



PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE NELLE ACQUE DI PIOGGIA: PRIME INDAGINI SPERIMENTALI

Patrizia Piro, Marco Carbone, Giovanni Tomei

Dipartimento di Difesa del Suolo “V. Marone”
Università degli Studi della Calabria







- Inquinamento causato dallo scarico di acque pluviali e miste nei ricettori: problema ben noto: *assenza di strategia comune*
- strategia combinata (Hydrology Restoration) con interventi a più livelli:
- riduzione delle portate pluviali attraverso capacità di ritenzione locali
- infiltrazione attraverso le superfici stradali permeabili
- controllo in tempo reale per ottimizzare la capacità dei collettori
- invasi per l'immagazzinamento delle acque di sfioro, trattamento delle acque pluviali e miste



ORIGINE DEL CARICO INQUINANTE



Contributi interni

Solidi sedimentati in fognatura durante i periodi asciutti



Contributi esterni

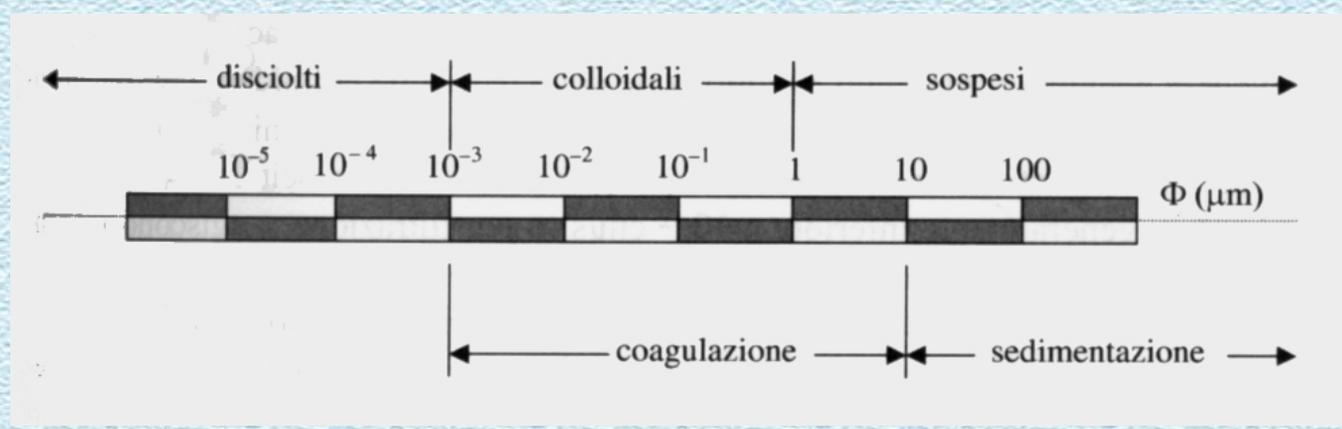
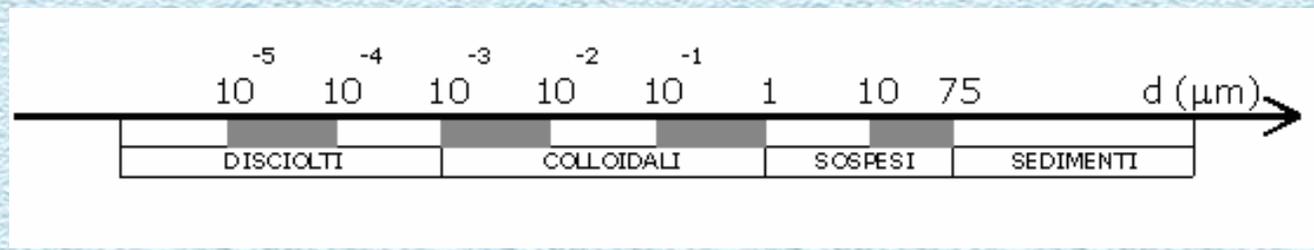
Dilavamento delle superfici stradali, dei tetti e delle aree a verde



- confronto con l'esperienza di altri Paesi: una strategia molto in uso per la riduzione dei carichi inquinanti è il controllo dei solidi trasportati al fondo o sospesi
- gran parte del carico inquinante delle acque pluviali e miste può essere eliminato assieme ai solidi, in quanto presente sotto forma di particolato



I solidi presenti nelle acque reflue sono caratterizzati da una estrema eterogeneità delle dimensioni, che variano da quelle caratteristiche del materiale grossolano sino a quelle delle particelle colloidali





- Una delle più gravi limitazioni nella progettazione delle unità di trattamento è l'uso di equazioni di progettazione basate su parametri aggregati non specifici, ad esempio, la domanda biochimica di ossigeno (BOD) e il tenore di solidi in sospensione (SS), in cui i costituenti sono sconosciuti
- Anche i Solidi Sospesi sono un parametro aggregato, infatti questa misura non fornisce informazioni sulla natura delle particelle e sulla loro distribuzione dimensionale

- **Obiettivo** : andare oltre l'uso di parametri aggregati , tramite l'analisi della distribuzione dimensionale delle particelle, della partizione dei parametri aggregati

- La conoscenza delle dimensioni consente di verificare l'efficienza di alcune unità di trattamento, quali la sedimentazione, la filtrazione e la disinfezione



- *Decreto Legge 152/99 e Testo Unico 2006*

- *I solidi sospesi costituiscono i principali vettori di inquinanti nel refluo fognario*

- vasche di prima pioggia realizzate con una funzione essenzialmente di accumulo temporaneo e successivo invio all'impianto di trattamento

criteri legati alla frequenza evento di piena (ai volumi per ettaro di bacino urbano servito)

- tale approccio non prevede trattamento del volume immagazzinato: importanti quantità di inquinanti vengono rimosse dal refluo in seguito alla sedimentazione delle particelle solide presenti

criteri legati all'effetto di sedimentazione



Sedimentazione:

operazione che consente di rimuovere dalle acque le particelle sospese (generalmente solidi) di densità superiore a quella dell'acqua (precipitazione per gravità)

Parallelamente possono essere rimosse anche altre particelle di densità inferiore che sono in grado di risalire sulla superficie

A seguito della separazione di queste particelle si ha la chiarificazione dell'acqua, la produzione di fango (sospensione concentrata di solidi in acqua) sul fondo e di materiale flottato in superficie

