

Serie Ordinaria n. 2 - Martedì 07 gennaio 2020

D.g.r. 23 dicembre 2019 - n. XI/2723

Approvazione delle «Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie» e degli «Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori» in attuazione di quanto disposto dagli articoli 13, comma 3 e 14, comma 2 del regolamento regionale n. 6 del 2 aprile 2019

LA GIUNTA REGIONALE

Vista la Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce per l'azione comunitaria in materia di acque, denominata Direttiva Quadro delle Acque (DQA);

Vista la Direttiva 91/271/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1991, concernente il trattamento delle acque reflue urbane;

Visto il d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 «Norme in materia ambientale», parte terza «Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche»;

Vista la legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 «Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche» ed in particolare l'art. 52 «Criteri generali per l'attività regolamentare»;

Considerato l'Aggiornamento del Piano di Gestione distretto idrografico fiume Po approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, che definisce gli obiettivi di qualità che i corpi idrici devono raggiungere entro il 2021 e il 2027 e individua le misure necessarie per contenere ed eliminare gli impatti che causano il degrado delle risorse idriche e impediscono il raggiungimento della buona qualità;

Vista la d.g.r. del 31 luglio 2017 n. 6990 «Approvazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque, ai sensi dell'art. 121 del d.lgs. 152/06 e dell'art. 45 della legge regionale 26/2003» (PTUA), che rappresenta sviluppo operativo a livello regionale del Piano di gestione distretto idrografico fiume Po richiamato al punto precedente;

Considerato che l'art. 18 «Aggiornamento degli strumenti normativi e di indirizzo» delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del suddetto PTUA specifica puntuali aspetti della disciplina di settore che devono essere oggetto di aggiornamento in attuazione delle misure di piano KTM01-P1-a001 - «Implementazione della disciplina degli scarichi», KTM21-P1-a098 - «Disciplina e trattamento delle acque di prima pioggia in ambito urbano ed industriale e delle acque di sfioro delle reti fognarie miste» e KTM21-P1-b099 - «Disciplina e indirizzi per la gestione del drenaggio urbano»;

Visto il r.r. n. 6 del 29 marzo 2019 «Disciplina e regimi amministrativi degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane, disciplina dei controlli degli scarichi e delle modalità di approvazione dei progetti degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, in attuazione dell'articolo 52, commi 1, lettere a) e f bis), e 3, nonché dell'articolo 55, comma 20, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26 (Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche)», che rappresenta una prima attuazione delle misure di piano sopra richiamate e, in particolare, dispone:

- all'art. 13, comma 3 che la Giunta regionale adotti con apposita deliberazione linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie;
- all'art. 14, comma 2 che la Giunta regionale adotti con apposita deliberazione indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori;

Dato atto che per sviluppare i contenuti delle linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie ci si è avvalsi, sotto la supervisione degli uffici della Direzione Generale Territorio e Protezione Civile, di un'attività di supporto tecnico - scientifico assicurato da un servizio di assistenza tecnica, incaricato affidato a RTI Studio Majone ingegneri associati-Iridra s.r.l. con d.d.r. n. 14700 del 23 novembre 2017;

Considerato che l'attività di cui sopra si è conclusa con l'elaborazione della proposta di «Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie», di cui all'Allegato A - parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;

Vista, inoltre, la proposta di «Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori» allegata al presente atto di cui costituisce parte integrante e sostanziale (Allegato B), elaborata dalla Direzione Generale Territorio e protezione civile;

Considerato altresì che, in merito agli indirizzi ed alle disposizioni contenuti nei documenti sopra richiamati, è stata svolta una consultazione preliminare con gli enti e i soggetti competenti in materia, tra cui Province, Città Metropolitana, Uffici d'ambito e gestori d'ambito del servizio idrico integrato;

Dato atto che, come riferisce il Dirigente proponente, in base agli esiti di tale consultazione non sono state riscontrate particolari criticità nell'attuazione delle disposizioni e degli indirizzi contenuti in tali documenti ed è pertanto possibile procedere alla loro approvazione;

Ritenuto pertanto di procedere, in attuazione di quanto disposto dagli artt. 13, comma 3 e 14, comma 2 del r.r. n. 6/2019, all'approvazione delle suddette proposte di «Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie» e «Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori», rispettivamente allegato A e allegato B alla presente deliberazione, di cui costituiscono parte integrante e sostanziale;

Visto il Programma Regionale di Sviluppo della XI legislatura, approvato con d.c.r. n. 64 del 10 luglio 2018 e la declinazione dello stesso nella Missione 9 «Sviluppo sostenibile e tutela del territorio e dell'ambiente», Programma 6 «Tutela e valorizzazione delle risorse idriche», Risultato Atteso 213 «Implementazione e ottimizzazione degli strumenti regionali per la tutela delle acque»;

Vista la Legge regionale 7 luglio 2008, n. 20 «Testo Unico delle leggi regionali in materia di organizzazione e personale», nonché i provvedimenti organizzativi della XI legislatura;

Ad unanimità dei voti espressi nelle forme di legge;

DELIBERA

1. di approvare le «Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie», di cui all'Allegato A - parte integrante e sostanziale della presente delibera;

2. di approvare gli «Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori di cui all'articolo 14, comma 2 del regolamento regionale n. 6 del 2 aprile 2019», di cui all'Allegato B - parte integrante e sostanziale della presente delibera;

3. di pubblicare la presente delibera sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia.

Il segretario: Enrico Gasparini

— • —

ALLEGATO A

LINEA GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI SISTEMI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE PROVENIENTI DA SCARICHI DI SFIORATORI DI RETI FOGNARIE.

INDICE

INDICE DELLE FIGURE

INDICE DELLE TABELLE

1. PREMESSA

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 CARATTERIZZAZIONE ACQUE REFLUE DA FOGNATURA MISTA

2.2 SOLUZIONI NATURALI PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI SFIORO DA FOGNATURA MISTA

2.2.1 Classificazione delle soluzioni naturali

2.3 SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI SFIORO DA FOGNATURA MISTA

3. INDIVIDUAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI TRATTAMENTO ADOTTABILI

4. COMPARAZIONE TRA I SISTEMI ADOTTABILI

4.1 CONFRONTO TRA DIVERSE TECNOLOGIE ADOTTABILI

4.2 ALBERO DECISIONALE PER GUIDARE LA SCELTA DELLA SOLUZIONE

5. DEFINIZIONE DEI REQUISITI MINIMI OBBLIGATORI E LINEE GUIDA DI INDIRIZZO PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO

5.1 APPROCCIO METODOLOGICO

5.1.1 Portata da sottoporre a trattamento in continuo a valle di sfioratori di piena di reti miste

5.1.2 Portata da sottoporre a trattamento in continuo nel caso di reti separate

5.2 MODELLI DI SIMULAZIONE

5.3 CENNI SUI POLLUTOGRAMMI DI PROGETTO

5.4 VERIFICA DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI E MANTENIMENTO NEL TEMPO

6. BIBLIOGRAFIA

7. ALLEGATI

7.1 ALLEGATO: CLASSIFICAZIONE E REVISIONE DELLE SOLUZIONI NATURALI PER SFIORI DA FOGNATURA SULLA BASE DELLA RICOGNIZIONE BIBLIOGRAFICA

7.2 ESEMPI DI POLLUTOGRAMMI DI PROGETTO

7.2.1 Metodologia per la stima dei carichi inquinanti con il pollutogramma di progetto B

7.2.2 Definizione delle EMC per i pollutogrammi di progetto

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Funzionamento di uno sfioratore da fognatura mista.....	
Figura 2. Andamento qualitativo delle concentrazioni di COD durante un evento meteorico per scarichi di acque bianche (COD meteo – linea gialla) e CSO (COD tot – linea marrone). Fonte: Studio Maione- Iridra –Centro Studi T.A.T., Studio Integrato dell’agglomerato 73 di Gornate Olona dell’Ato Varese: Proposta di linee di indirizzo.....	
Figura 3. Recente classificazione dei sistemi di fitodepurazione, definiti come Treatment Wetlands (TW), (N. Fonder, T. Headley, 2010)	
Figura 4. Schema di una sistema a flusso libero con isole flottanti (FTW). Fonte: Pavlineri et al. (2017).....	
Figura 5. Schematizzazione qualitativa sul tema di quale portata di taglio adottare per intercettare lo stesso quantitativo di carico inquinante sia con vasche di prima pioggia che con trattamenti in continuo.....	
Figura 6. Sistema fognario misto con scaricatore ideale e vasca off-line con bypass a completo riempimento [Papiri, 2005]	
Figura 7. Albero decisionale per la definizione della portata di taglio	
Figura 8. Regressione lineare tra le concentrazioni di BOD5 e SS (serie completa dei dati). [Ciaponi et al, 2006].....	
Figura 9. Pollutogrammi misurati su sfiori da fognatura mista riportati in letteratura: sfioratore di Gorla Maggiore in alto (Masi et al., 2017); sfioro da area urbana spagnola in basso (Suarez &Puertas, 2005).	
Figura 10. Riassunto dei risultati della ricognizione bibliografica sulle soluzioni naturali per CSO in base alle tipologie di studi.	
Figura 11. Schema impianto di Arch/Bar. Fonte: Tao et al. (2014).....	
Figura 12. Schema impianto di Washington. Fonte: Tao et al. (2014).....	
Figura 13. Schema impianto di Harbor Brook. Fonte: Tao et al. (2014).....	
Figura 14. Schema funzionamento approccio tedesco. Fonte: Meyer et al. (2013).....	
Figura 15. Sezione tipologica dei RSF tedeschi. Fonte: Tondera (2017).....	
Figura 16. Schema funzionamento approccio francese. Fonte: Meyer et al. (2013).....	
Figura 17. Schema funzionamento approccio italiano. Fonte: Meyer et al. (2013).....	

- Figura 18. Distinzione tra effetto acque nere, acque di dilavamento (“washout”) e acque mandate al depurazione centralizzata (WWTP) per i tre eventi campionati (Primavera, Estate, Inverno) . Fonte: Masi et al. (2017).....
- Figura 19. Volumi e stima dei carichi inquinanti scaricati dai 69 eventi CSO registrati presso l'impianto di Gorla Maggiore da Febbraio 2014 a Febbraio 2015. Fonte: Masi et al. (2017) .
- Figura 20. Alternative per l'analisi MCA del caso studio di Gorla Maggiore.....
- Figura 21. Confronto tra i benefici forniti dall'utilizzo di infrastrutture verde (fitodepurazione), grigia (vasca di prima pioggia) e assenza di intervento (pioppeto esistente) in termini di servizi ecosistemici. Fonte: Liqueste et al. (2016)
- Figura 22. Esempi di diversi eventi di sfioro dello scolmatore di Gorla Maggiore (VA), così come definiti al fine dell'applicazione dei pollutogrammi di progetto. Fonte: Masi et al. (2017)
- Figura 23. Distribuzioni di probabilità degli EMC per COD e TSS dai dati di cinque sfiori da fognatura mista in Spagna (Barcellona, Madrid, Siviglia, Vitoria e Valencia). Fonte: Suarez &Puertas (2005).....

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Comparazione di qualità chimica di acque meteoriche raccolte da aree di diversa natura (Kadlec and Knight, "Treatment Wetlands", 1996).....	
Tabella 2. Confronto qualità delle acque CSO con acque domestiche e acque di dilavamento su dati USA. Fonte: Tao et al. (2014)	
Tabella 3. Valori di letteratura della concentrazione media per evento (EMC) riportate in letteratura per i CSO.....	
Tabella 4. Valori di letteratura del carico inquinante medio scaricato dai CSO in funzione della superficie drenata. Fonte: Fournel (2012)	
Tabella 5. Valori di letteratura del carico inquinante scaricato annualmente dai CSO. Fonte: Fournel (2012)	
Tabella 6. Esempio di variabilità tra un evento e l'altro dovuto al dilavamento delle aree drenate. Fonte: Fournel (2012).....	
Tabella 7. Esempio di variabilità geografica sulla tipologia di acque scaricate da CSO. Fonte: Fournel (2012)	
Tabella 8. Volume di deflusso, massa e concentrazioni di SST e BOD5 degli eventi campionati a Cascina Scala (PV) [Ciaponi et al, 2005].....	
Tabella 9. Meccanismi di rimozione di un sistema a flusso libero superficiale (Wallace et al., 2006).....	
Tabella 10. Diverse soluzioni tecniche di fitodepurazione	
Tabella 11. Tabella riepilogativa degli schemi di trattamento proposti.....	
Tabella 12. Analisi Comparativa multicriterio	
Tabella 13. Suddivisione articoli trovati dalla ricognizione bibliografica per macro argomenti	
Tabella 14. Revisione soluzioni naturali per trattamento CSO a scala reale con approccio americano. Fonte: Tao et al. (2014).....	
Tabella 14. Rendimenti depurativi medi di un RSF a scala reale. Fonte: (Uhl&Dittmer, 2005).	
Tabella 15. Rendimenti depurativi sulla base di un ampio dataset di RSF a scala reale. Fonte: (Tondera, 2017).	

Tabella 16. Rimozioni metalli da impianto CSO-CW con approccio alla francese di Marcy-L'Etoile. Fonte: Pálffy et al. (2017a).....	
Tabella 17. Concentrazioni di PAH in uscita impianto CSO-CW con approccio alla francese di Marcy-L'Etoile. Fonte: Pálffy et al. (2017a).	
Tabella 18. Lista impianti CSO-CW in fase di realizzazione in Italia.....	
Tabella 19. Rimozioni medie piloti HF per trattamento CSO. Fonte: Písoeiro et al. (2016)	
Tabella 20. Obiettivi, criteri ed indicatori dell'analisi MCA. Fonte: Liqueste et al. (2016).....	
Tabella 21. Pollutogrammi di progetto	
Tabella 22. Indicazioni per costruzione pollutogramma di progetto 2	

1. PREMESSA

Il presente elaborato contiene le *Linee guida per la progettazione e realizzazione di sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da scarichi di sfioratori di reti fognarie*, in attuazione dell'art. 13, comma 3 del RR n. 6/2019.

Una corretta gestione delle acque di pioggia richiede un approccio combinato che preveda interventi “a monte” – volti a ridurre l’afflusso in fogna delle acque meteoriche – e interventi “a valle” – che riducano l’impatto sui corpi idrici delle acque di sfioro delle reti miste e delle acque di prima pioggia veicolate dalle reti bianche.

Le presenti linee guida vogliono fornire uno strumento per valutare le possibili tecniche di trattamento “in situ” degli scarichi degli sfioratori e delle acque di prima pioggia.

Il presente elaborato è organizzato secondo i seguenti temi:

- un inquadramento generale sul tema della caratterizzazione delle acque di sfioro e delle tipologie di trattamento adottabili, sia in relazione ai sistemi naturali che a quelli di tipo più tradizionale, con indicazione, a titolo non esaustivo, dell’idoneo campo di applicazione e delle prestazioni prevedibili;
- delle schede descrittive di possibili schemi di trattamento, nelle quali sono indicati limiti, criticità e punti di forza di ognuno in relazione al contesto ed alle caratteristiche ambientali, gli eventuali accorgimenti da adottarsi per la gestione/realizzazione e le modalità di controllo/monitoraggio della buona funzionalità;
- un’indicazione comparativa di vantaggi/svantaggi dei diversi sistemi adottabili;
- una proposta metodologica per la definizione della portata da trattare nel caso di sistemi di trattamento in continuo in alternativa allo stoccaggio in vasche di accumulo e invio all’impianto di depurazione delle acque reflue (ai fini del presente documento, per trattamenti in continuo si intendono quelli che gestiscono una determinata portata durante tutto l’evento meteorico a differenza dei sistemi in discontinuo che accumulano un determinato volume, definito dalla normativa, durante l’evento meteorico per poi inviarlo a trattamento a fine evento).

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Caratterizzazione acque reflue da fognatura mista

A seconda che le acque di pioggia, anche dette acque bianche, siano separate dalle acque nere prodotte dalle abitazioni e dalle attività industriali, il fiume può essere soggetto a scarichi finali di sfioratori di sole acque bianche di dilavamento o di acque provenienti da sfioratori di piena da fognatura mista (CSO – CombinedSewerOverflow).

Per quanto riguarda lo **scarico di acque bianche**, il problema viene spesso considerato solamente dal punto di vista “idraulico”, e non dal punto di vista “depurativo”. In realtà le acque meteoriche di dilavamento di prima pioggia di qualsiasi superficie raccolgono durante il loro tragitto una certa quantità di materiali solidi e organici depositatisi, dando luogo a concentrazioni di inquinanti significative e in alcuni casi superiori ai limiti allo scarico previsti per le acque reflue dalla normativa vigente (così detto effetto “*first flush*” – Deletic 1998). I valori di concentrazione degli inquinanti in tali acque dipendono da numerosi fattori: entità e tipologia del traffico veicolare, intensità dell’evento meteorico, distanza temporale tra due successivi eventi di pioggia, sono tra i principali. In linea indicativa si può fare riferimento ai valori tipici riportati in letteratura e riassunti in Tabella 1.

Parametri (mg/l)	COMPOSIZIONI MEDIE DELLE ACQUE DI DILAVAMENTO				
	Aree urbane	Aree industriali	Aree residen- ziali/ commerciali	Aree agricole	Aree incolte
BOD ₅	20 (7-56)	9.6	20	3.8	1.45
COD	75 (20-275)	-	-	-	-
TSS	150 (20-2890)	93.9	140	55.3	11.1
NH ₄ -N	0.582	-	-	0.48	-
TN	2	1.79	2.8	2.32	1.25
TP	0.36	0.31	0.51	0.344	0.053
Rame	0.05	-	-	-	-
Piombo	0.18	0.202	0.214	-	-
Zinco	0.2	0.122	0.170	-	-
Ferro	8.7	-	-	-	-
Mercurio	0.00005	-	-	-	-
Nickel	0.022	-	-	-	-
Cianuri	0.0025	-	-	-	-
Fenoli totali	0.0137	-	-	-	-
Oli e grassi	2.6	-	-	-	-

Tabella 1. Comparazione di qualità chimica di acque meteoriche raccolte da aree di diversa natura (Kadlec and Knight, “Treatment Wetlands”, 1996)

Gli **sfiatori da fognatura mista (CSO)**, il cui funzionamento è schematizzato in Figura 1, comportano invece un impatto ancora maggiore in termini di carichi inquinanti scaricati nel corpo idrico. Difatti, le reti miste comportano, in tempo di pioggia, un brusco e imponente aumento delle portate che, se addotte al depuratore, ne compromettono il funzionamento; da qui la necessità di “scolmare” nel corso d'acqua ricettore le portate in eccesso. In questo modo una grande quantità di inquinanti raggiunge i fiumi senza alcun trattamento, anche dove esiste un depuratore funzionante e sufficiente per il carico medio. Il carico inquinante dovuto agli scolmatori delle reti miste è considerevole: in Germania, ad esempio, dove quasi il 100% del carico civile è trattato con depuratori molto efficaci, si stima che esso rappresenti la quota maggiore del carico di origine civile riversato nei corsi d'acqua, mentre in Emilia-Romagna, secondo le stime del Piano di Tutela Regionale, esso rappresenta circa il 10% del carico di origine civile e industriale (carico non trattato + residuo proveniente dai depuratori).

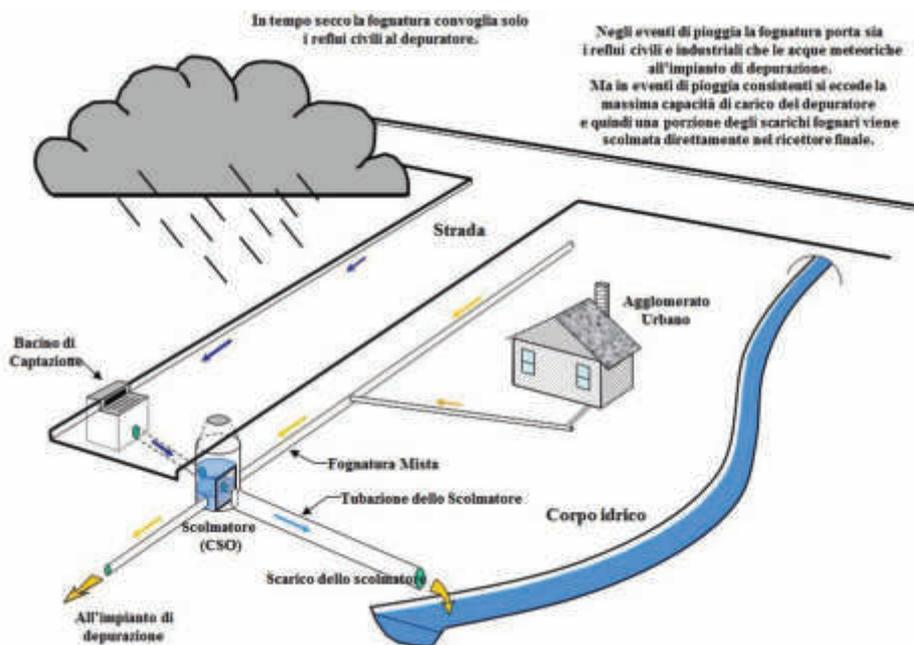


Figura 1. Funzionamento di uno sfioratore da fognatura mista.

L'andamento qualitativo della qualità delle acque di uno scarico di acque bianche e di un CSO, espresso in termini di COD, è rappresentato in Figura 2. Si vede come, mentre sia lo scarico di acque bianche che di acque miste possono presentare un picco iniziale per effetto del first flush (picco che nel caso dei CSO può essere anche molto elevato in funzione delle caratteristiche della fognatura, della durata del tempo secco antecedente e del tasso di deposizione di sostanze solide ed organiche durante i periodi di asciutta, aspetti che non sono considerati nell'elaborazione puramente teorica del grafico), per lo scarico CSO possono verificarsi elevate concentrazioni per tutto l'evento di scolmo, dovute al contributo continuo di acque reflue nere ed in funzione della portata e del rateo di diluizione.

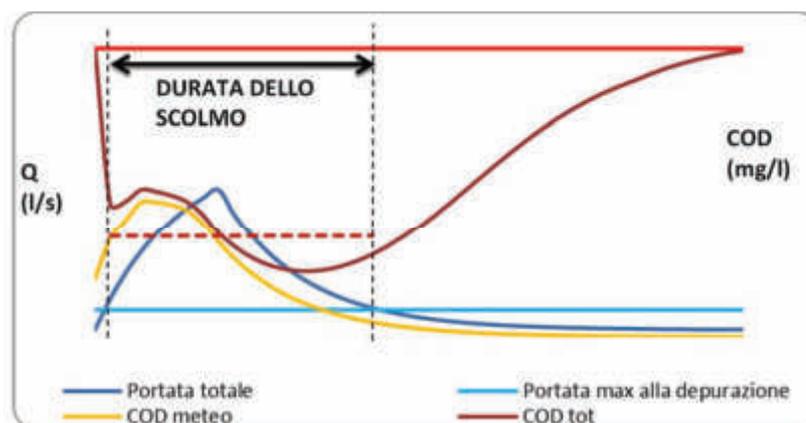


Figura 2. Andamento qualitativo delle concentrazioni di COD durante un evento meteorico per scarichi di acque bianche (COD meteo - linea gialla) e CSO (COD tot - linea marrone). Fonte: Studio Maione- Iridra -Centro Studi T.A.T., Studio Integrato dell'agglomerato 73 di Gornate Olona dell'Ato Varese: Proposta di linee di indirizzo

Le acque di scolmo da fognatura mista possono quindi considerarsi, in termini qualitativi, a metà tra le acque reflue domestiche e le acque bianche da fognatura separata, come mostrato in Tabella 2. In generale, la stocasticità delle piogge porta ad una alta variabilità nella qualità delle acque di sfioro, come dettagliatamente revisionato nel lavoro di tesi di dottorato di Fournel (2012). Tale variabilità è sia in

termini di concentrazione media per evento (*EventMeanConcentration* – EMC¹; Tabella 3) che di carichi di inquinanti veicolati per ettaro drenato (Tabella 4), oltre che di carichi di inquinanti annualmente scaricati (Tabella 5). Va inoltre evidenziato come esista una variabilità sia tra eventi successivi, anche solamente dovuto al contributo delle acque di dilavamento (Tabella 6), che a seconda dei diversi bacini drenati (Tabella 7).

Parametri (mg/l)	CSO (Metcal& Eddy, 2014)	Acque reflue domestiche (Metcal& Eddy, 2014; SUNY ESF)	Acque di dilavamento stradale (Metcal& Eddy, 2014; Kadlec and Wallace, 2009)
BOD ₅	30-220	110-400	7-56
TSS	73-550	100-400	20-2890
NH ₄ -N		12-50	0.58
TKN	4-17	20-85	0.4-4.2
Nitrati	0.22-0.91	0	0.05-1.0
TP	1.2-2.2	4-20	0.02-4.3
Coliformi fecali	10 ⁵ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸	10 ⁴ -10 ⁴

Tabella 2. Confronto qualità delle acque CSO con acque domestiche e acque di dilavamento su dati USA. Fonte: Tao et al. (2014)

Parametri (mg/l)	EMC CSO									
	Lager et al. (1977)	Ellis (1986)	Ellis (1989)	Metcal & Eddy (1991)	NWRW (1991)	Green (1999)	Gervin & Brix (2001)	Suarez & Puertas (2005)	Barco et al. (2008)	Masi et al. (2017)
TSS	370		425	270-550	105-320	85-127		61-1379	242-1428	
COD	367		380	260-480	148-389		99-116	128-1873	248-1143	382±217
BOD ₅	115		90	60-220	40-124	35-50		93-961		
TN							7.3±3.7			
TKN										
NH ₄ -N		2.9-4.9				4.1-5.8	2.7±0.8			7.1±1.3
Nitrati										
TP							1.3-1.8			

¹ Per EMC si intende la media pesata delle concentrazioni di inquinanti misurate durante un evento CSO e i rispettivi volumi scaricati (Kadlec and Wallace, 2009).

Tabella 3. Valori di letteratura della concentrazione media per evento (EMC) riportate in letteratura per i CSO.

I valori indicati in tabella al variare della tipologia delle superfici dilavate sono in linea, nell'usuale range di variabilità che caratterizza tali studi, con i dati raccolti nei principali database disponibili a livello mondiale riguardanti la qualità delle acque meteoriche di dilavamento, a partire delle prime ricerche svolte negli USA agli inizi degli anni Sessanta:

- NURP (National Urban Runoff Program) sviluppato dall'EPA (Environmental Protection Agency) – USA;
- Database USGS (United States Geological Survey) – USA;
- Database FHWA (Federal Highway Administration) – USA;
- Database NSQD (National Stormwater Quality database) – USA;
- Database QUAATOR (Qualité es ASSanissement par temps d'ORage) – Francia.

Carico inquinante medio CSO per superficie drenata							
Parametri	Saget et al. (1977)	Barco (2004)	Suarez and Puertas (2005)				
Tipologia si scarico	Separated/CSO	CSO	Madrid (CSO, semi-rural)	Vitoria (CSO)	Sevilla (CSO)	Barcelona (CSO)	Valencia (CSO)
TSS (kg/ha)	190	15-126	2.1	6.7	12.8		18.8
COD (kg/ha)	70		2	9.5	12.9	165	25.9
BOD ₅ (kg/ha)	35	3.3-62	1.05	4.2	5.5	94	14.9

Tabella 4. Valori di letteratura del carico inquinante medio scaricato dai CSO in funzione della superficie drenata. Fonte: Fournel (2012)

Carico inquinante CSO scaricato annualmente		
Parametri	Saget et al. (1994)	Tassin-Chebbo, (2000)
TSS (kg)	1700-4300	1200-4400
COD	1550-4220	1050-4200

Carico inquinante CSO scaricato annualmente		
Parametri	Saget et al. (1994)	Tassin-Chebbo, (2000)
(kg)		
BOD ₅	810-1490	780-1500
(kg)		

Tabella 5. Valori di letteratura del carico inquinante scaricato annualmente dai CSO. Fonte: Fournel (2012)

Lee and Bang (2000) – Acque di dilavamento				
	6/23/2000		7/8/2000	
Evento di pioggia (mm)	16.4		7	
	TSS	BOD ₅	TSS	BOD ₅
EMC (mg/l)	364	163	1430	318
TSS/BOD ₅ ratio	2.2		4.5	
Massa dell'evento	289	129	352	78
Massa dell'evento per mm di pioggia	17.6	7.9	50.3	11.2

Tabella 6. Esempio di variabilità tra un evento e l'altro dovuto al dilavamento delle aree drenate. Fonte: Fournel (2012)

Esempi di variabilità geografica					
		Suarez and Puer- tas (2005)		d'El- boeuf (2004)	Barco (2004)
Stato		Madrid	Valencia	Francia	Italia
TSS (kg/ha)	EMC (mg/l)	597	229	129	
	Carico inquinante (kg/ha)	2.1	18.8		15-126
COD	EMC (mg/l)	680	293	99	
	Carico inquinante (kg/ha)	2	25.9		
BOD ₅	EMC (mg/l)	384	166	32	
	Carico inquinante (kg/ha)	1.05	14.9		3.3-62

Tabella 7. Esempio di variabilità geografica sulla tipologia di acque scaricate da CSO. Fonte: Fournel (2012)

In Italia sono disponibili i dati raccolti tramite le campagne di misura svolte su 8 bacini sperimentali (2 drenati da fognatura separata e 6 drenati da fognatura unitaria): Malvaccaro a Potenza, Picchianti a Livorno, Parco d'Orleans a Palermo, Fossolo a Bologna, Mostacciano a Roma, Liguori a Cosenza, Vermicelli ad Arcavacata di Rende e Cascina Scala a Pavia (Ciaponi et al, 2002, 2005; Papiri et al 2008), di particolare interesse per il presente lavoro poiché situato in territorio lombardo.

La tabella seguente mostra i risultati di tre campagne di misura svolte sul bacino di Cascina Scala a Pavia negli anni 2000, 2001 e 2003, in termini di massa, concentrazioni medie (EMC), minime e massime di SST e BOD₅.

Evento	Data	Volume deflusso [m ³]	Masse [kg]		EMC [mg/l]		Concentrazioni minime e massime [mg/l]	
			SS	BOD ₅	SS	BOD ₅	SS	BOD ₅
1	10/06/00	646 (*)	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	2120	1150
2	11/06/00	1766 (*)	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	60-290	16-271
3	11/06/00	502	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	40-160	8-105
4	13/06/00	40	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	270	247
5	23/06/00	793	288.7	129.4	364	163	80-890	29-765
6	28/06/00	779 (*)	520.9	121.7	669	156	280-1360	70-400
7	08/07/00	249	351.9	78.9	1430	318	800-2960	160-550
8	10/07/00	472	118.0	26.3	242	54	40-1000	18-380
9	11/07/00	531	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	40-180	55-120
10	13/03/01	195	- (§)	- (§)	- (§)	- (§)	50-840	50-600
11	17/03/01	1537	165.9	98.4	108	64	20-1280	24-880
12	28/03/01	1053	126.3 (°)	108.4 (°)	434 (°)	372 (°)	80-2360	64-1780
13	10/04/01	480	201.3	117.0	420	244	120-1440	55-900
14	20/04/01	974	366.5	197.3	377	203	50-1190	23-2120
15	02/03/03	189	151.6	124.7	748	615	180-2430	320-1300
16	09/04/03	692	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	450-1000	220-720
17	11/04/03	990	197.9	69.5	195	69	20-1400	28-500
18	28/06/03	2639 (*)	995.3	488.2	378	185	70-1605	70-1000
19	24/07/03	560	247.0	97.9	442	175	116-1770	85-700
20	31/07/03	831	180.4	91.2	213	108	36-1470	34-850
21	24/09/03	345	126.0	61.0	365	177	198-3880	115-720
22	27/10/03	520	- (°)	- (°)	- (°)	- (°)	266-680	85-150
23	30/10/03	2873	83.6 (°)	48.7 (°)	168 (°)	98 (°)	40-320	45-560

(*) Eventi in cui la rete è andata in pressione.

(°) Numero insufficiente di campionamenti.

(§) Distribuzione temporale dei prelievi che non consente una corretta valutazione della massa totale associata all'evento.

(°) Valutazione condotta sulla prima parte dell'evento dove sono stati prelevati i campioni.

Tabella 8. Volume di deflusso, massa e concentrazioni di SST e BOD5 degli eventi campionati a Cascina Scala (PV) [Ciaponi et al, 2005]

2.2 Soluzioni naturali per il trattamento delle acque di sfioro da fognatura mista

L'analisi bibliografica ha evidenziato come la soluzione naturale di maggiore interesse per il trattamento dei CSO siano le zone umide artificiali o sistemi di fitodepurazione (*ConstructedWetland* - CW), data la varietà di meccanismi fisici, chimici e biologici di rimozione messi a disposizione da tali soluzioni (Tabella 9). I sistemi CW sono sistemi ingegnerizzati, progettati e costruiti per riprodurre i naturali processi autodepurativi in un ambiente maggiormente controllabile.

Inquinante	Meccanismi di rimozione		
	Fisici	Chimici	Biologi
Solidi sospesi	Sedimentazione	/	Degradazione batterica
BOD5	Sedimentazione	Radiazione UV	Degradazione batterica
COD	Sedimentazione	Radiazione UV	Degradazione batterica
Metalli (Ag, AS, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, PB, Se, Zn)	Sedimentazione	Precipitazione, adsorbimento, scambio ionico	Assorbimento radicale Ossido-riduzione batterica
Idrocarburi	Volatilizzazione	Radiazione UV	Degradazione batterica assorbimento radicale
Idrocarburi di sintesi (solventi, pesticidi, insetticidi, IPA, composti clorurati)	Sedimentazione Volatilizzazione	Adsorbimento Radiazione UV	Degradazione batterica Assorbimento radicale
Azoto	Sedimentazione	Adsorbimento Volatilizzazione (azoto ammoniacale)	Degradazione e assorbimento batterico Assorbimento radicale
Fosforo	Sedimentazione	Precipitazione adsorbimento	Assorbimento batterico Assorbimento radicale
Microrganismi patogeni	Sedimentazione	Radiazione UV	Predazione Morte naturale Antibiotici emessi dalle radici

Tabella 9. Meccanismi di rimozione di un sistema a flusso libero superficiale (Wallace et al., 2006).

Lo studio della bibliografia delle soluzioni naturali per il trattamento degli sfiori da fognatura mista viene proposto come segue:

- i. vengono riassunte le diverse classificazioni utilizzate per definire le tipologie di impianti di fitodepurazione secondo le più recenti catalogazioni, in modo da chiarire al lettore che tipi di impianti di fitodepurazione possono essere proposti e come in letteratura ci si riferisca ad essi;
- ii. viene discussa l'analisi nel dettaglio della letteratura finalizzata solo alle soluzioni naturali per gli sfiori da fognatura mista, identificando quali approcci siano stati studiati e riassumendo i più rilevanti e recenti risultati pubblicati.

2.2.1 Classificazione delle soluzioni naturali

I sistemi di CWs, sperimentati e lungamente studiati a livello internazionale, sono classificati in base al tipo di piante macrofite utilizzate (*galleggianti, radicate sommerse, radicate emergenti*) o più spesso in base al percorso idraulico delle acque (Kadlec and Wallace, 2009):

- **Sistemi a flusso libero superficiale** (*Free Water Surface – FWS*)

- **Sistemi a flusso sommerso**
 - Flusso sommerso orizzontale (*Horizontal flow systems – HF*)
 - Flusso sommerso verticale (*Vertical flow systems - VF*)
- **Sistemi ibridi**

Gli schemi di funzionamento e una breve descrizione delle peculiarità delle soluzioni precedentemente riassunte sono riportati in Tabella 10.

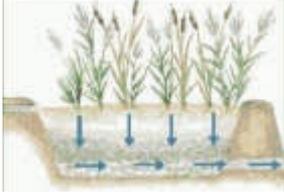
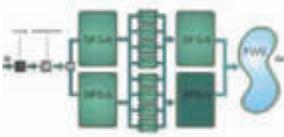
<p>Flusso sommerso orizzontale (HF o SFS-h)</p> <p>Composta da uno o più bacini riempiti con materiale inerte appositamente selezionato, in cui le acque da trattare scorrono in senso orizzontale al di sotto della superficie in condizioni di saturazione continua e le essenze utilizzate sono elofite del tipo macrofite radicate emergenti.</p>	
<p>Flusso sommerso verticale (VF o SFS-v)</p> <p>Composta da uno o più bacini riempiti con strati di ghiaia e sabbia di differente granulometria, dove i reflui, distribuiti sulla superficie mediante una pompa o un sifone di cacciata, percolano in senso verticale in condizioni di saturazione alternata e le essenze utilizzate sono elofite del tipo macrofite radicate emergenti.</p>	
<p>Flusso libero (FWS)</p> <p>Tra le tecniche di depurazione naturale quella che più si avvicina alle zone umide naturali; in questo caso il livello dell'acqua, generalmente poco profondo, è a diretto contatto con l'atmosfera; le essenze vegetali che vi vengono inserite appartengono ai gruppi delle elofite e delle idrofite.</p>	
<p>Ibrido</p> <p>la combinazione delle diverse tecniche di fitodepurazione (HF, VF, FWS, o altre tipologie più avanzate) allo scopo di raggiungere risultati migliori sia in termini di qualità dell'effluente che di occupazione delle superfici.</p>	

Tabella 10. Diverse soluzioni tecniche di fitodepurazione

Al di fuori del campo di applicazione dei CSO, le tecniche a flusso sommerso sono quelle che hanno riscontrato maggior successo nell'ambito del trattamento secondario dei reflui domestici e urbani, in virtù del minor ingombro superficiale richiesto e della facilità di inserimento anche in aree urbanizzate, mentre i sistemi a flusso

libero hanno trovato applicazione soprattutto come trattamento terziario di impianti di depurazione esistenti o per acque di dilavamento.

