata	18.5
Carreggiata, strada affollata	9.0
Marciapiede, strada non affollata	13.9
Carreggiata, strada non affollata	5.8
Parcheggio	7.5
Strada residenziale	6.2
Sentiero pedonale	5.4

Concentrazioni nel ruscellamento pluviale (Reinertsen, 1982)

Parametro	Media (mg/l)	Max. (mg/l)	Min. (mg/l)
Solidi	585	4990	25
COD	171	870	<10
Pb	0.45	3.1	<0.05

Problemi ambientali

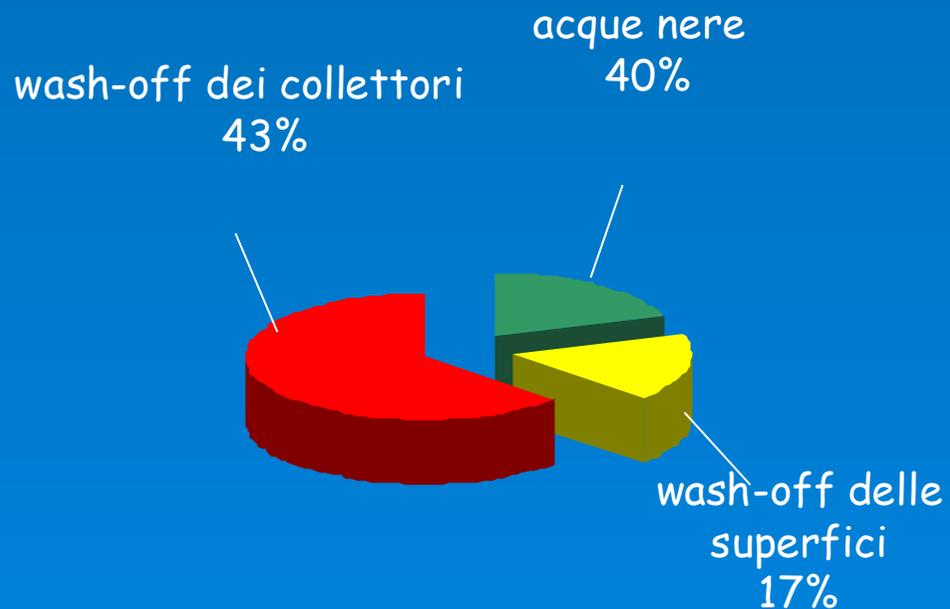
Concentrazioni di inquinanti associati ai sedimenti nella fognatura pluviale di Cincinnati (*Weibell et al., 1999*)

Parametro	Unità di misura	Media	Valori estremi
<i>SS</i>	(mg/l)	227	5 - 1200
<i>VSS</i>	(mg/l)	53	1 - 290
<i>COD</i>	(mg/l)	111	20 - 610
<i>BOD</i>	(mg/l)	17	2 - 173
<i>NO₂</i>	(mg/l come N)	0.05	0.02 - 0.3
<i>NO₃</i>	(mg/l come N)	1.5	0.1 - 1.5
<i>NH₃</i>	(mg/l come N)	0.6	0.1 - 1.9
<i>Norganico</i>	(mg/l)	1.7	0.2 - 4.8
<i>Ninorganico</i>	(mg/l)	1.0	0.1 - 3.4
<i>Ntotale</i>	(mg/l)	3.1	0.3 - 7.5
<i>PO₄solubile</i>	(mg/l)	0.05	0.02 - 0.3
<i>Cl</i>	(mg/l)	1.7	0.38 - 4.72

Problemi ambientali

Durante gli eventi di pioggia intensi:

- ✓ risospensione dei depositi e scarico nei corpi ricettori
- ✓ sovraccarichi di inquinanti all'impianto di trattamento



Contributo al carico inquinante associato ai sedimenti nelle reti unitarie (Gromarie et al., 2000)

Depositi nella fognatura di Parigi (Ayherre, 2003)



Tipologie di intervento

1. Interventi preventivi

- Riduzione dei sedimenti presenti sulle superfici scolanti del bacino urbano (BMP: riduzione erosione, pulizia strade, etc.);
- Riduzione dei sedimenti in ingresso alla rete fognaria;
- Criteri di autopulizia per assicurare velocità e sforzi tangenziali adeguati;

1. Interventi reattivi

- Rimozione dei sedimenti depositati all'interno dei canali.

Best Management Practices (BMPs)

Pulizie periodiche delle superfici dei bacini urbani

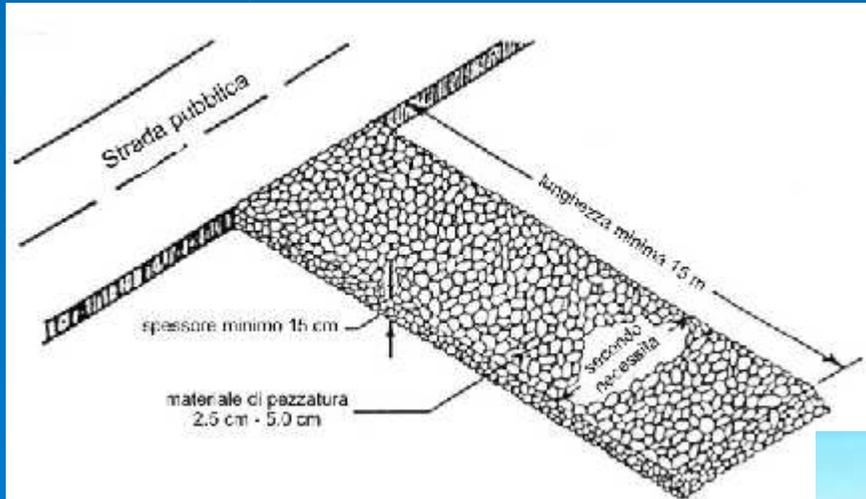


Pavimentazioni porose



Best Management Practices (BMPs)