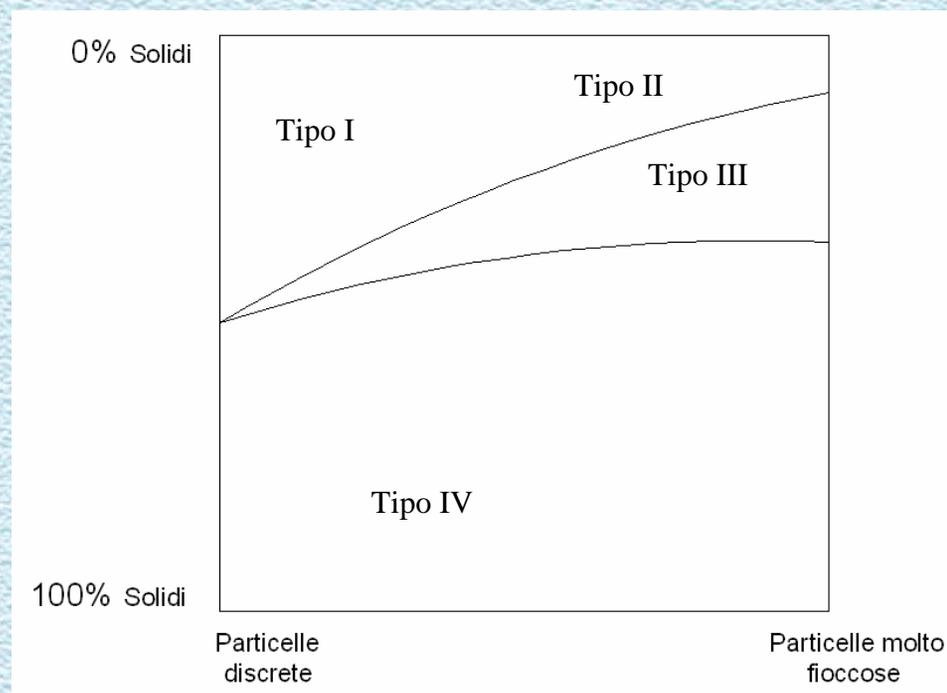


Sedimentazione I: concentrazione dei solidi bassa e tendenza ad interagire tra loro nulla, caratteristica delle particelle discrete

Sedimentazione II: a concentrazione dei solidi bassa ma con tendenza ad interazioni tra le diverse particelle: fenomeni di flocculazione

Sedimentazione III: in acque con concentrazione dei solidi relativamente alta e interazioni che ostacolano la sedimentazione delle singole particelle: il movimento di una particella è vincolata alle adiacenti e ognuna si trova in una posizione fissa rispetto alle altre; movimento di massa che porta generalmente alla formazione di un'interfaccia solido-liquido

Sedimentazione IV: in acque con concentrazione dei solidi talmente alta che le particelle si trovano a contatto tra loro attraverso il film liquido che le circonda: la sedimentazione è provocata dall'azione di compressione esercitata dal peso delle particelle che provengono dal liquido sovrastante e vanno ad aggiungersi a quelle già sedimentate





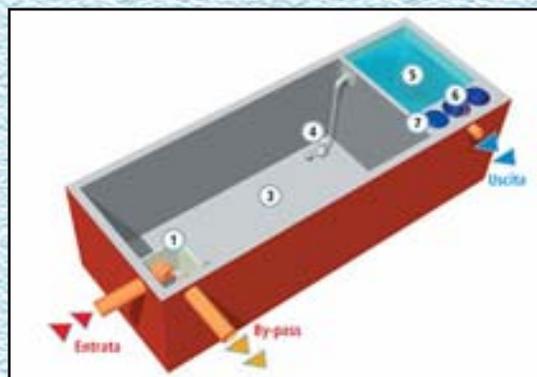
Introduzione

- *Procedure di progettazione delle unità di trattamento*

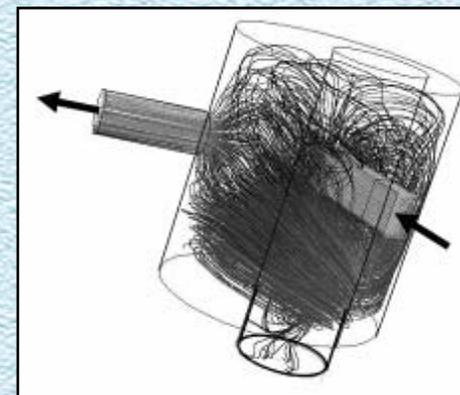
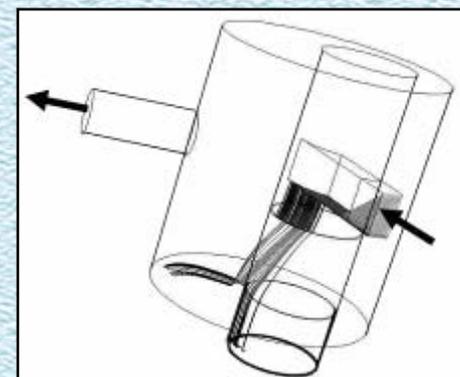
*COLONNA DI
SEDIMENTAZIONE*