Il più recente lavoro di classificazione dei sistemi di fitodepurazione, definiti come Treatment Wetlands (TW), redatto da N. Fonder e T. Headley nel 2010, è basata sull'idraulica del sistema (*posizione dell'acqua nel sistema, direzione del flusso e tipologia di alimentazione, grado di saturazione del materiale di riempimento, allagamento superficiale*) e sulle essenze vegetali utilizzate, e annovera più di 20 tipologie di impianti (Figura 3). Per semplicità e maggiore chiarezza, tuttavia, si farà riferimento in queste linee guida agli acronimi legati al solo schema idraulico (HF, VF, FWS). A queste tipologie si aggiunge la differenziazione dei FWS piantumati con isole flottanti, in grado di adattarsi alle oscillazioni del pelo libero, che chiameremo FTW (Floating Treatment Wetlands) in accordo con l'acronimo definito da Headley et al., (2012). Uno schema per la soluzione FTW è riportato in Figura 4.

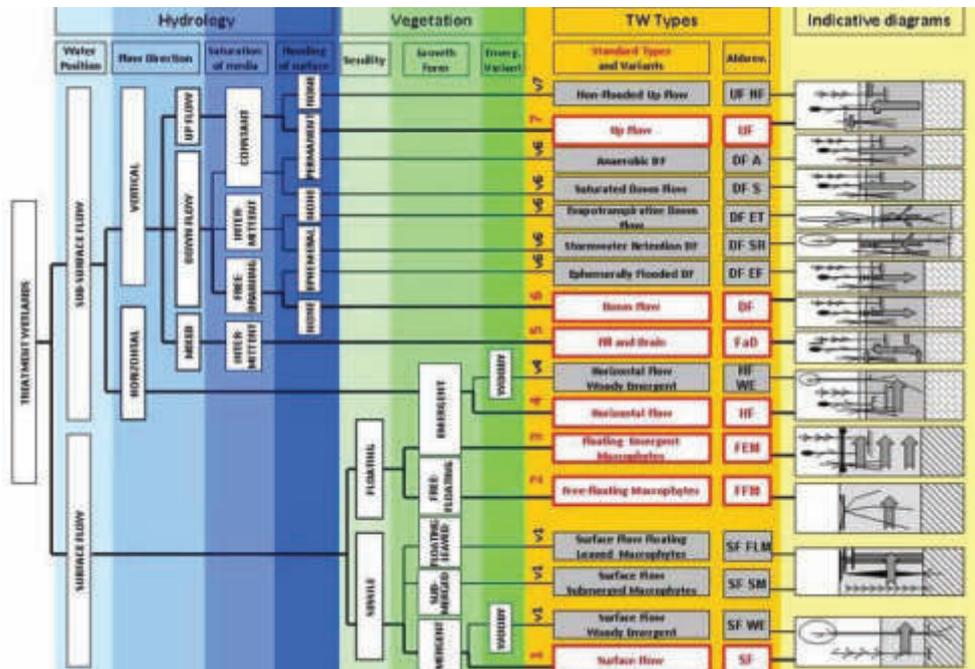


Figura 3. Recente classificazione dei sistemi di fitodepurazione, definiti come Treatment Wetlands (TW), (N. Fonder, T. Headley, 2010)

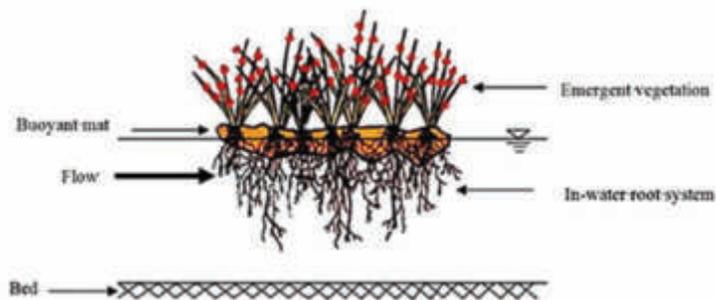


Figura 4. Schema di una sistema a flusso libero con isole flottanti (FTW). Fonte: Pavlineri et al. (2017)

Si parla infine di **fitodepurazione intensificata** (*intensified CWs* – Wu et al., 2014) quando vengono adottate soluzioni tecniche innovative per migliorare le prestazioni degli impianti di fitodepurazione, migliorando ad esempio le rese depurative e/o riducendo le aree di ingombro. Un esempio di fitodepurazione intensificata sono gli impianti di fitodepurazione aerata (AEW Aerated wetland)).

2.3 Soluzioni tecnologiche per il trattamento delle acque di sfioro da fognatura mista

Il trattamento alle acque di pioggia ha di per sé alcune caratteristiche ed esigenze specifiche, che lo differenziano da altre applicazioni, in particolare dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane:

- estrema variabilità delle portate in ingresso;
- estrema variabilità dei carichi inquinanti;
- portate mediamente più elevate rispetto a quelle da trattare nel caso di impianti per le acque reflue;
- lunghi periodi di inattività;
- impianti generalmente meno presidiati rispetto ad un impianto per il trattamento delle acque reflue urbane.

Queste caratteristiche hanno ovviamente avuto un peso nella diffusione e nel campo di utilizzo dei diversi trattamenti e nella definizione degli schemi che vengono proposti all'interno del presente documento.

Le ricerche effettuate hanno considerato sia le normative regionali italiane e i Piani di Tutela, sia le linee guida e la letteratura scientifica su tecnologie e metodi di trattamento diffusi all'estero, in particolare in Europa e negli Stati Uniti.

Sono state analizzate le linee guida della normativa tedesca, riferite alle strutture di controllo e gestione delle acque di pioggia ed in particolare delle acque sfiorate da scolmatori di fognature miste (DWA-A 128), la documentazione disponibile sul tema del controllo dell'inquinamento prodotto dagli scolmatori di piena dell'Environmental Protection Agency (EPA), il progetto Spirit21 promosso dalle istituzioni giapponesi per la proposta e valutazione di tecnologie efficaci per il trattamento delle acque di sfioro.

Pur tenendo conto delle differenze di contesto (disponibilità di spazi, diversi quadri istituzionali e approcci alla gestione delle acque), si ritiene fondamentale allargare la visione a quanto avviene al di fuori dal contesto italiano al fine di offrire una panoramica più ampia ed allargare l'orizzonte delle possibili alternative.

L'analisi si è concentrata su pubblicazioni riguardanti ricerche e casi di studio sulle tecnologie di trattamento delle acque di pioggia a valle di sfioratori di piena di acque miste ed in particolare sulla scelta del trattamento ottimale e sul confronto tra diverse tecnologie in base alle condizioni ed alle caratteristiche specifiche del sito.

La documentazione analizzata fa riferimento a diversi stadi di trattamento, da trattamenti preliminari per la rimozione dei solidi grossolani e del materiale flottante, a sistemi di sedimentazione o filtrazione, fino a processi di disinfezione con utilizzo di cloro o lampade UV. Questi ultimi non verranno qui trattati per il loro scarso utilizzo in questo tipo di applicazione.

Tra i trattamenti preliminari ci si limita ad elencare grigliatura grossolana, reti e deflettori per il controllo del materiale flottante: si tratta di sistemi che si limitano a rimuovere il materiale più grossolano senza effettuare un vero e proprio trattamento; sono in genere necessari a monte di processi più spinti per evitare che il materiale trasportato di maggiori dimensioni vada ad intasare, danneggiare o comunque a limitare l'efficacia delle successive sezioni di trattamento.

Di seguito si riportano delle tabelle di sintesi delle caratteristiche delle tecnologie che trovano maggiore diffusione nel trattamento delle acque sfiorate:

- grigliatura meccanica;

- dissabbiatura e disoleatura;
- sedimentazione primaria gravimetrica;
- sedimentazione primaria con chiariflocculazione;
- sedimentazione primaria meccanica;
- filtrazione finale a tela;
- filtrazione finale a sabbia;
- ultrafiltrazione.

Nelle tabelle viene riportata per ognuna delle tecnologie proposte il campo di applicabilità con riferimento alle portate in gioco, la necessità di pretrattamenti a monte del comparto, il tipo di manufatto necessario per l'applicazione, i criteri di dimensionamento e l'efficacia nell'abbattimento di sostanze inquinanti. Riguardo a queste ultime, si fa riferimento ai solidi sospesi (TSS), BOD₅ e COD, quali parametri di maggiore interesse per la caratterizzazione del grado di inquinamento delle acque di sfioro.

Grigliatura

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Grossolana > 6 mm	Barre con pettine meccanico o oleodinamico	Disponibile varie taglie 5-10.000 m ³ /h (modulare)		<ul style="list-style-type: none"> • canali rettangolari in cls o in metallo • sfiori laterali 	Verifica idraulica in funzione della luce di passaggio	Rimozione solido grossolano (in base alla luce filtrante)
Fine 1÷6 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Cestello • Tappeto filtrante 	Disponibile in varie taglie 5-10.000 m ³ /h (modulare)				

Dissabbiatura e disoleatura

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Longitudinali	Statico	Piccoli impianti basse portate	Grigliatura grossolana	Vasche in cls o in metallo	Tempo di ritenzione minimo	<ul style="list-style-type: none"> rimozione corpi grossolani (>95% per diametro particelle 0,1 - 1,0 mm) rimozione oli e grassi (> 85 % per sistemi aerati)
	Areato	Medio/grandi impianti			Tempo di ritenzione minimo	
Circolari a vortice	Areato/statico	Varie taglie Portate fisse (250-8000 m3/h) Modulari			Verifica fluidodinamica/standard fornitori	

Sedimentazione primaria gravimetrica:

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Statica circolare	Vasca circolare	Dimensionata in base alle esigenze 50-6.000 m3/h (modulare)	Grigliatura grossolana	Vasche in cls	Verifica idraulica in base alla velocità di risalita (m/h) alla portata massima. Profondità utile vasche 3÷4 m	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (30÷50%) rimozione BOD5/COD (15-25 %) rimozione sabbie (>95%)
Statica longitudinale	Vasca longitudinale	Dimensionata in base alle esigenze 50-10.000 m3/h (modulare)				
Lamellare	Vasca longitudinale	Dimensionata in base alle esigenze 50-10.000 m3/h				

Sedimentazione primaria con chiariflocculazione:

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Statica circolare	Dosaggio di: • coagulante (sali metallici) • flocculante (polimeri)	Dimensionata in base alle esigenze 50-6.000 m ³ /h (modulare)	Grigliatura grossolana	Vasche in cls	Verifica idraulica in base alla velocità di risalita (m/h) alla portata massima. Profondità utile vasche 3÷4 m.	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (50+80%) rimozione BOD5/COD (20-40 %) rimozione sabbie (>95%)
Statica longitudinale	Dosaggio di: • coagulante (sali metallici) • flocculante (polimeri)	Dimensionata in base alle esigenze 50-10.000 m ³ /h (modulare)			In prima approssimazione si può ipotizzare una riduzione del 50/60 % del dimensionamento rispetto alla separazione puramente fisica cui vanno sommati i volumi di contatto e miscelazione.	
Lamellare	Dosaggio di: • coagulante (sali metallici) • flocculante (polimeri)	Dimensionata in base alle esigenze 50-10.000 m ³ /h				

Sedimentazione primaria meccanica (microgrigliatura 0.2-0.3 mm)

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Sistemi meccanici di sedimentazione	Telo filtrate/disco/tamburo (in base alle specifiche del fornitore)	Disponibili varie taglie 50-500 m ³ /h (modulare)	Grigliatura grossolana	Macchine in vasca metallica esterna (o in canale per taglie più grandi)	Specifiche a cura dei costruttori. Possibile incremento delle prestazioni analogamente alla situazione statica con dosaggio di flocculante	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (30+50%) rimozione BOD5/COD (15-25 %) rimozione sabbie (>95%)

Filtrazione finale a tela

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Tela (dischi)	Tela plastica flusso OUT/IN	Dimensionata in base alle esigenze 50-1.500 m ³ /h (modulare)	Grigliatura grossolana e fine o sedimentazione primaria (fortemente consigliate)	Vasche in cls/vasche in metallo	Flussi specifici (m ³ /m ² /h) in base alle specifiche dei fornitori Flusso a gravità – perdita di carico 30/60cm	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (90%)
Tela (dischi)	Tela plastica flusso IN/OUT	Dimensionata in base alle esigenze 50-1.500 m ³ /h (modulare)				
Tela (dischi)	Tela metallica	Dimensionata in base alle esigenze 50-1.500 m ³ /h (modulare)				

Filtrazione finale a sabbia

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Filtrazione in pressione	Vessel in acciaio pressurizzati	Unità modulari da 5-150 m ³ /h	Grigliatura grossolana e fine o sedimentazione primaria (fortemente consigliate)	Vasche in cls/serbatoi metallici esterni	Flusso specifico < 25 m ³ /m ² /h Perdita di carico in esercizio 10/15 mca	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (90%)
Filtrazione a gravità	Vasche rettangolari in cls	Unità modulari da 100-1000 m ³ /h				

Ultrafiltrazione

Tipologia	Tecnologie	Applicabilità	Pretrattamenti richiesti	Applicazione	Dimensionamento	Efficienza abbattimento
Ultrafiltrazione in pressione	Membrane esterne in vessel pressurizzati	Unità modulari	Grigliatura grossolana e fine (1 mm)	Vasche in cls/skid esterni	Flusso specifico < 0.12 m ³ /m ² /h Perdita di carico in esercizio 1.5 bar	<ul style="list-style-type: none"> rimozione solido sospeso TSS (99%) rimozione carica batterica (99%)
Ultrafiltrazione a gravità	Membrane immerse in vasca					

I dati riportati sopra costituiscono la base per l'analisi comparativa degli schemi di trattamento che verranno illustrati nei prossimi paragrafi.

3. INDIVIDUAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI TRATTAMENTO ADOTTABILI

Sulla base della ricognizione bibliografica sono state individuate le tipologie di trattamento adottabili, sia di tipo naturale che di tipo tecnologico. Per ciascuna tipologia di trattamento adottabile è stata redatta una scheda descrittiva così strutturata:

- Descrizione sintetica
- Vantaggi e svantaggi
- Indicazioni sul funzionamento idraulico e di processo
- Limiti e criticità nell'applicazione
- Gestione e manutenzione

Le schede fornite sono le seguenti:

- **Scheda 1:** Vasca di sedimentazione + VF (Approccio tedesco)
- **Scheda 2:** VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)
- **Scheda 3:** VF + FWS (Approccio italiano)
- **Scheda 4:** FWS (Approccio americano – 1)
- **Scheda 5:** FTW + HF o VF + FWS (Approccio americano – 2)
- **Scheda 6:** AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)
- **Scheda 7:** Vasca di equalizzazione+ HF o VF a sabbia (Approccio portoghese modificato)
- **Scheda 8:** Vasca di equalizzazione + VF a ghiaia
- **Scheda 9:** Sedimentazione primaria statica
- **Scheda 10:** Sedimentazione con pacchi lamellari
- **Scheda 11:** Chiariflocculazione
- **Scheda 12:** Microgrigliatura
- **Scheda 13:** Grigliatura fine + filtrazione meccanica finale

I diversi schemi proposti prevedono tutti una sezione di pretrattamento, le cui caratteristiche non sono state dettagliate in questa analisi.

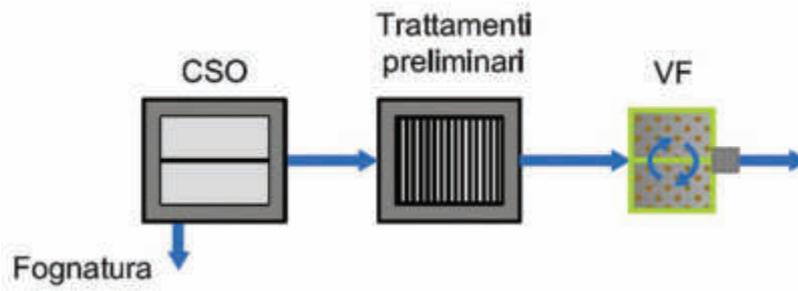
Allo stesso modo, gli schemi proposti possono essere completati da una vasca di accumulo temporaneo a monte dei trattamenti elencati, che permetta la laminazione e l'equalizzazione delle portate in modo da ridurre i picchi ed aumentare la flessibilità gestionale del sistema.

Al termine della trattazione si riporta una tabella riassuntiva (Tabella 11) delle caratteristiche principali delle soluzioni tecniche descritte nelle schede proposte qui di seguito.

Vasca sedimentazione + VF (Approccio tedesco)		SCHEMA 1
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione è ispirata allo schema proposto in Germania, che adotta uno stadio a flusso verticale subsuperficiale VF conosciuto col nome di "Retention Soil Filter" (RSF). Tali sistemi utilizzano filtri a flusso verticale a sabbia, mentre l'utilizzo del suolo è vietato data la limitata capacità filtrazione. Attualmente in Germania questa soluzione è adottata da più di 30 anni e vanta centinaia di applicazioni, con provate alte rimozioni su COD, TSS, TP, NH4-N, ma anche su microinquinanti e patogeni (per maggiori informazioni vedasi paragrafo 7.1.1.2 in Allegato).</p>		
<p>Il diagramma illustra il flusso del trattamento delle acque. Inizia con 'Fognatura' che entra in un 'Manufatto scolmatore CSO'. L'acqua si divide: una parte va in 'Fognatura' e l'altra prosegue verso 'Trattamenti preliminari' (rappresentati da una griglia). Successivamente, l'acqua entra in una 'Vasca sedimentazione'. Infine, l'acqua viene filtrata in un sistema 'VF' (flusso verticale subsuperficiale) che contiene un letto di sabbia. Un'uscita regolata da una bocca tarata completa il processo.</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soluzione compatta rispetto ad altri schemi con soluzioni naturali - Soluzione con 30 anni di esperienza in Germania e centinaia di impianti realizzati - Alti rendimenti depurativi su COD, BOD, TSS, N-NH4 e TP, stimati dal monitoraggio di un ampio numero di impianti - Monitorata capacità di rimozione di microinquinanti e patogeni - Presenza di software per il dimensionamento di dettaglio (RSF_Sim o Orage) 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'utilizzo di sabbia nel VF comporta un maggiore rischio di occlusione del letto nel caso di non appropriata manutenzione dei trattamenti preliminari e della vasca di sedimentazione 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) 3. <u>Vasca di sedimentazione</u> per la rimozione delle sabbie e dei solidi sospesi 4. <u>Uno o più stadi in parallelo di letti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF riempiti a sabbia</u> per la rimozione degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolo; è 		

Vasca sedimentazione + VF (Approccio tedesco)		SCHEDA 1
<p>inoltre previsto di accumulare le acque al di sopra del letto, in modo da fornire un ulteriore volume di detenzione</p> <p>5. Scarico</p>		
Efficienza di abbattimento:		
COD: 60-80% ^{1,2}	N: nitrificazione > 90% ¹ Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ³	
BOD:60% ¹	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ³	
TSS:90% ^{1,2}	Agenti microbiologici:90% ²	
1- Uhl&Dittmer (2005) 2 - Tondera (2017) 3 - Vymazal (2007) * - Indicativo per la soluzione naturale proposta		
Dimensionamento:		
Velocità massima infiltrazione nel letto regolata da bocca tarata Parametri indicativi: $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$ m/s		
LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE		
<p>L'utilizzo di sabbia nei letti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF garantisce alte rese depurative; di fatti la sabbia viene utilizzata nei sistemi VF per reflui civili, con ottimi risultati (Kadlec & Wallace, 2009). Tuttavia, rende il sistema più a rischio di occlusione (conosciuto nella letteratura scientifica come fenomeno di "clogging") nel caso non siano effettuate in modo corretto le operazioni di gestione e manutenzione, specialmente nello svuotamento della vasca di sedimentazione. Data la variabilità sia in termini di portate che di carico di solidi veicolato da diversi eventi CSO, si tende a richiedere nei manuali di manutenzione lo svuotamento della vasca di sedimentazione non solo a cadenze regolari ma anche dopo eventi meteorici intensi. Tutti questi aspetti rendono la vita utile di questa soluzione a rischio, specialmente se adottata per il trattamento di piccoli scolmatori, per cui è più probabile una manutenzione e gestione meno attenta.</p> <p>La vasca di sedimentazione proposta in questo schema è da intendersi più performante nella rimozione dei solidi rispetto ad un semplice dissabbiatore, richiesto come trattamento</p>		

Vasca sedimentazione + VF (Approccio tedesco)	SCHEDA 1
<p>preliminare per diversi schemi con soluzioni naturali proposti in questa linea guida (p.es. VF+FWS, Scheda 3). Ne consegue che tale vasca abbia dimensioni significative (seppur minori rispetto alle vasche di prima pioggia), riducendo l'ingombro dello stadio VF successivo, ma limitando la possibilità di inserimento in aree fruibili.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nelle vasche di sedimentazione - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento - Ispezione delle vasche VF - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse - Verifica corretto funzionamento bocca tarata <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sfalci essenze vegetali 	
<p>ESEMPI</p> <p style="text-align: center;">Esempio di RSF - Geilenkirchen - North Rhine-Wesphalia (Germania)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Per gentile concessione di Katharina Tondera</i></p>	

VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)		SCHEMA 2
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione ripropone lo schema studiato in Francia, che mutua quello tedesco, cioè l'utilizzo di uno stadio di fitodepurazione a flusso VF, combinandolo con l'esperienza accumulata negli anni con i così detti "sistemi alla francese", cioè sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue senza pretrattamenti (cioè senza fossa settica), soluzione che in Francia ha più di 30 anni di esperienza, oltre 4000 impianti installati ed è stata ampiamente studiata. Nonostante la vasta esperienza raccolta in Francia sui "sistemi alla francese", si è a conoscenza di un solo impianto a scala reale per il trattamento di CSO con questo schema, quello di Marcy-L'Etoile. Tuttavia, questo impianto è stato ampiamente monitorato negli ultimi 3 anni, fornendo garanzie sul corretto funzionamento di questa soluzione e permettendo di proporla in queste linee guida. L'impianto di Marcy-L'Etoile ha, infatti, mostrato alte rimozioni su COD, TSS, TP, NH4-N, ma anche su microinquinanti (per maggiori informazioni vedasi paragrafo 7.1.1.3 in Allegato).</p>		
		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trattamenti preliminari minimi - Soluzione mutuata dai "sistemi alla francese", soluzione per il trattamento di acque reflue domestiche con 30 anni di esperienza in Francia e migliaia di impianti realizzati - Assenza di fanghi da smaltire annualmente, dato che i fanghi e i sedimenti sono accumulati sopra il letto VF, di cui ne è prevista la rimozione solo ogni 10-15 anni - Alti rendimenti depurativi su COD, BOD, TSS, N-NH4 e TP, stimati dal monitoraggio di 3 anni dell'impianto a scala reale di Marcy-L'Etoile - Monitorata capacità di rimozione di 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maggiore complessità nella gestione (necessità di alternare l'alimentazione di diversi settori del letto) - Tuttora solo un impianto a scala reale monitorato 	

VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)		SCHEMA 2				
microinquinanti - È stata testata la possibilità di mischiare il medium di riempimento con altri materiali a più alta capacità di rimozione dei nutrienti (zeolite) - Presenza di software per il dimensionamento di dettaglio (Orage)						
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) 3. <u>Uno o più stadi in parallelo di letti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF riempiti a ghiaia</u> per la rimozione dei solidi e degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); i solidi sospesi vengono trattenuti sulla superficie del letto formando un deposito (o mantello) di fango, in analogia a quanto accade negli "impianti alla francese"; tale deposito è mantenuto sempre in condizioni aerobiche, grazie all'azione delle piante, garantendo l'assenza di diffusione di cattivi odori; sempre in analogia ai sistemi alla francese, è prevista la suddivisione dell'impianto in due comparti idraulicamente indipendenti, da alimentare in maniera alternata, in modo da garantire sufficienti tempi secchi per la mineralizzazione dello strato di deposito sopra i letti; il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolmo; è inoltre previsto di accumulare le acque al di sopra del letto, in modo da fornire un ulteriore volume di detenzione; 4. Scarico <p>Efficienza di abbattimento:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">COD: 80%¹</td> <td style="width: 50%; padding: 5px;">N: nitrificazione 70%¹ Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq)²</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">BOD:50-70%*</td> <td style="padding: 5px;">TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di</td> </tr> </tbody> </table>			COD: 80% ¹	N: nitrificazione 70% ¹ Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ²	BOD:50-70%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di
COD: 80% ¹	N: nitrificazione 70% ¹ Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ²					
BOD:50-70%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di					

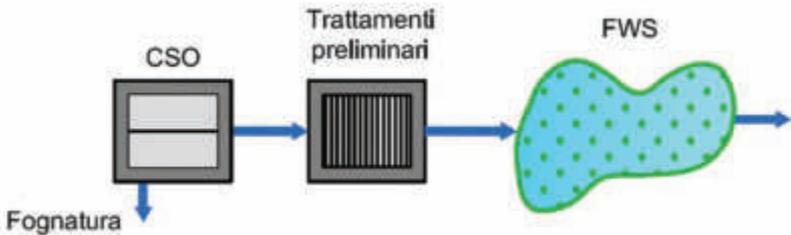
VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)		SCHEDA 2
	accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ²	
TSS:>90% ¹	Agenti microbiologici: 90%*	
<p>1- Pálffy et al. (2017a) 2 - Vymazal (2007) *- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p> <p>Dimensionamento:</p> <p>Velocità massima infiltrazione nel letto regolata da bocca tarata</p> <p>Parametri indicativi: $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$ m/s</p>		
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>L'alimentazione alternata è di fondamentale importanza per il funzionamento dei "sistemi alla francese" per il trattamento delle acque domestiche e, quindi, è fondamentale garantirne il corretto funzionamento anche per questo schema funzionale. In Francia, l'alternanza di alimentazione viene garantita per mezzo di elettrovalvole o più pompe regolate da PLC o temporizzatori, oppure da valvole manuali per cui è richiesto il cambio di configurazione ogni settimana. Risulta quindi evidente come la necessità di alimentazione alternata sia una componente di aggravio in termini di funzionamento del sistema: maggiori costi e complessità di progettazione nel caso alternanza automatica; necessità di un affidabile piano di gestione nel caso di alternanza manuale.</p> <p>I cicli ottimali da adottare per l'alimentazione alternata sono ancora in fase di studio in Francia. Se con alimentazione continua dei sistemi alla francese per acque domestiche tali cicli sono noti (tipicamente 3.5 giorni continui di alimentazione e 7 giorni di riposo), l'alimentazione per i CSO-CW è legata alla stocasticità delle piogge ed è difficile prevedere uno schema fisso. Sulla base della previsione degli eventi di scolmo da trattare, sarebbe quindi necessario cercare di mantenere un tempo di riposo medio per letto di circa 7 giorni, in modo da rispettare l'approccio dei "sistemi alla francese".</p>		
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nel disoleatore - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle 		

VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)	SCHEDA 2
<p>portate tra fognatura ed impianto di trattamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ispezione delle vasche VF - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse - Verifica corretto funzionamento bocca tarata <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sfalci essenze vegetali <p><i>Ad esaurimento dello spazio per accumulo dei solidi sulla superficie del letto (atteso ogni 10-15 anni)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione dei fanghi stabilizzati in superficie e spandimento in campi agricoli come compost in assenza di eccessive concentrazioni di metalli depositati 	
<p>ESEMPI</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="437 1111 708 1182" style="text-align: center;"> <p>Impianto di Marcy-L'Etoile in tempo secco</p>  </div> <div data-bbox="908 1111 1179 1182" style="text-align: center;"> <p>Impianto di Marcy-L'Etoile durante evento di pioggia</p>  </div> </div> <p><i>Per gentile concessione di Tamás Gábor Pálffy</i></p>	

VF + FWS (Approccio italiano)		SCHEDA 3
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione ripropone lo schema adottato in Italia per il primo impianto realizzato, cioè il CSO-CW di Gorla Maggiore (VA). Lo schema proposto è una fitodepurazione ibrida multistadio, con un primo stadio a flusso sommerso verticale (VF) simile alle soluzioni tedesche e francesi, e un secondo stadio a flusso libero progettato con ottica multiobiettivo sfruttandone i servizi ecosistemici (<i>ecosystem services</i>), cioè aumentando il volume di detenzione, la biodiversità e le potenzialità fruibili dell'area.</p> <p>L'impianto di Gorla Maggiore è rientrato tra i casi studi del progetto europeo FP7 OpenNESS (www.openness-project.eu), il cui monitoraggio ha permesso di evidenziare alte rese depurative su COD e N-NH4, oltre ai maggiori benefici forniti dai servizi ecosistemici di questo schema di infrastruttura verde rispetto ad una infrastruttura grigia (per maggiori dettagli vedasi i paragrafi 7.1.1.4 e 7.1.1.6 in Allegato).</p> <div data-bbox="414 1030 1212 1276" data-label="Diagram"> </div>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di sfruttare al meglio i servizi ecosistemici messi a disposizione dalle soluzioni naturali (qualità delle acque, sicurezza idraulica, biodiversità, fruizione) - Possibilità di limitare il volume di detenzione nello stadio VF al solo volume di trattamento delle prime piogge, usando il FWS per la laminazione di portate maggiori - Ridotte operazioni di gestione e manutenzione - Alti rendimenti depurativi su COD e N-NH4, stimati dal monitoraggio dell'impianto di Gorla Maggiore (VA) 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuttora solo un impianto a scala reale monitorato - Maggiore area richiesta rispetto all'approccio tedesco e francese per la presenza del sistema a flusso libero, che però garantisce anche un trattamento delle acque di seconda pioggia nel caso di Gorla Maggiore 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p>		

VF + FWS (Approccio italiano)	SCHEMA 3
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) e delle sabbie (dissabbiatore) 3. <u>Uno o più stadi in parallelo di letti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF riempiti a ghiaia</u> per la rimozione di parte dei solidi e degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolo; è inoltre previsto di accumulare le acque al di sopra del letto, in modo da fornire un ulteriore volume di detenzione; 4. <u>Fitodepurazione a flusso libero superficiale (FWS)</u> per il postrattamento delle acque di prima pioggia in uscita dai VF, l'aumento della biodiversità e la possibilità di creare area naturalistiche ad alta valenza fruitiva; il FWS può anche essere utilizzato per il trattamento e la laminazione delle acque di seconda pioggia 5. Scarico 	
Efficienza di abbattimento:	
COD: 70-90% ¹	N: nitrificazione 70-90% ¹ Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ²
BOD:50-70%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ²
TSS:>90%*	Agenti microbiologici: 90-99%*
1- Masi et al. (2017a) 2 - Vymazal (2007) *- Indicativo per la soluzione naturale proposta	
Dimensionamento:	
Velocità massima infiltrazione nel letto regolata da bocca tarata VF	
Parametri indicativi: $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$ m/s	
Tempo di ritenzione minimo FWS su portata massima bocca tarata VF	

VF + FWS (Approccio italiano)		SCHEDA 3
VF	FWS	
		

FWS (Approccio americano - 1)		SCHEMA 4
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione ripropone uno degli schemi proposti negli Stati Uniti, che si basa principalmente sull'uso di sistemi estensivi a flusso libero superficiale (FWS) dati gli ampi spazi a disposizione negli USA. Questo schema, in particolare, è quello con connotazioni più naturalistiche dato che fa affidamento sul solo FWS, non combinandolo con alcuna altra soluzione naturale. Il FWS permette una progettazione con ottica multiobiettivo, sfruttandone i servizi ecosistemici (<i>ecosystem services</i>), cioè aumentando il volume di detenzione e la biodiversità. Le possibilità di fruizione sono invece più limitate, data la possibilità di sviluppo di cattivi odori nei punti di immissione dei CSO (per maggiori dettagli vedasi il paragrafo 7.1.1.1 in Allegato).</p> <div data-bbox="406 918 1197 1153" style="text-align: center;">  <p>Il diagramma illustra il processo di trattamento delle acque reflue. A sinistra, un'etichetta 'Fognatura' indica l'ingresso delle acque in un contenitore 'CSO' (Manufatto scolmatore). Una freccia blu indica il flusso verso un'unità 'Trattamenti preliminari' rappresentata da una griglia. Una seconda freccia blu porta all'ultima unità, 'FWS' (Fitodepurazione a flusso libero superficiale), rappresentata da una forma irregolare con punti verdi, che ha una freccia di uscita a destra.</p> </div>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di sfruttare i servizi ecosistemici messi a disposizione dalle soluzioni naturali (qualità delle acque, sicurezza idraulica, biodiversità) - Soluzione naturale con minori richieste di gestione e manutenzione - Soluzione maggiormente naturalistica 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuttora solo un impianto a scala reale realizzato negli USA - Soluzione naturale con la maggiore area richiesta - Possibili cattivi odori in area di immissione delle acque nel FWS, che rischiano di limitarne l'utilizzo all'interno di parchi pubblici 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) 3. <u>Fitodepurazione a flusso libero superficiale (FWS)</u> per la rimozione dei solidi e degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolo; è inoltre previsto di accumulare le acque al di sopra del pelo libero in tempi secchi, in modo da fornire un ulteriore volume di 		

FWS (Approccio americano - 1)		SCHEDA 4						
<p>detenzione; differenti specie vegetali possono essere messe a dimora variando le profondità di fondo della vasca, in modo da contribuire all'aumento della biodiversità</p> <p>4. Scarico</p>								
<p>Efficienza di abbattimento:</p> <table border="1"> <tr> <td style="width: 50%;">COD: 60-70%*</td> <td style="width: 50%;">TN:30%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq)¹</td> </tr> <tr> <td>BOD: 40-50%*</td> <td>TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq)¹</td> </tr> <tr> <td>TSS:80-90%*</td> <td>Agenti microbiologici: 90-99%*</td> </tr> </table>			COD: 60-70%*	TN:30%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ¹	BOD: 40-50%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ¹	TSS:80-90%*	Agenti microbiologici: 90-99%*
COD: 60-70%*	TN:30%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ¹							
BOD: 40-50%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ¹							
TSS:80-90%*	Agenti microbiologici: 90-99%*							
<p>1 - Vymazal (2007)</p> <p>*- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p>								
<p>Dimensionamento:</p> <p>Tempo di ritenzione minimo FWS su portata massima</p> <p>Parametri indicativi:3-5giorni</p>								
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>L'utilizzo di un sistema naturale con flusso libero superficiale FWS comporta la necessità di estese aree, maggiori rispetto a tutti gli altri schemi con soluzioni naturali proposte.</p> <p>Le possibilità di inserire l'impianto in un parco sono limitate, dato il rischio di diffusione di cattivi odori nei punti di immissione delle acque CSO.</p> <p>Tuttavia, è possibile prevedere di rendere fruibili parti più a valle dei punti di ingresso, ad esempio per attività ludiche più naturalistiche come il birdwatching. In questo caso, se il FWS si progetta anche con lo scopo di laminazione delle acque di sfioro per il rispetto dell'invarianza idraulica, è possibile prevedere aree di allagamento a frequenze più alte (p.es. tempo di ritorno 5-10 anni). Se da un lato questo è un vantaggio, perché permette di usufruire delle aree quasi sempre durante l'anno, dando più valore all'opera, dall'altro va presa in considerazione (nel caso di battenti maggiori di 40-50 cm in tempo di piena nelle aree non normalmente umide) la collaborazione con la Protezione Civile per la gestione in sicurezza del parco quando siano attesi eventi</p>								

FWS (Approccio americano - 1)	SCHEDA 4
<p>meteorici più intensi. A tal proposito, è importante coinvolgere anche la popolazione in attività di educazione sul funzionamento del parco multiobiettivo.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nel dissabbiatore (se presente) o dall'area di calma in ingresso al FWS - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento - Ispezione della vasca FWS - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse - Verifica corretto funzionamento bocca tarata <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sfalci essenze vegetali <p><i>Straordinaria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione sedimenti accumulati sul fondo del FWS (tipicamente ogni 10-15 anni) 	
<p>ESEMPI</p> <p style="text-align: center;">Esempio di FWS per CSO– Washington (USA)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Fonte: www.wwdmag.com</i></p>	

FTW + VF o HF + FWS (Approccio americano - 2)		SCHEDA 5
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Il secondo tra gli approcci americani qui proposto è caratterizzato da un sistema ibrido multistadio. Dopo trattamenti preliminari per la separazione dei solidi grossolani, il primo stadio è caratterizzato da una FTW, dove le isole flottanti permettono di mantenere una copertura vegetale anche con oscillazioni del pelo libero sfruttando la capacità di rimozione delle radici delle piante acquatiche e la possibilità di limitare la diffusione di cattivi odori nella prima parte dei sistemi a flusso libero. Successivamente, si adotta uno stadio a flusso subsuperficiale per garantire una efficiente rimozione degli inquinanti disciolti, quali COD, BOD e nutrienti. Infine, è possibile adottare un ultimo stadio a flusso libero, progettato con ottica multiobiettivo, sfruttandone i servizi ecosistemici (<i>ecosystem services</i>), cioè aumentando il volume di detenzione, la biodiversità e le potenzialità fruibili dell'area.</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di sfruttare i vantaggi delle isole flottanti per i sistemi a flusso libero (rimozione metalli, copertura vegetata anche con oscillazione del pelo libero e riduzione cattivi odori nelle aree di immissione) - Possibilità di sfruttare al meglio i servizi ecosistemici messi a disposizione dalle soluzioni naturali (qualità delle acque, sicurezza idraulica, biodiversità, fruizione) - Alti rendimenti depurativi su COD e N-NH₄, dovuti al secondo stadio a flusso subsuperficiale 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuttora solo un impianto a scala reale realizzato negli USA - Maggiore area richiesta rispetto all'approccio tedesco e francese - Sperimentazione ancora in atto negli USA per definire la migliore configurazione per questo schema di impianto 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p>		