Sentiero in pietrame in uscita dai cantieri



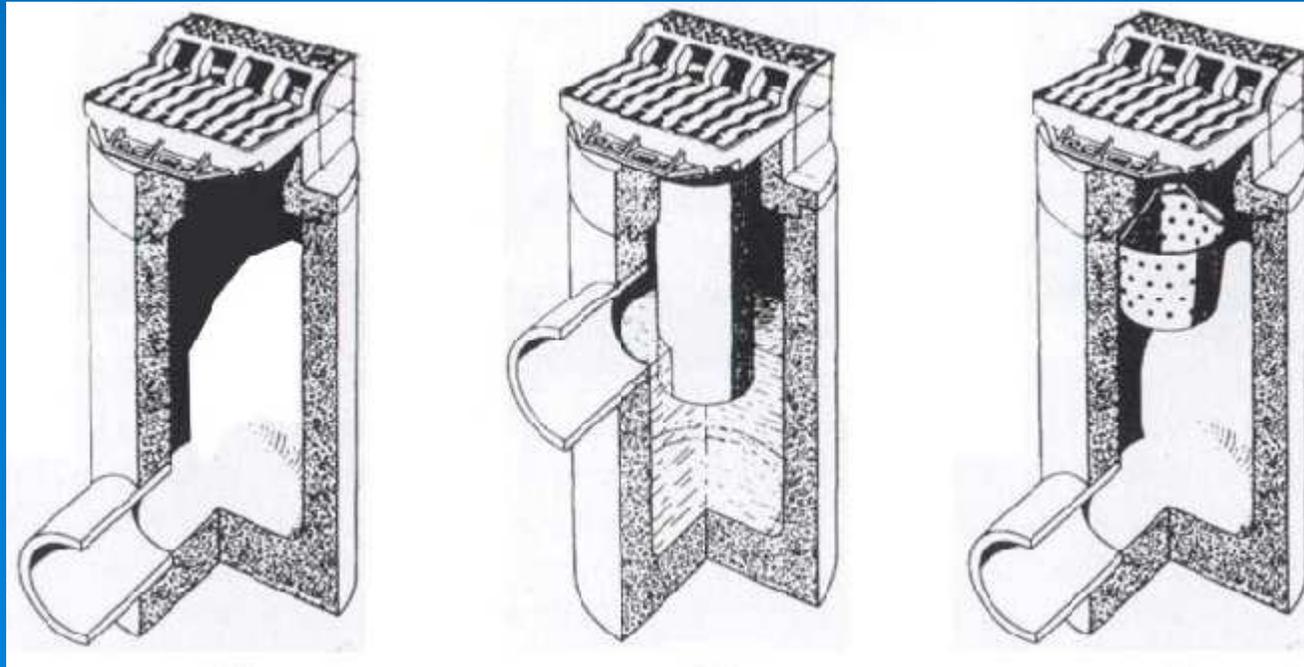
Bacini di ritenzione a monte e a valle delle reti di drenaggio



Riduzione dei sedimenti in ingresso alla rete

In bacini urbani:

- Pozzetti e caditoie stradali



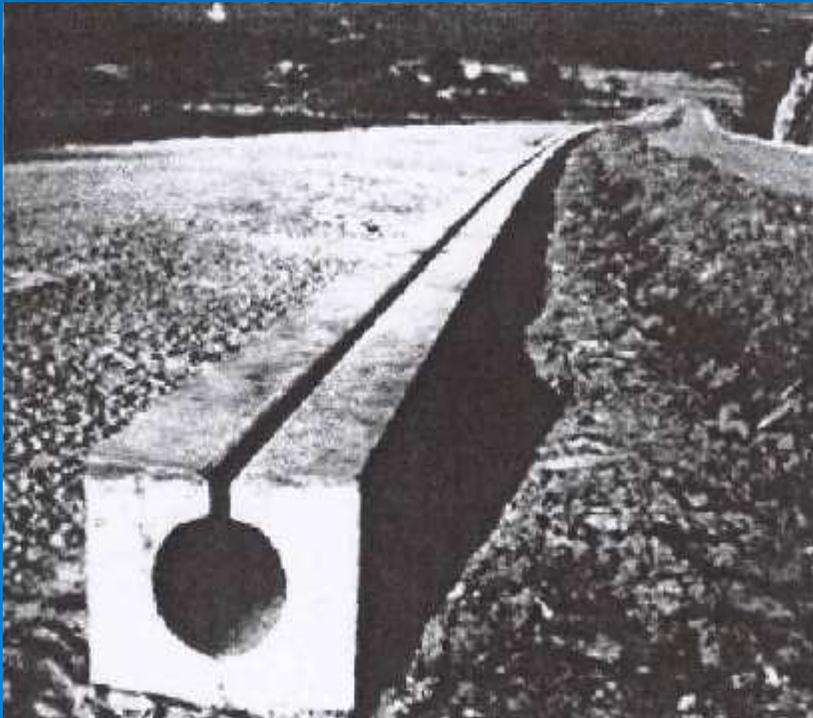
caditoia semplice caditoia con pozzetto caditoia con filtro

sifone nel collegamento tra caditoia e canale fognario per i cattivi odori

Riduzione dei sedimenti in ingresso alla rete

In bacini urbani ed extraurbani:

- Tipologie di tubazioni:

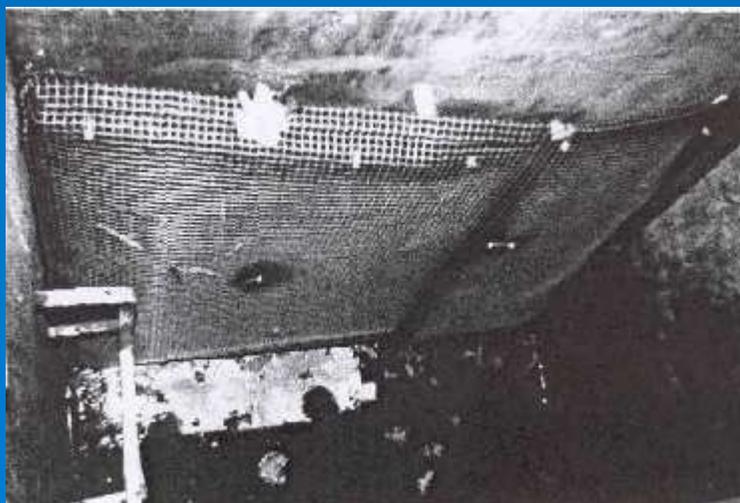


- slot drains (NATO airports)
- elevata efficienza di drenaggio
- riducono l'accesso delle granulometrie maggiori
- sistemi specifici per la pulizia

Riduzione dei sedimenti in ingresso alla rete

In bacini extraurbani:

- Griglie e reti:



- acciaio o altri materiali
- trattengono i materiali grossolani (sedimenti, fogliame, plastica, etc.)

➤ rischi di ostruzione e conseguenti rigurgiti della corrente



Riduzione dei sedimenti in ingresso alla rete

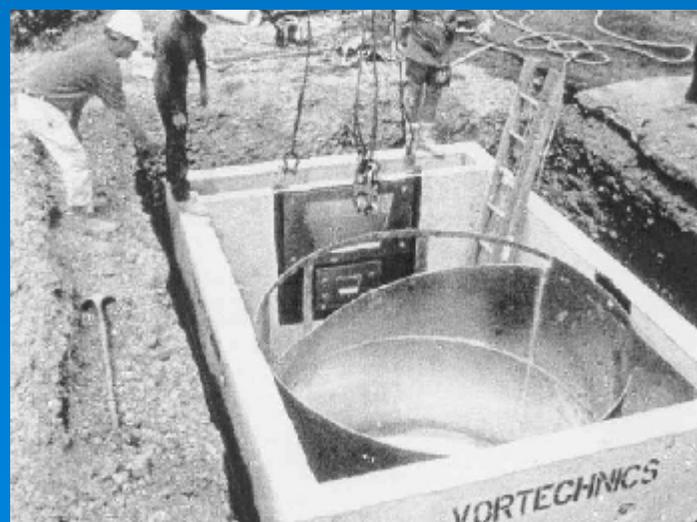
In bacini urbani ed extraurbani:

- Vasche di sedimentazione, trappole per sedimenti e separatori:

Trappola superficiale (Bogotà)



Separatore a vortice (Madison, WI)