*MODELLO
FISICO*



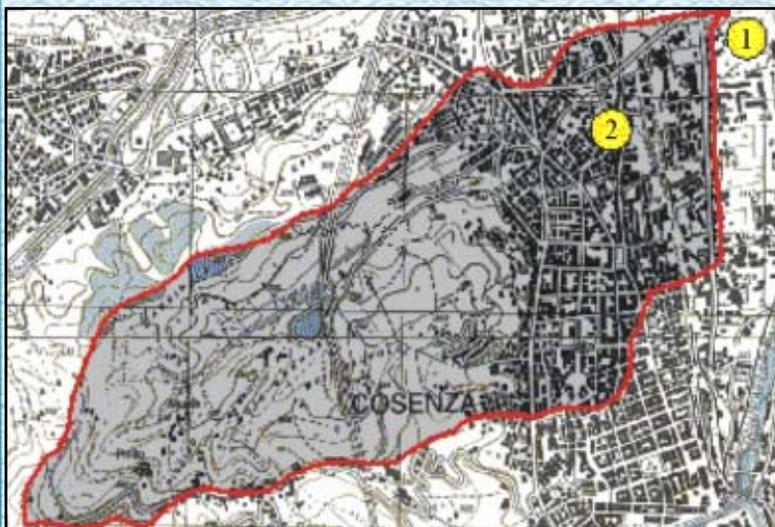
*FLUIDODINAMICA
COMPUTAZIONALE*



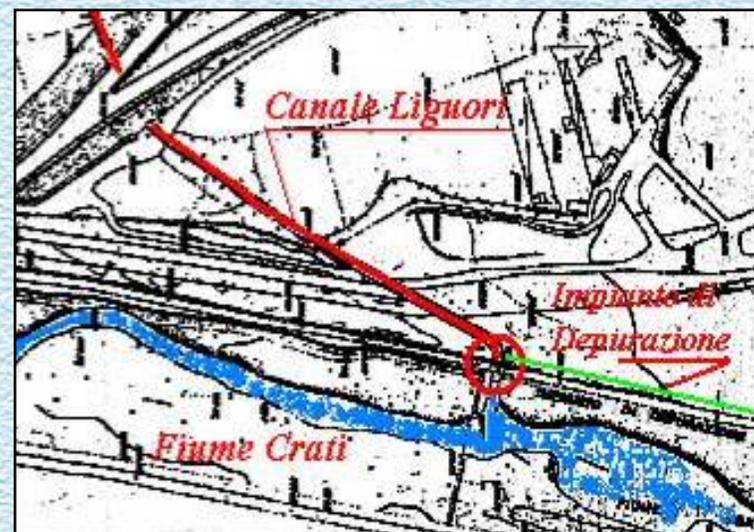


Indagine sperimentale

- Tra l'ottobre/07 e luglio/08 sono state eseguite una serie di prove.
- Il prelievo di 300 litri di refluo fognario.



- 1 - Pluviometro, sensore di livello ad ultrasuoni e campionatore di qualità
2 - Pluviometro





Indagine sperimentale

L'efficienza di rimozione dei solidi è stata valutata con prove sperimentali di sedimentazione condotte in colonna





Indagine sperimentale



- *Fasi del prelievo*





Indagine sperimentale

- *Trasporto del campione al laboratorio di analisi delle acque*





Indagine sperimentale

La concentrazione iniziale del campione deve essere omogenea.





