

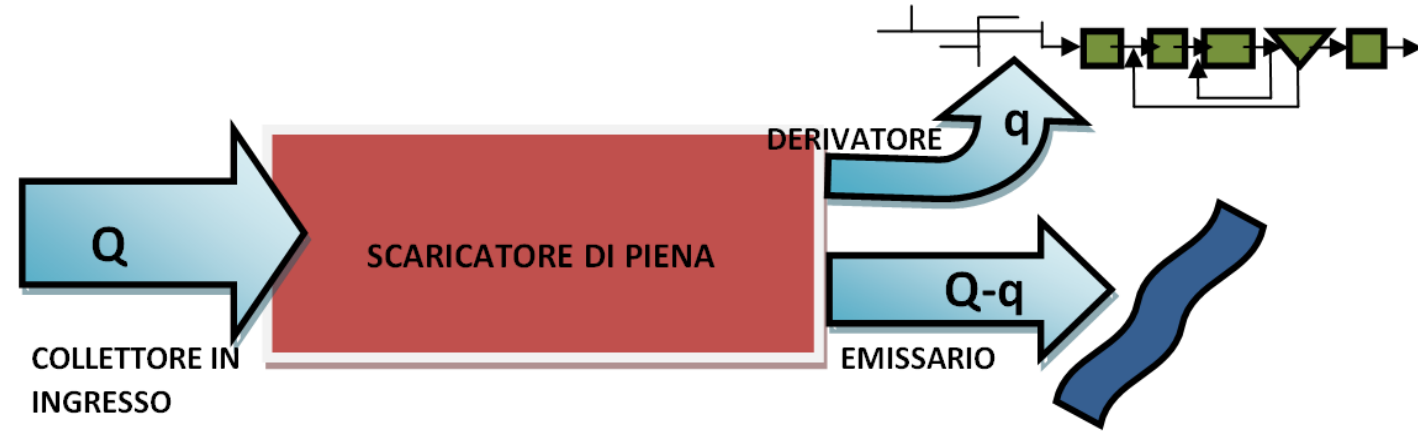
Corsista
Ing. Elena Moreale

Relatore
Prof. Ing. Matteo Nicolini

INQUADRAMENTO GENERALE

Il problema quali-quantitativo delle acque di sfioro degli scaricatori di reti fognarie e del loro impatto sull'ambiente rappresenta un tema che, pur nota da tempo, continua ad essere attuale e molto sentito sia sul territorio nazionale, che a livello europeo.
Nel presente lavoro si è effettuata un'analisi della vasta letteratura presente sull'argomento, cercando di focalizzarne i punti salienti.

Gli scaricatori o sfioratori di piena sono dei dispositivi che vengono generalmente inseriti nelle reti fognarie al fine di immettere durante gli eventi meteorici che superino un assegnato limite le portate diluite in esubero nel corpo idrico ricettore o, al limite, sul suolo.
Tali dispositivi possono essere presenti sia nelle reti separate che nelle reti miste, sulle quali ci si è maggiormente focalizzati.
Il seguente schema rappresenta la partizione delle portate effettuata da uno scaricatore di piena:



PRINCIPI TRADIZIONALI DI DIMENSIONAMENTO

Per le reti unitarie il progetto dello scaricatore è effettuato in funzione di una portata critica di arrivo e di una portata limite. Qt (portata di inizio scarico), oltre la quale deve iniziare lo sfioro delle acque in esubero; tradizionalmente Qt è calcolata assegnando un opportuno valore al coefficiente di diluizione r definito dal rapporto:

$$r = \frac{Q_t}{Q_{nm}}$$

dove Qnm è la portata nera media di tempo asciutto che caratterizza il bacino urbano sotteso dallo scaricatore.

Generalmente quando gli scarichi sono prevalentemente civili vengono impiegati valori di r compresi nel range di 3-3.5 per le grandi città e di 4-5 per i centri abitati di minore dimensione.

PROBLEMATICHE INSITE NEL DIMENSIONAMENTO TRADIZIONALE

I convenzionali criteri progettuali dei sistemi fognari si fondano sull'ipotesi che le acque meteoriche di dilavamento abbiano un livello di contaminazione trascurabile, ma di fatto questa assunzione il più delle volte non è corretta.