- Trattenimento anche dei sedimenti di dimensioni minori

Riduzione dei depositi nei canali fognari

Dispositivi di rimozione

Dispositivi meccanici

- power rodder
- power bucket

Dispositivi idraulici

- pozzetti di cacciata
- getti in pressione
- flush balls
- paratoie mobili

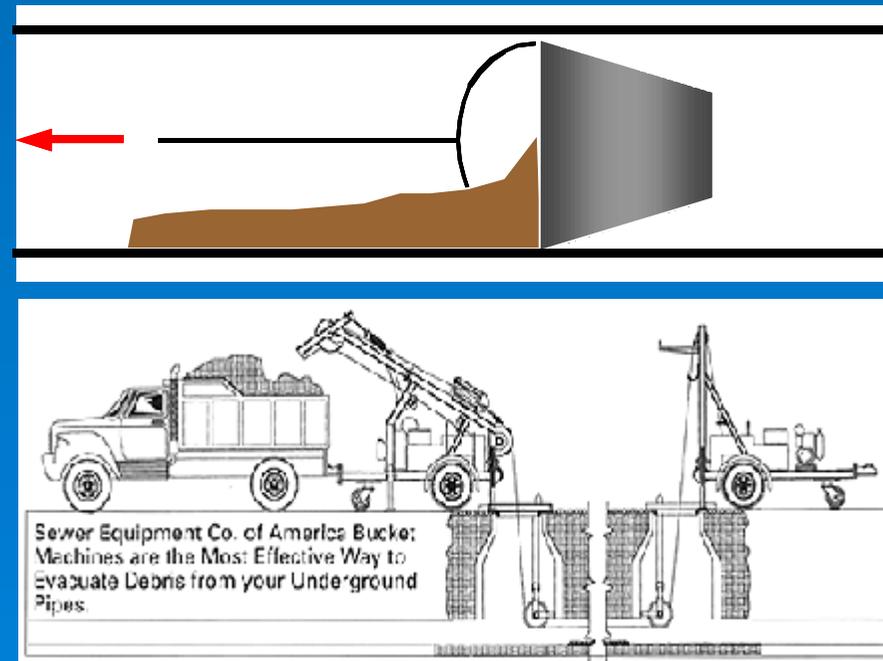
Dispositivi di intercettazione: trappole

Dispositivi meccanici

Power rodding



Power bucket



- ✓ efficaci nella rimozione dei depositi di fondo
- ✓ elevati costi di gestione
- ✓ non possono essere resi automatici

Dispositivi idraulici

Aspetti principali

- basati sulla azione erosiva di correnti idriche sui depositi;
- valutazione dello sforzo tangenziale al fondo τ determinato dalla corrente idrica;
- confronto con il valore di sforzo tangenziale critico τ_{cr} [N/m²] caratteristico del sedimento;
- determinazione del materiale eroso e del tipo di trasporto solido al fondo o in sospensione.

Caratteristiche

- elevati gradi di pulizia, con bassi costi di gestione;
- limitano l'accesso del personale tecnico all'interno dei collettori;
- possono essere in alcuni casi automatizzati.

Dispositivi idraulici

Getti in pressione

Applicazione alla rete di Marsiglia (*Laplace, 2003*)

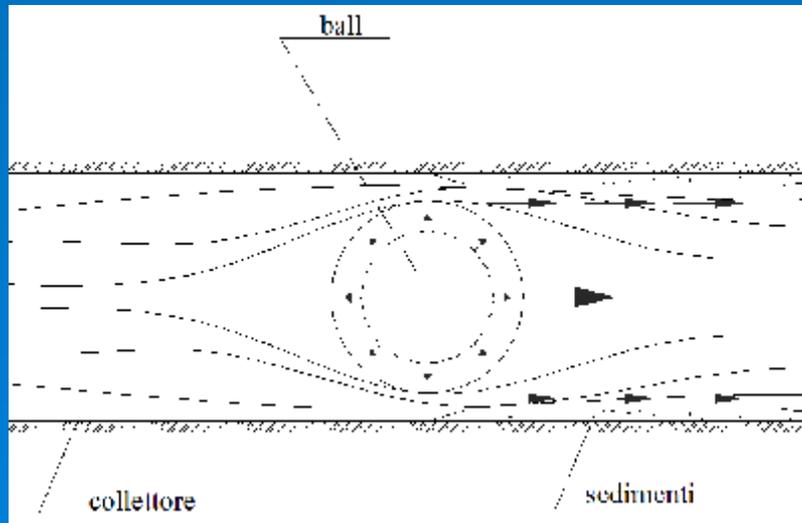


- basato sull'azione erosiva dei getti prodotti da appositi dispositivi;
- per canali accessibili (pluviali e misti).

Dispositivi idraulici

Flush balls

Schema di funzionamento



Fognatura di Gottingen (Lorenzen, 2003)

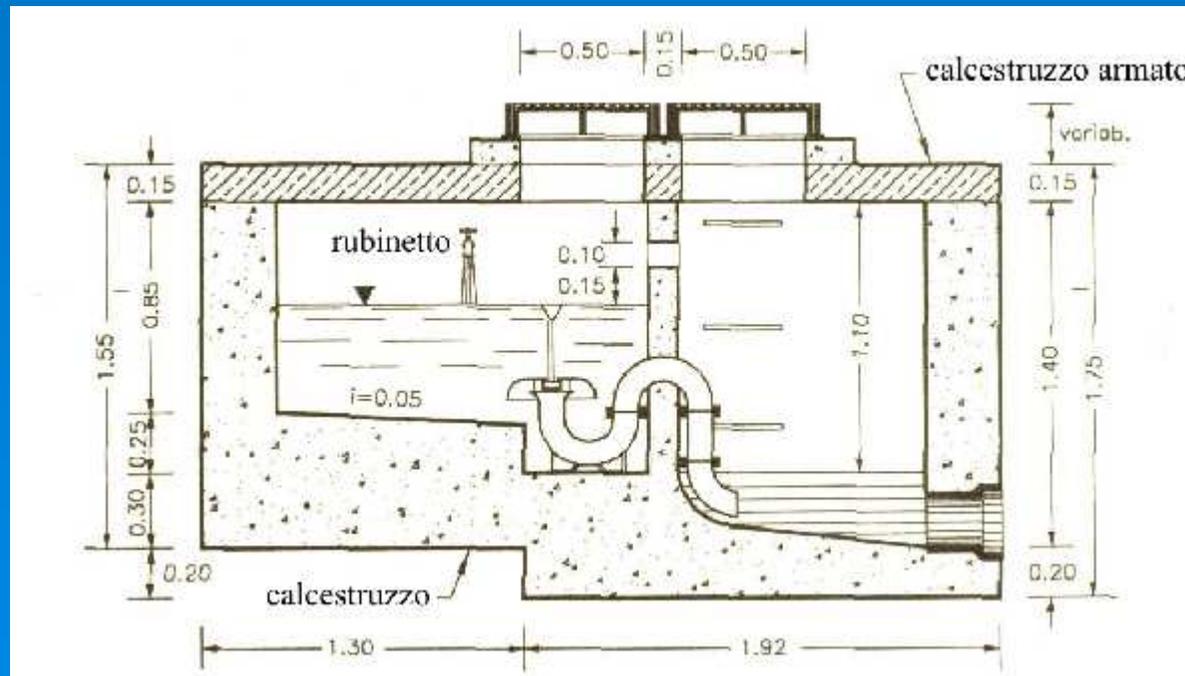


- basato sulle alte velocità generate attorno alla sfera;
- per canali con diametri fino a 0.6 m;
- metodologia idonea per materiali coesivi in fognature miste.