Indagine sperimentale

- *Miscelazione del campione*





Indagine sperimentale

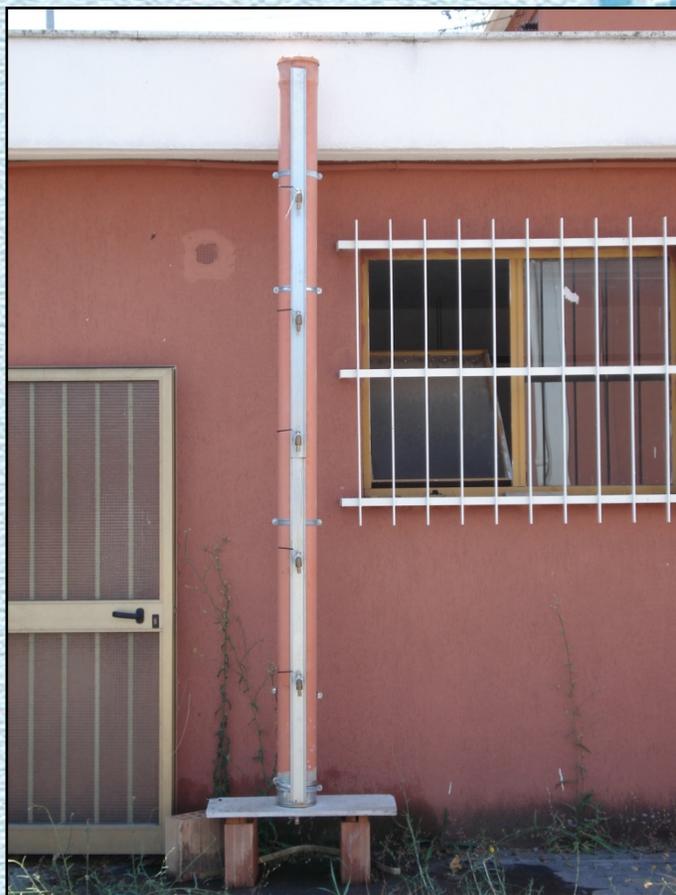
- *Riempimento della colonna*





Indagine sperimentale

Colonna di sedimentazione in PVC

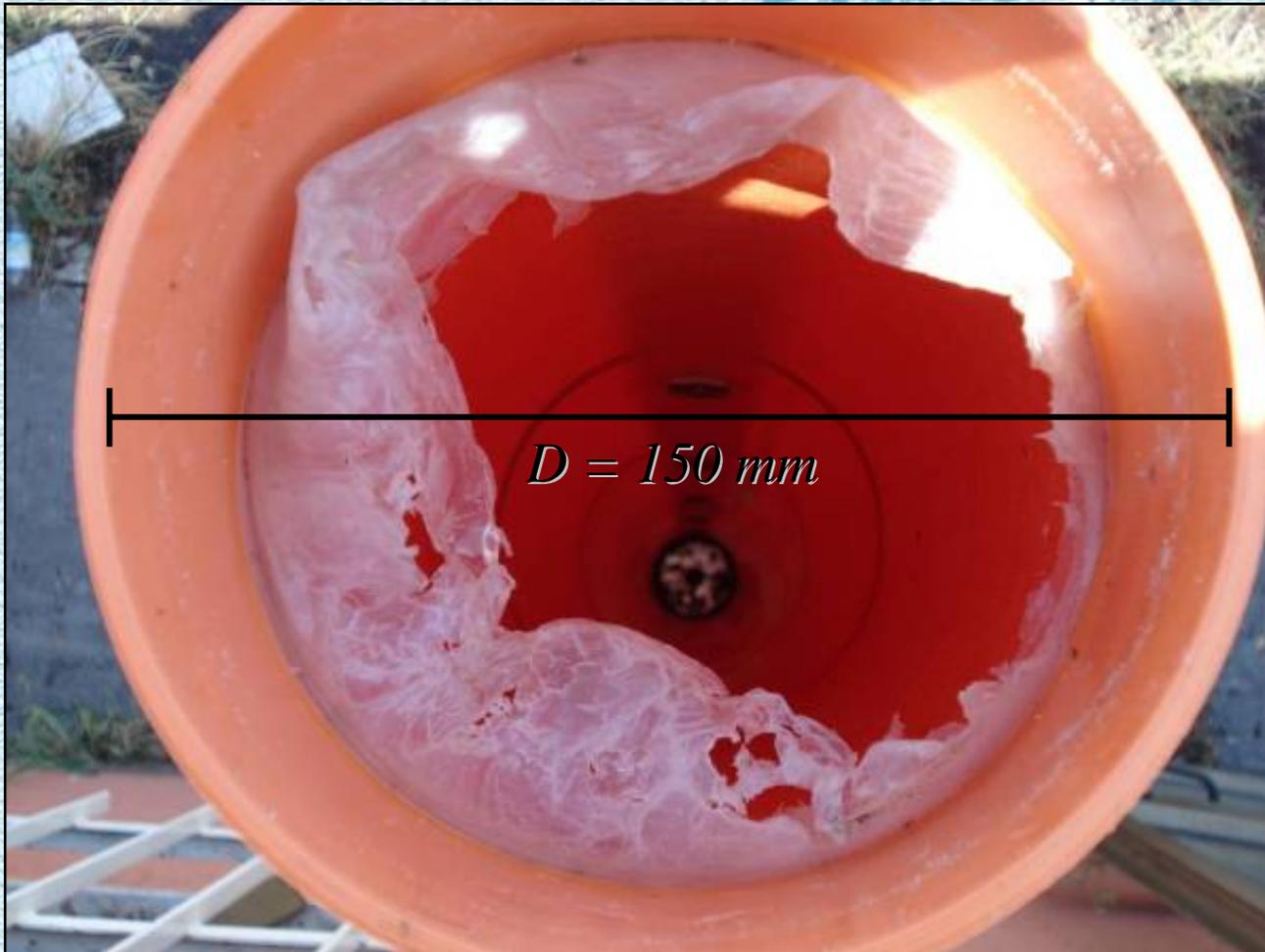


$$H = 3 \text{ m}$$



Indagine sperimentale

Interno della colonna di sedimentazione





Indagine sperimentale



Rubinetti di prelievo



$i = 50 \text{ cm}$

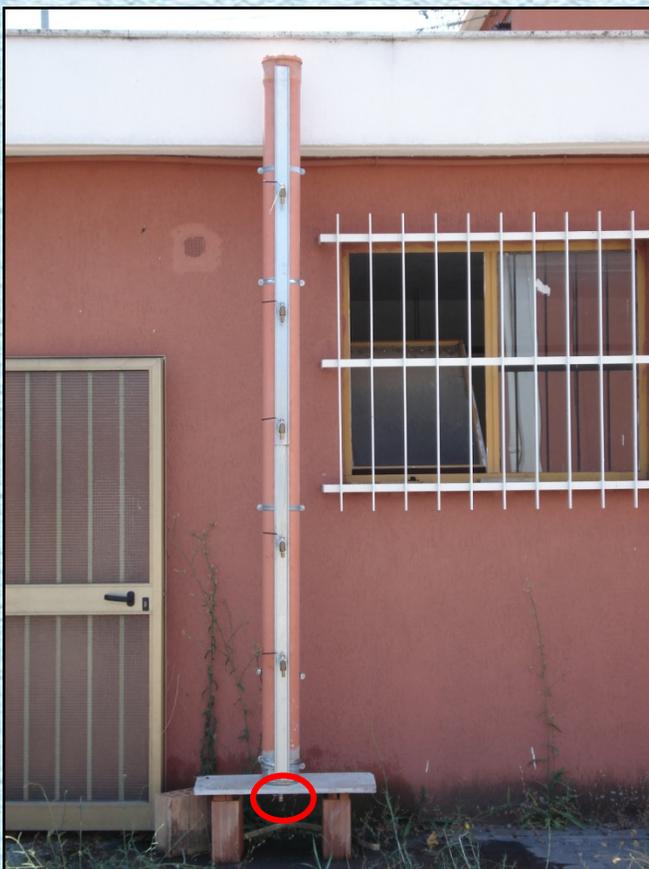




Indagine sperimentale



Scarico di fondo





Indagine sperimentale

Verificata l'assenza di vortici dovuti all'agitazione del liquido, si inizia il test prelevando un provino in testa e uno in base alla colonna per confermare la distribuzione omogenea del campione (tempo zero)





Indagine sperimentale

Il prelievo dei campioni veniva effettuato ogni 5 minuti dai 5 punti di presa



La durata del test deve essere pari al tempo di detenzione idrica previsto per la vasca.

- *40 minuti*



- *Analisi dei solidi sospesi*



Il filtro deve avere pori di diametro medio pari a $0,45 \mu\text{m}$.



- *Analisi dei solidi sospesi*



Ogni bottiglietta richiedeva in media oltre un'ora e mezza.



Indagine sperimentale

Il filtro veniva trasferito con il suo contenuto in una stufa alla temperatura di 105°C dove rimaneva per più di una decina di ore.





- *Stima dei solidi sospesi*

$$C \text{ [mg / l]} = \frac{[(M_1 - M_0) \cdot 1000]}{\left(\frac{V}{1000}\right)}$$

dove

- M_1 è il peso (gr) del filtro e del residuo dopo essiccamento (Final Weight);

- M_0 è il peso (gr) del filtro (Tare Weight);

- V è il volume (ml) di campione sottoposto a filtrazione (Volume Filtered).



- *Stima della percentuale rimossa E_i*

$$E_i = \left(1 - \frac{C_i}{C_0} \right) \cdot 100$$

dove

- C_0 è la concentrazione iniziale dei solidi sospesi uniforme per tutta la colonna, determinata come media delle concentrazioni di due campioni prelevati all'istante iniziale dal punto più alto e più basso della colonna;

- C_i è la concentrazione dei solidi sospesi valutata in corrispondenza della profondità del pt. di prelievo (dal pelo liquido dentro il cilindro) e dell'intervallo di tempo (dal tempo zero).



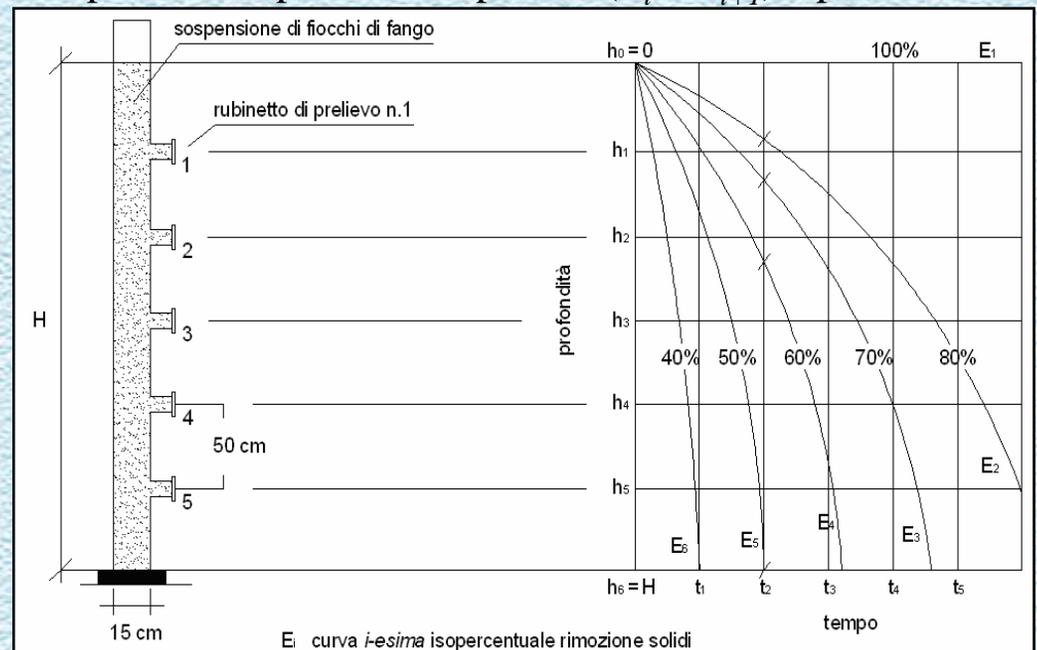
Sedimentazione di Tipo I, la pendenza della retta passante per $t = \Theta_H$, cioè $E(\Theta_H)$, rappresenta la velocità di sedimentazione v_0 per un'assegnata dimensione d_0 della particella; dunque le curve di efficienza di rimozione così ottenute consentono, fissato un istante $t = \Theta_H$, di determinare univocamente la frazione di particelle completamente rimosse dalla colonna, cioè la frazione di particelle con dimensione $d \geq d_0$.