Vari studi hanno dimostrato l'inadeguatezza del controllo ambientale conseguibile con l'approccio tradizionale: si è constatato che le portate meteoriche convogliate al trattamento attraverso scaricatori di piena dimensionati secondo i criteri anzidetti sono spesso troppo piccole per garantire un'efficace riduzione dei carichi inquinanti scaricati nei ricettori, a meno di non ricorrere a valori della portata di inizio sfioro decisamente elevati e difficilmente sostenibili sia per quanto riguarda il dimensionamento delle reti fognarie, che la gestione degli impianti di depurazione.

ACQUE "PARASSITE"

Il problema delle acque "parassite", che in generale ha ripercussioni importanti a livello gestionale ed economico (si pensi al sollevamento delle acque e ai possibili problemi di funzionalità degli impianti di depurazione), nel caso degli sfioratori di piena:
- può essere una delle cause degli eventi di sfioro della rete fognaria in tempo asciutto (ingressi in rete -impropri- non preventivati che fanno oltrepassare più facilmente la soglia di sfioro);
- può portare ad errori nella fase di dimensionamento degli sfioratori (stima falsata della portata nera media di tempo asciutto ...)

MATERIALE SOLIDO E GALLEGGIANTE E RISCHI DI OSTRUZIONE

Una frequente causa di malfunzionamenti degli scaricatori delle reti fognarie può essere l'ostruzione ad opera di materiale che si deposita in fase di piena e non, che al limite può anche dare origine a uno sfioro in tempo secco.
Intasamenti possono verificarsi anche nei dispositivi di grigliatura o similari adottati negli scaricatori per evitare che il materiale solido e galleggiante di più grandi dimensioni venga immerso nel corpo idrico ricettore assieme alla portata di sfioro.

SCARICATORI CHE INCIDONO SULLA QUALITA' DI ACQUA DA SMALTIRE

Esistono degli scaricatori di piena delle reti miste di drenaggio urbano che grazie al loro assetto progettuale possono incidere, in maniera più o meno pronunciata, sulla limitazione degli inquinanti sversati nell'emissario:
 scaricatori a soglia alta e luce di fondo
 scaricatori a vortice
 scaricatori a bacino di calma.

VASCHE DI PRIMA PIOGGIA

Agli scaricatori di piena possono essere accoppiati appositi sistemi di invaso, nei quali possano essere trattate le prime acque di pioggia, solitamente associate ad una frazione importante della massa di inquinanti: le vasche di prima pioggia hanno quindi il ruolo di accumulare, fino al loro completo riempimento, i deflussi con portata eccedente il valore di inizio sfioro, per poi inviarli alla depurazione con portate compatibili con la funzionalità dell'impianto.
Vengono generalmente distinte in base al diverso schema di inserimento all'interno della rete fognaria (vasche in linea o fuori linea) e per le differenti modalità di alimentazione (vasche di "transito" o di "cattura").
Dalle simulazioni effettuate in alcuni studi di letteratura (tra cui Papiri et al. 2008) emerge che il valore ottimale del volume specifico da assegnare alle vasche nel caso di bacini medio-piccoli (>100 ha) è compreso tra 25 e 50 mc/ha impermeabile.
La modellazione numerica in questo contesto può risultare molto utile anche per studiare i diversi effetti in termini quali-quantitativi della collocazione di vasche di prima pioggia in determinati punti di un sistema fognario rispetto ad altri o valutare l'alternativa migliore tra soluzioni di vasche più piccole e distribuite e soluzioni più concentrate in invasi di maggiore entità.

MONITORAGGIO

In questo contesto rivestono un ruolo fondamentale la pulizia, il controllo, l'ispezione periodica degli scaricatori di piena, che non a caso sono alla base dell'indicatore M4c di ARERA.
La tecnologia oggi viene in aiuto con la possibilità di inserimento di organi mobili telecomandati e di sistemi automatici di controllo in tempo reale che segnalino l'attivazione degli scaricatori.

QUALITA' DELLE ACQUE DI SFIORO

Al problema qualitativo delle acque scaricate dagli sfioratori di piena dei sistemi fognari non concorrono solo le portate nere prodotte dalle attività domestiche o industriali, ma anche le acque meteoriche di dilavamento.

CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE UBANE
La quantità ed il tipo di inquinanti presenti nei deflussi meteorici urbani dipendono da complesse interazioni tra la tipologia della copertura superficiale, la configurazione dei sistemi di fognatura, la presenza di sostanze inquinanti accumulate sul suolo e nella stessa rete fognaria nel periodo precedente la precipitazione, l'intervallo di tempo passato da un evento pluviometrico al successivo ecc.