FTW + VF o HF + FWS (Approccio americano - 2)	SCHEDA 5
<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) 3. <u>Fitodepurazione a flusso libero con isole flottanti (FTW)</u> per la rimozione dei solidi sospesi; l'utilizzo di isole flottanti permette di aumentare il pelo libero della vasca (da 0.3 a un massimo di 1.2 m in tempo di pioggia), mantenendo una copertura vegetale, che funge da agente migliorativo nel trattamento (per via dell'effetto di filtrazione delle radici delle piante al di sotto dell'isola flottante) e da agente mitigativo nella diffusione di cattivi odori rispetto ai classici stagni usati per le acque di dilavamento, particolarmente critici sul fronte degli odori se usati al primo stadio per il trattamento di CSO; il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolmo 4. <u>Fitodepurazione a flusso subsuperficiale (HF o VF)</u> per la rimozione degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); essendo posti, in questo schema funzionale, al secondo stadio, è possibile dimensionarli in modo analogo al dimensionamento di sistemi a flusso subsuperficiale per acque reflue civili (HF a ghiaia, VF a sabbia), sulla base della portata regolata dalla bocca tarata del FTW; 5. <u>Fitodepurazione a flusso libero superficiale (FWS - opzionale)</u> per il postrattamento delle acque in uscita dal HF o VF, l'aumento della biodiversità e la possibilità di creare area naturalistiche ad alta valenza fruitiva 	
Efficienza di abbattimento:	
COD: 70-80%*	N: HF e VF TN40-60% ¹ ; VF nitrificazione 70-90%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq) ¹
BOD: 50-60%*	TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq) ¹
TSS:80-90%*	Agenti microbiologici: 90-99%*
<p>1 - Vymazal (2007)</p> <p>*- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p>	
Dimensionamento:	

FTW + VF o HF + FWS (Approccio americano - 2)	SCHEDA 5
<p>Tempo di ritenzione minimo FTW su portata massima</p> <p>Parametri indicativi: 12-24 ore</p> <p>Tempo di ritenzione minimo HF secondo stadio su portata massima</p> <p>Parametri indicativi: 24-48 ore</p> <p>Carico idraulico massimo VF secondo stadio (dimensionati come da reflui civili)</p> <p>Parametri indicativi: 80-120 l/m² al giorno</p> <p>Tempo di ritenzione minimo FWS (opzionale) su portata massima</p> <p>Parametri indicativi: 6-12 ore</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>Per il secondo stadio a flusso subsuperficiale, un secondo stadio HF può lavorare a gravità, mentre nel caso si adotti un sistema VF è necessaria l'adozione di un sistema di pompaggio per l'alimentazione in barche tipica dei sistemi a flusso subsuperficiale verticale usati per i reflui civili.</p> <p>Nel caso di progettazione del FWS al terzo stadio in area ad alta fruizione, per esempio un parco, e di necessità di laminazione delle acque di sfioro per il rispetto dell'invarianza idraulica, è possibile prevedere aree di allagamento a frequenze più alte (p.es. tempo di ritorno 5-10 anni). Se da un lato questo è un vantaggio, perché permette di usufruire delle aree quasi sempre durante l'anno, dando più valore all'opera, dall'altro va presa in considerazione (nel caso di battenti maggiori di 40-50 cm in tempo di piena nelle aree non normalmente umide) la collaborazione con la Protezione Civile per la gestione in sicurezza del parco quando siano attesi eventi meteorici più intensi. A tal proposito, è importante coinvolgere anche la popolazione in attività di educazione sul funzionamento del parco multiobiettivo.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nel dissabbiatore (se presente) o dall'area di calma in ingresso al FWS - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento - Ispezione delle vasche FTW, HF o VF, FWS - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse 	

FTW + VF o HF + FWS (Approccio americano - 2)	SCHEDA 5				
<ul style="list-style-type: none">- Verifica corretto funzionamento bocca tarata <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Sfalcio essenze vegetali FTW, VF o HF e FWS <p><i>Straordinaria</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Rimozione sedimenti accumulati sul fondo del FWS (tipicamente ogni 10-15 anni)					
<p>ESEMPI</p> <table border="0" style="width: 100%;"><tr><td style="text-align: center; width: 50%;"><p>FTW</p><p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p></td><td style="text-align: center; width: 50%;"><p>VF</p><p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p></td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><p>FWS</p><p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p></td></tr></table> <p style="text-align: center;"><i>Fonte: Tao et al. (2014)</i></p>		<p>FTW</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 	<p>VF</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 	<p>FWS</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 	
<p>FTW</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 	<p>VF</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 				
<p>FWS</p> <p>Impianto di Harbor Brook (USA)</p> 					

AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)		SCHEDA 6
<p>DESCRIZIONE</p> <p>L'utilizzo di un sistema di fitodepurazione aerata consente di adottare soluzioni naturali anche in contesti con ridotta superficie a disposizione (riduzione dell'area richiesta di 4-5 volte rispetto alle soluzioni di fitodepurazione tradizionali), a fronte di una maggiore complessità dell'impianto e a consumi energetici più alti.</p> <p>La soluzione tecnica è stata adottata per la progettazione di due grossi impianti di fitodepurazione per il trattamento degli sfiori da fognatura mista, l'impianto per il trattamento dello sfioratore di testa del depuratore di Merone (CO) e l'impianto di Cowdenbeath in Scozia (Howes et al., 2016), progettati seguendo la tecnologia patentata dalla società NaturallyWallace sotto il nome di Forced Bed Aeration™</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - È possibile ridurre gli ingombri richiesti dalle soluzioni naturali "passive" tradizionali di 4-5 volte grazie all'utilizzo del sistema di aerazione - In caso di finissaggio con FWS (opzionale) è possibile sfruttare al meglio i servizi ecosistemici messi a disposizione dalle soluzioni naturali (qualità delle acque, sicurezza idraulica, biodiversità, fruizione) - Alti rendimenti su BOD5 e NH4-N misurati sull'impianto di Cowdenbeath in Scozia (Howes et al., 2016) 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necessità di gestione con PLC del sistema di aerazione - Soluzione tecnica patentata, quindi senza metodologie standardizzate di dimensionamento disponibili in letteratura - Tuttora solo due impianti realizzati al mondo, con un solo impianto monitorato. 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) e delle sabbie (disabbiatore) 		

AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)	SCHEDA 6
<p>3. <u>Fitodepurazione aerata</u> con la tecnica del Forced Bed Aeration™, per la rimozione di parte dei solidi e degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); il flusso in uscita può essere regolato da una bocca tarata (schema di funzionamento dell'impianto di Merone), in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolo e accumulando le acque al di sopra del letto, in modo da fornire un ulteriore volume di detenzione; in alternativa è possibile prevedere una vasca di equalizzazione in testa all'impianto AEW (schema di funzionamento dell'impianto di Cowdenbeath)</p> <p>4. <u>Fitodepurazione a flusso libero superficiale (FWS - opzionale)</u> per il postrattamento delle acque in uscita dalla fitodepurazione aerata, l'aumento della biodiversità e la possibilità di creare area naturalistiche ad alta valenza fruitiva</p>	
<p>Efficienza di abbattimento:</p>	
COD: 90-95%*	<p>N: nitrificazione 70-90%*</p> <p>Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq)¹</p>
BOD: 90-95%*	<p>TP: 30-40%*</p> <p>Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq)¹</p>
TSS:>90%*	Agenti microbiologici: 90-99%*
<p>1 - Vymazal (2007)</p>	
<p>*- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p>	
<p>Dimensionamento:</p> <p>Tempo di svuotamento minimo per sfioro da trattare in AEW</p> <p>Parametri indicativi: 12-24 ore</p> <p>Tempo di ritenzione minimo FWS (opzionale)</p> <p>Parametri indicativi: 6-12 ore</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>La necessità di adottare un sistema di aerazione comporta una maggiore complessità in termini sia di progettazione, che di gestione dell'impianto; difatti, il controllo dell'aerazione può richiedere l'utilizzo</p>	

AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)	SCHEDA 6
<p>di un sistema di controllo automatizzato con PLC, in modo che l'aerazione parta solo in concomitanza degli eventi di sfioro che si voglia trattare e tenendo conto dei battenti variabili in vasca.</p> <p>Tale soluzione tecnica è nota, a scala, principalmente per l'utilizzo della tecnologia Forced Bed Aeration™, brevettata dalla ditta Naturally-Wallace, ciò ne ha limitato l'applicazione, dato che i criteri dimensionali non risultano distribuiti a livello internazionale. Ciò limita l'applicazione di questa soluzione solo a sfioratori di una certa importanza e/o a casi di particolari restrizioni dell'area a disposizione.</p> <p>Nel caso di progettazione del FWS al terzo stadio in area ad alta fruizione, per esempio un parco, e di necessità di laminazione delle acque di sfioro per il rispetto dell'invarianza idraulica, è possibile prevedere aree di allagamento a frequenze più alte (p.es. tempo di ritorno 5-10 anni). Se da un lato questo è un vantaggio, perché permette di usufruire delle aree quasi sempre durante l'anno, dando più valore all'opera, dall'altro va presa in considerazione (nel caso di battenti maggiori di 40-50 cm in tempo di piena nelle aree non normalmente umide) la collaborazione con la Protezione Civile per la gestione in sicurezza del parco quando siano attesi eventi meteorici più intensi. A tal proposito, è importante coinvolgere anche la popolazione in attività di educazione sul funzionamento del parco multiobiettivo.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nel dissabbiatore - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento - Ispezione delle vasche AEW e FWS (opzionale) - Verifica corretto funzionamento sistema di aereazione - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sfalcio essenze vegetali AEW e FWS (opzionale) <p><i>Straordinaria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione sedimenti accumulati sul fondo del FWS (opzionale - tipicamente ogni 10-15 anni) 	
<p>ESEMPI</p> <p style="text-align: center;">AEW + FWS CSO-CW in testa al depuratore di Merone (CO) – In costruzione</p>	

AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)	SCHEDA 6
	

Vasca di equalizzazione + HF o VF a sabbia (Appr. portoghese modificato)		SCHEDA 7
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questo schema è proposto sulla base delle esperienze di ricerca portoghesi, che hanno mostrato come la soluzione di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale (HF) sia in grado di fornire efficienti rendimenti depurativi per il trattamento delle acque di sfioro (vedasi Allegato). Benché vi sia una vasta esperienza sui sistemi HF per reflui civili, tale soluzione risulta tuttora non ancora applicata a scala reale per i CSO. Si rende quindi necessario proporre uno schema funzionale che cerchi di riportare il funzionamento degli HF il più prossimo possibile a quello largamente conosciuto per i reflui civili. Viene quindi proposta una vasca di accumulo/equalizzazione e un trattamento primario a monte del letto HF.</p> <p>Analogamente, è possibile adottare un sistema VF a sabbia usato per il trattamento dei reflui civili come trattamento secondario dei CSO.</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efficienti capacità di rimozione su COD, TSS ed enterococchi da sperimentazione di laboratorio per gli HF per il trattamento di CSO - I sistemi HF e VF per il trattamento di reflui civili sono ampiamente conosciuti sia a livello internazionale che nazionale - Possibilità di utilizzare gli approcci di dimensionamento per reflui civili 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necessità di garantire un flusso controllato per mezzo di una vasca di equalizzazione - Necessità di un trattamento primario per mezzo di fossa settica - Rischio di occlusione delle vasche di fitodepurazione in caso di mancata manutenzione della fossa settica 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) 		

Vasca di equalizzazione + HF o VF a sabbia (Appr. portoghese modificato)	SCHEDA 7
<p>3. <u>Vasca di equalizzazione</u> in grado di intercettare i volumi di sfioro da mandare a depurazione ed equalizzare le portate in ingresso al sistema di fitodepurazione</p> <p>4. <u>Fossa settica tricamerale o Imhoff</u> per trattamento primario delle acque di sfioro e rimozione delle sabbie</p> <p>5. <u>Fitodepurazione a flusso orizzontale (HF) riempita con ghiaia o verticale (VF) riempita con sabbia</u> per trattamento secondario delle acque di sfioro, cioè per la rimozione degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N-NH4+, NO3-); tale schema consente di dimensionare le vasche di fitodepurazione con gli approcci usati per il trattamento delle acque reflue civili</p>	
<p>Efficienza di abbattimento:</p>	
<p>COD: 80-95%^{1,2}</p>	<p>N: HF e VF TN 40-60%³; VF nitrificazione 70-90%*</p> <p>Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq)³</p>
<p>BOD: 70-80%*</p>	<p>TP:30-40%*</p> <p>Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq)³</p>
<p>TSS: 85-99%^{1,2}</p>	<p>Agenti microbiologici: 99-99,9%^{1,2}</p>
<p>1 - Amaral et al. (2013)</p> <p>2 - Pisoero et al. (2016)</p> <p>3 - Vymazal (2007)</p> <p>*- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p>	
<p>Dimensionamento:</p> <p>Tempo di ritenzione minimo HF secondo stadio su portata massima</p> <p>Parametri indicativi:24-48 ore</p> <p>Carico idraulico massimo VF secondo stadio (dimensionati come da reflui civili)</p> <p>Parametri indicativi: 80-120 l/m² al giorno</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>Sia i sistemi VF che HF sono largamente conosciuti, e loro utilizzo per il trattamento delle acque di sfioro consente di utilizzare i criteri dimensionali ben noti per questi sistemi nel caso di trattamento di acque reflue civili, per le quali si rimanda agli approcci dimensionali recentemente revisionati nel volume 7</p>	

Vasca di equalizzazione + HF o VF a sabbia (Appr. portoghese modificato)	SCHEDA 7		
<p>delle IWA Biological series redatto da Dotro et al. (2017). A tal fine, però, si rende necessario adottare lo stesso schema funzionale usato per acque reflue civili, che prevede un trattamento primario con fossa settica tricamerale o Imhoff. Ciò rende il sistema più a rischio di occlusione (conosciuto nella letteratura scientifica come fenomeno di “<i>clogging</i>”) nel caso non siano effettuate in modo corretto le operazioni di gestione e manutenzione di svuotamento della vasca di sedimentazione. Inoltre, data la variabilità sia in termini di portate che di carico di solidi veicolato da diversi eventi CSO, è necessario richiedere nei manuali di manutenzione lo svuotamento della fossa settica non solo a cadenze regolari, ma anche dopo eventi meteorici particolarmente intensi che veicolano significative quantità di trasporto solido. Tutti questi aspetti rendono la vita utile di questa soluzione a rischio, specialmente se adottata per il trattamento di piccoli scolmatori, per cui è più probabile una manutenzione e gestione meno attenta.</p>			
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l’ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell’impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento dei fanghi e delle sabbie accumulate nella fossa settica primaria - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento - Ispezione delle vasche di fitodepurazione - Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto - Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Sfalcio essenze vegetali 			
<p>ESEMPI</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 50%; border: none;"> Impianti pilota HF di Frielas (Portogallo) </td> <td style="text-align: center; width: 50%; border: none;"> HF da 450 a.e. non per acque di sfioro, ma per reflui civili di Località Lago Santo, Cem- bra (TN) </td> </tr> </table>		Impianti pilota HF di Frielas (Portogallo)	HF da 450 a.e. non per acque di sfioro, ma per reflui civili di Località Lago Santo, Cem- bra (TN)
Impianti pilota HF di Frielas (Portogallo)	HF da 450 a.e. non per acque di sfioro, ma per reflui civili di Località Lago Santo, Cem- bra (TN)		

Vasca di equalizzazione + HF o VF a sabbia (Appr. portoghese modificato)

SCHEDA 7



Per gentile concessione di Joana Piseiro

Vasca di equalizzazione + VF a ghiaia		SCHEDA 8
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questo schema è proposto per coniugare i benefici dell'adozione di una vasca di accumulo (equalizzazione della portata da mandare a depurazione) con la possibilità di adottare un sistema di fitodepurazione a flusso verticale con riempimenti in ghiaia proposti nell'approccio francese (Scheda 2) e italiano (Scheda 3). Rispetto allo schema proposto nella Scheda 6 si evita così l'uso di un trattamento primario con fossa settica.</p>		
<p>Il diagramma illustra il flusso delle acque reflue attraverso quattro componenti principali: 1. Fognatura (input), 2. CSO (Manufatto scolmatore), 3. Trattamenti preliminari (griglia e dissabbiatore), 4. Vasca di accumulo, e 5. VF a ghiaia (fitodepurazione a flusso verticale).</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alti rendimenti depurativi su COD e N-NH4, stimati dall'approccio alla Francese (Scheda 2) - Si evita l'utilizzo di fosse settiche per il trattamento primario proposte nello schema di Scheda 6 - La vasca di equalizzazione consente, rispetto all'approccio Francese (Scheda 2), di avere ingombri minori e di evitare la necessità di alternanza tra diversi letti VF 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schema proposto per unire i benefici di diverse soluzioni (Approccio Francese – Scheda 2, Approccio Italiano – Scheda 3, Approccio Portoghese modificato – Scheda 6), ma senza un caso studio reale monitorato - Il dimensionamento richiede una ottima conoscenza di tutti i sistemi precedentemente esposti da cui è mutuato 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani (griglia) e delle sabbie (dissabbiatore) 3. <u>Vasca di accumulo</u> in grado di intercettare i volumi di sfioro da mandare a depurazione ed equalizzare le portate in ingresso al sistema VF 4. <u>Uno o più stadi in parallelo di letti di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF riempiti a ghiaia</u> per la rimozione di parte dei solidi e degli inquinanti disciolti (p.es. COD, BOD5, N- 		

Vasca di equalizzazione + VF a ghiaia	SCHEDA 8
<p>NH₄⁺, NO₃⁻); tali stadi possono essere progettati sia considerando l'alternanza di alimentazione prevista nell'approccio francese (Scheda 2) che con funzionamento in parallelo dell'approccio italiano (Scheda 3)</p>	
<p>Efficienza di abbattimento:</p>	
<p>COD: 70-90%*</p>	<p>N: nitrificazione 70-90%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo azoto nella biomassa emergente delle piante 100-200 gN/mq)¹</p>
<p>BOD: 50-70%*</p>	<p>TP:30-40%* Rendimenti maggiori si possono avere con gestione apposita dello sfalcio delle piantumazioni (capacità di accumulo fosforo nella biomassa emergente delle piante 10-20 gP/mq)¹</p>
<p>TSS:>90%*</p>	<p>Agenti microbiologici: 90%*</p>
<p>1 - Vymazal (2007)</p>	
<p>*- Indicativo per la soluzione naturale proposta</p>	
<p>Dimensionamento:</p>	
<p>Velocità massima infiltrazione nel letto regolata da bocca tarata VF</p>	
<p>Parametri indicativi: 1 x 10⁻⁵ – 1 x 10⁻⁴ m/s</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p>	
<p>Questo schema è proposto per raccogliere i vantaggi di diverse soluzioni adottate per il trattamento degli sfiori da fognatura mista con soluzioni naturali (Approccio Francese – Scheda 2, Approccio Italiano – Scheda 3, Approccio portoghese modificato – Scheda 6). Tutti questi approcci sono stati testati e hanno mostrato di essere in grado di trattare in modo appropriato le acque di sfioro da fognatura mista, e quindi è prevedibile che tutti questi vantaggi siano garantiti anche dallo schema qui proposto. Tuttavia, questo schema non ha ancora una realizzazione a scala reale, quindi non ci sono evidenze di letteratura per confermare questa tesi. Si raccomanda, quindi, per l'adozione di questo schema, una profonda conoscenza di tutti gli schemi da cui esso è mutuato, in modo da garantire la corretta riuscita della sua implementazione.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p>	
<p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p>	

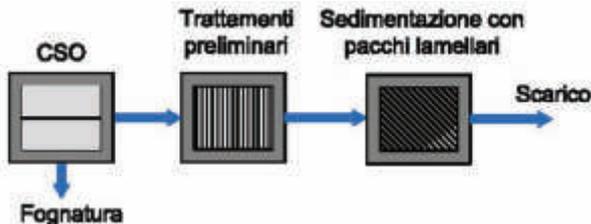
Vasca di equalizzazione + VF a ghiaia	SCHEDA 8
<ul style="list-style-type: none">- Rimozione e smaltimento del materiale grigliato- Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nel dissabbiatore- Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento- Ispezione delle vasche VF- Verifica presenza di erosioni e ristabilizzazione delle sponde e/o della superficie del letto- Verifica della presenza di piante infestanti e rimozione delle stesse <p><i>Dopo i primi 3 anni funzionamento, ogni due anni</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Sfalcio essenze vegetali VF	

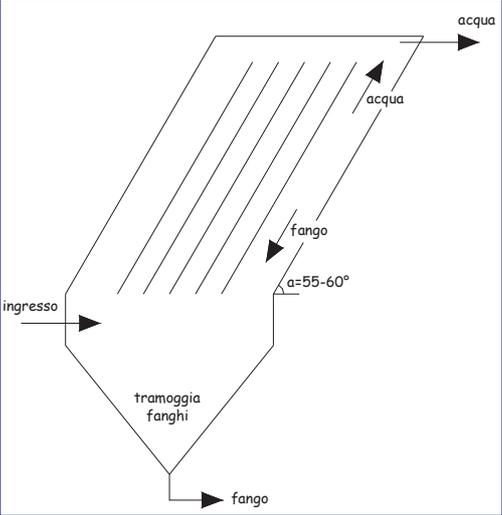
Sedimentazione primaria statica		SCHEDA 9
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione prevede la rimozione dei solidi sospesi mediante un comparto di sedimentazione a valle dei trattamenti preliminari.</p> <p>Si tratta di uno schema semplice, che non richiede importanti oneri gestionali se non per la pulizia e smaltimento dei fanghi prodotti.</p> <p>È bene evidenziare che questo schema prevede il solo trattamento primario, caratterizzato da rendimenti di rimozione decisamente inferiori rispetto alle soluzioni viste fino ad ora. L'effetto depurativo è legato soprattutto alla rimozione dei solidi sospesi ed agisce sul carico organico nella misura in cui l'inquinante aderisce alle particelle sospese</p> <div data-bbox="574 896 1165 1131" style="text-align: center;"> </div>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soluzione senza parti in movimento e senza necessità di intervento durante l'esercizio - Può essere realizzata interrata mantenendo la disponibilità dell'area fuori terra; - Soluzione ampiamente studiata e sperimentata 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - La sedimentazione agisce solo sui solidi sospesi e sulla sostanza inquinante ad essi adesa - Necessità di smaltimento dei fanghi prodotti 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani, da realizzarsi sulla portata di prima e di seconda pioggia. Il trattamento preliminare può comprendere la sola grigliatura grossolana (15-20 mm di luce) oppure anche un sistema di grigliatura a maglia media (6 mm) per incrementare l'efficienza di rimozione del solido. Il comparto di dissabbiatura può essere integrato nel successivo comparto di sedimentazione statica, che risulta altrettanto efficace nella rimozione delle particelle grossolane. 3. <u>Vasca di sedimentazione</u> per la rimozione delle sabbie e dei solidi sospesi, per il trattamento della sola portata di prima pioggia. Nel caso di dissabbiatura integrata va considerato l'apporto 		

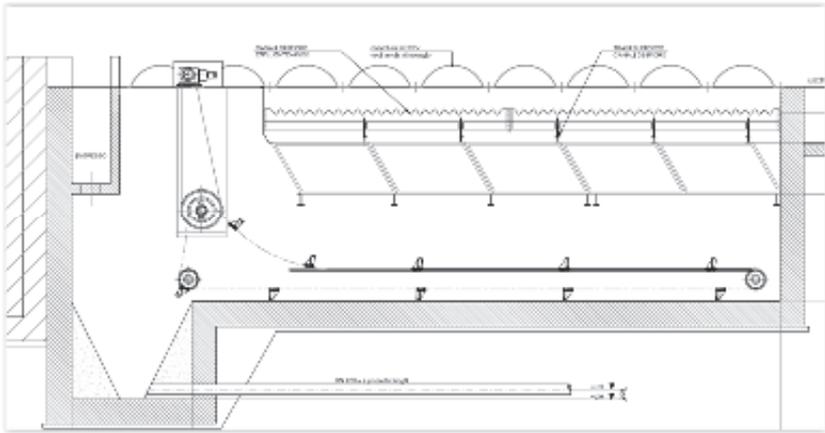
Sedimentazione primaria statica	SCHEDA 9																
<p>abrasivo della frazione granulare separata nel dimensionamento delle strutture impiantistiche per la movimentazione del fango e nella filiera di trattamento del fango separato.</p>																	
<p>PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO</p>																	
<p>La sedimentazione rappresenta il metodo più classico in uso per separare reflui e sostanze sospese, caratterizzate da una densità maggiore di quella dell'acqua. Tipicamente questi fenomeni, che avvengono in vasche di dimensioni tali da assicurare all'acqua uno stato di "quasi quiete".</p>																	
<p>I fenomeni sono gli stessi che si registrano anche nei processi "preliminari" di dissabbiatura-disoleatura: in essi, infatti, le sabbie precipitano sul fondo delle vasche, mentre gli oli e i grassi salgono e flottano verso il pelo libero del fluido. I parametri di dimensionamento più importanti sono il carico idraulico superficiale e il tempo di residenza; per la dissabbiatura valori usuali sono $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ e 15 minuti. L'efficienza dei dissabbiatori-disoleatori riguarda specifici parametri quali oli e grassi (con rendimenti tra l'80 e il 90%) e sabbie (Gruppo di Lavoro "Gestione impianti di depurazione", 2010).</p>																	
<p>Nella sedimentazione primaria vera propria i tempi di ritenzione e le velocità superficiali sono tali da consentire la precipitazione di particelle molto più piccole determinando un abbattimento netto anche della frazione organica associata (COD/BOD5).</p>																	
<p>Il processo avviene in vasche di grandi dimensioni, generalmente realizzate in calcestruzzo, con una conformazione geometria tale da:</p>																	
<ul style="list-style-type: none"> - ottimizzare il processo di separazione delle particelle (evitando corto-circuite risollevarimenti); - raccogliere adeguatamente i fanghi separati in tramogge o zone dedicate da cui possono essere asportate successivamente. 																	
<p>Nella tabella seguente (Fonte Metcalf e Eddy 2014) sono riportate le efficienze medie di rimozione dei sedimentatori primari, espresse in termini di BOD5 e TSS, in funzione del tempo di ritenzione.</p>																	
<p>zione su di pioggia è un'efficienza più bassa.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="485 1400 718 1467">Tempo di ritenzione (h)</th> <th data-bbox="718 1400 960 1467">Abbattimento TSS (%)</th> <th data-bbox="960 1400 1198 1467">Abbattimento BOD (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="485 1467 718 1500">1</td> <td data-bbox="718 1467 960 1500">45-50</td> <td data-bbox="960 1467 1198 1500">20-25</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 1500 718 1534">2</td> <td data-bbox="718 1500 960 1534">55-60</td> <td data-bbox="960 1500 1198 1534">30-35</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 1534 718 1568">3</td> <td data-bbox="718 1534 960 1568">60-65</td> <td data-bbox="960 1534 1198 1568">40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 1568 718 1612">>3</td> <td data-bbox="718 1568 960 1612">65</td> <td data-bbox="960 1568 1198 1612">40</td> </tr> </tbody> </table>	Tempo di ritenzione (h)	Abbattimento TSS (%)	Abbattimento BOD (%)	1	45-50	20-25	2	55-60	30-35	3	60-65	40	>3	65	40	<p>Nell'applicazione su flussi diluiti è attesa di rimozione</p>
	Tempo di ritenzione (h)	Abbattimento TSS (%)	Abbattimento BOD (%)														
	1	45-50	20-25														
	2	55-60	30-35														
	3	60-65	40														
>3	65	40															
<p>Il trattamento può essere realizzato in vasche a forma circolare o rettangolare con sistemi di raccolta fango mediante carriponte con raschie di fondo e di superficie oppure con immerse e tramogge di raccolta.</p>																	

Sedimentazione primaria statica	SCHEDA 9
	
Vasche di sedimentazione cilindriche e rettangolari	
Efficienza di abbattimento:	
COD: 15-25%	N: < 5%
BOD: 15-25%	P: < 5%
TSS: 30-50%	Agenti microbiologici: log 1 (<90%)
Dimensionamento:	
Verifica idraulica in base alla velocità di risalita (m/h) in corrispondenza della portata massima di dimensionamento.	
Parametri indicativi (riferiti alla portata massima):	
<ul style="list-style-type: none"> - tempo di ritenzione $h > 1.0$; - velocità risalita $m/h < 4$. 	
Concentrazione fango estratto: 1-2% TSS.	
LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE	
Il limite principale di questo schema consiste nel fatto di prevedere solo trattamenti primari e non biologici. Questo implica che l'abbattimento del carico organico è legato unicamente alla quota parte adesa alle particelle sedimentabili.	
La manutenzione della vasca di sedimentazione prevede l'asportazione e gestione dei fanghi prodotti con ulteriori sistemi di trattamento in loco o mediante l'allontanamento e lo smaltimento del fango tal quale. Questo richiede la possibilità di accesso all'area da parte di mezzi adeguati ai volumi da smaltire.	
La vasca di sedimentazione può essere fuori terra o interrata per limitare l'impatto del sistema a livello visivo e di occupazione di spazio.	

Sedimentazione primaria statica	SCHEDA 9
<p>Le peculiarità dell'applicazione alle acque di sfioro o di pioggia risiedono nelle maggior frequenza delle fasi di riempimento o svuotamento della vasca, che possono generare condizioni particolari per la sedimentazione.</p> <p>Va valutata anche la possibilità che la durata della pioggia sia inferiore a quello del riempimento.</p> <p>Lo svuotamento della vasca richiede poi una particolare attenzione per l'indirizzamento del flusso (al trattamento o allo scarico) in base alla qualità.</p> <p>È sconsigliabile mantenere piene le vasche per evitare fenomeni di putrefazione, crescita algale e incrostazioni delle pareti e del fondo.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto.</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato; - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nelle vasche di sedimentazione; - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento. 	

Sedimentazione con pacchi lamellari		SCHEDA 10
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione prevede la rimozione dei solidi sospesi mediante un comparto di sedimentazione con pacchi lamellari a valle dei trattamenti preliminari. La presenza dei pacchi lamellari permette di ridurre il tempo di ritenzione e quindi i volumi necessari ma richiede un maggiore affinamento dei trattamenti preliminari e maggiori oneri di manutenzione.</p> <p>Il meccanismo di depurazione è comunque lo stesso della soluzione descritta in precedenza e anche in questo caso vanno considerati gli oneri relativi all'estrazione e smaltimento dei fanghi.</p>		
		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soluzione senza parti in movimento e senza necessità di intervento durante l'esercizio - Può essere realizzata interrata mantenendo la disponibilità dell'area fuori terra; - Soluzione ampiamente studiata e sperimentata - Permette una riduzione delle superfici necessarie di circa il 50% rispetto allo schema precedente 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - La sedimentazione agisce solo sui solidi sospesi e sulla sostanza inquinante ad essi adesa - Necessità di smaltimento dei fanghi prodotti - Manutenzione più complessa per la presenza dei pacchi lamellari 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani, da realizzarsi sulla portata di prima e di seconda pioggia. Per evitare problematiche funzionali è opportuno che sia realizzato a monte un comparto di grigliatura media (6 mm), che impedisca il trascinarsi sui pacchi di corpi grossolani. Il comparto di dissabbiatura/disoleatura può essere separato oppure integrato come per la sedimentazione statica. 3. <u>Vasca di sedimentazione con pacchi lamellari</u> per la rimozione delle sabbie e dei solidi sospesi, per il trattamento della sola portata di prima pioggia. Come nel caso della sedimentazione 		

Sedimentazione con pacchi lamellari	SCHEDA 10
<p>statica, la presenza di sabbie insieme a fanghi (soluzione integrata) può determinare criticità funzionali e manutentive.</p>	
<p>I pacchi lamellari sono sistemi costituiti da fasci di tubi nei quali più facilmente rispetto ai sedimentatori tradizionali si realizza un flusso laminare. Funzionano in modo efficace sia nella separazione delle particelle leggere (globuli di idrocarburi) che nel caso delle particelle più pesanti (sospensioni).</p>	
<p>Per garantire l'auto-pulizia dell'installazione i pacchi sono montati secondo un angolo di 60° sull'orizzontale. Inoltre, sono praticamente insensibili agli agenti perturbatori tipici dei sedimentatori tradizionali, come ad esempio vento e fluttuazioni termiche.</p>	
<p>Il principio base del funzionamento dei pacchi lamellari è ampiamente conosciuto da diverso tempo. Le applicazioni si possono raggruppare in tre principali famiglie:</p>	
<p>a) controcorrente: sistemi alimentati dal basso nei quali il liquame sale lungo i condotti inclinati e il fango sedimentato scivola per gravità nel verso opposto al liquame (nella figura);</p> <p>b) equicorrente: sistemi alimentati dall'alto nei quali il liquame e il fango si muovono nella stessa direzione: il chiarificato viene separato dal fango mediante un apposito sistema di raccolta;</p> <p>c) alimentazione laterale: sistemi alimentati lateralmente, nei quali la limpida e il fango vengono immediatamente separati per evitare possibilità di rimescolamento.</p>	
<p>La soluzione a) rappresenta quella di più comune applicazione nel caso in esame.</p>	
<p>Il punto di forza dei sistemi a pacchi lamellari risiede nell'elevata superficie proiettata messa a disposizione per unità di volume occupato dal pacco (nell'ordine dei 10-12 m²/m³).</p>	
<p>Grazie all'impiego di sedimentatori lamellari la portata da trattare si suddivide tra le varie unità elementari, ciascuna delle quali può essere considerata come un sedimentatore autonomo di limitata profondità, con conseguente riduzione del percorso che ciascun solido deve compiere per raggiungere il fondo. La sezione deve essere tale da permettere la messa in opera di un elevato numero di condotti (aumentando così la superficie destinata alla sedimentazione) garantendo al contempo un'elevata efficienza di autopulizia dei canali.</p>	
<p>Le ridotte dimensioni del sistema implicano una ridotta distanza tra le varie componenti (zona di raccolta fanghi, zona destinata al pacco lamellare, zona di estrazione del surnatante). In particolare, riveste notevole importanza la modalità di distribuzione della torbida all'interno del pacco lamellare. Una cattiva distribuzione del liquame alla base del pacco può dar luogo ad intasamenti derivanti da una</p>	

Sedimentazione con pacchi lamellari	SCHEDA 10						
<p>disomogenea distribuzione dei solidi sospesi lungo i singoli condotti delle lamelle. Un'errata posizione e forma del distributore possono inoltre dar luogo ad un'eccessiva turbolenza in prossimità dello stesso con conseguente richiamo nei condotti di parte dei solidi già sedimentati, presenti nella poco distante tramoggia di raccolta fanghi.</p> <p>Per sfruttare al meglio le potenzialità dei pacchi lamellari, avvicinandosi il più possibile alle prestazioni teoriche, bisogna riuscire a creare intorno al sistema le condizioni ottimali di funzionamento. Tra queste è fondamentale il battente idraulico tra la parte superiore del pacco e la quota di scarico del liquame chiarificato. Un valore troppo contenuto di quest'ultimo influenza negativamente il regime di moto presente nella parte superiore delle lamelle, disturbando così il processo di sedimentazione.</p> <p>Dal punto di vista impiantistico la migliore soluzione tecnica è costituita da vasche rettangolari con catene plastiche raschiafanghi o con raschiatori metallici.</p>							
							
<p>Per installazioni di dimensioni molto ridotte è possibile utilizzare vasche statiche con tramoggia inferiore e sistema temporizzato di spurgo del fango.</p>							
<p>Efficienza di abbattimento (del tutto analoga alla sedimentazione primaria)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">COD: 15-25%</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">N:< 5%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">BOD: 15-25%</td> <td style="padding: 2px;">P:< 5%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">TSS: 30-50%</td> <td style="padding: 2px;">Agenti microbiologici: log 1 (< 90%)</td> </tr> </table>		COD: 15-25%	N:< 5%	BOD: 15-25%	P:< 5%	TSS: 30-50%	Agenti microbiologici: log 1 (< 90%)
COD: 15-25%	N:< 5%						
BOD: 15-25%	P:< 5%						
TSS: 30-50%	Agenti microbiologici: log 1 (< 90%)						
<p>Dimensionamento:</p> <p>Verifica idraulica in base alla velocità di risalita (m/h) in corrispondenza della portata massima di dimensionamento.</p> <p>Parametri indicativi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la velocità di riferimento rispetto alla superficie proiettata dipende dal pacco lamellare adottato. Rispetto alla superficie proiettata, si deve considerare una portata teorica generalmente 							

Sedimentazione con pacchi lamellari	SCHEDA 10
<p>non superiore a $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. Concentrazione fango estratto: 1-2% TSS.</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>Il limite principale di questo schema consiste nel fatto di prevedere solo trattamenti primari e non biologici. Questo implica che l'abbattimento del carico organico è legato unicamente alla quota parte adesa alle particelle sedimentabili.</p> <p>La manutenzione della vasca di sedimentazione prevede l'asportazione e gestione dei fanghi prodotti con ulteriori sistemi di trattamento in loco o mediante l'allontanamento e lo smaltimento del fango tal quale. Questo comporta la possibilità di accesso all'area da parte di mezzi adeguati ai volumi da smaltire.</p> <p>La vasca di sedimentazione può essere fuori terra o interrata per limitare l'impatto del sistema a livello visivo e di occupazione del suolo.</p> <p>La peculiarità della sedimentazione con pacchi lamellari consiste nell'aumento della superficie di sedimentazione che permette, a parità di volume della vasca, di aumentare il rendimento del sistema.</p> <p>A parità di superficie planimetrica occupata è possibile prevedere un incremento da 2 a 3 volte della portata trattabile.</p> <p>È però di fondamentale importanza, in particolare nell'applicazione al trattamento delle acque meteoriche o miste, la presenza di pretrattamenti a monte della vasca che evitino l'ingresso di materiale grossolano che potrebbe danneggiare i pacchi lamellari.</p> <p>Le dimensioni geometriche inferiori riducono le problematiche di riempimento e svuotamento, pur rimanendo le criticità della destinazione del flusso in base allo svuotamento.</p> <p>Va posta attenzione nelle modalità di gestione dal punto di vista dei pacchi lamellari e della conservazione degli stessi a vasca vuota, prevedendo idonee coperture mobili.</p> <p>Particolare attenzione va posta ai sistemi di raschiamento di fondo (conservazione a secco, congelamento) in considerazione del funzionamento intermittente, soggetto anche a lunghi periodi di fermo, caratteristico dell'applicazione ad acque di sfioro o meteoriche.</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nelle vasche di sedimentazione - Ispezione manufatto scalmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle 	

Sedimentazione con pacchi lamellari	SCHEDA 10
<p>portate tra fognatura ed impianto di trattamento</p> <p><i>Nel caso di danneggiamento delle lamelle</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Estrazione del modulo danneggiato- Sostituzione della parte danneggiata- Ricollocazione del modulo e ripristino del funzionamento	

Chiariflocculazione	SCHEDA 11
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione prevede di coadiuvare la sedimentazione mediante l'utilizzo di additivi chimici che diano luogo alla formazione di "fiocchi" di dimensioni maggiori e favorendo quindi il processo di sedimentazione.</p> <p>Questo schema può essere utilizzato per potenziare le efficienze dei processi di rimozione:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sedimentazione statica (SCHEDA 9) - sedimentazione con pacchi lamellari (SCHEDA 10) - microgrigliatura (SCHEDA 12) <p>Il dosaggio di prodotti chimici consente rendimenti anche doppi rispetto alla rimozione dei solidi sospesi ma richiede volumi aggiuntivi per il contatto e la miscelazione degli additivi.</p> <p>Si tratta di una soluzione adatta a situazioni in cui si può prevedere l'ubicazione dell'impianto in zona facilmente accessibile per le operazioni legate alla produzione o fornitura dei reagenti. Va inoltre considerato il tema dello smaltimento del fango, più complesso per la presenza degli additivi chimici.</p> <div data-bbox="550 1120 1141 1355" style="text-align: center;"> </div>	
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permette di abbattere anche le sostanze sospese non sedimentabili - Può essere realizzata interrata mantenendo la disponibilità dell'area fuori terra; - Permette una riduzione del dimensionamento di circa il 50%-60% rispetto alla separazione puramente fisica - Consente di ottenere l'abbattimento chimico del fosforo mediante precipitazione 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necessario prevedere volume di contatto e miscelazione degli additivi - L'impianto deve comprendere anche il sistema di dosaggio degli additivi - Lo smaltimento dei fanghi prodotti è più complesso per la presenza di additivi

FUNZIONAMENTO

Lo schema funzionale è il seguente:

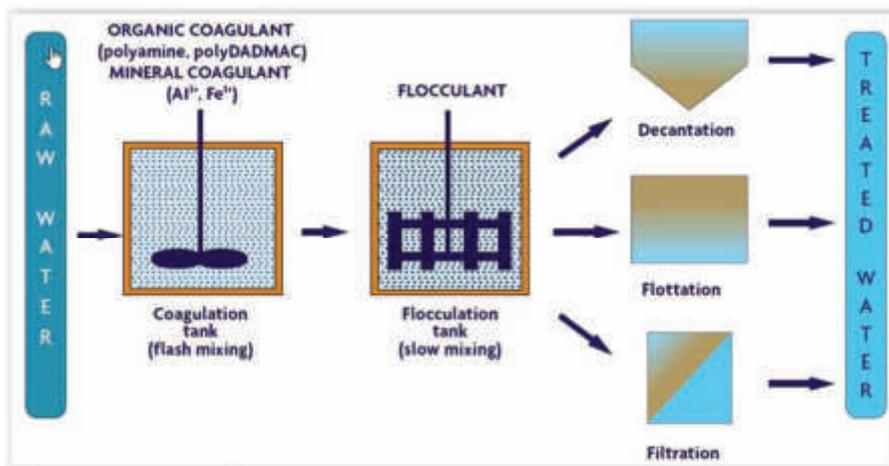
1. Manufatto scolmatore CSO per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ.
2. Trattamenti preliminari per la rimozione dei materiali più grossolani, da realizzarsi sulla portata di prima e di seconda pioggia.
3. Aggiunta e miscelazione dei coagulanti in vasche di contatto (tempo di contatto circa 5 min) dotate di dispositivi meccanici di miscelazione.
4. Vasca di flocculazione (tempo di contatto 15-20 min) con agitazione lenta per favorire la formazione del fiocco.
5. Sistema per la rimozione dei solidi sospesi inerti e chimici generati.