- Per determinare la percentuale globale di particelle rimosse dalla colonna si dovranno considerare anche le particelle aventi dimensione $d < d_0$ (cioè velocità di sedimentazione $< v_0$), le quali vengono rimosse soltanto parzialmente. Per tener conto di queste particelle, avendo imposto una distribuzione iniziale uniforme, il rapporto di rimozione associato alle particelle di dimensione $d_i < d_0$, sarà proporzionale al rapporto fra la profondità h_p , dove queste sono completamente rimosse, e la profondità H della colonna; nel caso di distribuzioni dimensionale continua, alle particelle con diametri compresi tra d_i e d_{i+1} , le quali sono presenti in percentuali pari ad $(E_i - E_{i+1})$ è possibile associare un rapporto di rimozione

$$h_{i,i+1} / H$$

per cui la quantità di queste rimosse dalla colonna sarà pari a

$$(E_i - E_{i+1}) h_{i,i+1} / H$$

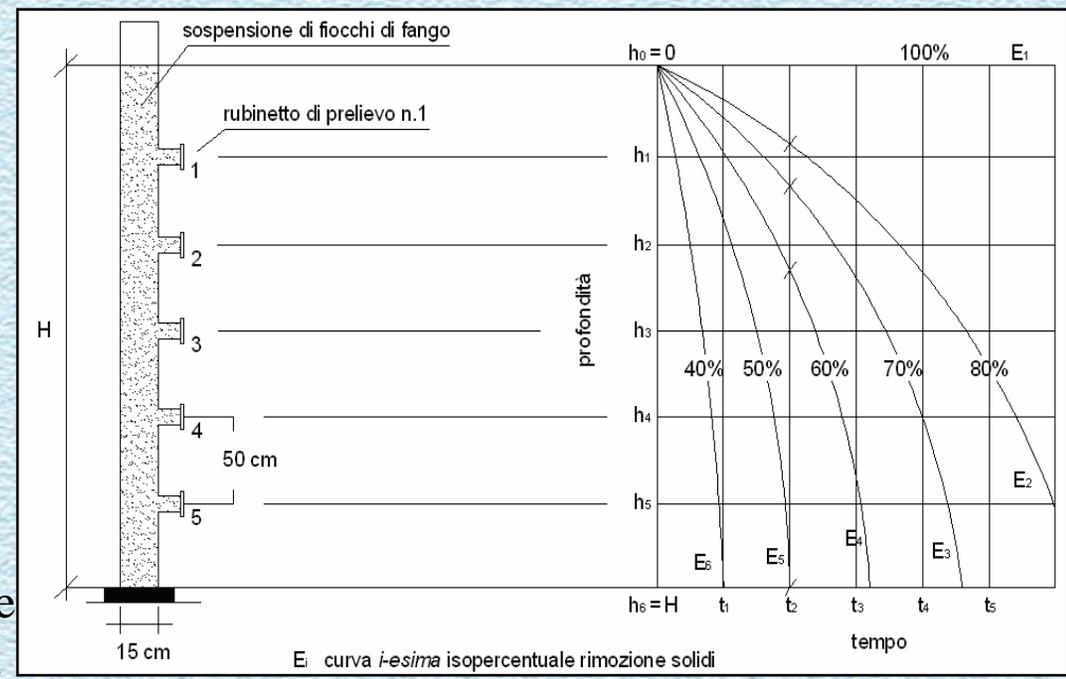




Sommando i singoli contributi corrispondenti agli intervalli fra le diverse dimensioni, si ricava l'efficienza globale di rimozione (E_{tot}):