La prima interazione tra l'acqua e gli inquinanti avviene **in atmosfera** → composti disciolti come metalli, cloruri, sodio
...per poi proseguire **a terra** con il dilavamento delle superfici e il trascinamento di una parte del materiale accumulatosi durante il tempo asciutto.

Agenti inquinanti	Principali fonti di emissione
Particolato	Consumo della pavimentazione, deposizione atmosferica, manutenzione stradale
Azoto e fosforo	Deposizione atmosferica, fertilizzanti utilizzati sul bordo della strada
Piombo	Gas di scarico, consumo freni, oli lubrificanti, grassi, consumo pneumatici
Zinco	Usura dei pneumatici, olio motore, grassi, corrosione dei guard-rail
Ferro	Usura delle parti meccaniche dei veicoli, corrosione delle carrozzerie, strutture in ferro sulle strade (pannelli, guard-rail, segnaletica)
Rame	Usura freni, carrozzeria veicoli, usura delle parti meccaniche, insetticidi e antirugginici
Cadmio	Usura pneumatici
Cromo	Carrozzeria veicoli, consumo freni e frizione
Nichel	Combustione a diesel, oli lubrificanti, carrozzeria, asfalto, consumo freni
Manganese	Usura parti meccaniche
Sodio, calcio, cloro	Prodotti antigelo
Zolfo	Benzina, prodotti antigelo
Petrolio	Perdite dai motori, asfalti e bitumi
Bromo	Gas di scarico dei motori
Guanina	Consumo pneumatici
Ammiatio	Consumo freni e frizione

Agenti inquinanti di infrastrutture viarie e loro fonti di emissione (Papiri e Todeschini, 2004)

spazzatura stradale con solidi di maggiore dimensione come vetri rotti, bottiglie, carte e residui plastici ecc

...e successivamente **in rete** → Il fenomeno del **risollevamento dal fondo** dei collettori fa sì che sedimenti incidono sulle concentrazioni di inquinanti durante l'evento meteorico di piena!

FIRST FLUSH

E' in generale riconosciuto che la concentrazione di inquinanti è molto forte all'inizio della precipitazione (il cosiddetto "first flush") e tende poi ad attenuarsi decisamente con il progredire della pioggia.
Si è osservato che il fenomeno del first flush si verifica in genere in bacini piccoli (<10 ha) di forma regolare e che in tali condizioni è valida la condizione "30/80" (cioè se nel primo 30% di volume è contenuto almeno l'80% della massa di inquinanti trasportata). Per i bacini più grandi ed irregolari le incertezze su questo fenomeno sono oggi ancora molte.

Nelle acque di sfioro della fognatura mista, si ritiene che l'effetto del first flush si combini con il costante apporto della portata nera e dunque che le concentrazioni di inquinanti possano mantenersi piuttosto alte per tutta la durata dello sfioro

STUDI DI LETTERATURA SULLA CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA

Per quanto riguarda la caratterizzazione qualitativa specificamente riferita alle acque di sfioro degli scaricatori fognari misti (CSO), di particolare interesse risulta lo studio di Gasperi et al. (2012) basato su una consistente campagna di misure condotta nella città di Parigi, in particolare presso lo scaricatore denominato "Clichy".

Tra i principali scopi dell'indagine vi è stato quello di quantificare l'eventuale presenza in termini di concentrazioni di 88 sostanze identificate come inquinanti prioritari (80 composti organici e 8 metalli) nelle acque di sfioro degli scaricatori di piena, mettendole in relazione con le concentrazioni delle stesse nelle acque reflue urbane e nei flussi meteorici di dilavamento.
Nel periodo 2009-2010 si sono verificati 52 eventi di sfioro; un'articolata raccolta dati è stata effettuata per quattro di tali eventi.