Dispositivi idraulici

Pozzetti di cacciata (pozzetto Milano, pozzetto Contarino)

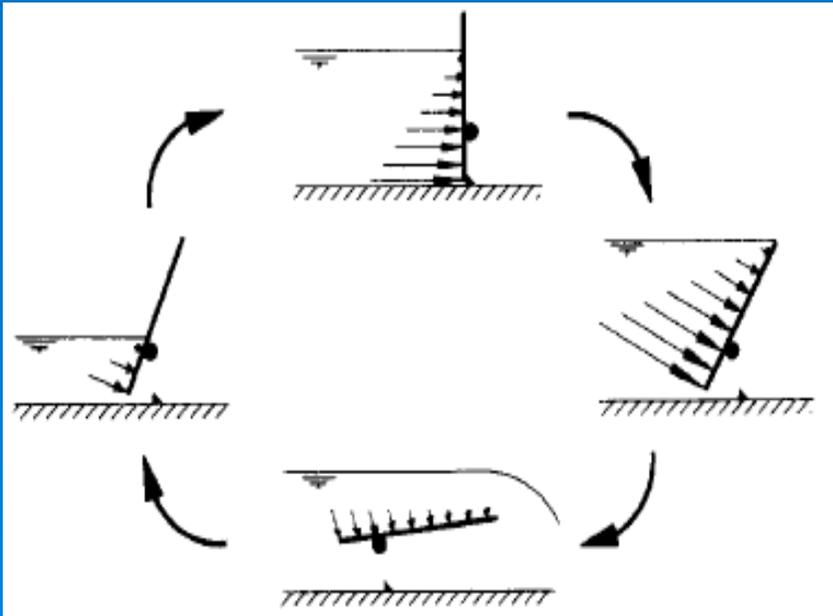
- in testa ai fognoli o nei tratti a debole pendenza;
- canali di piccole-medie dimensioni;
- operazioni di cacciata generalmente con spreco di acqua di qualità elevata (acquedotto);
- fino a portate massime di qualche decina di litri/s.



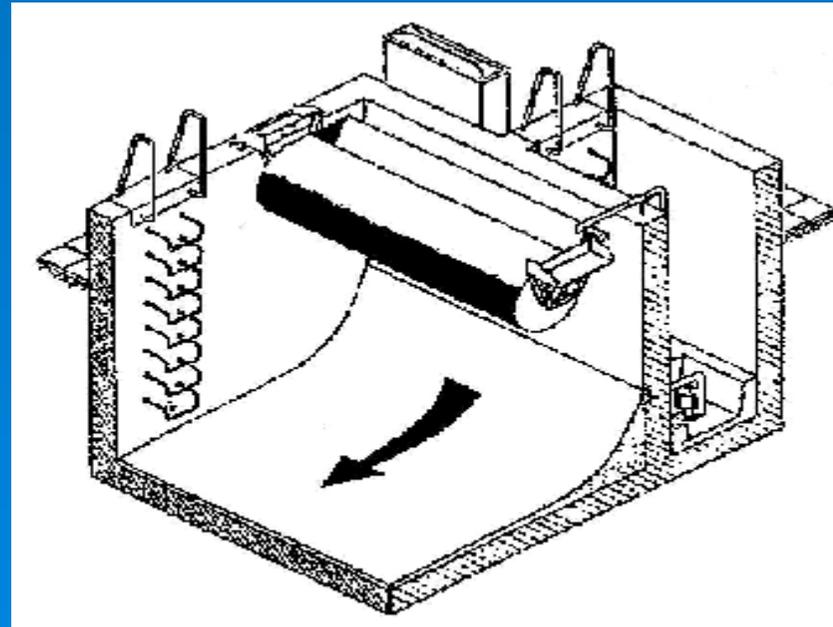
Dispositivi idraulici

Dispositivi a paratoia mobile (flushing gates)

- ✓ invaso e successivo rilascio di volumi idrici in brevi periodi di tempo;
- ✓ per ribaltamento o per sollevamento di un elemento mobile;
- ✓ onde di cacciata generate mediante le acque di tempo asciutto.



Hydrass flushing gate
(Sikora, 1994)



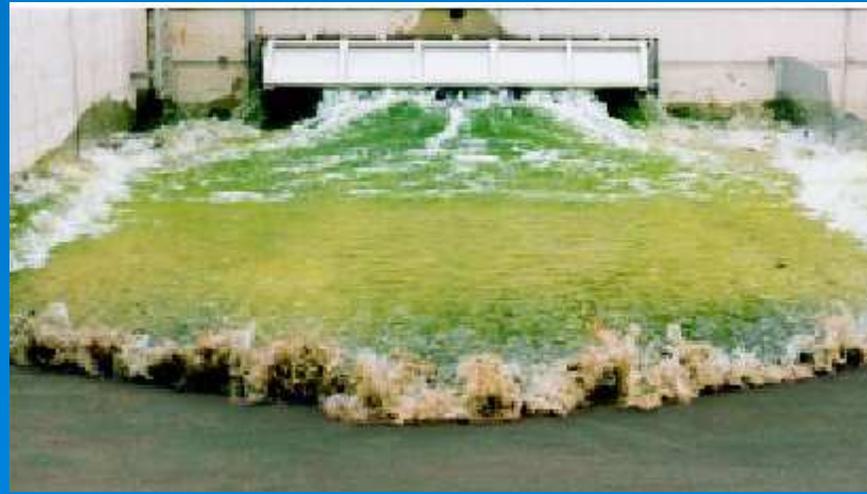
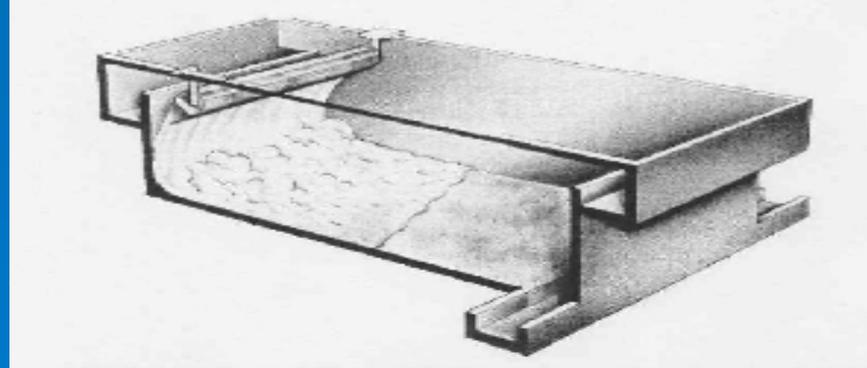
Tipping flusher - anche per vasche di
impianti di trattamento (Ashley, 2004)

Dispositivi idraulici

Dispositivi a paratoia mobile (flushing gates)



Hydrass gate (Lyon, ovoidale 1.2 m)



Tank flusher (Hydroself)