Il miglioramento dell'efficienza di rimozione è ottenuto mediante dosaggio alternativo o combinato di:

- coagulanti generalmente costituiti da Sali di Ferro (Solfato o Cloruro Ferrico) o di Alluminio (Policloruro di Alluminio);
- flocculanti generalmente rappresentati di polielettroliti anionici o cationici.

I prodotti chimici consentono di favorire l'aggregazione delle particelle colloidali e di migliorare sensibilmente le condizioni generali di sedimentabilità del fango.

Nella figura seguente lo schema previsto in accoppiamento con diversi sistemi di separazione del fango.



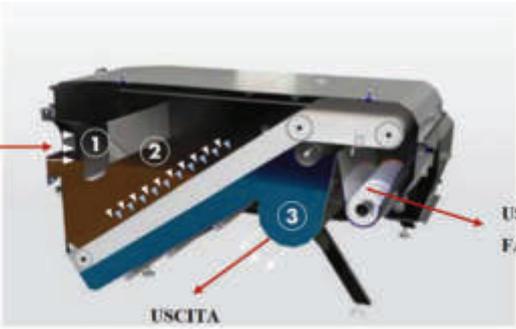
Efficienza di abbattimento:

COD: 35-40%	N: < 10%
BOD: 35-40%	P: 25%(*)

Chiariflocculazione		SCHEDA 11
TSS: 65-75%	Agenti microbiologici: log 1 (< 90%)	
<p>(*) Incremento fino all'80% con dosaggio mirato specificamente alla rimozione chimica del fosforo.</p> <p>Dimensionamento:</p> <p>Verifica idraulica in base alla velocità di risalita (m/h) in corrispondenza della portata massima di dimensionamento.</p> <p>In prima approssimazione si può ipotizzare una riduzione del 50/60 % del dimensionamento rispetto alla separazione puramente fisica cui vanno sommati i volumi di contatto e miscelazione.</p> <p>Parametri indicativi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tempo di contatto (minimo 20 min). <p>Per i parametri della sedimentazione si può considerare una riduzione delle superfici rispetto ai valori con processo solo fisico.</p> <p>Concentrazione fango estratto: 2-2,5% TSS.</p>		
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>Questa applicazione richiede una sezione di dosaggio, contatto e miscelazione dei reagenti. Inoltre, deve essere previsto uno spazio adeguato per lo stoccaggio dei reagenti.</p> <p>Questo fa sì che si tratti di una soluzione adatta a siti facilmente presidiabili o comunque raggiungibili agevolmente per operazioni di verifica, gestione e manutenzione.</p> <p>Un'altra criticità riguarda lo smaltimento dei fanghi per la presenza degli additivi chimici utilizzati (sali metallici come coagulanti e polimeri per la flocculazione).</p> <p>Per contro, il dosaggio di additivi consente di agire non solo sui solidi sospesi ma anche sulle sostanze colloidali presenti nelle acque da trattare, aumentando notevolmente i rendimenti di abbattimento.</p> <p>Il funzionamento intermittente richiede una particolare attenzione verso i sistemi di stoccaggio, preparazione e dosaggio dei reattivi chimici.</p>		
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p>Tutti i controlli e gli interventi necessari alla manutenzione sono eseguibili senza l'ausilio di manodopera specializzata, da personale avente le conoscenze sul funzionamento dell'impianto.</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato; - Rimozione e smaltimento del materiale accumulato nelle vasche di sedimentazione; - Ispezione manufatto scalmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle 		

Chiariflocculazione	SCHEDA 11
<p>portate tra fognatura ed impianto di trattamento.</p> <p><i>Operazioni di controllo</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Verifica del corretto funzionamento del sistema di dosaggio e del consumo di reagenti;- Funzionamento del sistema di miscelazione e tempi di contatto con i reagenti.	

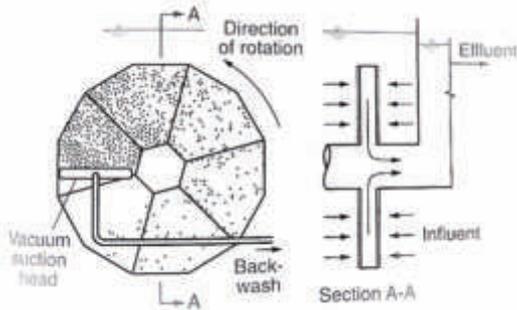
Microgrigliatura		SCHEDA 12
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione prevede, a valle dei trattamenti preliminari, un comparto di microgrigliatura o “sedimentazione primaria meccanica”, a differenza delle soluzioni “statiche” descritte negli schemi precedenti. L'utilizzo di apparecchiature elettromeccaniche consente una notevole riduzione degli spazi necessari, a fronte di maggiori consumi energetici e di una gestione più complessa dovuta alla presenza di parti in movimento.</p> <p>Il rendimento depurativo è analogo a quello ottenibile con la sedimentazione statica; anche per questo schema è possibile prevedere un notevole aumento di rendimento con il dosaggio di additivi flocculanti.</p>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notevole riduzione di spazio rispetto alle tecnologie statiche, fino ad un ordine di grandezza; - Possibilità di potenziare questo trattamento con l'aggiunta di flocculanti; - Non richiede trattamenti preliminari più spinti rispetto agli schemi con sedimentazione statica; - Realizzabile in modo modulare. 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rendimento paragonabile a quello dei sistemi statici; - Maggiore consumo energetico; - Possibile produzione di rumore nel corso delle operazioni di lavaggio se effettuate ad aria compressa; - Maggiori complessità di manutenzione per via della presenza di parti in movimento. 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ. 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani. Il trattamento di grigliatura può essere realizzato con una semplice protezione mediante grigliatura grossolana (15-20 mm). L'utilizzo di luci di filtrazione inferiori può essere utile per garantire una migliore qualità del fango separato ma non ha significativi impatti positivi sulla funzionalità del sistema meccanico a valle. 		

Microgrigliatura	SCHEDA 12
<p data-bbox="454 510 1326 573">3. Passaggio attraverso la sezione di <u>microgrigliatura</u>, che potrà essere collocata in canali o vasche metalliche esterne.</p> <p data-bbox="336 593 1326 719">Pur trattandosi di una tecnologia di recente applicazione in impianti di trattamento dei reflui urbani, esistono già diverse tecniche impiantistiche sul mercato e sono in fase di preparazione macchinari con principi simili che saranno presto commercializzati a testimonianza della validità della scelta tecnica.</p> <p data-bbox="336 741 1326 804">La tecnica più comune è quella della filtrazione su telo inclinato, che ha avuto origine nei paesi del Nord Europa e sta trovando ampia diffusione nei mercati tecnologicamente più evoluti.</p> <p data-bbox="336 824 983 853">Altre soluzioni presentano caratteristiche prestazionali analoghe.</p> <p data-bbox="336 873 1326 967">In generale vengono usate tele in materiale polimerico o metallico con luce di filtrazione di circa 300/350 μm. La formazione di un "cake" di materiale trattenuto aumenta in ogni caso l'efficienza di rimozione, garantendo la rimozione di particelle di dimensione inferiore.</p> <p data-bbox="336 987 1326 1151">Nella figura seguente, si evidenzia il principio di funzionamento che vede il refluo attraversare una superficie filtrante costituita generalmente da un telo in materiale plastico. L'innalzamento del livello del refluo grezzo, in seguito al progressivo intasamento della tela per l'accumulo del materiale separato, determina l'avanzamento della stessa con il trasporto del solido verso la zona di scarico e l'esposizione di una parte della superficie filtrante.</p> <div data-bbox="341 1167 1023 1525" style="text-align: center;">  <p data-bbox="341 1245 443 1301">INGRESSO REFLUO</p> <p data-bbox="948 1368 1023 1424">USCITA FANGO</p> <p data-bbox="600 1469 675 1525">USCITA REFLUO</p> </div> <p data-bbox="336 1552 963 1581">Il distacco del fango dalla rete può avvenire con diversi sistemi:</p> <ul data-bbox="376 1601 1086 1697" style="list-style-type: none"> - spazzole o raschiatori metallici; - lavaggio con acqua in pressione (calda o fredda); - lama d'aria compressa (preferibile per funzionamento discontinuo). <p data-bbox="336 1718 1321 1780">Una volta separato il fango viene generalmente raccolto con una coclea che, in funzione della destinazione, può consentire:</p> <ul data-bbox="376 1800 1278 1861" style="list-style-type: none"> - un ispessimento fino al 4-6% di SS, rendendone possibile il pompaggio in un accumulo; - una disidratazione fino al 20-30% di SS per lo smaltimento in forma solida palabile. 	

Microgrigliatura	SCHEDA 12
<p>Le rese di abbattimento sui parametri TSS, COD e BOD5 sono paragonabili a quelle dei sistemi statici descritti nelle schede precedenti. La possibilità di regolare le velocità di movimento della tela e conseguentemente la formazione del "cake" consentono di modulare le efficienze di rimozione e le capacità idrauliche delle macchine. Per questo motivo questo sistema risulta particolarmente flessibile e adatto a gestire portate e carichi variabili.</p>	
<p>Efficienza di abbattimento: (*)</p>	
COD: 15-25%	N:< 5%
BOD: 15-25%	P:< 5%
TSS: 30-50%	Agenti microbiologici: log1 (<90%)
<p>(*) Mediante dosaggio di prodotti chimici è possibile raggiungere valori superiori di abbattimento come per le soluzioni statiche.</p>	
<p>Dimensionamento:</p>	
<p>Specifiche a cura dei costruttori.</p>	
<p>Parametri indicativi:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - le soluzioni tecnologiche diverse e in evoluzione non consentono di definire parametri univoci di dimensionamento; 	
<p>Concentrazione del fango estratto</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - pompabile 4-6% TSS - palabile 20-30% TSS 	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p>	
<p>Questo schema prevede la rimozione dei solidi sospesi mediante un trattamento meccanico e non puramente gravitazionale, con rendimenti analoghi ma notevole riduzione di spazio.</p>	
<p>Si tratta di uno schema più complesso rispetto ai precedenti per la presenza di parti in movimento, teli filtranti, dischi o tamburi a seconda del caso specifico.</p>	
<p>L'utilizzo di un sistema meccanico comporta una maggiore potenza assorbita, maggiori costi di esercizio nonché maggiori oneri per la manutenzione e gestione dei macchinari.</p>	
<p>Alcuni sistemi di pulizia e rimozione dei fanghi, in particolare quelli ad aria compressa, possono dar luogo a rumore; in questi casi, se in prossimità di zone abitate o di fruizione, è necessario prevedere sistemi di riduzione delle emissioni sonore, ad esempio collocando le fonti di emissione in ambiente chiuso.</p>	
<p>I volumi ridotti in gioco semplificano molto le fasi di avviamento ed arresto con portate discontinue. I sistemi di lavaggio automatico semplificano la messa in stand-by tra le fasi di lavoro. È richiesta una</p>	

Microgrigliatura	SCHEDA 12
sorveglianza (anche da remoto) per garantire la disponibilità delle apparecchiature dopo lunghi intervalli di pausa.	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato - Rimozione e smaltimento dei fanghi - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento <p><i>Operazioni di controllo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifica del corretto funzionamento delle parti meccaniche ed eventuale sostituzione di parti ammalorate - Verifica dei sistemi di pulizia e rimozione dei fanghi 	
<p>ESEMPI</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="347 1182 815 1323"> <p>Trattamento acque di pioggia Azienda Gardesana Servizi di Villa Bagatta (VR) -</p> <p>Impianto pilota nell'ambito del Progetto Europeo "IntCatch"</p> </div> <div data-bbox="842 1182 1294 1245"> <p>Trattamento da 650 l/s su CSO di Aglian Water STP, Bedford</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div>	

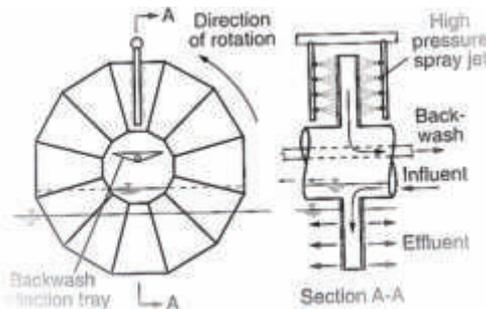
Grigliatura fine + filtrazione meccanica finale		SCHEDA 13
<p>DESCRIZIONE</p> <p>Questa soluzione prevede un maggiore affinamento del trattamento mediante l’inserimento di una sezione di filtrazione, che consente un elevato rendimento di rimozione dei solidi sospesi, con effetti significativi sul carico organico.</p> <p>A monte della sezione di filtrazione è necessario prevedere come pretrattamento una grigliatura fine (o sedimentazione primaria) per evitare l’ingresso di particelle grossolane e fibre che potrebbero intasare i filtri.</p> <p>Il lavaggio del macchinario avviene con un flusso controcorrente ed i fanghi prodotti sono meno concentrati rispetto a quanto avviene con i sistemi descritti nelle schede precedenti; questi andranno quindi inviati in fognatura o trattati ulteriormente per poi essere smaltiti.</p> <p>Per la filtrazione meccanica sono disponibili diverse tecnologie, quali la filtrazione su tela, a sabbia o con materiali sintetici. Si tratta di tecnologie che richiedono una manutenzione complessa, che devono essere effettuate da personale specializzato.</p>		
<pre> graph LR A[CSO] --> B[Trattamenti preliminari] B --> C[Grigliatura fine] C --> D[Filtrazione meccanica finale] A --> E[Fognatura] D --> F[Scarico] </pre>		
<p>VANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notevole riduzione di spazio rispetto alle tecnologie statiche, fino ad un ordine di grandezza; - Elevati rendimenti di abbattimento, oltre al 90% dei solidi sospesi e 35-40 % del carico organico; - Realizzabile in modo modulare; - Lavaggio automatico con flusso controcorrente. 	<p>SVANTAGGI</p> <ul style="list-style-type: none"> - Richiede trattamenti preliminari più spinti rispetto agli schemi descritti in precedenza; - Maggiori complessità di manutenzione per via della presenza di parti in movimento - Necessità di gestire il flusso di controlavaggio (circa 5% della portata) mediante successivo trattamento o invio in fognatura. 	
<p>FUNZIONAMENTO</p> <p>Lo schema funzionale è il seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Manufatto scolmatore CSO</u> per separazione delle acque da mandare in fognatura e acque da trattare in situ 2. <u>Trattamenti preliminari</u> per la rimozione dei materiali più grossolani 		

Grigliatura fine + filtrazione meccanica finale	SCHEDA 13
<p>3. <u>Grigliatura fine (1 - 6 mm)</u></p> <p>4. Passaggio attraverso la sezione di <u>filtrazione meccanica finale</u>, che potrà essere collocata in canali o vasche metalliche esterne</p> <p>La filtrazione meccanica di superficie può essere realizzata mediante sistemi a disco.</p>  <p>Le soluzioni tecniche possono prevedere alcune varianti così classificabili:</p> <ul style="list-style-type: none">- filtri con flusso OUT-IN (completamente immersi) – caso (a);- filtri rotanti a flusso tangenziale (caso b)- filtri con flusso IN-OUT (parzialmente immersi) – caso (c); <p>Le immagini successive sono tratte da Metcalf e Eddy ed. 2014</p> <p>Filtri OUT-IN – caso (a)</p> 	

Filtrazione tangenziale – caso (b)



Filtri IN_OUT – caso (c)



Il materiale filtrante può essere costituito da tessuti sintetici o maglia metallica con luce di filtrazione generalmente prossima a 10 µm. Le macchine sono modulari e l'accoppiamento di un numero maggiore o minore di dischi consente il dimensionamento delle stesse in un vasto campo di portate. La perdita di carico tra ingresso ed uscita è generalmente contenuta al di sotto di 1 m di colonna d'acqua.

Il controlavaggio viene effettuato con acqua filtrata pressurizzata o mediante aspirazione ed è richiesto l'allontanamento di portate di dreni ad elevato tenore di solido sospeso.

Efficienza di abbattimento: (*)

COD: 30-40%	N: < 10%
BOD: 30-40	P: < 10%
TSS: > 90%	Agenti microbiologici: log 2 (< 99%)

(*) Mediante dosaggio di prodotti chimici è possibile raggiungere valori superiori di abbattimento come per le soluzioni statiche.

Grigliatura fine + filtrazione meccanica finale	SCHEDA 13
<p>Dimensionamento:</p> <p>Flussi specifici (m³/m²/h) in base alle specifiche dei fornitori.</p> <p>Parametri indicativi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per filtri a tela la velocità di filtrazione massima si attesta generalmente su 8/10 m³/m²/h. <p>Concentrazione del fango estratto < 0,5% (forma liquida) con portata corrispondente a 1-5% della portata trattata.</p>	
<p>LIMITI E CRITICITA' NELL'APPLICAZIONE</p> <p>I sistemi di filtrazione meccanica permettono di ottenere rendimenti estremamente elevati nell'abbattimento dei solidi sospesi ma richiedono un affinamento dei pretrattamenti che devono necessariamente comprendere anche una grigliatura fine (o sedimentazione primaria) a monte della filtrazione.</p> <p>La potenza elettrica necessaria per il funzionamento di questo schema è leggermente superiore a schemi con trattamenti meccanici meno spinti quali ad esempio la microgrigliatura.</p> <p>Il lavaggio dei filtri avviene in automatico mediante sistemi a flusso inverso che danno luogo a fanghi non addensati che devono essere ulteriormente trattati o possono essere reimmessi nella rete di acque miste. Questa possibilità può essere valutata se vi è sufficiente capienza nella rete e presso l'impianto, considerando che il flusso di controlavaggio può avere una portata pari a circa il 5% della portata di dimensionamento del filtro.</p> <p>La manutenzione delle apparecchiature è più complessa rispetto ai sistemi statici e richiede l'intervento di personale specializzato.</p> <p>L'utilizzo dei filtri con prolungati periodi di fermo richiede un'attenta sorveglianza del sistema, prevedendo eventualmente la movimentazione e il lavaggio del filtro anche nei periodi di fermo.</p> <p>I ridotti volumi in gioco facilitano le fasi di avvio e arresto.</p> <p>L'utilizzo di filtri OUT-IN o tangenziali può risultare più efficace per l'applicazione specifica (per caratteristiche del refluo, modalità del controlavaggio e gestione dei fermi macchina).</p>	
<p>GESTIONE E MANUTENZIONE</p> <p><i>Regolarmente e dopo eventi meteorici intensi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rimozione e smaltimento del materiale grigliato; - Rimozione e smaltimento dei dreni liquidi; - Ispezione manufatto scolmatore e controllo delle luci di regolazione per la suddivisione 	

Grigliatura fine + filtrazione meccanica finale	SCHEDA 13
<p>delle portate tra fognatura ed impianto di trattamento.</p> <p><i>Operazioni di controllo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Verifica del corretto funzionamento delle parti meccaniche ed eventuale sostituzione di parti ammalorate; - Verifica dei sistemi di controlavaggio. 	
<p>ESEMPI</p> <p style="text-align: center;">Impianto di Cavour (TO) di Acea Pinerolese su CSO</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><i>Per gentile concessione di Acea Pinerolese</i></p>	

4. COMPARAZIONE TRA I SISTEMI ADOTTABILI

4.1 Confronto tra diverse tecnologie adottabili

Per confrontare i diversi sistemi descritti nel paragrafo 3 è stato adottato l'approccio dell'analisi *multicriterio*. Trattandosi di un confronto "teorico" l'analisi è inevitabilmente di larga massima e ovviamente riferita a criteri di comparazione che non esauriscono le variabili che possono influenzare la scelta della soluzione. In tabella 11 è riportato un riepilogo dei contenuti delle schede del paragrafo 3 mentre i criteri di valutazione considerati per l'analisi multicriterio sono:

- **Abbattimento carico inquinante:** che tiene conto della prestazione media delle diverse tecniche nella rimozione del carico organico, dell'azoto e dei parametri microbiologici: seppur diverse tra loro, le prestazioni in termini di rimozione del carico organico, dell'azoto e della carica batterica variano parallelamente nelle diverse tecnologie adottabili e sono tra i parametri considerati maggiormente rappresentativi per quanto riguarda la qualità delle acque di sfioro da reti miste. Il confronto non tiene conto invece delle prestazioni in termini di abbattimento dei solidi sospesi, maggiormente significative nel caso di reti solo meteoriche. Queste sono comunque indicate nelle schede e nelle tabelle riportate nei paragrafi precedenti.
- **Abbattimento fosforo:** che tiene conto della prestazione media delle diverse tecniche nella rimozione del contenuto in fosforo, parametro di particolare importanza soprattutto nel caso di scarichi in acque interne e per cui le prestazioni di rimozione tra le diverse tipologie di impianto variano diversamente rispetto agli inquinanti citati sopra. È opportuno sottolineare che nei sistemi di depurazione naturale il fosforo non viene "trasformato" come avviene per la sostanza organica, l'azoto o la carica batterica, ma accumulato nel medium di riempimento e nella biomassa. Per questo il rendimento degli impianti nella rimozione del fosforo è inizialmente molto elevato – nei primi mesi di funzionamento – e si stabilizza negli anni successivi per poi ridursi progressivamente dopo 10-15 anni di esercizio dell'impianto (per l'esaurimento dei siti attivi di "stoccaggio" del fosforo). Poiché il fosforo è un elemento fondamentale per la crescita delle piante è possibile aumentare la capacità di rimozione dell'impianto attraverso opportune pratiche gestionali di sfalcio e

asportazione della biomassa: in questo modo – ad ogni ciclo vegetativo – le piante sono costrette ad assimilare il fosforo necessario per la propria attività biologica sottraendolo alla circolazione idrica (rimozione per assimilazione o *uptake*).

- **Costo d'investimento:** che è fortemente dipendente dalle condizioni locali: Gli interventi sono stati suddivisi in tre categorie di costo indicativo: le tipologie che hanno costo in linea con il costo medio delle diverse tipologie proposte e quelle invece che rispetto a tale media hanno costi sensibilmente minori o maggiori.
- **Occupazione di spazio:** che considera prevalentemente la superficie occupata e resa quindi inutilizzabile dalle tecniche utilizzate. Per le tecniche tradizionali, però, si è tenuto conto anche delle superfici sotterranee impiegate – che possono quindi essere almeno in parte riutilizzate una volta realizzata l'opera – seppur attribuendo loro un minor impatto in termini di occupazione.
- **Necessità di personale:** che tiene conto della frequenza di visite in situ da parte di personale per controlli o operazioni gestionali.
- **Consumi energetici:** che confronta la domanda di energia elettrica delle diverse soluzioni.
- **Fanghi prodotti:** che è riferita ai fanghi veri e propri prodotti dalla sedimentazione dei solidi sospesi; non si tiene conto dei trattamenti preliminari e delle sabbie che sono considerati equivalenti per tutte le tecniche di trattamento.
- **Integrazione/miglioramento Habitat e paesaggio:** che tiene conto dei servizi ecosistemici aggiuntivi forniti da alcune delle soluzioni proposte

L'esito dell'analisi è riportato in Tabella 12

SCHEMA	CAMPI DI APPLICAZIONE/ VANTAGGI	PRESTAZIONI	LIMITI APPLICATIVI ED ACCORGIMENTI
Vasca di sedimentazione + VF (Approccio tedesco)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Soluzione naturale compatta rispetto ad altri sistemi naturali 30 anni di esperienza in Germania	COD: 60-80% BOD: 60% TSS: 90% N: nitrificazione > 90% P: 30-40% Microbiol.: log 1 (90%)	Necessità di una vasca di sedimentazione Utilizzo di sabbia aumenta il rischio di occlusione del letto nel caso di non appropriata manutenzione della vasca di sedimentazione
VF ad alimentazione alternata (Approccio francese)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Trattamenti preliminari minimi	COD: 50-70% BOD: >90% N: nitrificazione 70% P: 30-40% Microbiol.: log 1 (90%)	Gestione più complessa per garantire l'alternanza di alimentazione dei letti
VF + FWS (Approccio italiano)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Possibilità di sfruttare maggiormente i servizi ecosistemici delle soluzioni naturali (p.es. biodiversità, fruizione, laminazione)	COD: 70-90% BOD: 50-70% TSS: >90% N: nitrificazione e 70-90% P: 30-40% Microbiol.: log 1-2 (90-99%)	Soluzione a doppio stadio che richiede maggiore area rispetto all'approccio tedesco e francese
FWS (Approccio americano - 1)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Possibilità di sfruttare maggiormente i servizi ecosistemici delle soluzioni naturali (p.es. biodiversità, fruizione, laminazione)	COD: 60-70% BOD: 40-50% TSS: 80-90% N: 30% P: 30-40% Microbiol.: log 1-2 (90-99%)	Soluzione naturale con la maggiore area richiesta per l'implementazione Rischio di diffusione di cattivi odori nei punti di immissione del FWS
FTW + HF o VF + FWS (Approccio americano - 2)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Limitazione rischio diffusione cattivi odori con isole flottanti Possibilità di sfruttare maggiormente i servizi ecosistemici delle soluzioni naturali (p.es. biodiversità, fruizione, laminazione)	COD: 70-80% BOD: 50-60% TSS: 80-90% N: 40-60% P: 30-40% Microbiol.: log 1-2 (90-99%)	Soluzione naturale che richiede maggiore area rispetto agli approcci tedesco e francese
AEW + FWS (fitodepurazione intensificata aerata)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Soluzione naturale più compatta tra i sistemi naturali (ingombri ridotti di 4-5 grazie al sistema di aerazione)	COD: 90-95% BOD: 90-95% TSS: >90% N: nitrificazione e 70-90% P: 30-40% Microbiol.: log 1-2 (90-99%)	Necessità di un PLC per la gestione del sistema di aerazione Soluzione tecnica patentata
Vasca di equalizzazione + HF o VF a sabbia (Approccio portoghese)	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Soluzione naturale compatta rispetto ad altri sistemi naturali	COD: 80-95% BOD: 70-80% TSS: 85-99% N: 40-60% P: 30-40% Microbiol.: log 2-3 (99-99.9%)	Necessità di una vasca di equalizzazione Necessità di un trattamento primario (Fossa settica tricamerale o Imhoff)
Vasca equalizzazione + VF a ghiaia	Acque con alto carico organico/recettore molto sensibile Soluzione naturale compatta rispetto ad altri sistemi naturali	COD: 70-90% BOD: 50-70% TSS: >90% N: nitrificazione 70-90% P: 30-40%	Necessità di una vasca di equalizzazione



SCHEMA	CAMPI DI APPLICAZIONE/ VANTAGGI	PRESTAZIONI	LIMITI APPLICATIVI ED ACCORGIMENTI
Sedimentazione primaria statica	Acque con ridotto carico organico/recettore poco sensibile Soluzione senza parti in movimento Possibilità di realizzazione interrata	Microbiol.: log 1 (90%) COD: 15-25% BOD: 15-25% TSS: 30-50% N: < 5% P: < 5% Microbiol.: log 1 (<90%)	Solo trattamento primario Verifica del funzionamento in fase di svuotamento e riempimento Preferibile prevedere svuotamento in caso di lunghi periodi di secca Necessità di sistema di asportazione e gestione fanghi
Sedimentazione con pacchi lamellari	Acque con ridotto carico organico/recettore poco sensibile Soluzione senza parti in movimento Possibilità di realizzazione interrata Volumi ridotti rispetto a soluzione precedente	COD: 15-25% BOD: 15-25% TSS: 30-50% N: < 5% P: < 5% Microbiol.: log 1 (<90%)	Solo trattamento primario Verifica del funzionamento in fase di svuotamento e riempimento Preferibile prevedere svuotamento in caso di lunghi periodi di secca Necessità di sistema di asportazione e gestione fanghi Trattamenti preliminari per evitare l'ingresso di materiale grossolano
Chiarificazione	Possibilità di applicazione a tutti gli schemi tradizionali per aumentare il rendimento Agisce sulle sostanze colloidali presenti nelle acque da trattare (es. fosforo)	COD: 35-40% BOD: 35-40% TSS: 65-75% N: <10% P: <25% Microbiol.: log 1 (<90%)	Richiede sistema di dosaggio reagenti e volume di contatto Smaltimento di fanghi chimici
Microgrigliatura	Acque con ridotto carico organico/recettore poco sensibile Adatto a portate e carichi variabili, funzionamento intermittente Spazi ridotti	COD: 15-25% BOD: 15-25% TSS: 30-50% N: < 5% P: < 5% Microbiol.: log 1 (<90%)	Solo trattamento primario Presenza di parti in movimento Necessità di sistema smaltimento fango, in forma palabile o pompabile per accumulo e successivo smaltimento Maggiori consumi elettrici
Grigliatura fine + Filtrazione meccanica finale	Acque con ridotto carico organico/recettore poco sensibile Elevato rendimento su TSS Adatto a portate e carichi variabili, funzionamento intermittente Spazi ridotti	COD: 30-40% BOD: 30-40% TSS: >90% N: <10% P: <10% Microbiol.: log 2 (<99%)	Solo trattamento primario Presenza di parti in movimento Richiede pretattamento con grigliatura fine Flusso di controlavaggio circa 5% portata trattata Necessità di sistema di smaltimento fanghi

Tabella 11. Tabella riepilogativa degli schemi di trattamento proposti

Sul fronte dell'abbattimento degli inquinanti, le soluzioni naturali hanno mediamente prestazioni più elevate rispetto alle soluzioni tradizionali, che si limitano alla rimozione dei solidi sospesi. I sistemi naturali, ad eccezione dei sistemi FWS, permettono riduzioni del carico organico superiori all'80%, mentre quelle che prevedono una vasca di equalizzazione possono raggiungere rimozioni molto spinte (superiori al 90%). Analogamente per la rimozione del fosforo con l'eccezione *della chiariflocculazione* che, utilizzando opportuni reagenti, può permettere una rimozione anche molto spinta. I costi di realizzazione sono comparabili per gran parte delle soluzioni (per cui il costo è un aspetto non rilevante nel confronto), ma ce ne sono alcune che hanno costi mediamente superiori del 30% circa, mentre i sistemi di trattamento primario più semplici hanno costi significativamente più bassi. L'occupazione di spazio è un aspetto negativo per tutti i sistemi naturali, in particolare quelli più estensivi (FWS), e, seppure in misura minore, per alcuni sistemi tradizionali, in particolare quelli statici. Dal punto di vista della necessità di personale per il controllo e la gestione tutte le soluzioni – essendo concepite per presidi decentrati – hanno prestazioni discrete, ma alcune richiedono un controllo periodico per verificare il corretto funzionamento, altre presentano una “affidabilità” intrinseca, grazie alla semplicità del funzionamento. Anche dal punto di vista dei consumi energetici le prestazioni sono mediamente buone per tutte le soluzioni, ma alcune – se le condizioni locali lo permettono – possono funzionare “a gravità” senza nessun ricorso ad input energetici esterni. Le soluzioni naturali spesso non producono fanghi, ad eccezione delle soluzioni che prevedono anche una vasca di sedimentazione, mentre la maggior parte delle soluzioni tradizionali più semplici richiedono un qualche sistema di gestione dei fanghi. Infine, dal punto di vista dell'integrazione e miglioramento dell'habitat e del paesaggio, le soluzioni naturali sono quelle che hanno le migliori prestazioni.

4.2 Albero decisionale per guidare la scelta della soluzione

La scelta sulla soluzione ottimale da applicare per ridurre l'impatto di uno scarico su un corso d'acqua è influenzata da molti fattori che dipendono dal contesto locale. Le presenti linee guida non possono quindi in nessun modo sostituirsi al processo di analisi tipico della progettazione, tuttavia, quando si esaminano le possibili

soluzioni progettuali, sarà necessario valutare i vincoli imposti dal contesto territoriale in cui si colloca l'intervento. In particolare, in analogia a quanto stabilito negli "Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori", al fine di valutare il livello di efficacia depurativa da raggiungere dovranno, in primo luogo, essere individuati i corpi idrici superficiali tipizzati nel PTUA in cui recapitano direttamente o indirettamente gli scarichi provenienti da ciascun sfioratore. La soluzione progettuale dovrà, infatti, garantire rese depurative diverse a seconda del corpo idrico ricettore. In particolare, dovranno essere adottate soluzioni progettuali che garantiscono il maggior abbattimento del carico (compatibilmente con i vincoli di tipo tecnico) per:

- I. corpi idrici lacustri in stato ecologico inferiore al buono
- II. corpi idrici fluviali indicati in Tabella 19, Capitolo 5 della Relazione Generale del PTUA (per questi corpi idrici, sulla base dei dati di monitoraggio ARPA e degli esiti dell'analisi delle pressioni è stata rilevata la necessità di contenere i carichi inquinanti veicolati da scarichi di acque reflue urbane).

Potranno, invece, essere usate soluzioni con capacità di abbattimento meno spinte negli altri casi di seguito elencati:

- III. altri corpi idrici PTUA in stato ecologico inferiore al buono o corpi idrici non individuati nel PTUA che recapitano in corpi idrici PTUA in stato ecologico inferiore al buono
- IV. In corpi idrici in buono stato ecologico o che recapitano in corpi idrici PTUA in buono stato ecologico.

Lo stato ecologico da considerare per le valutazioni di cui al presente punto sarà quello più aggiornato, reso disponibile da ARPA Lombardia.

La scelta della soluzione ottimale dovrà anche tenere conto delle valutazioni ed eventuali prescrizioni imposte in fase autorizzatoria in relazione allo specifico stato ambientale del corso d'acqua.

In linea generale quando c'è area disponibile è preferibile ricorrere a soluzioni naturali che garantiscono le rese depurative maggiori e, contestualmente, offrono anche altri "servizi" oltre al trattamento delle acque (possibilità di fruizione, supporto alla biodiversità, laminazione dei deflussi superficiali). Nel caso in cui ci sia spazio disponibile, le variabili che influenzano la scelta delle tecniche di depurazione

naturali utilizzabili sono: la possibilità di alimentazione elettrica, la possibilità di presidiare l'impianto per verificarne la funzionalità, la percentuale di abbattimento da garantire (da considerare sempre in relazione allo spazio disponibile).

Quando lo spazio è poco, si deve valutare l'effettiva necessità di ridurre il carico organico in relazione alla tipologia di corpo idrico in cui viene immesso lo scarico. Qualora sia possibile limitarsi al solo trattamento primario è possibile ricorrere a soluzioni tradizionali pratiche ed economiche. Tra queste, la scelta tra le varie alternative tiene conto della necessità di limitare ulteriormente la superficie occupata, la possibilità o meno di garantire un presidio frequente all'impianto e dell'esigenza di effettuare un trattamento più o meno spinto. Se, invece, è necessario abbattere in modo significativo il carico organico si può ricorrere o ai sistemi naturali areati (che garantiscono efficacia depurativa elevata) o a tecniche di filtrazione che garantiscono comunque una rimozione del carico organico apprezzabile.