$$E_{tot} = E(\theta_H) + \sum_i (E_i - E_{i+1}) \cdot \frac{h_{i,i+1}}{H}$$

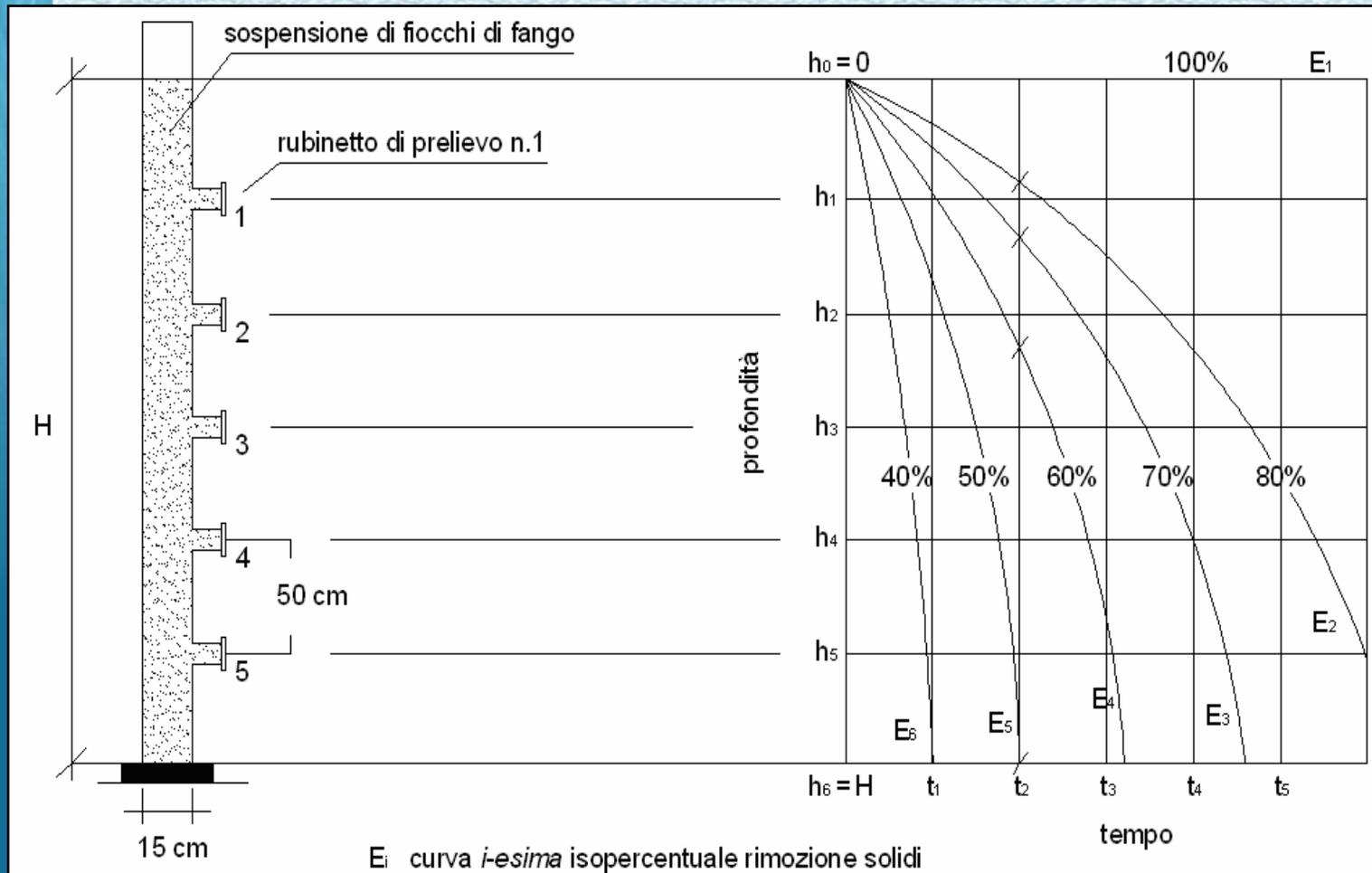
- H altezza del dispositivo
- $E(\theta_H)$ è la curva a efficienza di rimozione costante passante per il punto (θ_H, H)
- E_i, E_{i+1} sono le curve a efficienza di rimozione costante con efficienza superiore a quella di $E(\theta_H)$;
- $h_{i,i+1}$ è la profondità del punto medio del segmento che collega le due curve E_i e E_{i+1} considerate, valutata lungo la verticale passante per $t = \theta_H$



E_i curva i-esima isopercentuale rimozione solidi



Dall'efficienza di rimozione per ogni provino si è proceduto al tracciamento delle curve di percentuale di rimozione su un piano profondità-tempo: dai singoli provini, univocamente individuati da profondità e tempo di prelievo, si ottengono più punti utili alla costruzione delle curve a efficienza di rimozione costante





Indagine sperimentale



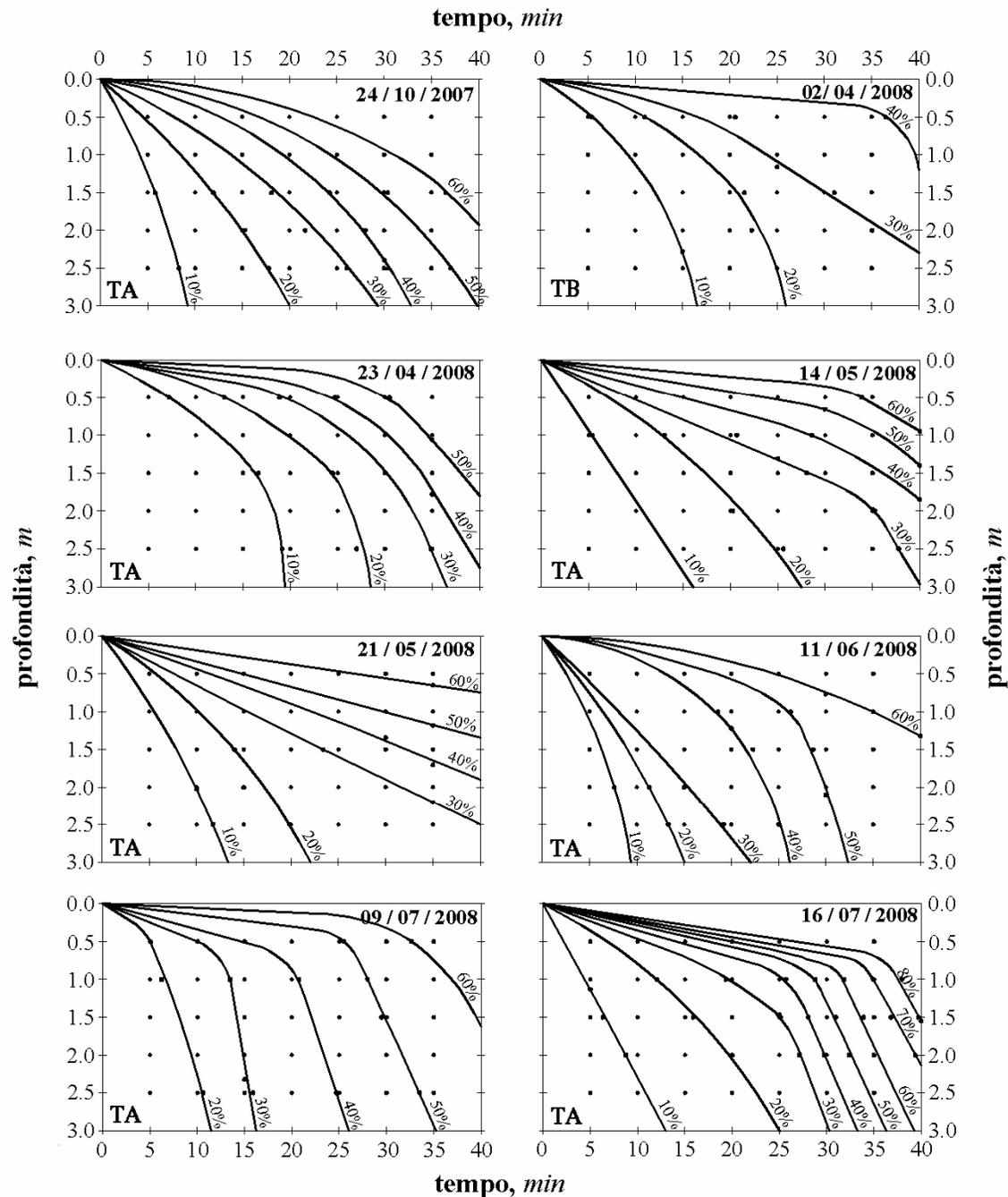
- *Analisi dei solidi sospesi*

Depth (m)	Time of sampling (min)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
0,5	80,81	76	54,55	56,67	64,62	16	121,43	0	0	A
1	75	77,42	64,62	60,26	75,71	39	160	29,17	23,96	B
1,5	68,93	68	48,05	75	68,25	38,89	81,43	25,93	30,56	C
2	65,22	66,67	82,67	70,51	16,67	42,93	18,92	13,64	10	D
2,5	70,59	60,27	70,67	72	54,67	46	40	29	29	E
3	237,74	283,08	222,37	271,64	304,35	361	49,23	249	218	F
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