Dispositivi idraulici - Indagini sperimentali

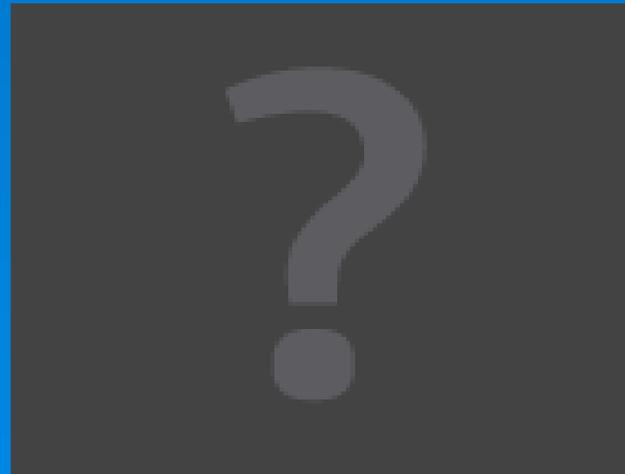
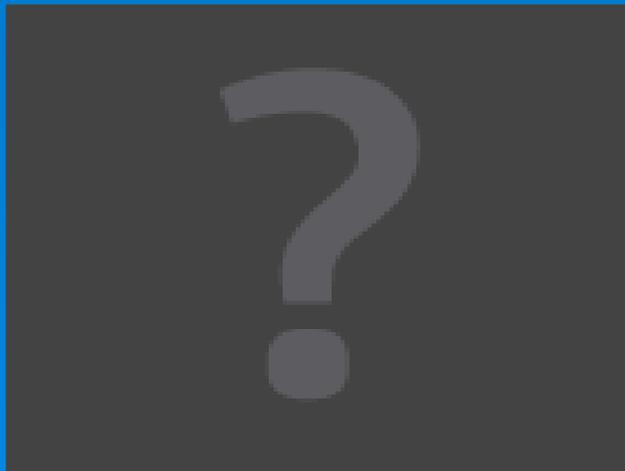
Dispositivi a paratoia mobile

✓ indagine sperimentale sugli effetti delle onde di cacciata in canali fognari (Laboratorio di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, DICA, Sede di Enna)



Collaborazioni consolidate con:

- ✓ INSA di Lyon (France)
- ✓ Università di Bradford (England)
- ✓ Università di Sheffield (England)



Dispositivi idraulici - Indagini sperimentali

Dispositivi a paratoia mobile

- ✓ diversi tipi di sedimento utilizzato (sabbie vulcaniche, sabbie silicee, ghiaie, etc.);
- ✓ diversi tipi di dispositivi di cacciata.



Sabbia silicea



Sabbia etnea



Paratoia verticale



Paratoie basculanti

Dispositivi idraulici - Indagini numeriche (solo idraulica)

Determinazione della lunghezza dei tratti di canale nei quali lo sforzo tangenziale è adeguato (Campisano e Modica, 2003)

✓ parametri dell'indagine

$$\bar{A}_0 = \frac{A_0}{h_0^2} \quad F_0 = \frac{Q_0}{A_0 \sqrt{gh_0}} \quad \bar{t}_f = \frac{t_f}{t_0} \quad \bar{x} = \frac{x \cdot i}{h_0}$$

✓ risultati: sforzi tangenziali adimensionalizzati massimi lungo il canale in funzione dell'ascissa adimensionale

ESEMPIO

$$D = 0.6 \text{ m}$$

$$i = 0.0015$$

$$k_s = 66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$Q_0 = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_f = 84 \text{ s}$$

$$\tau_{cr} = 1 \text{ N/m}^2$$

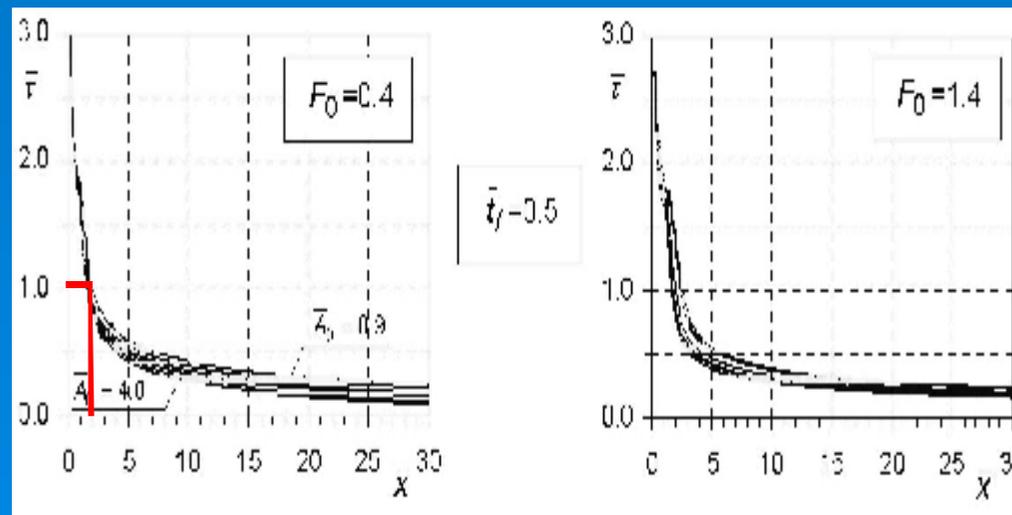
$$\bar{A}_0 = 3$$

$$F_0 = 0.4$$

$$\bar{t}_f = 0.5$$

$$\tau = 1.10$$

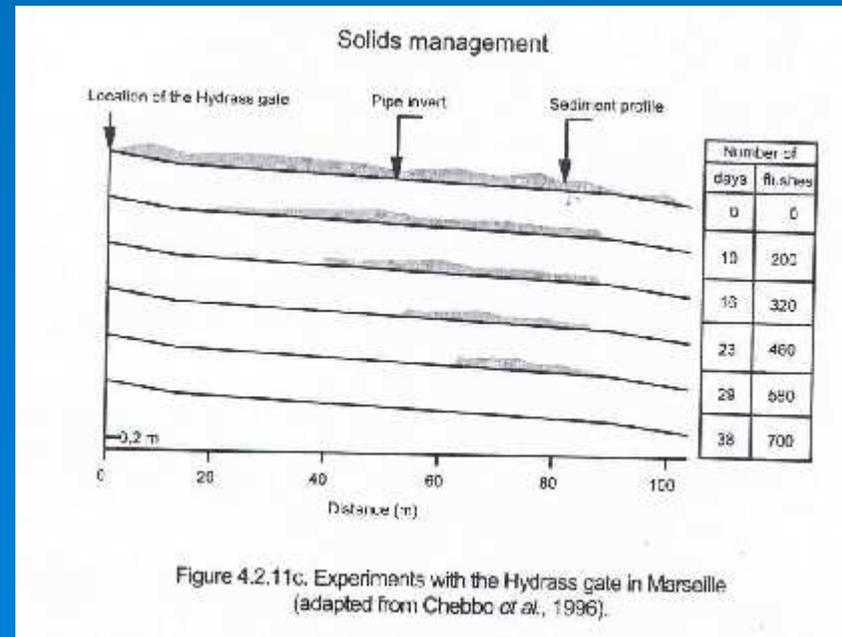
$$\bar{x} = 2 \Rightarrow x = 130 \text{ m}$$



Dispositivi idraulici - Indagini numeriche (idraulica + sedimento)