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, è stato schematizzato un albero decisionale riportato alla pagina seguente.

5. DEFINIZIONE DEI REQUISITI MINIMI OBBLIGATORI E LINEE GUIDA DI INDIRIZZO PER LA PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO

5.1 Approccio metodologico

Le indagini sperimentali presenti nella letteratura scientifica, nazionale ed internazionale, ed i riscontri forniti dalle estese campagne di misura condotte evidenziano, come detto, l'elevato carico inquinante che le acque di prima pioggia sono in grado di veicolare. L'andamento temporale dei carichi inquinanti consente di studiare soluzioni ingegneristiche che non prevedono il trattamento di tutte le acque meteoriche, ma solo di una frazione della precipitazione raccolta.

Il presente paragrafo ha l'obiettivo di indicare una metodologia per la valutazione della portata di progetto da mandare a trattamento in continuo per gli schemi impiantistici che non prevedono l'adozione di vasche di accumulo.

Coi trattamenti in continuo ci si trova infatti nella situazione schematizzata in Figura 5: mentre le vasche di accumulo sono in grado di intercettare il carico inquinante veicolato dalle così dette acque di prima pioggia indipendentemente dalla portata massima dell'evento di scolmo², i trattamenti in continuo senza vasche di accumulo richiedono invece la scelta di un'opportuna portata di taglio Q^* che, se da una parte può comportare l'intercettazione iniziale di solo una quota del carico inquinante raccolta dalle vasche di prima pioggia, dall'altra può fornire in corso di evento l'intercettazione di un carico inquinante aggiuntivo, che le vasche di prima pioggia, a volume esaurito, non sarebbero invece in grado di raccogliere.

² a condizione di dimensionare il tubo di alimentazione delle stesse in modo sufficientemente conservative

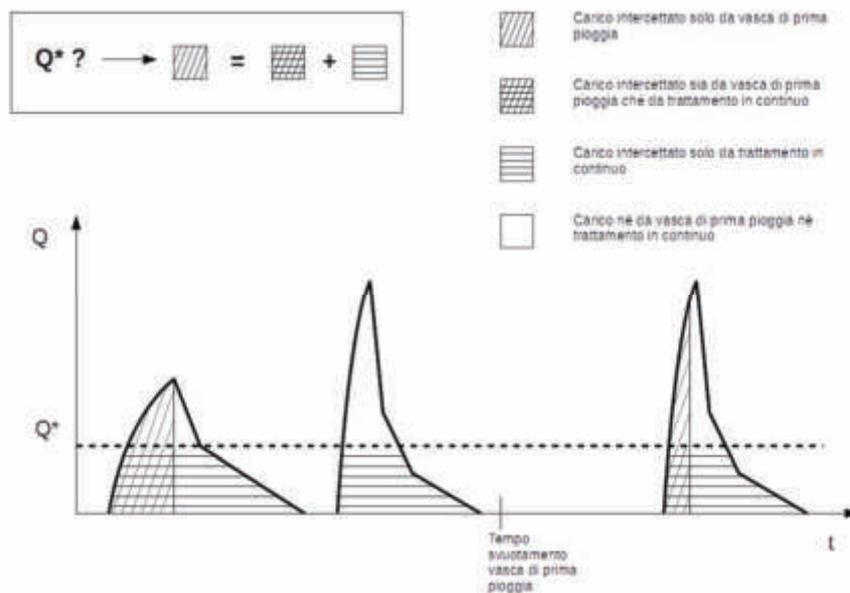


Figura 5. Schematizzazione qualitativa sul tema di quale portata di taglio adottare per intercettare lo stesso quantitativo di carico inquinante sia con vasche di prima pioggia che con trattamenti in continuo

Questo approccio è rispecchiato dal regolamento regionale “Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane”, che all’art. 13, comma 3 prevede che per gli sfioratori atti alla limitazione delle portate meteoriche da addurre alla depurazione (art. 12, comma 1, lettera b), *le modalità di raccolta e gli eventuali trattamenti ai quali sottoporre le acque sfiorate sono disciplinati nella sezione 3 dell’allegato E “Reti e sfioratori di piena”*. In particolare, per le acque sfiorate da sottoporre a trattamento sono indicate due possibilità:

“le acque sfiorate sono immesse:

- *in vasche di accumulo delle acque di pioggia a perfetta tenuta per evitare infiltrazioni negli strati superficiali del sottosuolo, dimensionate come indicato nella successiva Sezione 4 dell’Allegato E;*
- *in presidi/sistemi di trattamento da progettare secondo le “Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie”. Tale soluzione non è ammessa nel caso di presenza di carico industriale, espresso in AE, in percentuale superiore al 20%.*

Analogamente, per quanto riguarda le reti fognarie separate, il regolamento prevede:

“In caso di fognature separate, per agglomerati superiori a 2000 AE, deve essere realizzato un sistema di contenimento degli inquinanti veicolati dalle acque meteoriche di dilavamento individuato tra le seguenti soluzioni tecniche:

- a) realizzazione delle condotte a servizio del bacino in modo da avviare verso l'impianto di trattamento delle acque reflue urbane l'aliquota delle acque di pioggia corrispondente ad un apporto di 1 L/s per ettaro di superficie scolante impermeabile. Tale soluzione è adeguata solo per bacini di superficie scolante impermeabile maggiore di 20 ha;*
- b) realizzazione di una vasca di prima pioggia del tipo fuori linea avente capacità di 25 m³ per ettaro impermeabile e con svuotamento nella rete fognaria adducente all'impianto di trattamento. Lo svuotamento deve avvenire con portata minore o uguale a 1 L/s per ettaro di superficie scolante impermeabile, con inizio al termine dell'evento meteorico (che si può assumere coincidente con l'esaurimento della portata meteorica nella condotta di alimentazione) e conclusione entro 48 ore dal termine dell'evento medesimo;*
- c) immissione delle acque di prima pioggia in presidi/sistemi di trattamento realizzati in conformità alle “Linee guida per la progettazione e realizzazione dei sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da sfioratori di reti fognarie”*

5.1.1 Portata da sottoporre a trattamento in continuo a valle di sfioratori di piena di reti miste

Gli studi e le simulazioni numeriche continue quali-quantitative condotte su vari bacini sperimentali in Italia (Bonomo et al, 1993; Paoletti e Papiri, 2007) hanno confermato che le vasche di accumulo (con dimensione specifica legata al rapporto di diluizione usato per il dimensionamento degli scaricatori di piena) sono una soluzione efficace ai fini del controllo dei carichi inquinanti contenuti nelle acque reflue urbane.

Il grafico seguente mostra ad esempio l'andamento della massa specifica annua di SS (kg/haiimp) scaricata in funzione del volume specifico della vasca di prima pioggia per vari rapporti di diluizione nel sito sperimentale di Cacina Scala (PV).

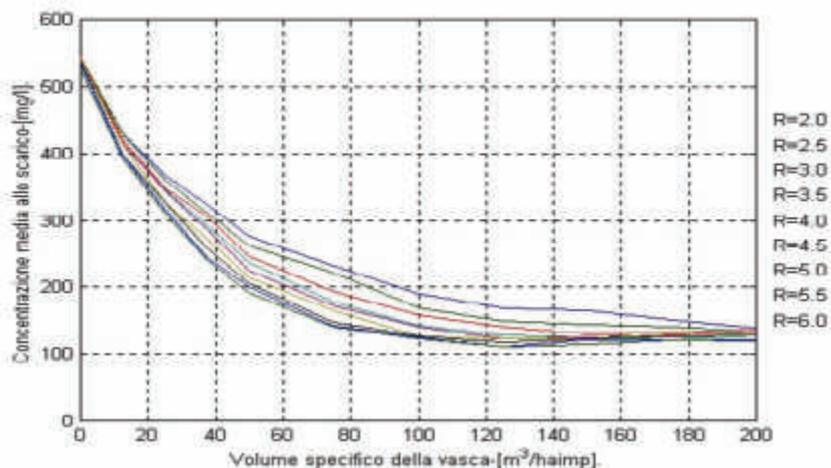


Figura 6. Sistema fognario misto con scaricatore ideale e vasca off-line con bypass a completo riempimento [Papiri, 2005]

Il regolamento regionale n. 6/2019 prevede che il dimensionamento delle vasche di accumulo delle acque di sfioro delle reti fognarie unitarie sia basato sulla superficie scolante impermeabile del bacino proprio dello sfioratore. Nella definizione del volume utile della vasca si dovrà tener conto, tra l'altro, dei tempi di corrivazione del bacino proprio, della vulnerabilità del recettore e delle caratteristiche qualitative delle acque sfiorate. Qualora non siano effettuate valutazioni specifiche sulle caratteristiche quali-quantitative delle acque sfiorate e sui carichi inquinanti intercettati, per il calcolo del volume utile dovrà essere considerato il valore di riferimento di 50 m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile. In alternativa, in presenza delle suddette valutazioni specifiche, il volume utile potrà essere definito tenendo conto dell'obiettivo di intercettare almeno il 50% del carico annuo sfiorato (in termini di COD e solidi sospesi totali), e non potrà essere in ogni caso inferiore a quello calcolato applicando il valore di 25 m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile. Nel calcolo del volume delle vasche si potrà tenere conto, a seguito delle opportune valutazioni, della capacità di invaso delle reti fognarie.

Si tratta quindi di definire per i trattamenti in continuo una metodologia che fornisca analoghi benefici sui corsi d'acqua.

Secondo quanto previsto dall'Allegato E al Regolamento Regionale sulla disciplina degli scarichi, le considerazioni riportate nel seguito si riferiscono a casi in cui il carico industriale, espresso in AE, sia inferiore al 20% del carico totale. In assenza di tale condizione, infatti, il regolamento non permette di adottare come soluzione l'utilizzo di sistemi di trattamento in continuo a valle degli sfioratori (Sezione 3 – Allegato E), che dovranno pertanto essere dotati di vasche di accumulo.

Per quanto riguarda le acque di sfioro provenienti da reti miste si è quindi deciso di adottare il principio dell'identificazione di una portata di taglio in grado di **intercettare, coi trattamenti in continuo, lo stesso carico inquinante annuo intercettato dalle vasche di prima pioggia**, dimensionate secondo i criteri del regolamento regionale riportati sopra.

A questo proposito è bene esplicitare alcuni aspetti:

- come parametri rappresentativi del carico inquinante di sfioratori di piena di rete mista si suggerisce di adottare BOD5, COD e TSS, salvo diverse specificazioni contenute nel Piano di Tutela o prescrizioni espresse in fase di autorizzazione;
- il confronto riguarda il carico intercettato dai diversi sistemi e dalle vasche di accumulo e non il carico abbattuto. Le linee guida illustrano le caratteristiche dei diversi sistemi proposti, compresi i rendimenti di abbattimento relativi ai diversi inquinanti. Prescrizioni particolari relative ai rendimenti di abbattimento minimi accettabili possono essere espresse dagli Enti competenti in fase di autorizzazione

Riassumendo:

Portata di taglio:
portata da sottoporre a trattamento in loco a valle di uno sfioratore
=
Portata che consente di intercettare un carico inquinante pari a quello determinato in base ai criteri previsti dalla sez. 4 dell'All. E del RR n. 6/2019

In funzione del numero di abitanti equivalenti, secondo le indicazioni dell'allegato E del RR n. 6/2019, si possono distinguere i casi seguenti.

1. Per gli agglomerati con popolazione servita < 2'000 AE, nel caso di reti fognarie di tipo unitario e ad eccezione degli sfioratori di testa impianto, non c'è obbligo di realizzazione di vasche di accumulo o sistemi di trattamento delle acque scaricate dagli sfioratori. Si sottolinea comunque che, sempre in base al Regolamento, *“In sede di autorizzazione dei relativi scarichi, qualora necessario per la tutela del recettore, la provincia competente o la Città metropolitana di Milano prescrive, ove necessario, la realizzazione di sistemi di accumulo o anche di trattamento in loco dell'effluente di sfioro in funzione dell'impatto dello scarico”*.
2. Per gli sfioratori il cui bacino proprio ha una popolazione servita >2000 AE e < 10'000 AE è possibile inviare direttamente al recettore le acque sfiorate qualora la portata di inizio sfioro sia almeno pari a 2 volte il valore della portata minima da addurre a depurazione. In questo caso infatti si rientra nella casistica dell'art. 12 comma 2 a) (sfioratore di alleggerimento), per la quale in base all'art. 13, comma 2 non è necessario alcun sistema di gestione o trattamento delle acque di prima pioggia. Inoltre non sono previsti sistemi di trattamento e accumulo quando la portata da avviare all'impianto di trattamento delle acque reflue, determinata con riferimento al solo bacino proprio, deve essere minore della metà della portata da avviare all'impianto di trattamento delle acque reflue, determinata con riferimento al bacino totale sotteso dallo sfioratore (sez. 3 dell'All. E del RR n. 6/2019). In analogia e coerenza con quanto già previsto dalla legge, i sistemi di trattamento in continuo delle acque a valle degli sfioratori “atti alla limitazione delle portate da inviare a

depurazione” (art. 12 comma 2b) dovranno trattare una portata almeno **pari al valore della portata minima da addurre a depurazione**. Per portate superiori a tale valore, le acque eccedenti potranno essere direttamente scaricate nei recettori senza trattamento o accumulo. Anche in questo caso, rimane la possibilità per l'autorità competente di disporre diversamente qualora lo richieda lo stato ecologico del corso d'acqua o la particolare natura delle acque scaricate.

3. Gli sfioratori il cui bacino proprio ha una popolazione servita > 10'000 AE non possono, invece, essere considerati di alleggerimento, a prescindere dal valore della portata di inizio sfioro. Le acque sfiorate vanno quindi in ogni caso immesse in sistemi di accumulo o di trattamento quali quelli descritti nei precedenti capitoli. **Per il dimensionamento dei sistemi di trattamento è quindi di fondamentale importanza la definizione della portata minima da trattare (portata di taglio), corrispondente a quel valore che permette di intercettare la stessa quantità di inquinante, su base annua, pari a quello determinato in base ai criteri previsti dalla sez. 4 dell'AlI. E del RR n. 6/2019**

Nel caso di sfioratori il cui bacino proprio ha una popolazione servita > 10'000 AE occorre quindi individuare la portata minima da inviare a trattamento in loco. Poiché le casistiche possibili e le caratteristiche delle reti e dei bacini possono essere le più disparate, al fine di poter tener in conto le specificità proprie del singolo sfioratore per il quale si propende per una tipologia di trattamento in loco, l'approccio proposto per l'individuazione della portata di taglio si basa sull'applicazione di modelli matematici, ormai sempre più diffusi e completi e ampiamente impiegati con successo sia nella pianificazione che nella progettazione e gestione dei sistemi di drenaggio. Già il Regolamento Regionale n. 7/2017 ha richiesto su ampia parte del territorio regionale lo sviluppo della modellazione numerica della rete di drenaggio per valutare il rischio di allagamenti a scala comunale dovuto ad insufficienza del sistema di drenaggio.³

³Il Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7 "Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005,

I criteri descritti nel presente paragrafo sono sintetizzati nell'albero decisionale riportato nella figura che segue:

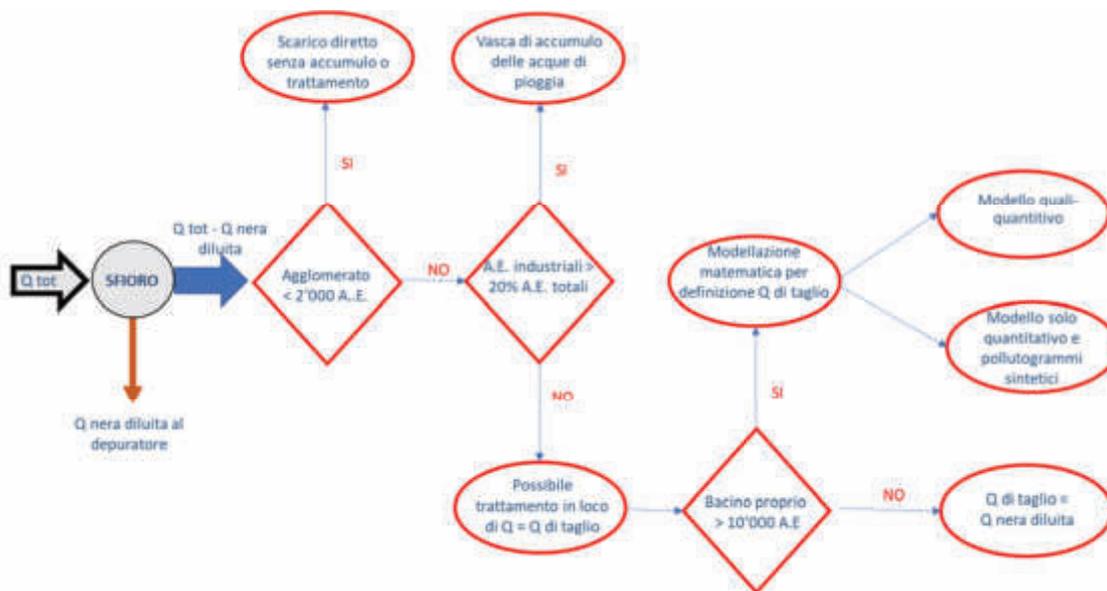


Figura 7. Albero decisionale per la definizione della portata di taglio

Si sottolinea ancora che tali criteri sono subordinati alla valutazione dell'autorità competente, che in sede di autorizzazione allo scarico può richiedere analisi più approfondite o il rispetto di prescrizioni più stringenti in funzione della specifica sensibilità del corso d'acqua.

5.1.2 Portata da sottoporre a trattamento in continuo nel caso di reti separate

Nei casi di reti separate è sempre ammessa la realizzazione di sistemi di trattamento in continuo (Allegato E "Reti e sfioratori di piena" – Sezione 1.2 – lettera c)).

n. 12 (Legge per il governo del territorio)" suddivide il territorio regionale in 3 tipologie di aree, in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua recettori (A alta criticità, B media e C bassa criticità). L'art. 14 prevede che i comuni ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica, sono tenuti a redigere lo studio comunale di gestione del rischio idraulico, che deve contenere la modellazione idrodinamica del territorio comunale e del reticolo fognario presente sul territorio.

Anche in questo caso si pone la questione di dover definire **la portata minima da sottoporre a trattamento in continuo**.

A tale scopo dovrà essere utilizzato come parametro minimo di riferimento il valore di **1 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile** fatto salvo che nel caso di superfici inferiori ai 20 ha, per i quali la portata inviata a trattamento dovrà essere prelevata mediante sollevamento meccanico onde evitare rischi di intasamento dei manufatti di sfioro.

Tale valore è subordinato alla valutazione dell'autorità competente, che in sede di autorizzazione allo scarico può richiedere analisi più approfondite o il rispetto di prescrizioni più stringenti in funzione della specifica sensibilità del corso d'acqua.

5.2 **Modelli di simulazione**

I modelli di simulazione avranno lo scopo di verificare l'**equivalenza del carico inquinante intercettato pari a quello determinato in base ai criteri previsti dalla sez. 4 dell'Al. E del RR n. 6/2019** al fine di individuare la **portata di taglio**.

Il calcolo dell'andamento degli inquinanti alla sezione di interesse può essere effettuato sia attraverso l'applicazione di modelli quali-quantitativi che simulino il dilavamento ed il trasporto degli inquinanti sulle superfici scolanti ed all'interno della rete fognaria unitaria, che attraverso una metodologia semplificata, che preveda l'applicazione di un modello quantitativo della rete che consideri la sola propagazione delle portate e poi determinare l'andamento degli inquinanti (pollutogramma) basandosi su relazioni di letteratura.

Per la verifica dell'equivalenza del carico inquinante catturato dalla vasca di accumulo o trattato con opportuni sistemi si può fare riferimento ai seguenti parametri, solitamente adottati come rappresentativi del carico inquinante di sfioratori di piena di rete mista: BOD₅, COD e TSS, salvo diverse specificazioni contenute nel Piano di Tutela o prescrizioni espresse in fase di autorizzazione. L'impiego di un solo parametro, generalmente i solidi sospesi o COD, è generalmente possibile poiché è riconosciuto che le diverse forme di inquinamento sono strettamente correlate tra loro.

Diversi studi, infatti, [Artina et al., 2005; Barco et al., 2004; Beretta et al., 2003; Ciaponi et al., 2006] hanno messo in evidenza la correlazione esistente tra i solidi sospesi totali presenti nelle acque di dilavamento superficiale ed altri parametri inquinanti (BOD₅, COD, metalli pesanti), come mostrato ad esempio nella figura seguente.

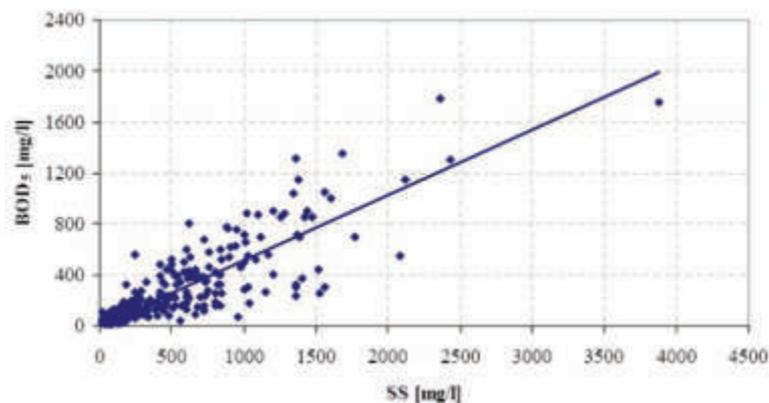


Figura 8. Regressione lineare tra le concentrazioni di BOD₅ e SS (serie completa dei dati). [Ciaponi et al., 2006]

Identificati i parametri di riferimento, per stimare la portata di taglio, occorre utilizzare modelli matematici in grado di rappresentare i diversi fenomeni che avvengono sia sulle superfici di deflusso sia all'interno della rete fognaria, sino allo sfioratore di interesse.

Per gli aspetti quantitativi, è possibile schematizzare dal punto di vista modellistico quattro fasi principali:

- inserimento della pioggia lorda,
- calcolo della pioggia netta,
- scorrimento superficiale;
- propagazione nei collettori della rete di drenaggio.

Per gli aspetti qualitativi, i processi considerati sono generalmente:

- accumulo degli inquinanti sulla superficie del bacino in tempo secco (build up);
- dilavamento dovuto alla pioggia (wash off);

- immissione e propagazione all'interno dei condotti.

Nel seguito è sintetizzata la metodologia da adottare, sia nel caso si utilizzi un modello della rete che tenga conto anche degli aspetti di qualità, sia nel caso si utilizzi un modello relativo ai soli aspetti quantitativi, ai risultati del quale applicare opportune relazioni per tener conto della concentrazione degli inquinanti.

La scelta di utilizzare modelli qualitativi o quantitativi dipende in massima parte dai dati disponibili, dalla possibilità di compiere campagne di monitoraggio ed anche dalle peculiarità e dalla complessità del caso da studiare.

I codici di calcolo utilizzati, per gli aspetti idraulici e di qualità, dovranno essere di attestata e comprovata validità scientifica.

Attraverso l'utilizzo di modelli di qualità delle acque in fognatura in tempo di pioggia è possibile simulare il dilavamento ed il trasporto degli inquinanti sulle superfici scolanti ed all'interno della rete fognaria unitaria e quindi di conoscere il pollutogramma relativo ad ognuno dei parametri considerati in corrispondenza dello sfioratore di piena considerato.

Questo approccio può fornire risultati tanto più accurati quanto più si dispone di adeguata conoscenza dei parametri per la descrizione delle caratteristiche del bacino e del fenomeno, anche con riferimento alla presenza ed alla propagazione degli inquinanti.

Per la modellazione è necessario acquisire i dati di base del bacino di interesse: tra cui geometria della rete e dei manufatti, dati di pioggia, uso del suolo e tipologia delle superfici, abitanti equivalenti, dotazione idrica. Ovviamente i dati necessari dipenderanno dal modello di simulazione prescelto e quindi dagli algoritmi e dalle schematizzazioni adottate.

I dati possono essere raccolti a partire dalle osservazioni pluviometriche di ARPA Lombardia e dalle conoscenze della rete e del bacino solitamente disponibili presso i gestori del SII.

È comunque consigliabile, e necessario in caso di assenza di informazioni, procedere con apposite campagne di monitoraggio, per le portate circolanti in rete, la pluviometria nello specifico bacino legata a quelle portate, nonché per i valori di

concentrazione degli inquinanti, avendo cura di eseguire campionamenti rappresentativi dei valori associati all'idrogramma di piena.

Il modello in continuo quali-quantitativo dovrà considerare l'orizzonte temporale di 10 anni (in linea con quanto prescritto dalle linee guida del Ministero dell'Ambiente del Nord Reno-Westfalia per la progettazione, realizzazione e gestione dei sistemi naturali di ritenzione) o, in assenza di dati attendibili, di almeno 1 anno che si possa considerare rappresentativo della pluviometria tipica del territorio, in termini di altezza di pioggia totale annua e numero di giorni di pioggia (con precipitazione giornaliera superiore ad un millimetro).

Il modello dovrà essere sottoposto ad analisi di sensitività al fine di individuare i parametri particolarmente sensibili sui quali prestare la massima cura in fase di taratura.

Tali assunzioni andranno poi verificate in fase di calibrazione del modello, in base a dati misurati in un numero sufficiente di eventi.

La descrizione dettagliata del modello, le fonti di dati impiegate, le campagne di misura, i parametri con la relativa analisi di sensitività, la calibrazione e la validazione del modello dovranno essere descritti in apposita relazione, accanto ai risultati ed ai dimensionamenti.

La simulazione quali quantitativa sull'orizzonte annuo individuato dovrà consentire di individuare la portata di taglio che determina, su base annua, l'intercettazione di un carico inquinante almeno pari a quello intercettato da una vasca di accumulo dimensionata come da Regolamento n. 6/2019, all. E, sezione 4.

In assenza di campionamenti che permettano di effettuare una taratura attendibile del modello oltre che dal punto idraulico anche per gli aspetti di qualità, potrà essere seguita una metodologia semplificata, volta a definire il comportamento della rete, dello sfioratore e della vasca di accumulo e quindi ragionare in termini di inquinanti basandosi su relazioni di letteratura.

In ogni caso tramite modellazione in continuo dei soli aspetti quantitativi, dato l'input pluviometrico di partenza, si perverrà a ricostruire l'andamento dei deflussi e quindi delle portate e volumi sfiorati da utilizzare per la successiva determinazione della portata di taglio. Si ritiene infatti imprescindibile, per l'adozione di sistemi di

trattamento in loco dei volumi sfiorati, lo studio di dettaglio del comportamento idrologico-idraulico del bacino e della rete afferente allo sfioratore.

Una volta determinato l'andamento delle portate su base annua alla sezione di chiusura del bacino dello sfioratore, sarà possibile calcolare la portata di taglio come segue:

- individuazione dei singoli eventi di scolmo, intesi come eventi anche con più picchi nell'arco delle medesime 48 ore a partire dall'inizio dello scolmo (secondo la definizione data dall'allegato E al regolamento della Regione Lombardia);
- determinazione del pollutogramma relativo a ciascun evento di scolmo, ad esempio con la metodologia descritta nel prossimo paragrafo;
- calcolo del carico di inquinanti intercettato da una vasca di accumulo dimensionata come da Regolamento n. 6/2019, all. E, sezione 4.;
- individuazione della portata di taglio che consente di intercettare la stessa percentuale di inquinanti rispetto a quella intercettata dalla vasca di accumulo.

Rientra poi nelle valutazioni da effettuarsi in sede progettuale la scelta tra il trattamento diretto della portata sfiorata fino al valore di taglio o la laminazione ed equalizzazione delle portate tramite sistemi di stoccaggio temporaneo in modo da ridurre i picchi ed aumentare la flessibilità gestionale del sistema.

5.3 Cenni sui pollutogrammi di progetto

Qualora non si utilizzi un modello quali-quantitativo la definizione della portata di taglio Q^* richiede l'adozione di uno specifico pollutogramma di progetto. Il paragrafo 2.1 ha evidenziato la grande variabilità riscontrata in letteratura sul tema della caratterizzazione delle acque reflue di scolmo da fognatura mista. Riassumendo, il pollutogramma di uno sfioro fognario veicola i seguenti carichi inquinanti dovuti a:

- Prime piogge da dilavamento stradale
- Dilavamento della fognatura
- Acque reflue civili diluite (contributo continuo durante tutto l'evento di sfioro)

Ne consegue che il pollutogramma teorico atteso per uno sfioro da fognatura mista non mostra solo picchi di concentrazioni iniziali dovuti alle prime piogge, ma può portare anche picchi successivi che possono essere dovuti a acque civili nere con grado di diluizione decrescente, come mostrato in Figura 2. Una ulteriore complicazione nella definizione di un pollutogramma è legata alla caratterizzazione dei bacini drenati che, nel caso essi risultino molto lunghi ed estesi, possono portare a picchi di carichi inquinanti da prima pioggia ritardati rispetto ai primi sfiori, dovuti a tempi di corrvazione più elevati. Questa complessità nella definizione del pollutogramma per sfiori da fognatura mista risulta anche da pollutogrammi reali riportati in letteratura, come quelli mostrati in Figura 9, i quali mostrano un aumento della concentrazione d'inquinante a fine evento di sfioro.

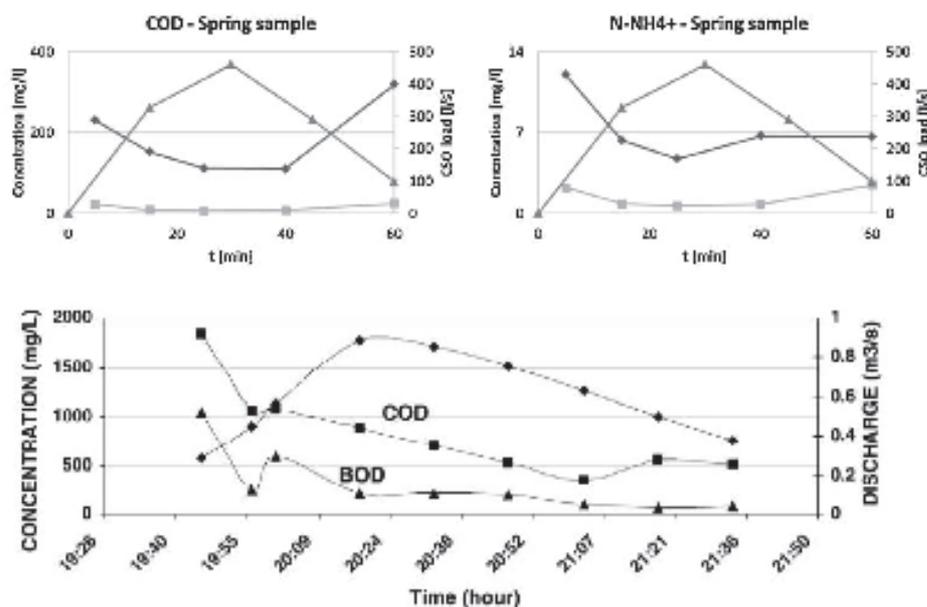


Figura 9. Pollutogrammi misurati su sfiori da fognatura mista riportati in letteratura: sfioratore di Gorla Maggiore in alto (Masi et al., 2017); sfioro da area urbana spagnola in basso (Suarez & Puertas, 2005).

La scelta di un pollutogramma di progetto è quindi complicata, benché possa comportare una serie di vantaggi rispetto alla modellazione qualitativa della rete fognaria. Difatti, scelto un pollutogramma di progetto si evita la necessità di simulare, ad esempio, il diverso carico inquinante accumulato nei tempi secchi da diverse

superfici drenanti e all'interno della fognatura, o il grado di lavaggio della fognatura in funzione delle diverse velocità di scorrimento. Le linee guida forniscono in allegato degli esempi di pollutogrammi "sintetici". Essi rappresentano esempi indicativi per i progettisti, non uniche possibilità a disposizione per la scelta dei pollutogrammi di progetto.

5.4 Verifica dell'efficacia degli interventi e mantenimento nel tempo

L'efficacia dei sistemi di trattamento proposti andrà verificata in base a calcoli di dimensionamento effettuati a regola d'arte dal progettista incaricato.

Si evidenziano in particolare 3 fasi di controllo e verifica della corretta funzionalità di quanto proposto: in sede di progettazione, di collaudo e di verifica dell'opera.

In sede di progettazione, dovranno essere bene evidenziati da parte dei progettisti i risultati attesi dei sistemi di trattamento in termini di abbattimento degli inquinanti e di qualità dell'effluente. Questi dovranno essere adeguati agli obiettivi da raggiungere in considerazione del contesto specifico e nel rispetto di eventuali prescrizioni ricevute dall'Ente autorizzatorio.

Il primo controllo della rispondenza dell'opera realizzata ai parametri di progetto viene effettuata in fase di collaudo dell'opera, nel corso del quale ne potrà essere verificata la corretta esecuzione nel rispetto delle indicazioni e delle specifiche fornite dal progettista.

Infine, dovrà essere definito da parte del gestore un programma di controlli da effettuarsi nel corso della vita dell'opera, per verificare il mantenimento nel tempo delle prestazioni dichiarate in fase di progettazione.

Il programma dovrà prevedere in particolare di effettuare controlli regolari sulla qualità finale dell'effluente al fine di verificare il funzionamento del sistema di trattamento e mettere in atto ove necessario le opportune misure correttive, secondo i seguenti passaggi:

- campionamento delle acque a valle del sistema di trattamento
- verifica dei parametri di qualità dell'effluente;
- in caso di parametri di qualità inferiori ai valori previsti: verifica delle percentuali di abbattimento con campionamenti a monte e a valle del trattamento,

tenendo conto, nel programmare il prelievo dei campioni, del tempo di ritenzione all'interno del sistema;

- analisi delle cause delle anomalie riscontrate e definizione di misure correttive e/o integrazione del programma di controlli.

6. BIBLIOGRAFIA

Alley W.M. e Smith P.E., "Estimation of accumulation parameters for urban runoff quality modelling", *Water Resources Research*, vol. 17, n. 6, 1981.

Amaral, R., Ferreira, F., Galvao, A. and Matos, J.S., 2013. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment in a Mediterranean country, Portugal. *Water Science and Technology*, 67(12), pp.2739-2745.

Artina S. e Maglionico M., "Esperienze sperimentali per lo studio e il controllo delle acque di prima pioggia nella città di Bologna", *Atti della Giornata di Studio: Acque di Prima Pioggia: Esperienze sul territorio e normativa*, Genova, 2003, pp. 67-84.

Artina S., Bolognesi A., Liserra T., Maglionico M. e Salmoiraghi G., "Analisi sperimentale delle acque di prima pioggia in un'area industriale", *L'Acqua*, n°4, 2005.

Artina S., Maglionico M., Marinelli A., "Simulazione della qualità delle acque in un bacino sperimentale di drenaggio urbano", *Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Torino, Edizioni MAF Servizi, 1996, pp. 573-584 (12).

Bacchi B., Balistrocchi M. e Grossi G., "Controllo degli scarichi mediante vasche di prima pioggia: verifica di un metodo semiprobabilistico", *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Roma, 2006.

Barco J.O., Ciaponi C. e Papiri S., "Inquinamento delle acque meteoriche di dilavamento. Il caso del bacino urbano residenziale di Cascina Scala (Pavia)", *XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Trento, 2004.

Barco O.J., Ciaponi C., Papiri S., "Pollution in stormwater runoff. Two cases : an urbancatchment and a highway toll gate area", *NOVATECH, GRAIE*, Lyon, 2004

Beretta C., Gnecco I., La Barbera P. e Lanza L.G., "Studio sperimentale per la caratterizzazione delle acque di prima pioggia nel comprensorio urbano genovese", *L'Acqua* n°6, 2003.

Bertrand-Krajewski J. L., Ghebbo G. e Saget A., "Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon". *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 8, 1998, pp.2341-2356.

Bingham, D., J. Golden, D. Walker, and Driscoll "Manual: combined sewer overflow control", 1993

Bonomo L., Mignosa, P., Paoletti A. e Passoni G., "Pollutogrammi di piena nelle reti fognanti miste", *Atti del 14° Corso di Aggiornamento in tecniche per la difesa dall'inquinamento a cura di Giuseppe Frega*, 1993.

Bornatici L., Ciaponi C. e Papiri S., "Sul controllo degli scarichi fognari nei corpi idrici ricettori in tempo di pioggia attuato mediante scaricatori di piena e vasche di prima pioggia", *XXIX convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, 2004.

Brown M., Cao C., Gentile A., Maione U., Mignosa P., Paoletti A., Passoni G. e Piga E., "Le serie pluviografiche complete della città di Milano. Primo rapporto: le stazioni di Via Monviso (1971-1987) e di Monluè (1977-1987)", 1990.

Calabrò P., Freni G., La Loggia G. e Viviani G., "Esperienze e studi sulla qualità delle acque di pioggia", *Atti della Giornata di Studio: Acque di Prima Pioggia: Esperienze sul territorio e normativa*, Genova, 2003, 85-102.

Calomino F., Paoletti, A. (A cura di), *Le misure di pioggia e portata nei bacini sperimentali urbani in Italia*", Centro Studi Deflussi Urbani, Milano, (VI 1-VI 49), 1994.

Calomino F., Piro P., Palma G., *Combined sewer overflows into the Crati river (Cosenza, Italy) and retention storage sizing, Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration*, 139-149, 2004

Ciaponi C., Mutti M. e Papiri S., "A conceptual model for the estimation on load-graphs in sewer networks during meteorological events", *Atti della 2° Conferenza Internazionale: New trends in water and environmental engineering*, Capri (Italy), 2002a.