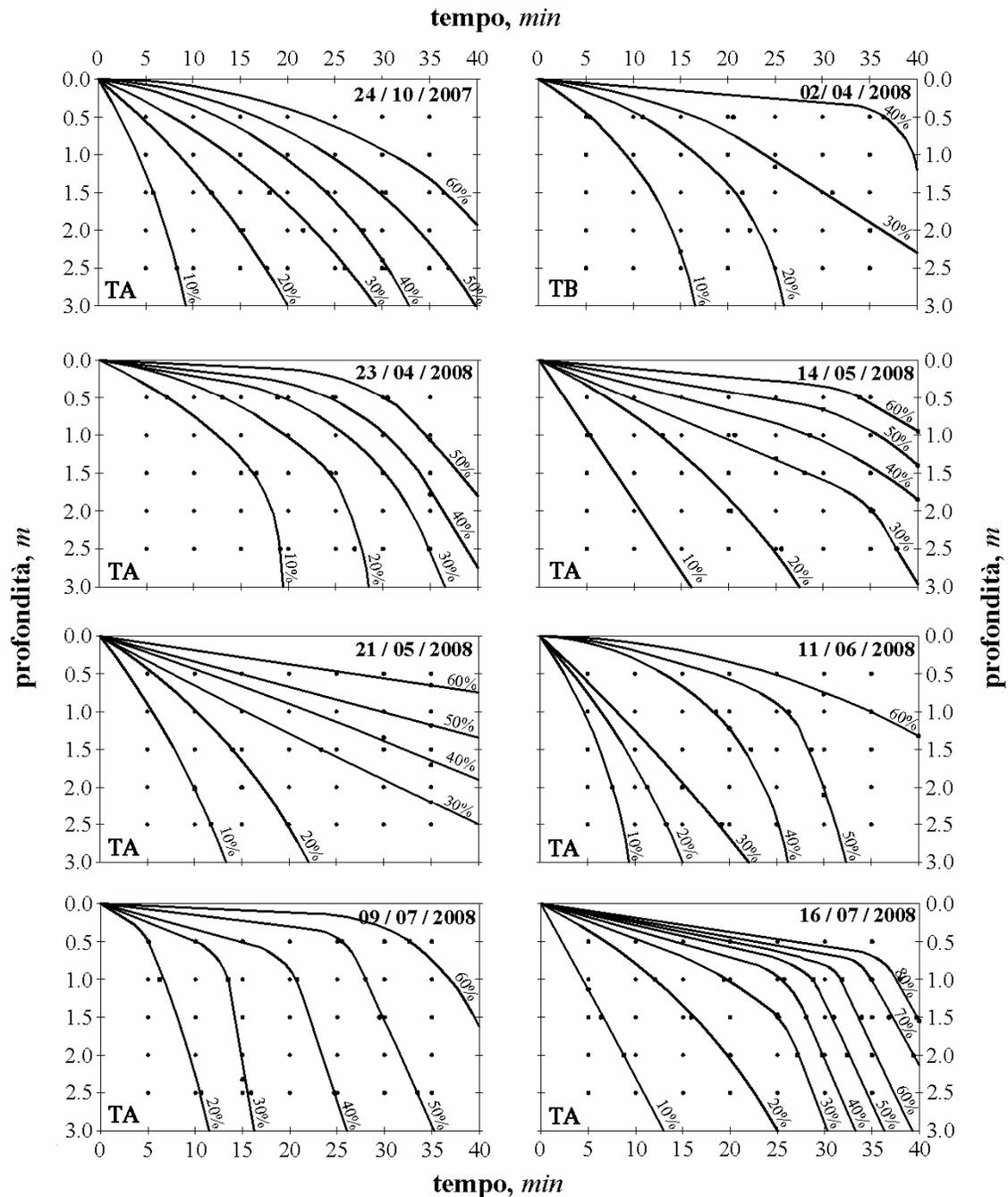
I risultati delle prove hanno consentito una serie di osservazioni utili alla caratterizzazione del processo di sedimentazione per le acque reflue del LC sia in condizioni di T_A e T_B

- aumento della v_0 con il tempo tipico nei processi di sedimentazione di Tipo II



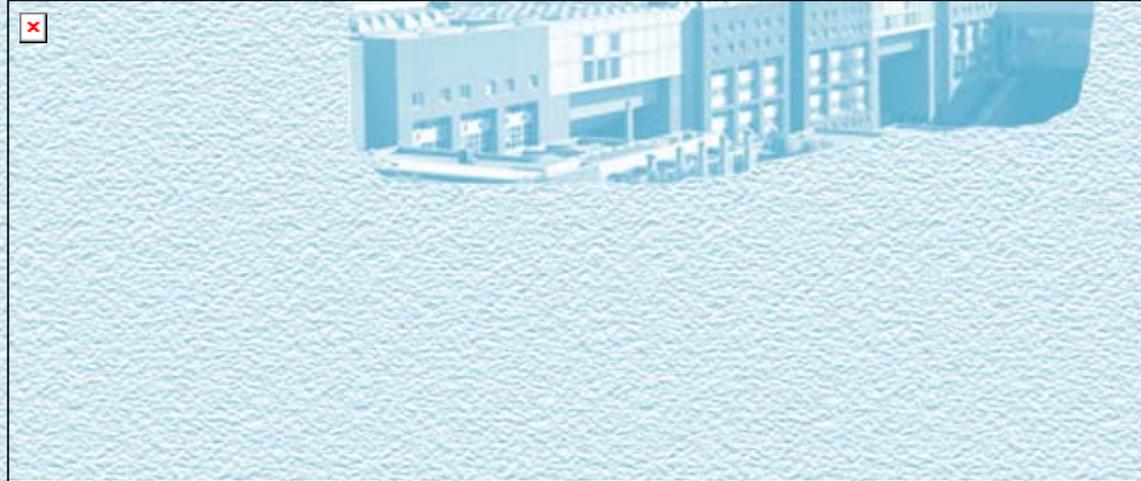


- è possibile distinguere tre diverse regioni:
- un primo tratto a pendenza pressoché costante
- un secondo tratto $0.5 \text{ m} \leq h \leq 2 \text{ m}$: brusca e importante variazione di pendenza
- un tratto finale dove la pendenza ritorna nuovamente costante





la pendenza della curva
rappresenta istante per istante la
velocità di sedimentazione delle
particelle solide