Dispositivi a paratoia mobile

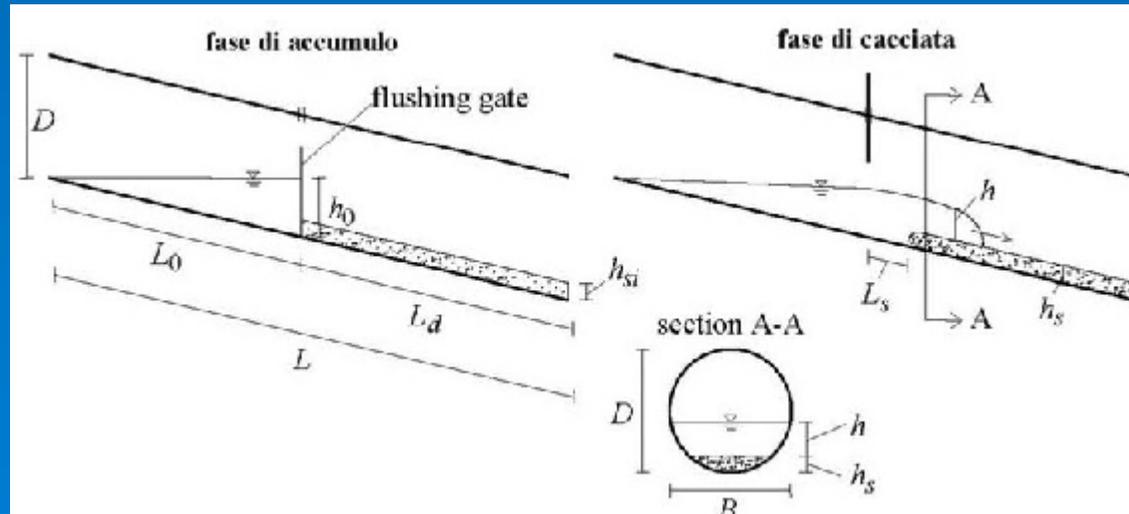
- ✓ elaborazione e validazione di un modello di simulazione per lo studio degli effetti di rimozione delle cacciate



- ✓ applicazione del modello per la valutazione dell'efficienza di pulizia e per il dimensionamento dei manufatti di cacciata

Dispositivi idraulici - Indagini numeriche (idraulica + sedimento)

Determinazione della lunghezza dei tratti di canale che è possibile pulire per mezzo di operazioni di cacciata (Campisano, Creaco e Modica, 2006)

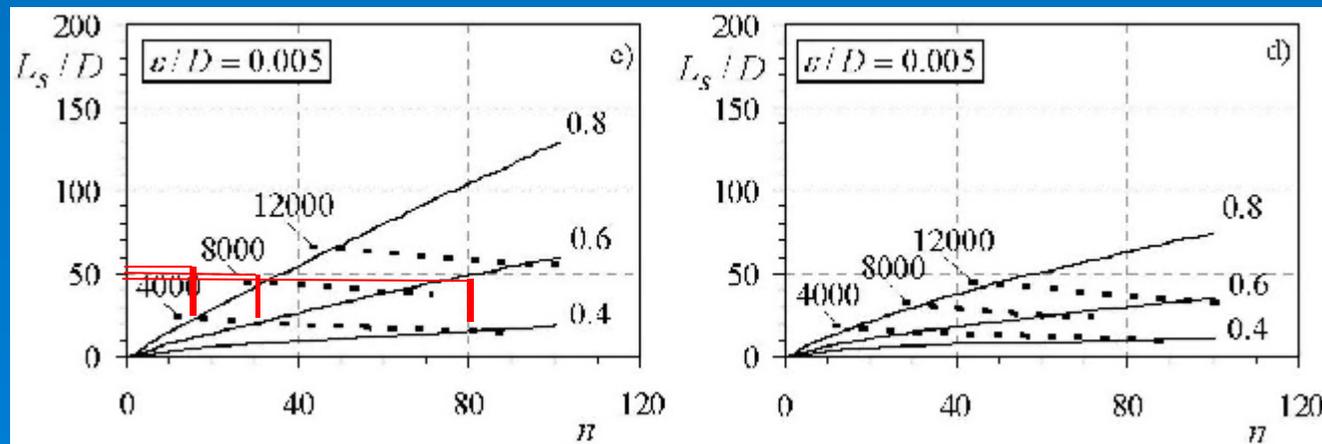


Parametro	Valori
Carico a monte del dispositivo h_0 / D	0.4; 0.6; 0.8
Pendenza del canale i	0.001; 0.003
Scabrezza del canale adimensionale s / D	0.001; 0.005; 0.015
Altezza iniziale dimensionale dei depositi \bar{h}_{si}	$0.1 \bar{D}$
Diametro mediano adimensionale dei sedimenti d_{50}	$0.01 h_{si}$; $0.03 h_{si}$
Porosità p dei sedimenti	0.35; 0.50

Dispositivi idraulici - Indagini numeriche (idraulica + sedimento)

Determinazione della lunghezza dei tratti di canale che è possibile pulire per mezzo di operazioni di cacciata (*Campisano, Creaco e Modica, 2006*)

✓ L_s/D in funzione di n per diversi valori dei parametri



ESEMPIO

$$D = 0.5 \text{ m}$$

$$i = 0.001$$

$$k_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$Q_{up} = 5.8 \text{ l/s}$$

$$s = 2.6$$

$$p = 0.50$$

$$h_{si} = 0.05 \text{ m}$$

$$d_{50} = 0.5 \text{ mm}$$

$$\epsilon/D = 0.005$$

$$d_{50} = 0.01 h_{si}$$

$$Vol = 4000$$

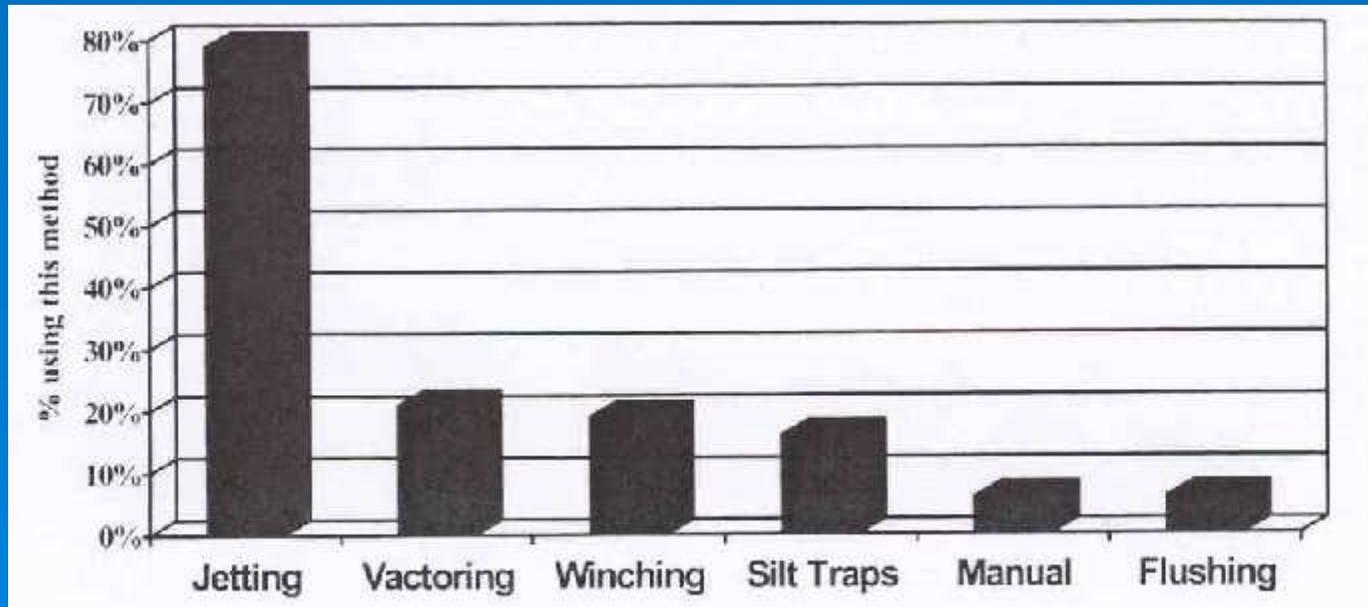
$$11.5 \text{ m per } h_o/D = 0.8$$

$$10.5 \text{ m per } h_o/D = 0.6$$

$$8.0 \text{ m per } h_o/D = 0.4$$

Dispositivi idraulici

Metodologie utilizzate per la pulizia delle fognature - risultati dedotti da 19 sistemi fognari inglesi (*Fraser et al., 1998*)