Ciaponi C., Mutti M. e Papiri S., "Storm water quality in the Cascina Scala (Pavia, Italy) experimental catchment". Atti della 2nd International Conference: New trends in water and environmental engineering, Capri (Italy), 2002c..

Ciaponi C., Papiri S. e Todeschini S., "Analisi e interpretazione della correlazione tra alcuni parametri inquinanti nella rete fognatura di Cascina Scala in tempo di pioggia". XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA 2006, Roma, 2006.

Ciaponi C., Papiri S. e Todeschini S., "Qualità delle acque meteoriche di dilavamento dei siti sperimentali di Cascina Scala (Pavia) e di Cremona". La tutela idrica e ambientale dei territori urbanizzati, Atti dei seminari. Parma (5-6/02/2004) e Cosenza (13-15/12/2004), 2004.

Ciaponi C., Papiri S. e Todeschini S., "Vasche di prima pioggia: analisi critica delle possibili modalità di svuotamento". Acqua e Città. Convegno Nazionale di Idraulica Urbana, Sant'Agnello (NA), 2005.

Datei C., "Alcune considerazioni sulle vasche di prima pioggia", Atti del 18° Corso di Aggiornamento in tecniche per la difesa dall'inquinamento a cura di Giuseppe Frega, 1998.

De Martino G., De Paola F., Fontana N., Marini G. e Ranucci A. "L'efficienza delle vasche di prima pioggia per la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici", XXXI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 9-12 settembre 2008, Perugia, 2008b.

De Martino G., De Paola F., Fontana N., Marini G. e Ranucci A. "Riduzione dell'impatto inquinante delle acque di prima pioggia sui corpi idrici: l'efficienza degli scaricatori di piena", L'Acqua n° 4, 2008a.

Deletic, A., 1998. The first flush load of urban surface runoff. Water research, 32(8), pp.2462-2470.

Dittmer, U., Meyer, D. and Langergraber, G., 2005. Simulation of a subsurface vertical flow constructed wetland for CSO treatment. *Water Science and Technology*, 51(9), pp.225-232.

Ellis, J.B., 1986. Pollutational aspects of urban runoff. In: *Urban Runoff Pollution*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 1–38.

Ellis, J.B., 1989. *Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts*. Pergamon Press, Oxford, *Adv. Water Pollut. Control* No. 7.

Fonder, N., & Headley, T. (2010). Systematic classification, nomenclature and reporting for constructed treatment wetlands. In *Water and nutrient management in natural and constructed wetlands* (pp. 191-219). Springer Netherlands.

Fournel, J., 2012. *Systèmes extensifs de gestion et de traitement des eaux urbaines de temps de pluie* (Doctoral dissertation, Montpellier 2).

Gervin, L. and Brix, H., 2001. Removal of nutrients from combined sewer overflows and lake water in a vertical-flow constructed wetland system. *Water science and technology*, 44(11-12), pp.171-176.

Green, M.B., Martin, J.A. and Griffin, P., 1999. Treatment of combined sewer overflows at small wastewater treatment works by constructed reed beds. *Water science and technology*, 40(3), pp.357-364.

Griffin, P., 2004. Ten years experience of treating all flows from combined sewerage systems using package plant and constructed wetland combinations. *Water science and technology*, 48(11-12), pp.93-99.

Gupta K. e Saul, A.J., "Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows", *Water Resources*, Volume 30, Number 5, 1996.

Headley, T.R. and Tanner, C.C., 2012. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. *Critical reviews in environmental science and technology*, 42(21), pp.2261-2310.

Heist, J.A., Davey, A., Hawkins, R., Fitzgerald, J. & Warren, P. 2004, "Continuous Deflective Separation (CDS) use for treating sanitary wet weather flows", Proceedings of the 2004 World Water and Environmental Resources Congress: Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management, pp. 659.

Henrichs, M., Langergraber, G. and Uhl, M., 2007. Modelling of organic matter degradation in constructed wetlands for treatment of combined sewer overflow. *Science of the total environment*, 380(1), pp.196-209.

Henrichs, M., Welker, A. and Uhl, M., 2009. Modelling of biofilters for ammonium reduction in combined sewer overflow. *Water Science and Technology*, 60(3), pp.825-831.

HowesP., WallaceS., CooperD., "Combined sewer overflow (CSO) treatment by aerated wetland", 15th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, ICWS 2016. 4-9 September. Gdansk, Poland

Horie, N., Kabata, M., Sano, H. Japanese project spirit 21: Development and testing of CSO treatment technologies and instrumentation systems (2005) *World Water Congress 2005: Impacts of Global Climate Change*

Kadlec, R.H.; Wallace, S.D. *Treatment Wetlands*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2009.

Knight, R.L. & Kadlec, R.H. 2000, "Constructed treatment wetlands - a global technology", *Water* 21, , no. JUNE, pp. 57-58.

Langergraber, G. 2008, "Modelling of processes in subsurface flow constructed wetlands: A review", *Vadose Zone Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 830-842.

Lau J., Butler D. e Schutze M., "Is combined sewer overflow spill frequency/volume a good indicator of receiving water quality impact?", *Urban Water*, 2002.

Lee J.H., Bang K.W. (2000) Characterization of urban stormwater runoff. *Water Research* 34:1773-1780.

Levy, Z.F., Smardon, R.C., Bays, J.S. and Meyer, D., 2014. A point source of a different color: Identifying a gap in United States regulatory policy for “green” CSO treatment using constructed wetlands. *Sustainability*, 6(5), pp.2392-2412.

Li, D.-., Zhang, W.-., Yin, W. & Lei, A.-. 2010, "Combined pond-wetland systems for treatment of urban surface runoff and lake water", *Environmental Engineering Science*, vol. 27, no. 12, pp. 1027-1034.

Liquete, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B. and Masi, F., 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, 22, pp.392-401.

Maione U. e Paoletti A., “Ricerca sui volumi di acqua piovana avviati alla depurazione nelle fognature unitarie”, *Ingegneria Sanitaria*, n°6, Novembre-Dicembre 1979, pp. 303-320.

Masi F., Bresciani R., Rizzo A., Conte G. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: Ecosystem services at Gorla Maggiore, Italy. *Ecological Engineering*. Volume 98, January 2017, Pages 427–438

Metcalf & Eddy/AECOM. *Wastewater Engineering—Treatment and Resource Recovery*, 5th ed.; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA, 2014.

Meyer, D., Molle, P., Esser, D., Troesch, S., Masi, F., & Dittmer, U. (2013). Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment—Comparison of German, French and Italian approaches. *Water*, 5(1), 1-12

Meyer, D. and Dittmer, U., 2015. RSF_Sim—A simulation tool to support the design of constructed wetlands for combined sewer overflow treatment. *Ecological Engineering*, 80, pp.198-204.

Mignosa P., Paoletti A. e Passoni G., “Carichi effluenti dagli scaricatori di piena di fognature unitarie”, *Idrotecnica*, n°3, Maggio-Giugno 1991, pp. 231-246.

Milano V., Pagliara S. e Dellacasa F. “Urban stormwater quantity and quality in the experimental urban catchment of Picchianti”. 2nd International Conference-New

Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solution for Aquatic Environments, Capri, 2002.

Molle, P., Liénard, A., Boutin, C., Merlin, G. and Iwema, A., 2005. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Science and Technology*, 51(9), pp.11-21.

Monge Z., BaysJ., PriesJ., RhoadsT., "Treating combined sewer overflows naturally with engineered wetlands: Harbor Brook CSO 018, Onondaga County, New Y", "7th International WETPOL Symposium" Big Sky, Montana, USA, August 21-25

Montalto, F., Behr, C., Alfredo, K., Wolf, M., Arye, M. & Walsh, M. 2007, "Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control", *Landscape and Urban Planning*, vol. 82, no. 3, pp. 117-131.

Morvannou, A., Forquet, N., Michel, S., Troesch, S. and Molle, P., 2015. Treatment performances of French constructed wetlands: results from a database collected over the last 30 years. *Water Science and Technology*, 71(9), pp.1333-1339.

O'Connor, T.P., Field, R. U.S. EPA CSO capstone report: Control system optimization (2002) Global Solutions for Urban Drainage

Oliveri E., Viviani G. e La Loggia G., "Comportamento ed efficienza delle vasche di pioggia", *Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano (Palermo 10-12 maggio 2000)*, CSDU, Milano, 2001.

Pálfy, T.G., Molle, P., Langergraber, G., Troesch, S., Gourdon, R. and Meyer, D., 2016. Simulation of constructed wetlands treating combined sewer overflow using HYDRUS/CW2D. *Ecological Engineering*, 87, pp.340-347.

Pálfy, T.G., Gerodolle, M., Gourdon, R., Meyer, D., Troesch, S. and Molle, P., 2017a. Performance assessment of a vertical flow constructed wetland treating unsettled combined sewer overflow. *Water Science and Technology*, 75(11), pp.2586-2597.

Pálffy, T.G., Gourdon, R., Meyer, D., Troesch, S., Olivier, L. and Molle, P., 2017b. Filling hydraulics and nitrogen dynamics in constructed wetlands treating combined sewer overflows. *Ecological Engineering*, 101, pp.137-144.

Pálffy, T.G., Gourdon, R., Meyer, D., Troesch, S. and Molle, P., 2017c. Model-based optimization of constructed wetlands treating combined sewer overflow. *Ecological Engineering*, 101, pp.261-267.

Paoletti A. e Papiri S., "Sistemi fognari unitari e separati: aspetti funzionali e ambientali", *La separazione delle acque nelle reti fognarie urbane*, Atti della giornata di studio, Roma 25 giugno 2003, a cura di Margaritora G. e Paoletti A., 58-95, CSDU, Milano, 2007.

Paoletti A., "Acque di prima pioggia: caratterizzazioni e possibilità di controllo", in *Atti della Giornata di Studio: Acque di Prima Pioggia. Esperienze sul territorio e normativa*, Genova, 2003.

Papiri S. e Barco O. J., "Qualità delle acque defluenti in una rete fognaria mista durante eventi meteorici e controllo degli scarichi nei corpi idrici ricettori". *Atti della Giornata di Studio: Acque di Prima Pioggia. Esperienze sul territorio e normativa*, Genova, 2003, pp. 20.

Papiri S., "Gli scaricatori di piena nelle fognature miste alla luce dei risultati di un simulazione continua quali-quantitativa della acque meteoriche nel bacino urbano sperimentale di Cascina Scala (Pavia)", *Atti della II Conferenza Nazionale sul Drenaggio Urbano (Palermo 10-12 maggio 2000)*, CSDU, Milano, 2001.

Papiri S., Bertanza G. e Todeschini S., "Le acque meteoriche di dilavamento e gli impianti di depurazione urbani: problemi progettuali e gestionali". *XXXI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, 9-12 settembre 2008.

Pavlineri, N., Skoulikidis, N.T. and Tsihrintzis, V.A., 2017. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal*, 308, pp.1120-1132.

Persson, J., Somes, N.L.G. & Wong, T.H.F. 1999, Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds.

Piro P., Carbone M., Garofalo G. e Sansalone, J., "CSO detention considerations: a comparison between concentrating volumetric control and a distributed volumetric control system", 32nd Congress of IHAR, Venezia, 2007.

Piro P., "CICLO ACQUA-ENERGIA: RICERCA, PROGETTAZIONE, INNOVAZIONE: Interventi sostenibili nell'Idraulica urbana", Edibios, Cosenza 2015

Piro P., Carbone M., "A modelling approach to assessing variations of total suspended solids (TSS) mass fluxes during storm events, Hydrological Processes 28 (4), 2419-2426, 2014

Piro P., Carbone M., Garofalo G. and Sansalone J., "CSO detention considerations: A comparison between concentrating volumetric control and a distributed volumetric control system", in Proceedings of 32nd Congress of IAHR, the International Association of Hydraulic Engineering & Research, 1-6 Luglio 2007, Venice, Italy, 2007

Piro P., Carbone M., Garofalo G., "Distributed vs. concentrated storage options for controlling CSO volumes and pollutant loads", Water Practice and Technology 5 (3), 2010

Piro P., Carbone M., Garofalo G., "Distributed vs. concentrated storage options for controlling CSO volumes and pollutant loads", Water Practice and Technology 5 (3), 2010

Piro P., Carbone M., Garofalo G., Sansalone J., "CSO treatment strategy based on constituent index relationships in a highly urbanised catchment", Water Science and Technology 56 (12), 85-91, 2007

Piro, P., Il bacino sperimentale urbano del Canale Liguori nella città di Cosenza. Osservazioni sperimentali quali-quantitative nel periodo 1995-2003, Editoriale BIOS, Cosenza, 2007

Pisoeiro, J., Galvão, A., Ferreira, F. and Matos, J., 2016. Potential for CSO treatment with horizontal flow constructed wetlands: influence of hydraulic load, plant presence and loading frequency. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20), pp.20591-20599.

Sample, D.J., Rangarajan, S., Lee, J., Manguerra, H., Boone, M. "Urban wet-weather flows", 2014, *Water Environment Research*

Simunek, J., Jacques, D., Langergraber, G., Bradford, S.A., Šejna, M. and van Genuchten, M.T., 2013. Numerical modeling of contaminant transport using HYDRUS and its specialized modules. *Journal of the Indian institute of science*, 93(2), pp.265-284.2017

State University of New York College of Environmental Science and Forestry (SUNY ESF). Technical Memorandum: Harbor Brook CSO 018 Pre-Construction Monitoring; SUNY ESF: Syracuse, NY, USA, October 2012.

Studio Maione- Iridra – Centro Studi T.A.T., Studio Integrato dell'agglomerato 73 di Gornate Olona dell'Ato Varese: Proposta di linee di indirizzo, 2011

Suarez, J., Puertas, J., 2005. Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchments in Spain. *Ecol. Eng.* 24 (3), 199–217.

Tao, W., Bays, J. S., Meyer, D., Smardon, R. C., & Levy, Z. F. (2014). Constructed wetlands for treatment of combined sewer overflow in the US: A review of design challenges and application status. *Water*, 6(11), 3362-3385

Tondera, K., Koenen, S. and Pinnekamp, J., 2013. Survey monitoring results on the reduction of micropollutants, bacteria, bacteriophages and TSS in retention soil filters. *Water Science and Technology*, 68(5), pp.1004-1012.

Tondera, K., Klaer, K., Roder, S., Brueckner, I. and Pinnekamp, J., 2017. Improving the microbiological quality of the Ruhr River near Essen: comparing costs and effects for the reduction of *Escherichia coli* and intestinal enterococci. *Water Science and Technology*, 75(11), pp.2659-2668.

Tondera, K., 2017. Evaluating the performance of constructed wetlands for the treatment of combined sewer overflows. *Ecological Engineering*.

Tondera, K., Blecken, G.T., Chazarenc, F. and Tanner, C.C., 2018. "Ecotechnologies for the Treatment of Variable Stormwater and Wastewater Flows." Springer

Uhl, M. and Dittmer, U., 2005. Constructed wetlands for CSO treatment: an overview of practice and research in Germany. *Water Science and Technology*, 51(9), pp.23-30.

Van de Moortel, A.M.K., Du Laing, G., De Pauw, N. & Tack, F.M.G. 2012, "The role of the litter compartment in a constructed floating wetland", *Ecological Engineering*, vol. 39, pp. 71-80.

Van De Moortel, A.M.K., Laing, G.D., De Pauw, N. & Tack, F.M.G. 2011, "Distribution and mobilization of pollutants in the sediment of a constructed floating wetland used for treatment of combined sewer overflow events", *Water Environment Research*, vol. 83, no. 5, pp. 427-439.

Van De Moortel, A.M.K., Meers, E., De Pauw, N. & Tack, F.M.G. 2010, "Effects of vegetation, season and temperature on the removal of pollutants in experimental floating treatment wetlands", *Water, air, and soil pollution*, vol. 212, no. 1-4, pp. 281-297.

Van de Moortel, A.M.K., Rousseau, D.P.L., Tack, F.M.G. & De Pauw, N. 2009, "A comparative study of surface and subsurface flow constructed wetlands for treatment of combined sewer overflows: A greenhouse experiment", *Ecological Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 175-183.

Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the total environment*, 380(1-3), pp.48-65.

Vymazal, J., 2009. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological engineering*, 35(1), pp.1-17.

Wallace S.D., Knight R.L. (2006), "Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems". IWA Publishing, London.

Wu, S., Kusch, P., Brix, H., Vymazal, J. and Dong, R., 2014. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. *Water research*, 57, pp.40-55.

Woźniak R, Dittmer U, Welker A. Interaction of oxygen concentration and retention of pollutants in vertical flow constructed wetlands for CSO treatment. *Water science and technology*. 2007 Aug 1;56(3):31-8.

7. ALLEGATI

7.1 Allegato: *Classificazione e revisione delle soluzioni naturali per sfiori da fognatura sulla base della ricognizione bibliografica*

La ricognizione bibliografica è stata realizzata col motore di ricerca SCOPUS cercando le due parole chiave cui è riconosciuta a livello internazionale la soluzione della fitodepurazione, cioè “constructed wetland” e “treatment wetland”, con l’operatore OR e con ricerca esatta. Tali parole chiave sono state abbinata a “combined-seweroverflow” con l’operatore AND⁴. La ricerca è stata fatta il 10 Gennaio 2018 solo sul titolo, l’abstract e le parole chiave (“Articletitle, Abstract and Keywords”) e solo su articoli *peer review*⁵.

Sono stati trovati 30 articoli rilevanti sul tema, pubblicati tra il 1999 e il 2017. Gli articoli trovati sono stati suddivisi in macro argomenti al fine di analizzare la tipologia di studi messi a disposizione dalla Comunità Scientifica sul tema. La suddivisione è riportata in Tabella , mentre i risultati sono riassunti in Figura 10. Una buona parte degli studi fa riferimento a studi su piccoli impianti pilota (23%), spesso necessari prima di poter passare a scale reali nel caso di applicazioni non consone come poteva essere la fitodepurazione per CSO a inizio anni 2000. Un numero significativo di studi è risultato legato alla modellazione delle soluzioni naturali applicate ai CSO (23%), sintomo delle condizioni non tipiche in cui la fitodepurazione lavora per il trattamento dei CSO, e quindi alla necessità di comprenderne meglio il funzionamento con modelli basati sui processi (p.es., Henrichs et al., 2007; Pálffy et al., 2016) o di sviluppare nuovi strumenti per il dimensionamento (p.es., Meyer et al., 2015; Pálffy et al., 2017c). E’ da notare, tuttavia, come la percentuale maggiore di studi riguardi impianti CSO-CW a scala reale (37%), a conferma di come questa soluzione tecnica sia giunta ad una maturità tale da permetterne l’applicazione a scala reale.

⁴ Il motore di ricerca seleziona quindi tutti gli articoli che abbiano contemporaneamente la parola chiave “constructed wetland” o “treatment wetland” e la parola chiave “combined sewer overflow”.

⁵Le riviste *peer review* rappresentano il livello più alto e più tecnico nella disseminazione della ricerca scientifica. Difatti, per pubblicare su tali riviste i lavori degli autori vengono valutati da un gruppo di esperti del settore d’interesse (*peer review* - da 2 a 5 a seconda delle riviste), coordinati da uno degli editori della rivista. In altre parole, gli autori mettono “alla prova” la bontà scientifica e l’interesse del proprio lavoro di fronte a esperti qualificati del settore, tipicamente professori universitari o ricercatori.

Articolo	Macro argomento affrontato
1 Amaral et al. (2013)	Piloti CSO-CW piccola scala
2 Dittmer et al. (2005)	Modellazione CSO-CW
3 Gervin&Brix (2001)	CSO-CW scala reale
4 Green (2004)	CSO-CW scala reale
5 Henrichs et al. (2007)	Modellazione CSO
6 Knight & Kadlec (2000)	Revisione/studio generale CW
7 Langergraber (2008)	Revisione/studio generale CW
8 Levy et al. (2014)	CSO-CW scala reale
9 Li et al. (2010)	CSO-CW scala reale
10 Masi et al. (2017)	CSO-CW scala reale
11 Meyer&Dittmer (2015)	Modellazione CSO-CW
12 Meyer et al. (2013)	CSO-CW scala reale
13 Montalto et al. (2007)	Analisi su gestione CSO
14 Pálffy et al. (2017a)	CSO-CW scala reale
15 Pálffy et al. (2017b)	CSO-CW scala reale
16 Pálffy et al. (2017c)	Modellazione CSO-CW
17 Pálffy et al. (2016)	Modellazione CSO-CW
18 Persson et al. (1999)	Revisione/studio generale CW
19 Piscoiro et al. (2016)	Piloti CSO-CW piccola scala
20 Tao et al. (2014)	CSO-CW scala reale
21 Tondera (2017)	CSO-CW scala reale
22 Tondera et al. (2017)	Analisi su gestione CSO
23 Tondera et al. (2013)	CSO-CW scala reale
24 Uhl&Dittmer (2005)	CSO-CW scala reale
25 Van De Moortel et al. (2012)	Piloti CSO-CW piccola scala
26 Van De Moortel et al. (2011)	Piloti CSO-CW piccola scala
27 Van De Moortel et al. (2010)	Piloti CSO-CW piccola scala
28 Van De Moortel et al. (2009)	Piloti CSO-CW piccola scala
29 Wong & Geiger (1997)	Modellazione CSO-CW
30 Wozniak et al. (2007)	Piloti CSO-CW piccola scala

Tabella 13. Suddivisione articoli trovati dalla ricognizione bibliografica per macro argomenti

Ricognizione bibliografica CSO-CW

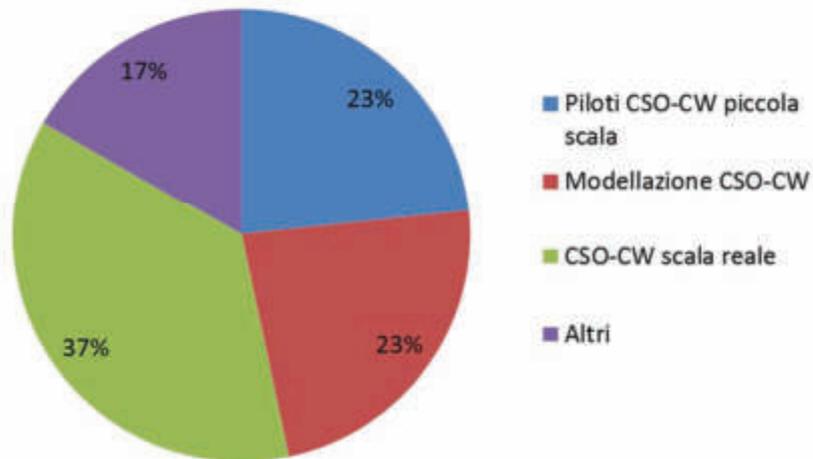


Figura 10. Riassunto dei risultati della ricognizione bibliografica sulle soluzioni naturali per CSO in base alle tipologie di studi.

La ricognizione bibliografica è stata ampliata anche agli atti pubblicati in conferenze scientifiche, in modo da verificare possibili dati o informazioni d'interesse ancora non pubblicati su riviste *peer review*. Ci si è concentrati sulle due più recenti conferenze di maggiore interesse sul tema:

- 15th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, ICWS. 4-9 September, 2016. Gdansk, Poland
- 7th International WETPOL Symposium", August 21-25, 2017 Big Sky, Montana, USA

Da questa analisi sono risultati due gli studi di interesse i cui risultati non fossero già oggetto di pubblicazione su rivista *peer review*, cioè quelli di Monge et al. (2017) e Howes et al. (2016).

Al fine di identificare diverse tipologie di soluzioni naturali per il trattamento degli sfiori fognari, risultano di particolare importanza i lavori di Tao et al. (2014), che ha

revisionato gli impianti a scala reale CSO-CW realizzati negli Stati Uniti, e quello di Meyer et al. (2013), che ha revisionato le tipologie di soluzioni naturali adottate in Germania, Italia e Francia. Si è quindi seguito le classificazioni suggerite da questi due articoli di revisione, definendo i seguenti differenti approcci nell'uso di soluzioni naturali per il trattamento dei CSO:

- Approccio Americano
- Approccio Tedesco
- Approccio Francese
- Approccio Italiano

Ognuno di questi approcci viene discusso separatamente, dato che ognuno di essi hanno peculiarità che le differenziano dalle altre. Per ogni uno di questi approcci si è revisionata la letteratura, al fine di riassumerne le caratteristiche e le informazioni sul funzionamento disponibili dalla letteratura scientifica. Per il solo approccio italiano, si riportano anche le esperienze di impianti italiani tuttora non riportati nella letteratura scientifica ma in fase di costruzione, al fine di mostrare quali diversi schemi di impianto siano stati implementati.

L'analisi degli articoli al di fuori di quelli trattati nelle due revisioni ha evidenziato ulteriori schemi di funzionamento potenziali, che vengono discussi in un sottoparagrafo a parte.

Infine, si riassumono i risultati riguardanti la quantificazione dei servizi ecosistemici forniti dalle soluzioni naturali per il trattamento degli sfiori da fognatura mista.

7.1.1.1 Approccio americano

Dati gli ampi spazi a disposizione, l'approccio americano ruota principalmente sull'utilizzo di sistemi a flusso libero (FWS), i quali hanno costi di realizzazione minori rispetto ai sistemi a flusso sommerso dato il ridotto utilizzo di inerti, ma richiedono maggiori aree. Nonostante l'alto numero di impianti di fitodepurazione secondari per i reflui domestici (Kadlec & Wallace, 2009), vi è un numero ridotto di impianti per il trattamento dei CSO in accordo al lavoro di revisione di Tao et al. (2014), il quale discute i 5 impianti a scala reale presenti, le cui caratteristiche sono riassunte

in Tabella . Tale tabella conferma che, nonostante alcune configurazioni includano soluzioni a flusso sommerso (HF o VF), i FWS siano la soluzione più utilizzata. Gli impianti sono di difficile comparazione, dato che i criteri di dimensionamento sono diversi, segno di una mancanza di linee guida per il dimensionamento. Ogni impianto, infatti, è stato dimensionato in funzione di necessità sito specifiche, e considerando l'incertezza sui limiti da rispettare allo scarico, per i quali non vi è ancora una chiara armonia nel quadro dei regolamenti degli USA, problematiche discusse da Levy et al. (2014). Ciò è evidenziato anche dalla necessità di prevedere uno stadio di disinfezione in alcuni casi, dovuto alla necessità di rispettare gli stringenti limiti allo scarico legati alle normative per gli scarichi dei depuratori per reflui domestici.

A livello di rendimenti depurativi, Tao et al. (2014) evidenzia come i dati a disposizione siano pochi, visto che tutti questi impianti sono stati autorizzati richiedendo solo report di funzionamento senza campioni di qualità delle acque scaricate, ad eccezione dei patogeni per alcuni impianti (Washington e Harbor Brook). I pochi dati a disposizione evidenziano, però, alte rese depurative e la possibilità, da parte di questi sistemi, di rispettare anche gli stringenti limiti usati per gli scarichi dei depuratori (Tao et al., 2014): la rimozione di BOD dell'impianto di Minoa è in media del 95% per il BOD, con il BOD effluente minore di 15 mg/l; Arch/Bar ha mostrato rendimenti medi del 91% sul COD, del 92% sui TSS, del 98% sull'ammoniaca, del 96% sul TP e una riduzione di 5-6 log per gli *E.Coli*; l'impianto di Washington ha mostrato un effluente con TSS <15 mg/l, BOD<7 mg/l, NH₃<2 mg/l e *E.coli*< 250 cfu/100 ml. L'impianto di Harbor Brook è stato progettato come esempio pilota a scala reale, da studiare al fine di definire una configurazione ideale per le soluzioni naturali per trattamento di CSO negli USA. Ad oggi, i dati a disposizione in letteratura sono pochi, ma mostrano buone rimozioni (Monge et al., 2017): BOD₅ 66%, TSS 56%, Coliformi fecali 73%, NH₃-N 42% e TP 47% ed un significativo effetto in termini di carichi di inquinanti trattati e non scaricati in corpo idrico.

Approccio USA CSO-CW	Minoa	Arch/Bar	Akron	Washington	Harbor Brook
Anno di costruzione	1995	1999	2001	2010-2012	2012-2014
Evento di pioggia	n/a	Prima pioggia	n/a	10 anni / 1 ora (esclusa la prima pioggia)	1 anno / 2 ore

di progetto		(40 minuti)			
Volume CSO di progetto (m3/ evento)	1053	52	1890	79380	2640
Portata di picco di progetto (m3/h)	101	250	n/a	2019	4485
Pretrattamenti	Chiarificatore primario	Grigliatura e bacino di sedimentazione	Unità di separazione a vortice	No	Unità di separazione a vortice
Area ingombro zona umida (m2)	4500	2023	24281	109265	3139
Configurazione	3 HF/VF in serie	FWS+VF	2 FWS in parallelo	VPP + Stagno + FWS + Filtro a ghiaia	FTW + VF + FWS
Disinfezione	Clorazione / dechlorazione	No	No	UV	No
Carico idraulico di progetto (mm/ evento)	234	26	78	726	841
Corpo idrico	Fiume	Fiume	Lago	Fosso	Fosso

Tabella 14. Revisione soluzioni naturali per trattamento CSO a scala reale con approccio americano. Fonte: Tao et al. (2014)

Analizzando gli impianti presenti negli USA, è da evidenziare come gli schemi di tipologia di impianto più interessanti sono:

- **Arch/Bar (FWS - Figura 11):** l'impianto è realizzato nella città di Elkhart, (Indiana) come sito dimostrativo dell'uso di soluzioni naturali per il trattamento dei CSO; è stato progettato per trattare le acque di prima pioggia (primo 40 minuti di evento CSO) e utilizza la soluzione naturale della fitodepurazione a flusso libero superficiale (FWS); l'impianto è stato progettato ad alta valenza naturalistica, mettendo a dimora circa 30 diverse specie acquatiche native dell'area.
- **Washington(VPP + FWS - Figura 12):** l'impianto è realizzato nella città di Washington (Davies County, Indiana) e può essere considerato un ibrido tra soluzioni tecnologiche e naturali; infatti, le acque di prima pioggia vengono catturate da una classica vasca di prima pioggia, che le rimanda in fognatura a fine evento meteorico per essere trattate nel depuratore centralizzato; di

conseguenza, solo le acque di seconda pioggia (fino ad eventi con tempo di ritorno 10 anni e 1 ora di durata) sono trattate con soluzioni naturali, che comprendono uno stagno per la sedimentazione dei solidi, un stadio FWS, un filtro a ghiaia e una unità di disinfezione.

- **Harbor Brook (FTW + VF + FWS - Figura 13):** l'impianto è realizzato a Syracuse (New York) nell'ambito del piano del Onondaga County "Save the Rain", che prevede l'utilizzo di infrastrutture verdi; oltre all'utilizzo di una configurazione ibrida tra soluzioni a flusso sommerso (VF) e a flusso libero (FWS), la peculiarità di questo impianto è l'utilizzo di un sistema a flusso libero con isole flottanti FTW al primo stadio, seguente a uno stadio di pretrattamento; l'utilizzo di isole flottanti permette di aumentare il pelo libero della vasca (da 0.3 a un massimo di 1.2 m in tempo di pioggia), mantenendo una copertura vegetale, che funge da agente migliorativo nel trattamento (per via dell'effetto di filtrazione delle radici delle piante al di sotto dell'isola flottante) e da agente mitigativo nella diffusione di cattivi odori rispetto ai classici stagni usati per le acque di dilavamento, particolarmente critici sul fronte degli odori se usati al primo stadio per il trattamento di CSO; l'impianto è stato progettato come pilota a scala reale per studiare la configurazione ottimale per il trattamento di CSO con soluzioni naturali; a tal fine i 3 stadi (FTW, VF, e FWS) stadi possono essere posizionati sia in serie che in parallelo, che in diverse combinazioni di serie e parallelo; al momento la campagna di monitoraggio non è terminata e non si hanno informazioni su quale combinazione dei 3 stadi sia la più performante (Monge et al., 2017).

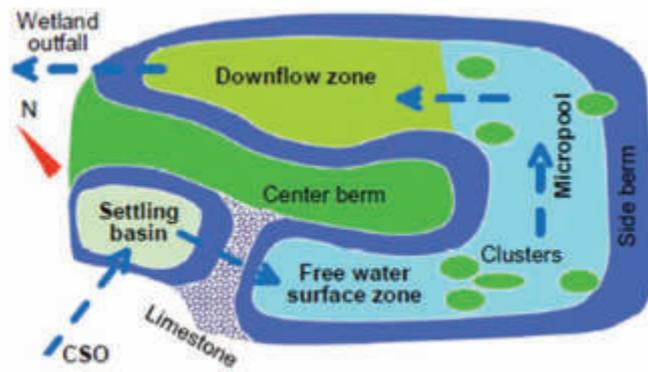


Figura 11. Schema impianto di Arch/Bar. Fonte: Tao et al. (2014)

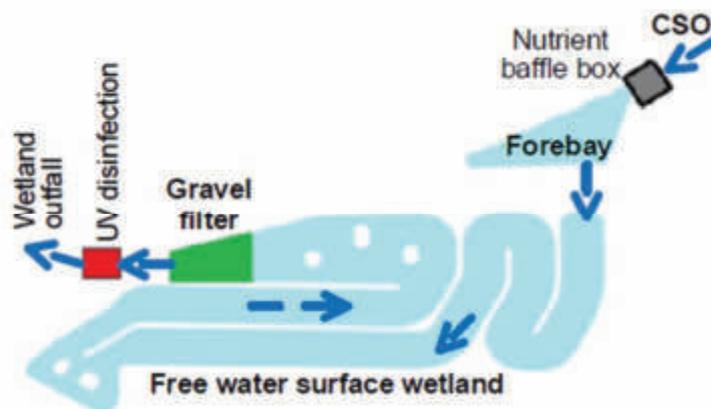


Figura 12. Schema impianto di Washington. Fonte: Tao et al. (2014)

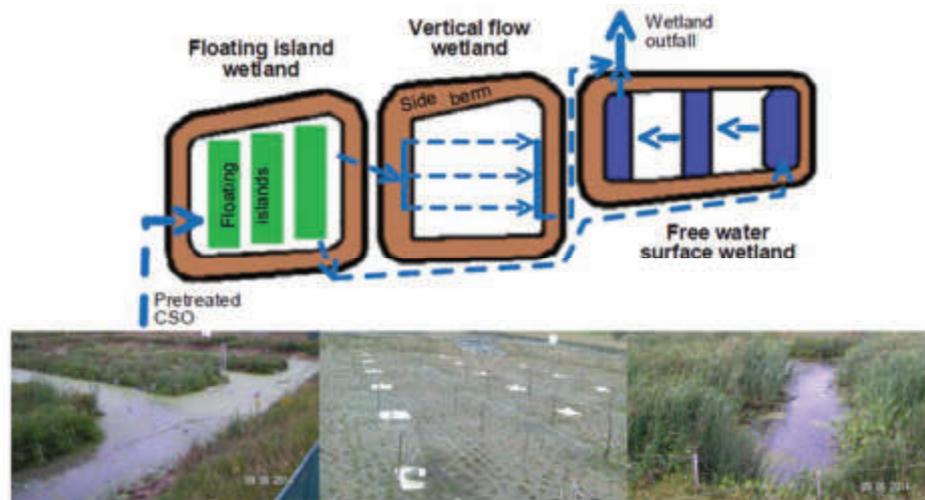


Figura 13. Schema impianto di Harbor Brook. Fonte: Tao et al. (2014)

7.1.1.2 Approccio tedesco

La Germania è stata tra i primi paesi a implementare soluzioni naturali per il trattamento dei CSO, data l'insufficienza delle sole vasche di prima pioggia nel conseguire al raggiungimento dello "Stato Buono" dei corsi d'acqua, così come richiesto dalla WFD europea. Alle classiche vasche di prima pioggia, progettate in Germania con linee guida fino dal 1992, si è affiancata una particolare soluzione di trattamento naturale, chiamata "**RetentionSoilFilter**" (**RSF**)⁶, cioè sostanzialmente uno stadio di fitodepurazione a flusso subsuperficiale verticale VF a sabbia, adattato alle esigenze dovute al trattamento di CSO. Anche al fine di riutilizzare le VPP esistenti, lo schema utilizzato in Germania è quello presentato in Figura 14 (Meyer et al., 2013):

1. Quota parte delle acque di CSO rimangono in fognatura e sono mandate a depurazione;
2. Vasca di sedimentazione come pretrattamento

⁶ Il riferimento al "suolo" è legato a motivi storici, dato che i primi sistemi adottavano filtri vegetati con suolo; oggi è vietato dalle linee guida tedesche l'utilizzo di una quota maggioritaria di suolo, mentre il materiale di riempimento principale è la sabbia (0-2 mm), tuttavia rimane la definizione storica di "Retention soil filter". (Tondera 2017)

3. RSF (vedasi sezione tipologica in Figura 15) riempiti con sabbia (0/2 mm), in cui il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolmo; è inoltre permesso l'accumulo delle acque al di sopra del letto, in modo da fornire un ulteriore volume di detenzione.

I criteri di dimensionamento degli RSF sono definiti da linee guida, descritte in Uhl&Dittmer (2005), con criteri che si basano sulla caratterizzazione idraulica delle acque scolmate, sulla definizione di volumi massimi annuali da trattare e velocità minime di infiltrazione minime per i letti RSF. Allo stato attuale, tali linee guida sono in fase di revisione; la revisione riguarda, tra i diversi aspetti, anche la possibilità di ridurre il volume delle vasche di sedimentazione, includendo nel volume di detenzione necessario quello fornito in testa al letto RSF (Meyer et al., 2013).