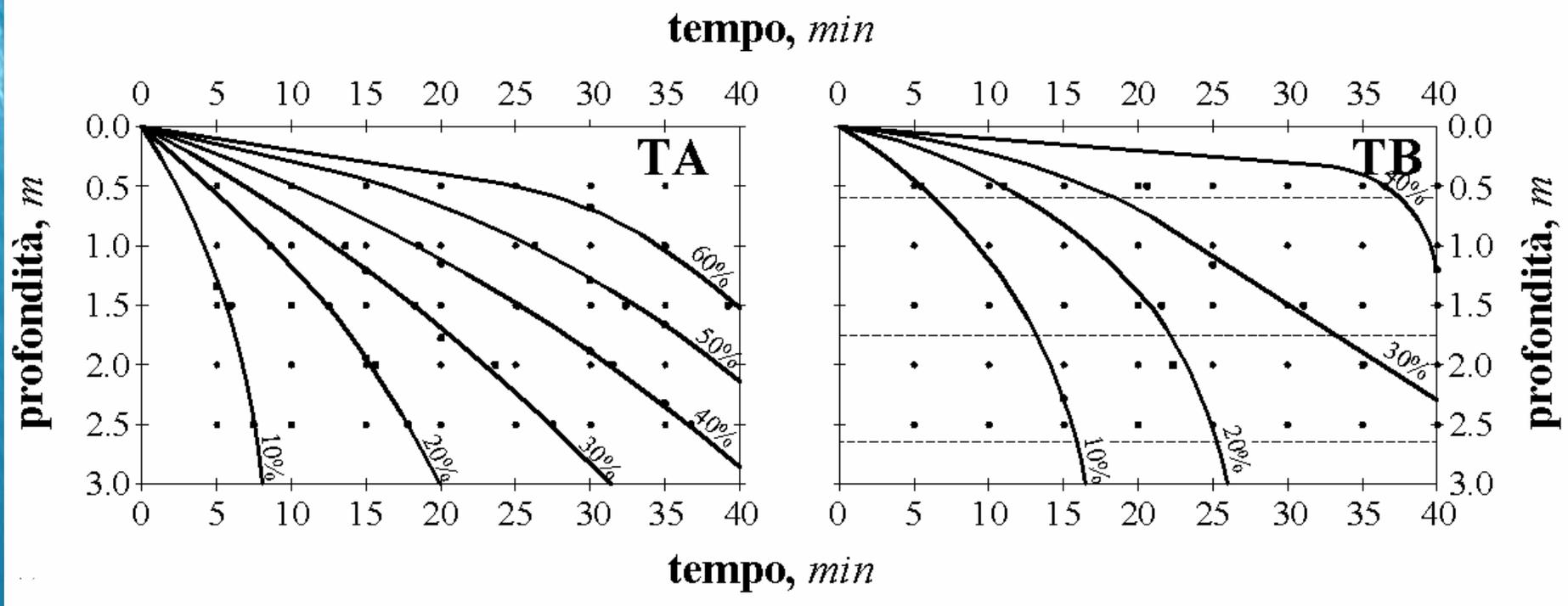


- è possibile ipotizzare che nel tratto iniziale e finale tali sostanze si comportino come particelle discrete (sedimentazione tipo I), mentre nel tratto intermedio manifestino dei comportamenti flocculanti che portano a dei processi di sedimentazione di tipo II
- le particelle inizialmente sedimentano in maniera autonoma le une dalle altre (sedimentazione tipo I)
- man mano che la prova va avanti, tra le profondità 0.5 m e 2 m, cominciano ad interagire tra di loro e tendono ad agglomerarsi sotto forma di fiocchi, aumentando di dimensioni e quindi di massa, e pertanto si spostano con velocità più elevate (sedimentazione tipo II)
- Una volta raggiunte le massime dimensioni possibili, i fiocchi sono sufficientemente distanti tra di loro, per cui si depositano sul fondo con velocità costante secondo un meccanismo di sedimentazione di tipo I



- La descrizione delle curve mostra che la possibile flocculazione dei solidi sospesi si verifica fino ad una profondità di 2 metri, oltre la quale l'influenza di tale processo sulle particelle decresce. Una prima considerazione che scaturisce da questa analisi porta a fissare una profondità minima per una vasca di sedimentazione al fine di ottenere un'efficace rimozione dei solidi sospesi presenti nel refluo urbano.
- I risultati delle prove evidenziano per un tempo di residenza idraulica pari a 40 minuti e la profondità di 3 m, un'efficienza di rimozione globale E_{tot} dei solidi sospesi, mediata su tutte le prove, di poco superiore al 60%

Data	Condizioni climatiche		
16/07/2008	TA	62%	80 %
09/07/2008	TA	53%	69%
11/06/2008	TA	54%	67%
21/05/2008	TA	27%	51%
14/05/2008	TA	30%	54%
23/04/2008	TA	36%	62%
02/04/2008	TB	28%	48%
24/10/2007	TA	50%	71%
	Valore Medio	42,5%	63,7%



processi di sedimentazione sia di tipo I che di tipo II



Efficienze globali di rimozione per diversi tempi di residenza idraulica in TA e TB

θ_H (min)	TA		TB	
	$E(\theta_H)$	E_{tot}	$E(\theta_H)$	E_{tot}
20	20%	40%	14%	26%
25	25%	45%	18%	31%
30	28%	51%	24%	34%
35	34%	57%	25%	37%
40	38%	64%	28%	48%
Valore Medio	29%	51%	22%	35%

Diversa caratterizzazione granulometrica della frazione solida presente nel refluo fognario

Tendenza simile si è riscontrata anche durante le indagini sulle curve di distribuzione dimensionale delle particelle : dal confronto fra le curve si è osservato che in TB le distribuzioni erano caratterizzate da particelle di dimensione più piccola rispetto a quelle osservate in condizioni di tempo asciutto



Conclusioni