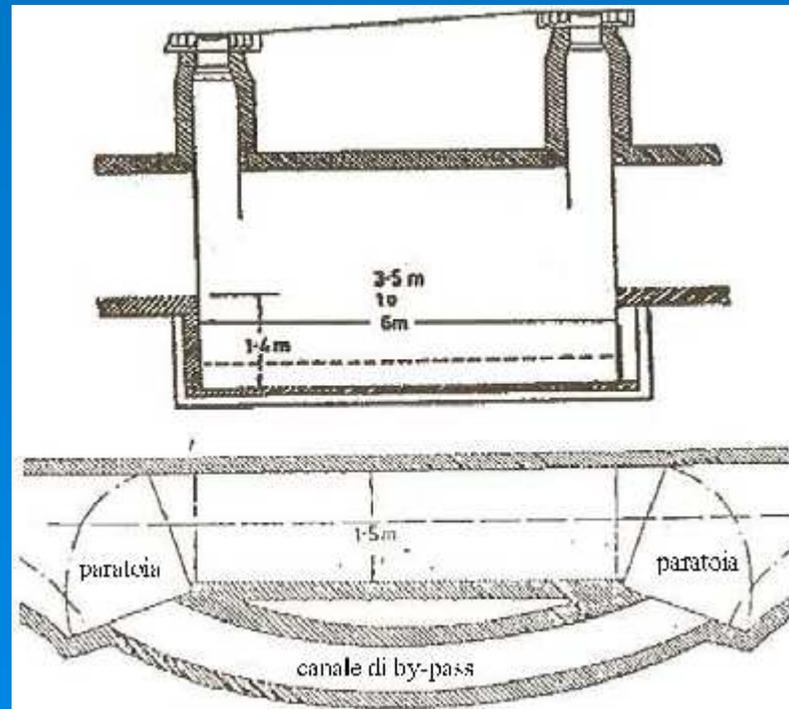
Dispositivi di intercettazione

Trappole per sedimenti

Varie tipologie in funzione del tipo di sedimento da catturare:

- ✓ silt traps ($V \cong 10 \text{ m}^3$ per intercettare materiale fine);
- ✓ grit chambers ($V \cong 100 \text{ m}^3$ per intercettare materiale più grossolano);
- ✓ bed-load traps (per intercettare sabbie grosse e materiale al fondo).

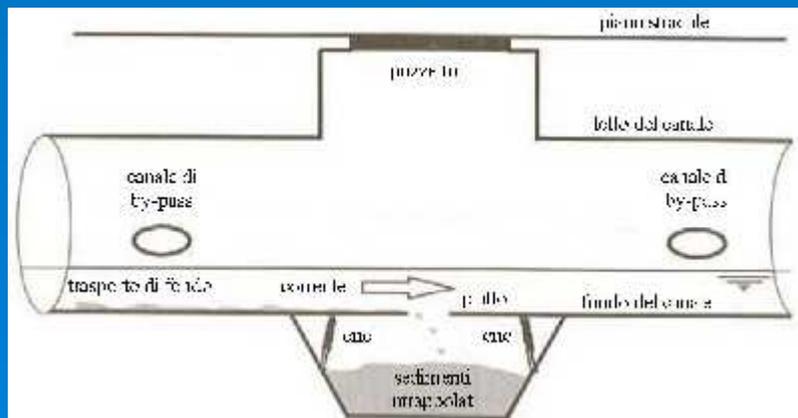
Silt trap
(Dundee, UK)



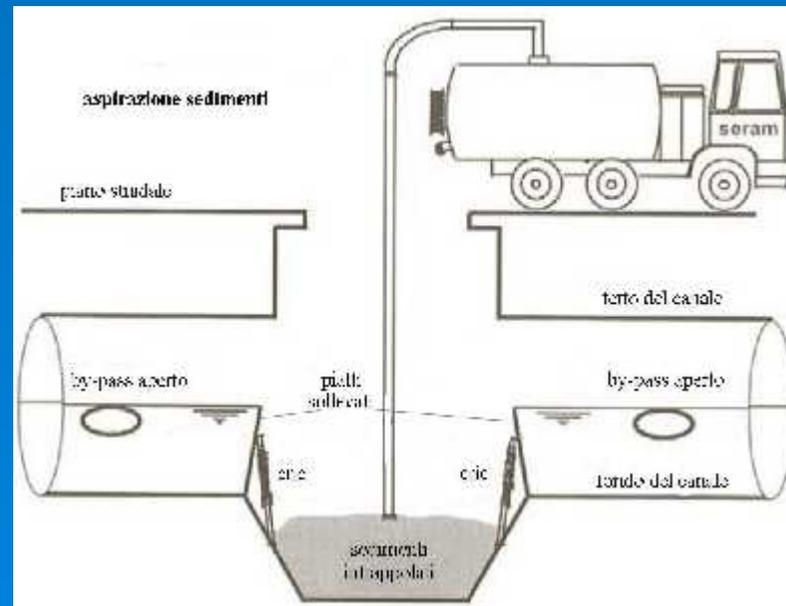
Dispositivi di intercettazione

Trappole per sedimenti

Bed-load trap (Laplace et al, 1998)