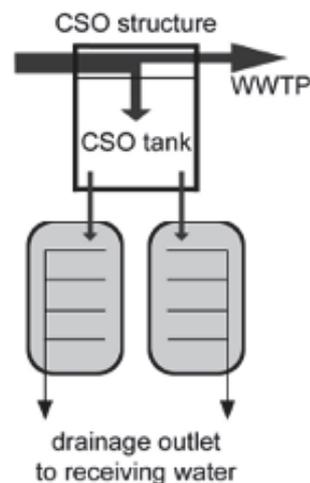


Figura 14. Schema funzionamento approccio tedesco. Fonte: Meyer et al. (2013)

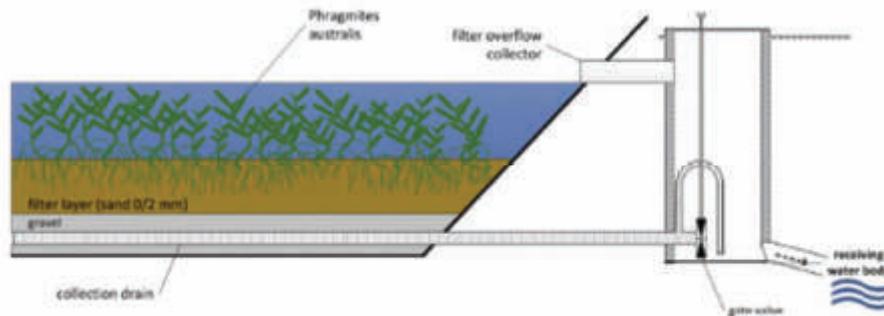


Figura 15. Sezione tipologica dei RSF tedeschi. Fonte: Tondera (2017)

La definizione di obiettivi e regole chiare ha portato in Germania ad una ampia diffusione di queste soluzioni, le quali sono in funzione da più di 20 anni (Uhl&Dittmer, 2005) e centinaia di applicazioni; nella sola regione del North Rhine-Westphalia sono in funzione più di 150 RSF (Tondera 2017). L'alta diffusione di sistemi RSF ha consentito anche una dettagliata analisi dei rendimenti depurativi: i rendimenti di un sistema RSF a scala reale riportati da Uhl&Dittmer (2005) sono riassunti in Tabella 15, mentre i risultati dell'analisi di un dataset di 20 impianti RSF proposti da Tondera (2017) sono mostrati in Tabella . Questi dati mostrano una rendimento stabile da parte degli RSF sui **principali inquinanti di interesse per un CSO** (COD, BOD5, TSS, NH4-N). Si notano, inoltre, valori bassi di solidi sospesi totali, dovuti alle grandi dimensioni delle vasche di sedimentazione recuperate, spesso, da vecchie vasche di prima pioggia. I filtri RSF sono previsti senza uno strato saturo al fondo, quindi sono aerati e non permettono una denitrificazione delle acque trattate, come visibile in Tabella 15.

	COD	BOD	SS	NH4-N	NO3-N
Ingresso (mg/l)	75	8.9	99	0.75	0.76
Uscita (mg/l)	12	<3	<10	0.03	2.36
Rimozione (%)	+84			+96	-210

Tabella 15. Rendimenti depurativi medi di un RSF a scala reale. Fonte: (Uhl&Dittmer, 2005).

		COD		TSS		TP	
		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
N° di campioni		226	284	274	284	335	338
N° di impianti		12	14	13	13	15	16
Concentrazioni	Minima	15	15	1	1	0.1	0.1
	Massima	918	89	1123	214	16.1	2.7
	Mediana	44	16	25	3	0.6	0.2
	Media	69	18	39	6	0.9	0.3
Rimozione (%)	Mediana	61		87		70	
	Media	49±44		38±251		34±112	

Tabella 16. Rendimenti depurativi sulla base di un ampio dataset di RSF a scala reale. Fonte: (Tondera, 2017).

Dato l'interesse verso questa soluzione tecnica da parte della Germania, diversi progetti di ricerca sono stati avviati negli anni che hanno permesso di monitorare il funzionamento degli RSF anche nella rimozione di **altri inquinanti di interesse**, dati riassunti nel lavoro di Tondera et al. (2013). Tra i microinquinanti, il sistema RSF monitorato ha mostrato buone rimozioni: carbamazepine 30%, 1-h-benzotriazole 40%, metoprolool 60%, sulfamethozazole 23%, bisphenol 69%, TCPP 43%, EDTA, 25%. Significative rimozioni medie sono state registrate anche per i patogeni: *E.coli* 1log, *Enterococcus* 1.1 log e *Coliphages* 0.6 log; questi buoni risultati sono alla base dell'analisi sulla gestione della contaminazione dei corpi idrici da patogeni nell'area della Ruhr proposta da Tondera et al. (2017), il quale mostra come il trattamento dei CSO per mezzo di soluzioni naturali in situ possa contribuire in modo significativo alla riduzione della carica batterica nei corpi idrici di quest'area.

Approcci modellistici più o meno complessi sono stati utilizzati per gli RSF. Il software HYDRUS (Simunek et al., 2017) è stato utilizzato per simulare e comprendere meglio il comportamento degli RSF a diversi eventi CSO (Henrichs et al. (2007, 2009). Tuttavia la complessità di questo modello ha spinto verso l'adozione di modelli più semplici, volti al solo dimensionamento; a tal scopo è stato modellato RSF_Sim (Meyer&Dittmer, 2015) che può essere usato per dimensionare in modo più dettagliato questi sistemi rispetto all'utilizzo delle sole linee guida, permettendo di ridurre la necessità di sovradimensionamento, e quindi i costi di realizzazione.

7.1.1.3 *Approccio francese*

L'approccio alla francese mutua quello tedesco, cioè l'utilizzo di uno stadio di fitodepurazione a flusso VF, combinandolo con l'esperienza accumulata negli anni con i così detti "sistemi alla francese", cioè sistemi di fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue senza pretrattamenti (cioè senza fossa settica), soluzione che in Francia ha più di 30 anni di esperienza, oltre 4000 impianti installati ed è stata ampiamente studiata (Molle et al., 2005; Morvannou et al., 2015). Lo schema per il trattamento dei CSO con approccio francese è quello presentato in Figura 14 (Meyer et al., 2013) ed ha le seguenti peculiarità:

1. Quota parte delle acque di CSO rimangono in fognatura e sono mandate a depurazione;
2. Presenza di soli trattamenti preliminari con una vasca con funzione di degrassatore e per la cattura degli oli
3. Comparto di fitodepurazione a flusso VF simile ai sistemi RSF, ma riempiti con inerti a pezzatura maggiore (ghiaia 2-6), che è possibile accoppiare con materiali a più alta capacità di assorbimento dei nutrienti come la zeolite; in analogia agli RSF, il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolmo; sempre in analogia agli RSF, è inoltre permesso l'accumulo delle acque al di sopra del letto, in modo da fornire un volume di detenzione; la superficie del letto funge da elemento di filtrazione per i solidi, vista l'assenza di una vasca di sedimentazione in testa, accumulando i solidi in uno strato di deposito, come accade negli impianti alla francese, con le piante che garantiscono condizioni aerobiche e l'assenza di diffusione di cattivi odori; inoltre, è prevista la suddivisione dell'impianto in due comparti idraulicamente indipendenti, da alimentare in maniera alternata, in modo da garantire sufficienti tempi secchi per la mineralizzazione dello strato di deposito sopra i letti, in analogia al sistema di funzionamento dei sistemi alla francese.

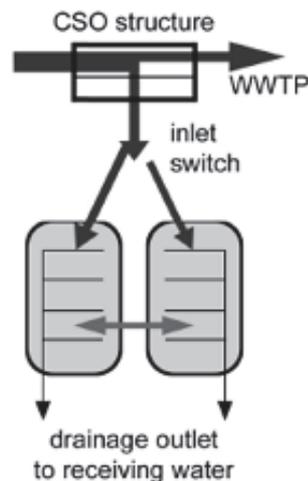


Figura 16. Schema funzionamento approccio francese. Fonte: Meyer et al. (2013)

Benché tale approccio si fondi su sistemi largamente adottati in Francia, cioè i “sistemi alla francese”, l’applicazione di questa soluzione a scala reale è limitata, tuttora, al solo impianto pilota a scala reale di Marcy-L’Etoile. Tale impianto è stato realizzato per testare tale approccio ed ottimizzarlo, e i risultati di 3 anni di monitoraggio sono stati pubblicati in letteratura solo recentemente, nel lavoro di Pálffy et al. (2017a). Per gli **inquinanti di maggior interesse per un CSO** l’impianto ha mostrato i seguenti buoni risultati: TSS, rendimenti alti e stabili (mediana 96%), con concentrazioni sempre < 10 mg/l; COD, rimozione media del 79%; NH₄-N, rimozione mediana del 72%; TP, intervalli di rimozione campionati 45-75%.

Pálffy et al. (2017a) riporta anche interessanti rimozioni per quanto riguarda i **microinquinanti**. L’impianto ha mostrato buone rimozioni dei metalli (Tabella 17), e concentrazioni in uscita di idrocarburi policiclici aromatici (Polycyclic aromatic hydrocarbons - PAH) basse (Tabella) e sempre al di sotto dei limiti di concentrazione fissati dalla European Water Framework Directive.

Pálffy et al. (2017a) mostra anche i risultati riguardanti il **deposito di fango** che si forma al di sopra del letto VF, che è previsto venga rimosso dopo 10-15 anni. Il tasso di crescita è risultato di 3.2-3.5 cm/anno. Inoltre, l’accumulo di microinquinanti dello strato di deposito è risultato tale da non compromettere il riuso del fango essiccato in agricoltura come ammendante una volta rimosso.

Maggiori dettagli sul funzionamento idraulico e sulla capacità di rimozione dell'azoto dell'impianto di Marcy-L'Etoile sono riportati nello studio di Pálfy et al. (2017b).

Metalli	Range di rimozione su 6 eventi di campionamento
Al	39-99%
Ti	46-91%
Cr	76-84%
Mn	fino a 36% ma con eventi con rilascio
Fe	fino a 86% ma con eventi con rilascio
Ni	96-97%
Cu	fino a 96% ma con eventi con rilascio
Zn	fino a 79% ma con eventi con rilascio
Sr	fino a 61% ma con eventi con rilascio
Ba	61-100%
Pb	56-65%

Tabella 17. Rimozioni metalli da impianto CSO-CW con approccio alla francese di Marcy-L'Etoile. Fonte: Pálfy et al. (2017a)

PAH	Concentrazioni in uscita (µg/L)
Acenaphthene	0.011
Benzo(a) anthracene	0.028
Benzo(a) pyrene	0.002
Benzo(b) fluoranthene	0.006
Fluoranthene	0.013
Fluorene	0.011
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.006
Naphthalene	0.034
Benzo(g,h,i)perylene	0.006
Chrysene	0.010
Phenanthrene	0.018
Pyrene	0.013

Tabella 18. Concentrazioni di PAH in uscita impianto CSO-CW con approccio alla francese di Marcy-L'Etoile. Fonte: Pálfy et al. (2017a).

Anche per l'approccio alla francese sono presenti degli **studi modellistici**. Pálfy et al. (2016) ha validato il modello HYDRUS (Simunek et al., 2017) su delle prove di laboratorio in colonna, permettendo una migliore comprensione del funzionamento di tale sistema. Pálfy et al. (2017c) invece descrive il software Orage, concepito per un design più di dettaglio questi sistemi, il quale adatta il modello RSF_Sim di Meyer&Dittmer (2015) all'approccio CSO-CW alla francese.

7.1.1.4 *Approccio italiano*

L'approccio italiano, così come definito nel lavoro di revisione di Meyer et al. (2013), deriva dalle necessità sito specifiche dell'intervento realizzato, cioè il CSO-CW di Gorla Maggiore (VA); per tale scolmatore, infatti era richiesto il rispetto dei regolamenti della Regione Lombardia presenti negli anni di progettazione e realizzazione (R.R. 3/2006, tuttora in revisione), che definiscono un volume di prima pioggia per le acque di scolo pari a 50 m³/ha impermeabile, oltre alla necessità di laminare le acque scaricate con vasca volano, per il rispetto del principio di invarianza idraulica. Queste esigenze hanno portato i progettisti alla definizione dello schema riportato in Figura 17 (Meyer et al., 2013), caratterizzato dalle seguenti peculiarità:

1. Manufatto CSO in grado di separare le acque da mandare in fognatura (destinate a depurazione in impianto centralizzato) e le acque di prima e seconda pioggia, da destinare ai diversi stadi di fitodepurazione;
2. Presenza di soli trattamenti preliminari con una grigliatura e dissabbiatore per le sole acque di prima pioggia;
3. Fitodepurazione a flusso sommerso VF, con similitudini sia coi sistemi tedeschi RSF che con quelli francesi, dimensionato per trattare le sole acque di prima pioggia; il letto è riempito con inerti a pezzatura maggiore (ghiaia 2-6), in analogia all'approccio francese; il flusso in uscita è regolato da una bocca tarata, in modo da garantire tempi di residenza in grado di promuovere un efficace trattamento delle acque di scolo, in analogia agli RSF; l'approccio italiano permette un accumulo minore delle acque al di sopra del letto, dato che il volume di detenzione è gestito al secondo stadio FWS; la superficie del letto funge da elemento di filtrazione per i solidi, vista l'assenza di una vasca di sedimentazione in testa, accumulando i solidi in uno strato di deposito, come accade negli impianti alla francese, con le piante che garantiscono condizioni aerobiche e l'assenza di diffusione di cattivi odori.
4. Fitodepurazione a flusso libero FWS al secondo stadio, che riceve sia le acque di seconda pioggia che le acque di prima pioggia trattate in uscita dal sistema VF; il FWS è stato dimensionato con approccio multiobiettivo, quindi oltre a svolgere funzioni inerenti al trattamento delle acque CSO, funge da vasca volano ed aumenta la biodiversità e la fruibilità dell'area, dato che

l'impianto CSO-CW è stato inserito all'interno di un parco aperto ai cittadini (Parco dell'Acqua)

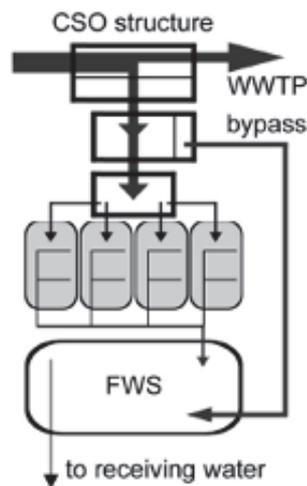


Figura 17. Schema funzionamento approccio italiano. Fonte: Meyer et al. (2013)

Il CSO-CW di Gorla Maggiore (VA) è stato uno degli impianti pilota monitorati all'interno del progetto Europeo FP7 OpenNESS (www.openness-project.eu) per lo studio dei servizi ecosistemici da esso fornito, discussi nel dettaglio al paragrafo 7.1.1.6. I risultati del monitoraggio in termini della **capacità di trattamento dei CSO** sono dettagliati in Masi et al. (2017). Le rimozioni sono risultate alte: media 89.6% (74-98%) per il COD e media 93.5% (72-99%) per N-NH₄, considerando solo i valori di concentrazione; 68% per il COD e 94.8% per N-NH₄ sui carichi annuali scaricati, calcolati utilizzando un approccio teorico sulla base degli eventi CSO per cui sono stati misurati solo le portate in ingresso (69 eventi durante l'anno di campionamento). Masi et al. (2017) propone anche delle stime teoriche, basate sia sui campioni qualitativi che sui dati quantitativi di eventi CSO registrati, riguardanti il contributo in termini di rimozione dei carichi inquinanti dovuti ad effetto di dilavamento della fognatura e del bacino (chiamato nel lavoro effetto "washout"), al carico mandato al depuratore centralizzato e alle sole seconde piogge. Per i tre eventi CSO

campionati con dati di qualità delle acque (prima ora evento di scolmo), è risultato un contributo prevalente da parte dell'effetto washout (Figura 18). Tuttavia, benché sia stato seguito un approccio molto conservativo nell'analisi teorica proposta sulla base dei dati di quantità degli eventi CSO in ingresso, cioè considerando le acque di seconda pioggia contaminate solo da carico civile diluito (2017 abitanti equivalenti), il contributo delle acque di seconda pioggia in termini di inquinanti non è risultato trascurabile a scala annuale (Figura 19); difatti, il sistema di trattamento in continuo ha permesso di intercettare 12.1 ton_{COD}/anno e 0.28 ton_{N-NH4}/anno dovuti alle sole acque di seconda pioggia, pari rispettivamente al 14.5% e 43.9% del carico di COD e di N-NH4 veicolato dai 69 eventi CSO registrati, carichi che sarebbero stati scaricati non trattati nel corpo idrico con l'adozione delle sole vasche di prima pioggia.

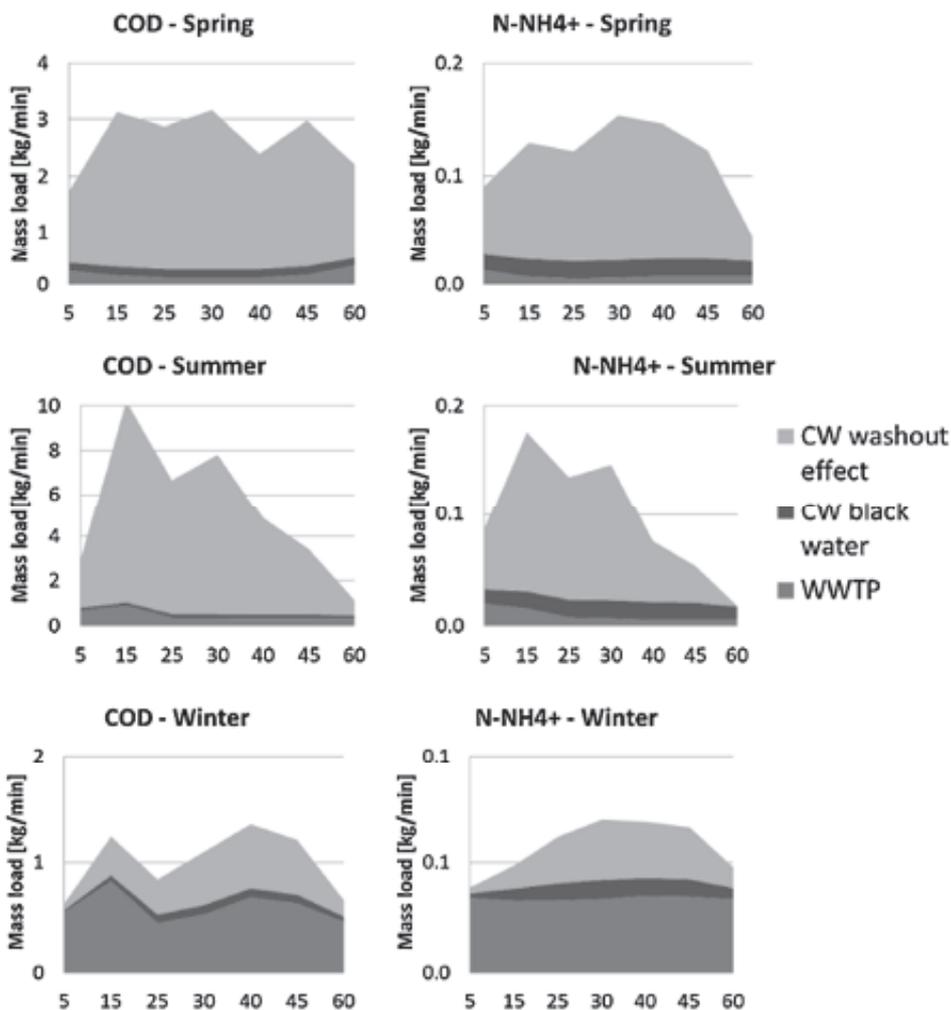


Figura 18. Distinzione tra effetto acque nere, acque di dilavamento (“washout”) e acque mandate al depurazione centralizzata (WWTP) per i tre eventi campionati (Primavera, Estate, Inverno) . Fonte: Masi et al. (2017)

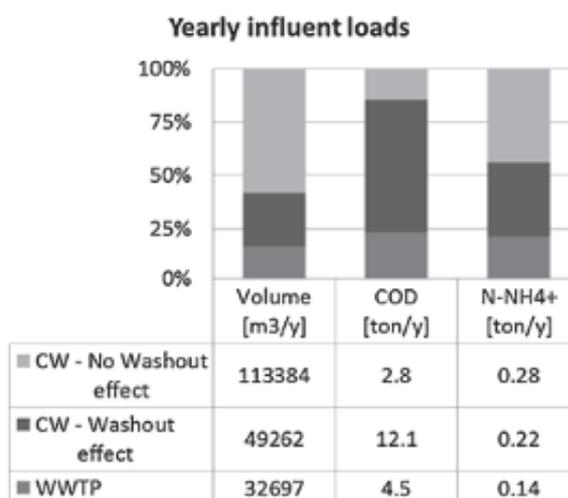


Figura 19. Volumi e stima dei carichi inquinanti scaricati dai 69 eventi CSO registrati presso l'impianto di Gorla Maggiore da Febbraio 2014 a Febbraio 2015. Fonte: Masi et al. (2017)

Per ora l'impianto di Gorla Maggiore è l'unico caso di CSO-CW italiano riportato in letteratura. Tuttavia, la positiva esperienza di tale impianto ha portato alla progettazione di interventi simili, sempre in Regione Lombardia, tra i quali anche interventi più importanti a servizio degli sfioratori cosiddetti "di testa impianto"⁷. Una lista di **altri impianti CSO con soluzioni naturali in fase di realizzazione in Italia** è riportata in Tabella 19. Si noti, in particolare tre configurazioni differenti dall'approccio di Gorla Maggiore:

- **AEW + FWS** (Merone, CO)
- **VPP + FWS** (Mozzate, VA; Villaguardia via Montegrappa, CO), soluzione uguale a quella proposta negli USA nell'impianto di Washington (vedasi paragrafo 7.1.1.1)
- **Stagno + HF** (Gronico), soluzione in analogia allo schema proposto negli USA nell'impianto di Harbor-Brook, ma con l'impianto americano che presenta le isole flottanti, le quali possono essere viste come opere di mitigazione per lo stagno in testa all'impianto

⁷gli sfioratori posti immediatamente a monte del depuratore, per evitarne il sovraccarico in occasione delle piogge, che provocano lo sversamento nei corpi idrici di portate inquinate molto significative

Sfioratore in testa al depuratore di Merone (CO)	
<p><u>Depuratore:</u> 120.000 AE</p> <p><u>Volumi di sfioro trattati:</u> 564.000 mc/anno</p> <p><u>Configurazione:</u> AEW + FWS</p> <p><u>Peculiarità:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Primo impianto di fitodepurazione aerato di nuova generazione per sfiori da fognatura mista in Italia e tra i primi al mondo, il quale ha permesso di poter adottare la fitodepurazione anche in un ambito con limitata disponibilità di aree • Inserito nel Parco Lambro 	
Sfiorature in testa al depuratore di Carimate (CO)	
<p><u>Depuratore:</u> 80.000 AE</p> <p><u>Volumi di sfioro trattati:</u> 515.000 mc/anno</p> <p><u>Configurazione:</u> VF + FWS</p> <p><u>Peculiarità:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Progetto che prevede anche intervento di riqualificazione fluviale ed educazione ambientale con potenziamento della fascia ripariale del fiume Seveso e bosco didattico 	
Sfioratore nel comune di Villaguardia (CO)	
<p><u>Portata trattata:</u> 515.000 mc/anno</p> <p><u>Configurazione:</u> VF + FWS</p> <p><u>Peculiarità:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intervento multiobiettivo che integra diversi servizi ecosistemici (ecosystem services): riduzione carico inquinante, aumento fruibilità dell'area e della biodiversità. 	
Sfioratore nel comune di Capiago Intimiano (CO)	

<p><u>Volume prima pioggia trattato:</u> max 130 mc per evento</p> <p><u>Configurazione:</u> VF + FWS</p> <p><u>Peculiarità:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intervento multiobiettivo che integra diversi servizi ecosistemici (ecosystem services): riduzione carico inquinante, laminazione per riduzione rischio allagamenti a valle, area ricreativa, aumento della biodiversità. 	
Sfioratore nel comune di Mozzate (VA)	
<p><u>Portata di prima pioggia intercettata:</u> >2050 mc per evento</p> <p><u>Configurazione:</u> VPP + FWS</p> <p><u>Peculiarità:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intervento multiobiettivo che integra diversi servizi ecosistemici (ecosystem services): trattamento acque di seconda pioggia non catturate dalle vasca di prima pioggia, laminazione per riduzione rischio allagamenti a valle, area ricreativa (pista ciclabile, birdwatching), aumento della biodiversità. 	

Tabella 19. Lista impianti CSO-CW in fase di realizzazione in Italia

7.1.1.5 Altre soluzioni riportate in letteratura

Analizzando la letteratura al di fuori dei lavori di revisione di Meyer et al. (2013) e Tao et al. (2014), si possono identificare alcuni differenti approcci, con conseguente differenti tipologie di impianti con soluzioni naturali per il trattamento dei CSO.

Si può parlare di **Approccio Portoghese**, sulla base dei lavori di Amaral et al. (2013) e Piseiro et al. (2016), i quali hanno testato la soluzione tecnica della fito-depurazione a flusso subsuperficiale orizzontale HF su impianti piloti, alimentati sia con reflui CSO sintetici che reali. I risultati hanno mostrato come 1 solo giorno di tempo di ritenzione (*hydraulic retention time* - HRT) sia sufficiente ad ottenere buoni

rendimenti sugli inquinanti di maggiore interesse nel trattamento dei CSO, come mostrato in Tabella 20. Le sperimentazioni pilota non hanno portato, però, alla realizzazione di impianti a scala reale con questa tecnica in Portogallo⁸ e la ricognizione bibliografica non ha evidenziato applicazioni di HF a scala reale in altri paesi. Tuttavia, sia i buoni risultati degli impianti pilota portoghesi, che l'applicazione di successo degli HF a un ampio campo di applicazioni a scala reale (Vymazal 2009), portano a non escludere la possibilità di utilizzare gli HF per il trattamento dei CSO, a patto di riadattare tale soluzione alle particolari condizioni di funzionamento dovute alla stocasticità delle piogge.

PAH		HRT 1 giorno	HRT > 1 giorno
COD	Amaral et al. (2013)	82-88%	93-97%
	Pisoero et al. (2016)	63-85%	77-90%
TSS	Amaral et al. (2013)	86-95%	94-99%
	Pisoero et al. (2016)	85-96%	88-99%
Enterococchi	Amaral et al. (2013)	2.1-2.7 log	4.8-5.7 log
	Pisoero et al. (2016)	1.6-2.0 log	4.6-4.9 log

Tabella 20. Rimozioni medie piloti HF per trattamento CSO. Fonte: Piseiro et al. (2016)

La ricognizione bibliografica ha evidenziato anche l'utilizzo di soluzioni di fitodepurazione intensificata applicata al trattamento dei CSO col lavoro di Howes et al. (2016), dove è stata applicata la **fitodepurazione aerata** (AEW - aerated wetland), la quale permette di ridurre sensibilmente le aree di ingombro, a fronte di una maggiore complessità dell'impianto e a consumi energetici più alti. I dati di funzionamento di questa soluzione sono tuttora scarsi ma soddisfacenti, con Howes et al. (2016) che riporta rimozioni sul BOD del 88% e sul NH₄-N del 94%. E' da notare come tale soluzione sia stata adottata anche in Italia per l'impianto di Merone (CO), tuttora in fase di realizzazione.

7.1.1.6 Quantificazione dei servizi ecosistemici delle soluzioni naturali

Il caso studio di Gorla Maggiore (VA) discusso nel paragrafo 7.1.1.4 come esempio del così detto "approccio italiano" è stato anche uno dei casi studio nell'ambito del

⁸ Informazione ricevuta per mezzo della prof. Ana Galvão, coautrice di entrambi i lavori portoghesi Amaral et al. (2013) e Pisoero et al. (2016).

progetto di ricerca Europeo FP7 OpenNESS (www.openness-project.eu), con lo scopo di quantificarne i servizi ecosistemici (*ecosystem services*). I risultati sono riportati nel lavoro di Liqueste et al. (2016) e vengono qui riassunti, al fine di identificare quali benefici siano stati quantificati dovuti all'utilizzo, per il trattamento di scolmi da fognatura mista, di soluzioni naturali (anche dette **infrastrutture verdi**) rispetto alle soluzioni tecnologiche (anche dette **infrastrutture grigie**).

Una **analisi multicriterio (Multicriteria Analysis - MCA)** è stata svolta a tal fine, confrontando 3 alternative (Figura 20):

- Alternativa 0: Nessun intervento
- Alternativa 1: Infrastruttura Grigia
- Alternativa 2: Infrastruttura Verde (cioè l'impianto CSO-CW di Gorla maggiore descritto al paragrafo 7.1.1.4)

Le alternative sottoposte a valutazione

- 0) La situazione preesistente (ovvero nessun intervento): il pioppeto produttivo
- 1) La soluzione convenzionale (*infrastruttura grigia*): la vasca di pioggia + un bacino rinverdito che funziona da vasca volano
- 2) La soluzione verde (*infrastruttura verde*): il sistema di fitodepurazione + lo stagno di accumulo e affinamento



Figura 20. Alternative per l'analisi MCA del caso studio di Gorla Maggiore

Per quantificare i servizi forniti dalle diverse alternative si sono seguiti i seguenti passi, riassunti in Tabella 21: (i) sono stati definiti degli *obiettivi* a cui le opere delle diverse alternative possano concorrere; (ii) ad ogni obiettivo è stato definito un *criterio*; (iii) per ogni criterio sono stati definiti degli *indicatori*, valutati in modo quantitativo o sulla base del giudizio qualitativo degli esperti.

Obiettivi	Criteri	Indicatori	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2
Protezione dalle piene	Riduzione del rischio	Riduzione del picco di portata dello sfioratore (%)	0	80	86
		Riduzione del volume che defluisce a valle (m3)	0	8 100	8 900
Qualità dell'acqua	Riduzione del carico inquinante	Riduzione del carico organico (COD t/anno)	0	9,5	11,7
		Riduzione del carico di azoto ammoniacale (t/anno)	0	0,2	0,4
Supporto alla biodiversità	Disponibilità di habitat	Giudizio esperto sulla biodiversità	basso	basso	alto
		Indice di diversità del paesaggio	1,89	1,85	2
Ricreazione	Disponibilità di spazi verdi fruibili	Numero di visitatori	molto basso	medio	alto
		Frequenza delle visite	molto basso	medio	alto
Produzione per il mercato	Valore della produzione del pioppeto	Valore economico stimato del legname prodotto (€)	ca. 21 420	0	0
Costi per la collettività	Minimizzazione dei costi	Costo di costruzione (€)	0	844 750	900 000
		Costo di gestione in 20 anni (€)	0	27 824	29 590

Tabella 21. Obiettivi, criteri ed indicatori dell'analisi MCA. Fonte: Liquete et al. (2016)

I valori degli indicatori sono stati tradotti in un giudizio per le diverse alternative sulla base delle preferenze manifestate dai diversi portatori di interesse (Managers, portatori di interesse locali, Esperti) raccolti per mezzo di questionari. Il giudizio delle alternative, a valle della pesatura dei portatori di interesse, è riportato in Figura 21. L'infrastruttura verde risulta quella con un punteggio maggiore dato che, a fronte di costi di costruzione comparabili con l'infrastruttura grigia, comporta un maggiore contributo alla biodiversità, alle potenzialità fruibili delle aree e alla riduzione del carico inquinante⁹. Questi risultati sono stati inoltre confermati per mezzo di una analisi di sensitività, la quale ha mostrato come, variando i pesi dati dai portatori di interesse, la soluzione con un giudizio maggiore rimanga sempre l'infrastruttura verde.

⁹ Il carico inquinante rimosso dall'infrastruttura verde è risultato maggiore di quello dell'infrastruttura grigia dato il trattamento in continuo delle acque di sfioro, il quale permette di intercettare anche il carico civile diluito presente nelle seconde piogge, carico inquinante non trattato dalle vasche di prima pioggia.

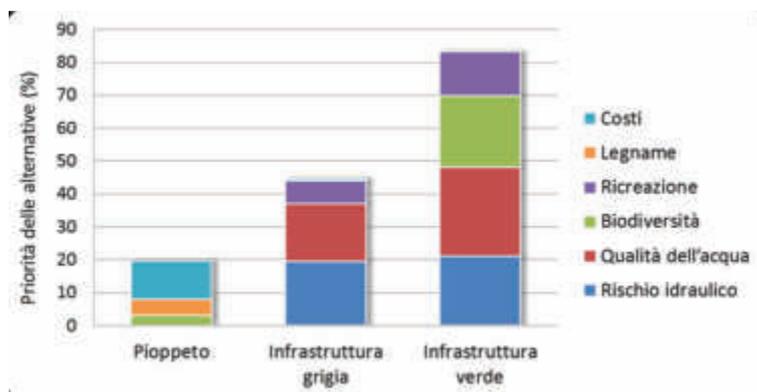


Figura 21. Confronto tra i benefici forniti dall'utilizzo di infrastrutture verde (fitodepurazione), grigia (vasca di prima pioggia) e assenza di intervento (pioppeto esistente) in termini di servizi ecosistemici. Fonte: Lique et al. (2016)

7.2 Esempi di pollutogrammi di progetto

Se da un lato la complessità dei pollutogrammi reali attesi è alta, da un altro può essere necessario scegliere un pollutogramma di progetto semplificato, in grado di stimare i carichi inquinanti sversati dagli sfiori dai soli dati quantitativi di simulazione delle reti fognarie, senza quindi richiedere una modellazione qualitativa degli sfiori. La scelta di un pollutogramma di progetto, quindi, evita la necessità di simulare, ad esempio, il diverso carico inquinante accumulato nei tempi secchi da diverse superfici drenanti e all'interno della fognatura, o il grado di lavaggio della fognatura in funzione delle diverse velocità di scorrimento.

Una volta scelto di simulare il comportamento della rete fognaria solo quantitativamente, si rende comunque necessario adottare un pollutogramma di progetto che sia, contemporaneamente, sufficientemente semplice da costruire e robusto nella stima dei carichi inquinanti. In questo allegato si riportano due esempi di pollutogrammi "sintetici", a titolo di esempio per i progettisti, ma esaustivi dei diversi approcci disponibili a questo scopo. I pollutogrammi di progetto proposti adottano l'approccio volumetrico proposto da Masi et al. (2017) e basato sul concetto di concentrazione media d'evento (*EventMeanConcentration* - EMC), definito come segue:

$$EMC_{CSO} = \frac{\sum(V_{CSO}(t)C_{CSO}(t))}{\sum(V_{CSO}(t))}$$

Dove:

- $V_{CSO}(t)$ volume cumulato sfiorato al tempo t
- $C_{CSO}(t)$ concentrazione di inquinante misurata al tempo t

La EMC, quindi, è quella concentrazione che, se moltiplicata per il volume sfiorato, dà il carico di inquinante totale scaricato nell'evento. Come riassunto in Tabella 3 della linea guida, la letteratura mostra intervalli di variabilità del EMC molto ampi per i principali parametri inquinanti di interesse per gli sfiori da fognatura mista, da 128 a 1873 mg/l per il COD, da 61 a 1379 mg/l per i TSS. Due esempi di pollutogrammi sono proposti:

- **Pollutogramma di progetto A:** questo pollutogramma assume una EMC media costante per tutti i volumi di sfioro, indipendentemente dai volumi di prima pioggia; tale pollutogramma è il più semplificato, ma risulta adottabile solo nel caso di sfiori a monte di bacini molto estesi e/o lunghi, laddove per bacini estesi e/o lunghi si intendono bacini scomponibili in più sottobacini con tempi di corrivazione assai diversi tra loro e per i quali quindi l'effetto di prima pioggia e/o dilavamento non è atteso tutto nella prima fase dello sfioro, perché diventa funzione del tempo di corrivazione delle diverse aree del bacino drenato. In tali bacini non è atteso un forte effetto di prima pioggia sui primi volumi scolmati, ma piuttosto effetti di prima pioggia e dilavamento della fognatura ritardati durante lo sfioro per effetto dei diversi tempi di corrivazione del sistema fognario. L'ipotesi di EMC media costante (\overline{EMC}) porta alla non necessità di stime sui carichi inquinanti per definire la portata di taglio, dato che il carico inquinante coincide col volume scaricato; è perciò sufficiente adottare un taglio che garantisca di intercettare, coi trattamenti in continuo senza vasca di prima pioggia, un volume medio annuo pari a quello intercettato dalle vasche di prima pioggia;
- **Pollutogramma di progetto B:** questo pollutogramma considera, a differenza di quello precedente, una differenza tra la EMC dei volumi di prima pioggia e la EMC dei volumi di seconda pioggia per alti tempi secchi per

mezzo di una funzione semplificata a scalino; in tal modo, si prevede una EMC più alta nei volumi di prima pioggia (EMC_1), cioè in grado di considerare il contributo inquinante delle acque di prima pioggia di dilavamento e del dilavamento della fognatura, atteso nei primi volumi di scolmo; una EMC più bassa (EMC_2) è invece considerata per i volumi di sfioro superiori ai volumi di prima pioggia, in modo da considerare sia il carico inquinante delle acque reflue civili diluite (sempre presente) che il contributo di eventuali picchi di dilavamento o di first flush ritardati per effetto di corrivazione; per bassi tempi secchi, viene considerata solo la EMC_2 indipendentemente dai volumi di prima pioggia, in modo da considerare il fatto che non vi sia stato sufficiente tempo per accumulare sia sulla superficie stradale che in fognatura un carico inquinante significativo.

I pollutogrammi di progetto vanno applicati per ogni **evento di sfioro** simulato dagli idrogrammi, definendo come evento di sfioro tutti i volumi sfiorati nelle 48 ore dall'inizio dello scolmo (includendo anche diversi picchi nell'arco delle medesime 48 ore). Alcuni esempi di sfiori da fognatura mista rientranti come unico evento di sfioro, così come definito precedentemente, sono riportati in Figura 22.

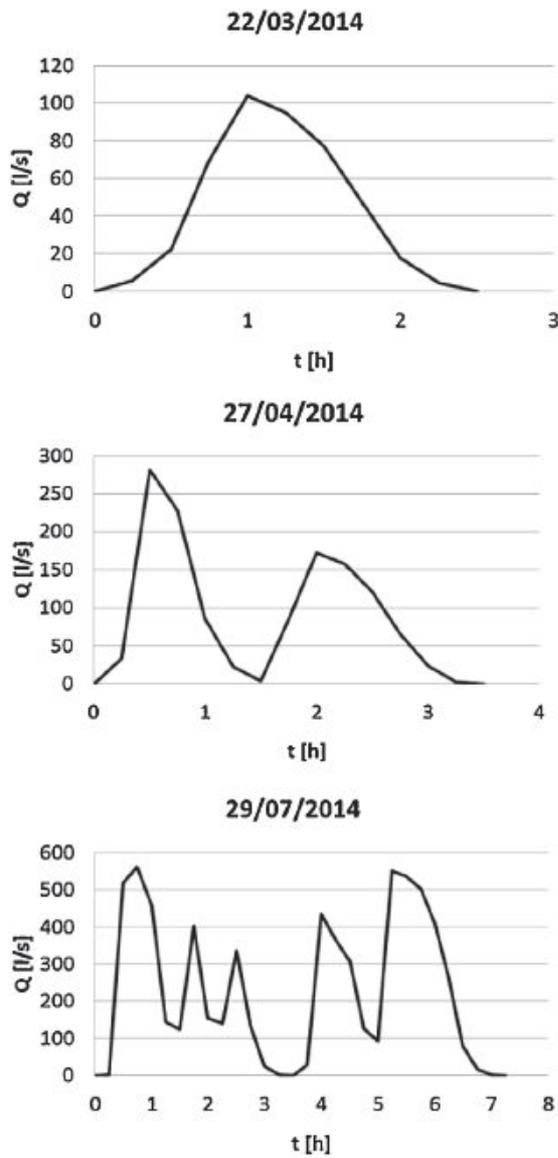


Figura 22. Esempi di diversi eventi di sfioro dello scolmatore di Gorla Maggiore (VA), così come definiti al fine dell'applicazione dei pollutogrammi di progetto. Fonte: Masi et al. (2017)

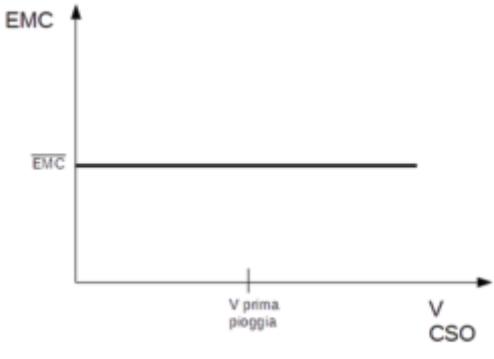
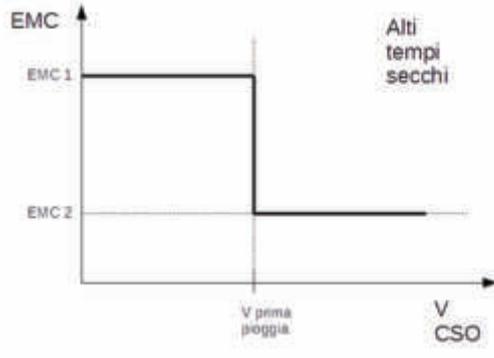
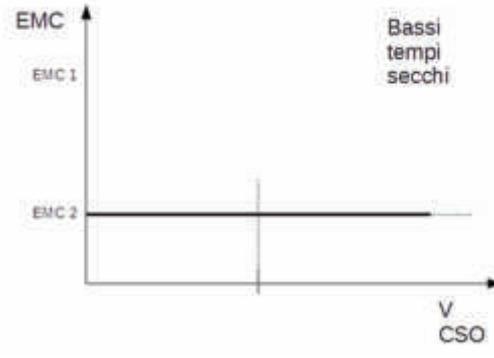
<p>Pollutogramma di progetto A</p> <p>- Adatto <u>solo</u> per bacini drenati estesi e/o complessi</p>	
<p>- Indipendente da volume di prima pioggia</p>	
<p>Pollutogramma di progetto B</p> <p>- Adatto per bacini piccoli e con schema di reti afferenti semplice</p>	
<p>Alti tempi secchi</p> <p>- Effetto prima pioggia dipendente da volume di prima pioggia</p> <p>- Volume di prima pioggia definito come da regolamento della Regione Lombardia: 50 m³/ha impermeabile</p> <p>- Tempi secchi di non sfioro rispetto all'evento di sfioro precedente > 24-48 ore</p>	
<p>Bassi tempi secchi</p> <p>- Indipendente da volume di prima pioggia</p> <p>- Tempi secchi di non sfioro rispetto all'evento di sfioro precedente < 24-48 ore</p>	

Tabella 22. Pollutogrammi di progetto

7.2.1 Metodologia per la stima dei carichi inquinanti con il pollutogramma di progetto B

La stima dei carichi inquinanti intercettati per mezzo del pollutogramma di progetto B viene definita come segue. Per ogni evento CSO simulato dalla trasformazione afflussi deflussi, il carico inquinante veicolato dai volumi di prima pioggia, $M_{CSO,1p}$, e da quelli di seconda pioggia, $M_{CSO,2p}$, viene stimato con l'approccio volumetrico proposto in Masi et al. (2017):

$$M_{CSO,1p} = \begin{cases} EMC_1 V_{CSO} & t_s \geq t_{s,max} \text{ e } V_{CSO} \leq V_{1p} \\ EMC_1 V_{1p} & t_s \geq t_{s,max} \text{ e } V_{CSO} > V_{1p} \\ 0 & t_s < t_{s,max} \end{cases} \quad (1)$$

$$M_{CSO,2p} = \begin{cases} 0 & t_s \geq t_{s,max} \text{ e } V_{CSO} \leq V_{1p} \\ EMC_2 (V_{CSO} - V_{1p}) & t_s \geq t_{s,max} \text{ e } V_{CSO} > V_{1p} \\ EMC_2 V_{CSO} & t_s < t_{s,max} \end{cases} \quad (2)$$

Dove:

- $M_{CSO,1p}$ carico inquinante veicolato dalle acque di sfioro di 1^a pioggia
- $M_{CSO,2p}$ carico inquinante veicolato dalle acque di sfioro di 2^a pioggia
- EMC_1 concentrazione media evento per volumi di sfiori di 1^a pioggia
- EMC_2 concentrazione media evento per volumi di sfiori di 2^a pioggia
- V_{CSO} volume evento di sfioro simulato da trasformazione afflussi deflussi (tutte le acque sfiorate nelle 48 ore dall'inizio dello sfioro)
- V_{1p} volume di 1^a pioggia in accordo col Regolamento della Regione Lombardia sulla disciplina degli scarichi di acque reflue domestiche e di acque reflue urbane (50 m³/ha impermeabile di bacino drenato)
- t_s tempo secco di non sfioro rispetto all'evento di sfioro precedente
- $t_{s,max}$ tempo secco massimo prima di riassumere un effetto di 1^a pioggia sulle acque di sfioro (24-48 ore dalla fine dell'evento di sfioro precedente)

7.2.2 Definizione delle EMC per i pollutogrammi di progetto

Per la definizione dei valori \overline{EMC} , EMC_1 e EMC_2 dei pollutogrammi di progetto di esempio si è fatto affidamento all'analisi statistica riportata da Suarez & Puertas (2005), i quali hanno raccolto dati di qualità da 46 eventi CSO su 5 sfioratori diversi dislocati in 5 città diverse della Spagna (Barcellona, Madrid, Siviglia, Vitoria e Valencia). Benché non raccolti da casi studio italiani, tali dati sono stati utilizzati sia perché rappresentano uno dei dataset più significativi disponibili in letteratura sul tema, sia perché i cinque sfioratori analizzati rappresentano una ampia varietà di bacini drenati (da 89 a 3800 ha), densità abitativa (da 60 a 380 abitanti/ha) e condizioni climatiche (mediterranee, continentali, semi-aride ed oceaniche).

Come parametro inquinanti di progetto si suggerisce di scegliere tra TSS o COD. Si noti che il parametro inquinante del COD è di interesse per il trattamento degli sfiori da fognatura mista ed in grado di tenere conto sia del carico di solidi veicolato dal dilavamento della fognatura e all'effetto di dilavamento di prima pioggia delle superfici stradali, che del carico inquinante disciolto dovuto alle acque nere diluite. I parametri d'interesse per i pollutogrammi di progetto sono stati definiti sulla base delle distribuzioni di probabilità log-normale prodotte da Suarez & Puertas (2005) per gli EMC dei parametri inquinant TSS e COD, riportate in Figura 23. Si è provveduto a riportare degli intervalli di variabilità per \overline{EMC} , EMC_1 e EMC_2 ; resta comunque al progettista la scelta di selezionare il valore di progetto più adatto a seconda delle condizioni locali del bacino drenato in termini di pendenza e densità abitativa. Gli intervalli scelti, e le indicazioni per i progettisti sono riassunte in Tabella 23:

- la fascia alta di percentili (60-95%) è stata scelta per la definizione dell'intervallo suggerito per EMC_1 , ipotizzando che gli eventi a EMC maggiore registrati da Suarez & Puertas (2005) siano rappresentativi di sfiori con una componente maggioritaria di carico inquinante dovuto all'effetto di prima pioggia sul dilavamento stradale e sul dilavamento della fognatura;
- la fascia bassa di percentili (5%-30%) è stata scelta per la definizione dell'intervallo suggerito per EMC_2 , ipotizzando che gli eventi a EMC minori registrati da Suarez & Puertas (2005) siano rappresentativi di sfiori il cui carico

inquinante sia dovuto principalmente alle acque nere civili diluite e a picchi di effetti di prima pioggia ritardati e dovuti a diversi tempi di corrivazione;

- la fascia intermedia di percentili (>30% e <60%) è stata utilizzata per \overline{EMC} , ipotizzando questo intervallo di concentrazioni caratteristiche di eventi con comportamento a metà tra i due casi esposti precedentemente, e quindi adatto al pollutogramma di progetto 1; si noti che l'intervallo per \overline{EMC} viene dato solo la stima dei carichi inquinanti intercettati, ma non è un parametro necessario per la definizione di Q^* .
- Riguardo l'effetto della pendenza del bacino, si attendono valori medi di \overline{EMC} e EMC_1 maggiori a pendenza minore, data la minore capacità di pulizia della fognatura per eventi di pioggia deboli; si assume, invece, che la pendenza del bacino non influisca sui valori di EMC_2 , dato che essa assume l'effetto di dilavamento della fognatura esaurito per la seconda parte del pollutogramma di progetto 2.
- Riguardo la densità abitativa, si attendono valori di \overline{EMC} e EMC_2 maggiori per densità abitativa alta, data una minore superficie drenata in grado di diluire con le acque di pioggia il contributo continuo delle acque reflue; si assume, invece, che la densità abitativa non influisca significativamente su EMC_1 , dato che il contributo delle acque reflue civili è assunto minoritario rispetto agli effetti di dilavamento stradale e della fognatura che si hanno nelle acque di prima pioggia.

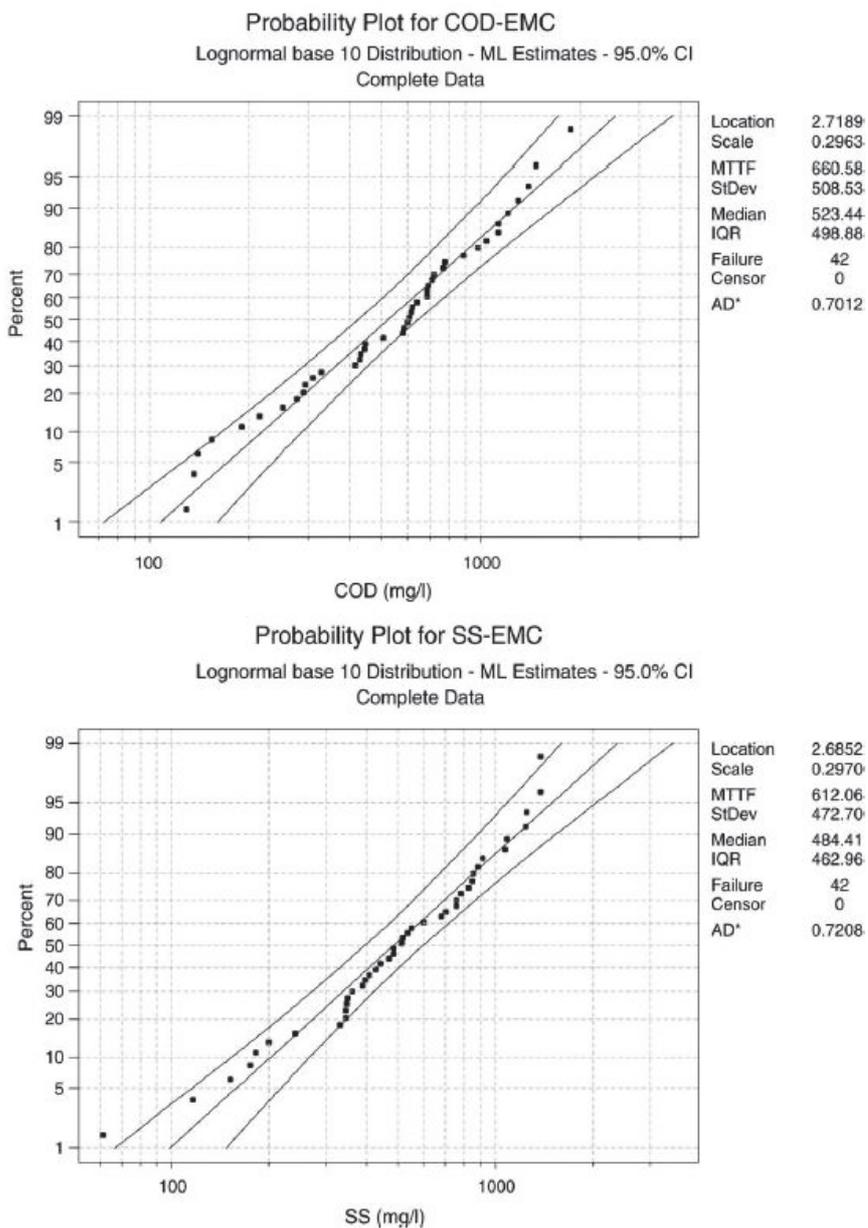


Figura 23. Distribuzioni di probabilità degli EMC per COD e TSS dai dati di cinque sfiori da fognatura mista in Spagna (Barcellona, Madrid, Siviglia, Vitoria e Valencia). Fonte: Suarez & Puertas (2005)

	Pollutogramma di progetto 1	Pollutogramma di progetto 2	
	\overline{EMC}	EMC_1	EMC_2
Intervallo EMC	TSS: 400-600 mg/l COD: 400-500 mg/l (30%<Perc.<60%)	TSS: 700-1000 mg/l COD: 600-1000 mg/l (60-95% Perc.)	TSS: 100-350 mg/l COD: 100-300 mg/l (5-30% Perc.)
Effetto pendenza del bacino	< pendenza > \overline{EMC}	< pendenza > EMC_1	Indipendente
Effetto densità abitativa	> densità abitativa > \overline{EMC}	Indipendente	> densità abitativa > EMC_2

Tabella 23. Indicazioni per costruzione pollutogramma di progetto 2

Allegato B

Indirizzi per l'elaborazione del programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori di cui all'articolo 14, comma 2 del regolamento regionale n. 6 del 2 aprile 2019

Indice

- 1. Premessa, riferimenti normativi e indicazioni di carattere generale**
- 2. Contenuti del Programma**
- 3. Criteri generali per la definizione della programmazione quadriennale**
- 4. Criteri di attribuzione priorità**
- 5. Criteri per la valutazione degli effetti ambientali degli interventi**

1. Premessa, riferimenti normativi e indicazioni di carattere generale

Il r.r. 6/2019 ha apportato una revisione complessiva alla normativa regionale in materia di scarichi di acque reflue urbane. Oggetto di revisione sono state, tra le altre, le disposizioni relative a reti fognarie, sfioratori di piena e sistemi di gestione delle acque di sfioro delle reti unitarie e delle acque di prima pioggia delle reti separate. A questi elementi sono rivolti gli articoli da 10 a 14 del regolamento nonché l'Allegato E. L'art. 10 tratta inoltre il tema delle acque parassite, definite come "acque provenienti da infiltrazioni puntuali o diffuse non previste all'interno del sistema fognario, dovute a carenze strutturali o anche a interconnessione con il reticolo idrografico superficiale e con le acque sotterranee" (art. 2, c.1, lett. c).

L'art. 14 della norma individua nel Programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori (di seguito "Programma") lo strumento di programmazione degli interventi finalizzati a dare attuazione alle disposizioni sopra richiamate. Tale Programma ha valenza di specificazione tecnica del Piano d'ambito, deve essere redatto a cura dell'Ufficio d'ambito entro 2 anni dall'entrata in vigore del regolamento regionale e, entro i successivi 6 mesi, deve essere recepito da parte dell'Ente di governo dell'ambito mediante aggiornamento del Piano d'ambito e dei correlati piani quadriennali degli interventi. Il r.r. 6/19 prevede altresì che l'Ufficio d'ambito trasmetta il Programma a Regione, prima dell'adozione, per consentirne la verifica di coerenza con il PTUA, col regolamento medesimo e con il presente documento di indirizzi.

L'art. 14 prevede altresì che Regione adotti gli indirizzi per l'elaborazione del Programma, per la valutazione delle priorità di intervento e per la valutazione degli effetti ambientali, tenendo conto delle indicazioni di priorità previste all'articolo 19, comma 1 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano di Tutela e Uso delle Acque (PTUA): il presente documento contiene tali indirizzi. Essi sono definiti tenendo conto, oltre di quanto previsto dal r.r. 6/2019, di tutte le pertinenti disposizioni e contenuti tecnici delle NTA del PTUA, in particolare dell'art. 51 delle medesime NTA, del r.r. 7/2017 "Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 12/2005" nonché della pianificazione di bacino. L'elaborazione del Programma, essendo un'attività del tutto analoga all'usuale programmazione degli interventi del Piano d'ambito, vedrà la partecipazione del gestore del servizio idrico e dell'Ufficio d'ambito, nei rispettivi ruoli di esecutore di rilievi, monitoraggi ed elaborazioni modellistiche nonché di proponente delle opere e dei tempi di realizzazione, per quanto riguarda il gestore, e di soggetto responsabile dell'elaborazione della proposta di programmazione, per quanto riguarda l'Ufficio d'ambito. Il Programma sarà altresì un riferimento da considerare, da parte della Provincia, per il rilascio e rinnovo delle autorizzazioni allo scarico di acque reflue urbane ed è da considerarsi riferimento per la conformità agli standard di qualità tecnica rispetto all'adeguatezza del sistema fognario alla normativa ambientale sugli scarichi.

Il Programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori riguarda le infrastrutture di fognatura e i sistemi di contenimento degli inquinanti veicolati dalle acque di sfioro delle reti unitarie e dalle acque di prima pioggia delle reti separate presenti nell'intero territorio di ciascun ambito territoriale ottimale (ATO). In particolare, sono oggetto del Programma gli interventi di:

- riduzione delle acque parassite presenti nelle reti fognarie mediante la realizzazione di interventi atti a evitare l'immissione in rete fognaria di acque provenienti dal reticolo idrico superficiale o a disconnettere tali acque dalla rete nonché mediante la realizzazione di interventi volti a limitare o eliminare le infiltrazioni di acque di falda;
- adeguamento delle soglie di sfioro degli sfioratori di piena delle reti unitarie;
- realizzazione di vasche di accumulo o di sistemi di trattamento delle acque provenienti da sfioratori di reti fognarie;
- realizzazione di vasche di accumulo in testa impianto delle acque provenienti da sfioratori di reti fognarie;
- adeguamento delle reti unitarie a quanto previsto dalla Sezione 1.1 dell'Allegato E del r.r. 6/2019;
- adeguamento di reti separate a quanto previsto dalla sezione 1.2 dell'Allegato E del r.r. 6/2019;
- realizzazione di volumi di laminazione degli scarichi di reti fognarie;
- eliminazione di eventuali perdite di rete.

L'entità degli interventi che è prevedibile dovranno essere realizzati a scala di ATO per adeguare reti e sfioratori di piena, realizzare sistemi di contenimento degli inquinanti e ridurre le acque parassite richiederà un lungo periodo per pervenire a una completa programmazione di dettaglio e completarne l'attuazione: il Programma di riassetto delle fognature e degli sfioratori costituirà un masterplan dedicato agli interventi sopraindicati, oggetto di periodico aggiornamento con periodicità analoga a quella di aggiornamento dei programmi quadriennali del Piano d'ambito, in funzione del completamento delle conoscenze sullo stato e sul funzionamento di reti e manufatti di sfioro, dell'avanzamento della programmazione operativa per la realizzazione degli interventi e della loro attuazione nonché in funzione delle disponibilità di copertura finanziaria derivante dalla determinazione tariffaria del servizio.

Considerato che il funzionamento delle reti fognarie è spesso strettamente interrelato alle caratteristiche di elementi del territorio quali il reticolo superficiale, il reticolo artificiale di bonifica e irrigazione e le reti per la raccolta delle acque "bianche" e che il grado di urbanizzazione e impermeabilizzazione del territorio servito è un elemento decisivo nel determinare necessità e criticità di funzionamento delle reti stesse, lo sviluppo del Programma richiede l'adozione di un approccio che integri, nella valutazione delle necessità di adeguamento delle reti a quanto previsto dal r.r. 6/2019, un'adeguata considerazione di tali elementi. E' inoltre indispensabile che l'individuazione dei fabbisogni di intervento e delle priorità tengano conto dei contenuti degli Studi comunali di gestione del rischio idraulico e dei Documenti semplificati del rischio idraulico comunale previsti dal r.r. 7/2017.

Considerate le ricadute sui procedimenti autorizzatori connessi, nella fase di elaborazione del Programma dovranno altresì essere consultate la provincia (o città metropolitana di Milano) e l'autorità idraulica territorialmente competente rispetto alle scelte di intervento.

Nei paragrafi successivi sono riportate indicazioni di maggior dettaglio sui contenuti del Programma, sulle modalità di elaborazione e sugli altri elementi oggetto degli indirizzi

regionali ai sensi dell'art. 14, comma 2 del r.r. 6/2019. Eventuali ulteriori indicazioni relative alla trasmissione a Regione Lombardia delle informazioni contenute nei Programmi potranno essere definite con successivo provvedimento dirigenziale.

2. Contenuti del Programma

Il Programma dovrà contenere gli elementi riportati di seguito.

2.1 Quadro conoscitivo

Costituito da:

- rilievo dei tracciati e del posizionamento di reti e manufatti (sfioratori, stazioni di sollevamento, vasche di accumulo, vasche di laminazione e altri eventuali presidi) e loro caratteristiche dimensionali e strutturali (art. 42 della l.r. 7/2012, d.m. 11/5/2016);
- perimetrazione dei bacini drenanti sottesi agli sfioratori (compreso l'eventuale sfioratore posto in testa impianto di depurazione) e delle relative portate nere e meteoriche transistanti in loro corrispondenza;
- esiti modellazioni idrauliche del funzionamento della rete in tempo di pioggia (evidenziando le risultanze degli scenari con tempo di ritorno di 2, 5 e 10 anni);
- esiti delle campagne di monitoraggio delle portate transistanti in rete e sfiorate;
- esiti delle campagne di video ispezione e rilievo degli aspetti strutturali delle reti;
- relativamente agli sfioratori già dotati di autorizzazione idraulica, le portate massime autorizzate per lo scarico e altre eventuali prescrizioni;
- valutazione della presenza e origine di acque parassite in rete.

Per gli elementi del quadro conoscitivo che presentano delle lacune dovrà essere esplicitato il grado di completamento rispetto all'entità complessiva delle infrastrutture fognarie presenti nell'ATO e dovranno essere indicati modalità e tempi per la loro realizzazione, esplicitando le azioni già programmate o in corso e quelle ancora da programmare o avviare.

2.2 Stima di massima degli interventi necessari nell'ATO

Il Programma conterrà una stima di massima dell'entità, del costo e dei tempi di attuazione sull'intero territorio dell'ATO, basata su valutazioni parametriche o, ove disponibili, su valutazioni e programmazioni più specifiche, effettuate a partire dai dati caratterizzanti gli agglomerati e le reti (ad esempio estensione e vetustà reti, numero e dimensione degli sfioratori, presenza di sistemi di accumulo o trattamento delle acque di sfioro o prima pioggia, ecc.)

2.3 Valutazione delle priorità

Descrizione dei criteri applicati nella valutazione delle priorità, in coerenza con i criteri riportati al paragrafo 4, come declinati in relazione alle specificità territoriali dell'ATO, alle criticità desumibili dal quadro conoscitivo e tenendo conto dei "Criteri generali per la definizione della programmazione quadriennale" indicati al successivo paragrafo 3. L'esito dell'attribuzione delle priorità dovrà essere esplicitato in termini di agglomerati, reti e sfioratori nei confronti dei quali sono individuati i fabbisogni di intervento, specificando le situazioni e/o gli interventi che saranno ricompresi nella programmazione quadriennale.

2.4 Descrizione degli interventi programmati

Indicazione e descrizione sintetica degli interventi che saranno inseriti nella programmazione quadriennale. Nel caso in cui si intenda ricorrere alle possibilità previste dai commi 3 e 4 dell'art. 14 del r.r. 6/2019, dovranno essere esplicitate le necessità o le opportunità tecniche e/o ambientali che portano a propendere per scelte alternative ai criteri tecnici generali di riferimento previsti dal r.r. 6/2019, descritte le motivazioni di tali scelte e indicate le differenze, ove ve ne siano, rispetto al beneficio ambientale ottenibile.

Gli interventi sui manufatti più importanti quali vasche volano, vasche di prima pioggia, sfioratori principali, collettori intercomunali ed altri elementi ritenuti particolarmente critici o sensibili in relazione al rischio di allagamento delle aree servite dalla rete, dovranno essere dimensionati sulla base di tempi di ritorno degli eventi meteorici pari a 5 o 10 anni. Per gli altri interventi, invece, sarà cura del gestore scegliere i parametri di dimensionamento più opportuni in relazione alle necessità locali.

Per ogni intervento dovrà essere indicato il costo previsto e la tempistica attesa di realizzazione.

2.5 Valutazione degli effetti ambientali degli interventi programmati

Per ogni intervento inserito nel programma quadriennale dovrà essere valutato e indicato il beneficio ambientale conseguente alla realizzazione, in termini di riduzione degli inquinanti immessi in ambiente dagli scarichi provenienti dalla rete fognaria in tempo di pioggia o di miglioramento delle prestazioni della depurazione. Per la valutazione della riduzione dei carichi inquinanti potranno essere utilizzati gli esiti delle campagne di monitoraggio condotte oppure i criteri parametrici e le modalità riportate al paragrafo 5 "Criteri per la valutazione degli effetti ambientali degli interventi".

3. Criteri generali per la definizione della programmazione quadriennale

La scelta degli interventi oggetto della programmazione quadriennale dovrà essere basata sull'esito dell'attribuzione delle priorità, sulla possibilità effettiva di investimento nel periodo di riferimento, sulla valutazione della fattibilità tecnica nei tempi di riferimento

(il medesimo periodo di riferimento del programma quadriennale di investimento del piano d'ambito) e sulla valutazione della possibilità di ottenere positive sinergie di effetto dalla combinazione di più interventi (compresi gli interventi relativi all'adeguamento o ammodernamento di impianti di depurazione).

La valutazione dei fabbisogni prioritari, per la quale nel successivo paragrafo 4 sono evidenziati alcuni specifici elementi da considerare, dovrà tener conto degli aspetti di integrazione con gli elementi del territorio che interagiscono con il funzionamento delle reti nonché dei contenuti degli Studi comunali di gestione del rischio idraulico e dei Documenti semplificati del rischio idraulico comunale previsti dal r.r. 7/2017 e delle altre necessità relative al mantenimento in buono stato delle reti, sia dal punto di vista funzionale che strutturale, individuate dal Piano d'ambito.

Gli interventi oggetto del Programma, in funzione della loro tipologia e dell'entità dell'opera da realizzare, possono avere tempi, costi e difficoltà di realizzazione anche molto differenziati. Se da un lato programmare nel breve periodo – attribuendogli quindi elevata priorità - interventi la cui realizzazione può essere conclusa in tempi brevi garantisce di fruire velocemente di un beneficio ambientale dall'altro lato questo non deve comportare lo slittamento nel tempo della programmazione e attuazione di interventi prioritari che richiedono tempi più lunghi per la loro definizione e realizzazione.

Considerando un singolo agglomerato o un singolo tronco di rete appartenente a un agglomerato, prima di procedere alla realizzazione di sistemi di accumulo o trattamento dovranno essere programmati e realizzati l'adeguamento delle soglie di entrata in funzione degli sfioratori nonché l'eventuale adeguamento della capacità idraulica delle reti. Considerando tuttavia il contesto territoriale più ampio, non è da escludere che siano presenti reti o agglomerati dove sia possibile e anzi auspicabile procedere già in fase di prima attuazione del Programma alla realizzazione di sistemi di accumulo o trattamento, qualora lo stato conoscitivo di reti e sfioratori sia già noto o comunque la loro funzionalità sia già stata valutata e non abbisogni di interventi di adeguamento oppure quando tali interventi di adeguamento siano realizzabili in tempi sufficientemente brevi da consentire la contestuale programmazione della realizzazione di sistemi di accumulo o trattamento.

In fase di redazione del Programma, oltre agli aspetti richiamati nel primo capoverso del presente paragrafo, dovranno essere considerate le evenienze sopra richiamate al fine di salvaguardare l'esigenza di:

- procedere secondo criteri razionali, da un punto di vista tecnico, nella programmazione e realizzazione degli interventi;
- programmare da subito gli interventi che richiedono tempi brevi di realizzazione;
- avviare le attività propedeutiche alla programmazione e attuazione di interventi di natura più complessa, quali la realizzazione di volumi di accumulo, laminazione, sistemi di trattamento o il rifacimento di collettori. Per interventi di questa natura, in funzione della rilevanza e del costo delle opere necessarie, è opportuno che preliminarmente alla programmazione siano valutate – ove ve ne siano - le diverse soluzioni praticabili, condividendo le scelte con le amministrazioni comunali interessate.

Si rimarca che le modalità di sviluppo del Programma, essendo un'attività necessariamente complessa che deve contemperare il perseguimento della conformità

alla normativa regionale, l'esistenza di vincoli finanziari e di fattibilità tecnica, il soddisfacimento di esigenze a volte molto differenziate a livello territoriale e un adeguata considerazione degli aspetti di integrazione con gli altri elementi rilevanti e le criticità presenti sul territorio, non possono essere ridotti a un modello semplificato da seguire. Proprio per questo è richiesta un'adeguata composizione, da parte del gestore e dell'Ufficio d'ambito, dei vari aspetti implicati, effettuata esplicitando il percorso decisionale seguito e la motivazione delle scelte. In tal senso, oggetto di valutazione e scelta è, tra l'altro, la scala territoriale della programmazione quadriennale che potrà prevedere un adeguamento per passi successivi a quanto previsto dal r.r. 6/2019, contemperando la realizzazione di primi interventi su diversi agglomerati ricadenti in ciascun ambito e il completamento degli interventi necessari al raggiungimento della piena conformità di ogni singolo agglomerato nei successivi quadrienni.

4. Criteri di attribuzione priorità

Nel seguito sono indicati alcuni elementi particolarmente rilevanti rispetto agli obiettivi della programmazione regionale che devono essere considerati dall'Ufficio d'ambito e dal gestore nell'attribuzione di priorità agli interventi previsti dal Programma. I criteri indicati tengono conto di quanto previsto dall'art. 19, comma 1 delle NTA del PTUA.

4.1 Situazioni di malfunzionamento degli sfioratori

La priorità maggiore nella programmazione e progettazione di interventi di adeguamento dovrà essere attribuita agli sfioratori con soglia di attivazione non conforme, ove necessario programmando contestualmente i necessari interventi di adeguamento della capacità idraulica delle reti e tenendo opportunamente conto delle correlate tempistiche di adeguamento della capacità idraulica di trattamento degli impianti di depurazione.

A seguire sarà necessario intervenire su quegli sfioratori che risultano rigurgitati dal recettore già per tempi di ritorno di 10 anni o inferiori. Il loro adeguamento dovrà essere realizzato senza andare ad aggravare le condizioni di rischio del corso d'acqua recettore.

Dovrà essere inoltre attribuita elevata priorità alle situazioni di elevato sovraccarico idraulico dei depuratori - anche qualora non si verifichi, in tempo asciutto, l'attivazione degli sfioratori di testa impianto - causato da rilevante presenza di acque parassite in rete.

4.2 Priorità rispetto a vulnerabilità del recettore, stato ecologico e pressioni presenti

La priorità in funzione del recettore in cui recapitano gli scarichi di un agglomerato o di una rete fognaria deve essere attribuita secondo il seguente ordine decrescente:

- I. corpi idrici lacustri in stato ecologico inferiore al buono;

- II. corpi idrici fluviali indicati in Tabella 19, Capitolo 5 della Relazione Generale del PTUA (per questi corpi idrici, sulla base dei dati di monitoraggio ARPA e degli esiti dell'analisi delle pressioni è stata rilevata la necessità di contenere i carichi inquinanti veicolati da scarichi di acque reflue urbane);
- III. altri corpi idrici PTUA in stato ecologico inferiore al buono o corpi idrici non individuati nel PTUA che recapitano in corpi idrici PTUA in stato ecologico inferiore al buono;
- IV. corpi idrici in buono stato ecologico o che recapitano in corpi idrici PTUA in buono stato ecologico.

Al fine di applicare questo criterio, dovranno essere individuati i corpi idrici superficiali tipizzati nel PTUA nei quali sono immessi – direttamente o indirettamente – gli scarichi provenienti da ciascun agglomerato o, nel caso di agglomerati i cui scarichi recapitano in più corpi idrici, le reti fognarie e i relativi bacini scolanti da cui provengono gli scarichi. Lo stato ecologico da considerare per le valutazioni di cui al presente punto sarà quello più aggiornato, reso disponibile da ARPA Lombardia: per la prima scadenza di redazione del Programma potrà essere utilizzata la classificazione di stato ecologico relativa al sessennio 2014-2019, che sarà resa disponibile a partire dall'estate 2020; per valutazioni preliminari potrà essere utilizzata la classificazione relativa al triennio 2014-2016 o, per corpi idrici per cui non dovesse essere disponibile, quella contenuta nel PTUA 2016.

Eventuali situazioni relative ad altri corpi idrici in condizioni di elevato degrado potranno altresì essere considerate nell'attribuzione della priorità basata sullo stato dei recettori.

4.3 Priorità rispetto alla criticità idraulica

Sono di seguito indicati i criteri di valutazione da considerare in relazione all'eventuale criticità idraulica.

Innanzitutto dovranno essere considerati gli sfioratori che scaricano in corsi d'acqua per i quali nel tratto compreso tra lo scarico e la sezione nella quale si esaurisce l'effetto apprezzabile dello scarico siano presenti aree a rischio idraulico R4¹ o R3 come desunto dal PGRA oppure altre aree allagabili che interessano l'edificato (individuate dagli strumenti di pianificazione comunali vigenti).

Tra questi andrà data precedenza agli sfioratori per i quali, nel tratto compreso tra lo scarico e la sezione nella quale si esaurisce l'effetto apprezzabile dello scarico, l'allagamento sia più frequente.

A parità delle precedenti due condizioni andrà data priorità agli sfioratori con maggior rapporto tra la portata scaricata e la portata del recettore. Per la valutazione della portata di piena di riferimento per il recettore sarà considerato, per i corsi d'acqua per i quali il

¹ Il rischio idraulico R4 è riferito agli ambiti territoriali RP, RSCM E ACL (reticolo principale, reticolo secondario collinare montano, aree costiere lacuali). Il rischio idraulico R3 è riferito all'ambito territoriale RSP (reticolo secondario di pianura) Per corsi d'acqua facenti parte dell'ambito territoriale RP – Reticolo Principale del PGRA - si fa riferimento all'elenco contenuto nell'Allegato 3 alla d.g.r. 6738/2017; tutti i restanti corsi d'acqua sono considerati parte del reticolo secondario e suddivisi in corsi d'acqua di pianura o collinari e montani

PGRA definisce un tempo di ritorno di riferimento, il tempo di ritorno associato alla piena frequente e per i restanti corsi d'acqua, l'evento con tempo di ritorno $T=10$ anni.

Qualora non sia possibile effettuare tali valutazioni, a causa dell'indisponibilità di studi idraulici dei recettori o di informazioni affidabili relativi alle portate di piena, potranno essere utilizzate valutazioni basate sulle conoscenze disponibili a livello locale.

Gli studi idraulici di riferimento funzionali a sviluppare le suddette valutazioni sono riportati nell'Allegato 1 ai "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT" di cui alla dgr 2616/2011 e smi²

4.4 Priorità nella programmazione delle attività di completamento del quadro conoscitivo

Per quanto applicabili, la programmazione delle attività di completamento di rilievi, modellazioni, monitoraggio delle reti e valutazione delle acque parassite, dovrà seguire gli stessi criteri di priorità territoriali sopraindicati.

5. Criteri per la valutazione degli effetti ambientali degli interventi

L'articolazione quadriennale del Programma dovrà essere associata a una valutazione del beneficio ambientale degli interventi, in termini di riduzione dei carichi inquinati annualmente immessi in ambiente. Questa valutazione consentirà sia di valutare l'effetto ambientale degli investimenti sia di comparare l'effetto delle soluzioni alternative scelte in applicazione dei commi 3 e 4 dell'art. 14 del r.r. 6/2019.

Al fine di compiere tale valutazione potranno essere utilizzati gli esiti di monitoraggi realizzati ad hoc oppure applicati ai volumi di acque scaricate in ambiente da sfioratori di fognature unitarie un valore di concentrazione di riferimento, sia per il COD che per i solidi sospesi totali, pari a 450 mg/L (tale valore si colloca in posizione intermedia tra numerosi valori desunti dalla specifica letteratura, vedasi a tale proposito il paragrafo 2.1 delle "Linee guida per la progettazione e realizzazione di sistemi di trattamento delle acque reflue provenienti da scarichi di sfioratori di reti fognarie")

² L'aggiornamento attualmente in vigore è stato approvato con d.g.r. XI/2120 del 9/9/2019.