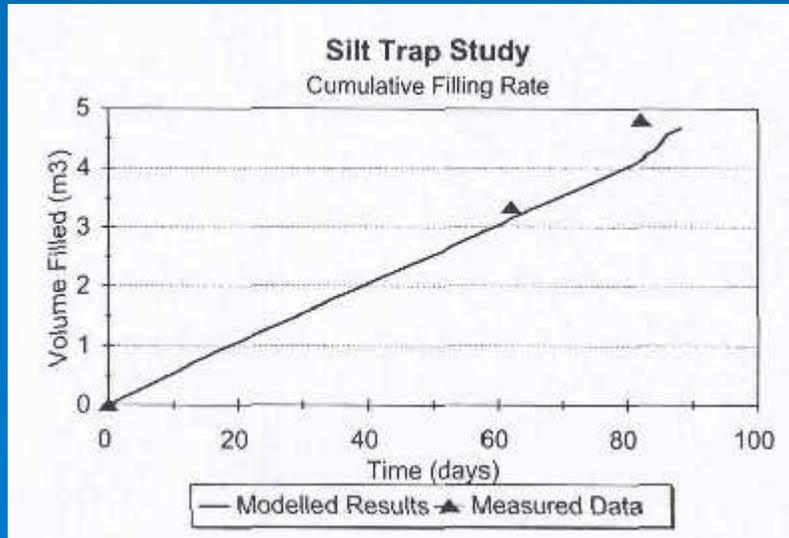
Fase di riempimento



Fase di svuotamento

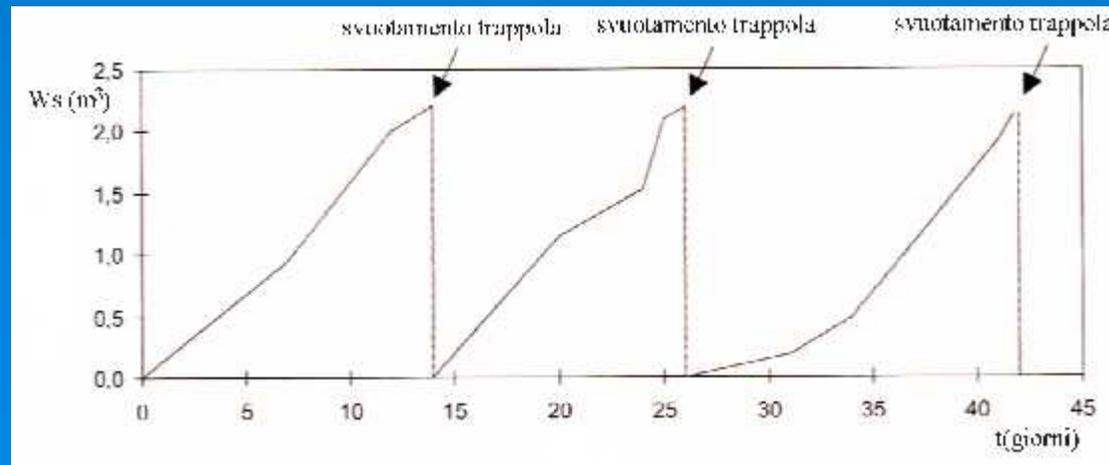
Dispositivi di intercettazione

Trappole per sedimenti



Velocità di riempimento della "Dundee Meadowside trap" (Ashley, 2004)

Valutazione della frequenza di pulizia (Laplace, 1998)

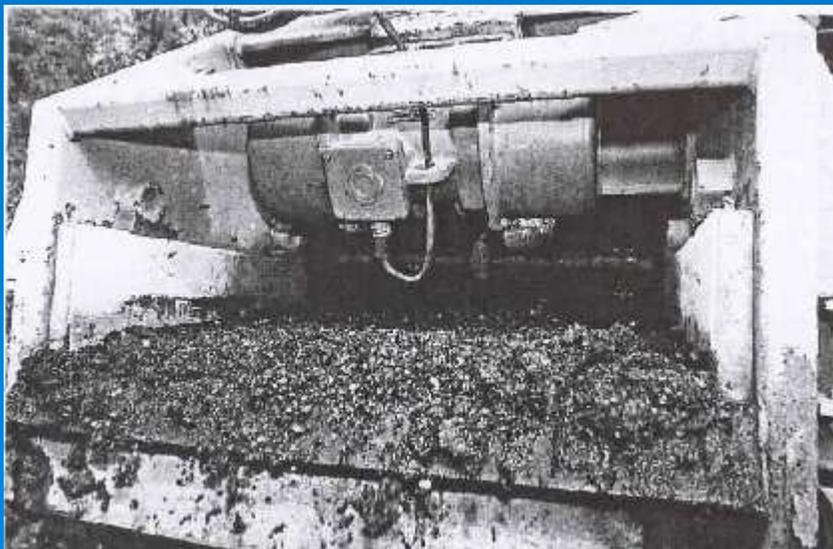


Trattamenti, riuso e discarica

Misure per il trattamento e lo stoccaggio dei sedimenti rimossi:

Nel distretto di Seine Saint Denis (Parigi) (*Bertrand-Krajewski, 2004*):

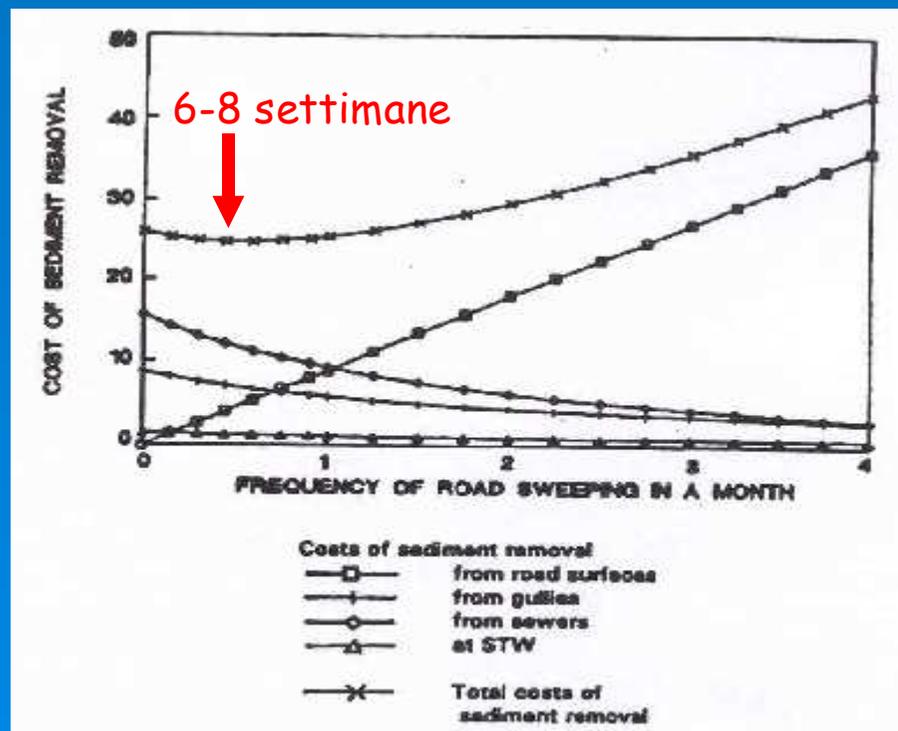
- lavaggio e separazione della parte minerale (fogge pluviali o unitarie);
- maturazione della parte minerale (a 3 mesi);
- riuso delle sabbie o degli inerti per lavori pubblici (sottofondi di campi sportivi, colmate, etc.).



Piani di gestione dei sedimenti

La stesura dei piani di gestione ordinaria dei sedimenti richiede:

- ✓ l'individuazione degli interventi da adottate;
- ✓ la valutazione dell'efficienza delle tecniche selezionate;
- ✓ la valutazione dei costi relativi a ciascuna tecnica;
- ✓ determinazione delle frequenze di pulizia del sistema.



Determinazione della frequenza ottimale di pulizia del sistema strada-fognatura - indagine su fognature inglesi (Butler a Clark, 1993)

Conclusioni

La gestione dei sedimenti nelle reti di fognatura necessita di:

- ✓ Mappatura della rete fognaria;
- ✓ Individuazione delle tipologie di sedimento;
- ✓ Individuazione delle aree a maggiore rischio
- ✓ interventi di riduzione dei sedimenti in ingresso;
- ✓ interventi di rimozione dei depositi in rete;
- ✓ misure per il trattamento dei sedimenti rimossi



Piani per la gestione
periodica dei sedimenti



**Grazie per
l'attenzione !**