La seguente tabella riporta i risultati relativi ai classici parametri di monitoraggio delle acque reflue analizzati per i quattro eventi di sfioro in esame (C1-C4), con accanto le indicazioni provenienti dal database del monitoraggio effettuato nel periodo 2009-2010 per i CSO e per le acque reflue di tempo asciutto (WW) di Clichy e i dati relativi a studi di Runoff condotti a Parigi:

	C1	C2	C3	C4	CSO database ¹	WW database ²	Runoff ³
TS mg l ⁻¹	193	135	353	153	121-394	190 - 314	30-75
COD mg O ₂ l ⁻¹	254	136	446	260	157-491	322-520	43-113
BOD ₅ mg O ₂ l ⁻¹	78	36	180	95	54-200	130-230	8-25
TKN mg N l ⁻¹	17	7.2	27	18	15-37	31-49	<4
NH ₄ ⁺ mg N l ⁻¹	6.4	3.3	9.3	8.1	5.8-22.2	20-32	-
PO ₄ ⁻³ mg P l ⁻¹	0.8	0.5	1.4	1.1	0.8-2.2	2.0-3.0	-
Prot mg P l ⁻¹	2.7	1.2	5.4	3	2.3-5.4	4.1-6.4	-
					3.5	5.4	

(1) CSO database from SLAAP (n=52) for the 2009-2010 period; (2) Wastewater database from SLAAP on the Clichy site (n=490); (3) runoff data from Kopl et al. (2008). For CSO database, wastewater database, and runoff rows, first line refers to 4th and 6th concentrations; second line is median concentration (65th)

Parametri con concentrazioni CSO > concentrazioni WW → fonte: probabile di inquinamento: erosione e risolleamento depositi in rete
Parametri con concentrazioni CSO < concentrazioni WW → fonte: maggiore di inquinamento: acque nere

Per quanto riguarda alle sostanze inquinanti prioritarie, delle 88 riportate sulla lista nei quattro eventi monitorati ne sono state rinvenute 49 diverse, mentre 39 non sono mai state trovate.

Concentrazione nelle acque di sfioro degli eventi C1-C4 metalli:

Zn (12-20 µg/l)
Cr (658-1137 µg/l)
Pb (46-175 µg/l)
Cu (86-134 µg/l)
concentrazioni sfioro > concentrazioni WW → spiegazione: alta concentrazione nelle acque di Runoff (Zn e Pb: da degrado tetti parigini) ed erosione depositi in rete

idrocarburi policiclici aromatici (PAHs) → concentrazioni sfioro > concentrazioni WW e > concentrazioni Runoff → spiegazione probabile: erosione depositi in rete

composti organici volatili (VOCs) → concentrazioni sfioro < concentrazioni WW e piccole concentrazioni Runoff → fonte maggiore di inquinamento: acque nere

Rispetto agli standard qualitativi europei emerge un possibile rischio ambientale significativo in merito alla presenza di inquinanti come PAHs, composti organostannici (tributilstagno) nelle acque di sfioro degli scaricatori di piena delle fognature miste.

MALFUNZIONAMENTI

IMPATTI CONSEGUENTI ALL'ATTIVAZIONE DEGLI SCARICATORI DI PIENA

Gli impatti dei flussi contaminati provenienti dagli scaricatori di piena fognari dipendono dalla tipologia e dalle caratteristiche fisiche del corpo idrico ricettore (possono essere più gravi in piccoli corsi d'acqua urbani in cui la diluizione è minima rispetto a grandi fiumi con buona capacità autodepurativa).

- Possibili problemi per il corpo idrico ricevente generati da eventi di sfioro delle fognature miste sono:
 - > **impoverimento dell'ossigeno disciolto**, sia a breve termine (ad esempio per sversamenti di acque con elevati tenori di BOD, COD e ammoniacale) che a medio termine a causa della richiesta di ossigeno dei sedimenti depositati;
 - > **eutrofizzazione** conseguente all'immissione di elevati carichi di nutrienti come azoto totale e fosforo totale;
 - > **fenomeni di tossicità acuta**, causati in generale da apporti di inquinante ingenti in tempi brevi, che colpiscono in prima battuta i pesci (ad es. elevati livelli di ammoniacale e metalli);
 - > **impatto cronico**, che dipende da lenti processi di accumulo (specie nei sedimenti acquatici), per cui tutto l'ecosistema acquatico può risultare compromesso;
 - > **immissione di microrganismi patogeni** provenienti dal metabolismo umano o animale e dai rifiuti organici presenti nella rete fognaria, con rischi per la salute dell'uomo (esposizione particolare durante le attività ricreative come la balneazione ecc);
 - > **immissione di macro e micro plastiche**, che possono essere ingerite da fauna selvatica, pesci, molluschi, entrando così nella catena alimentare umana.

NORMATIVE E LINEE GUIDA SUGLI SFIORATORI FOGNARI

Sono stati considerati indirizzi normativi e linee guida sugli scaricatori fognari a livello italiano ed internazionale:
- le linee guida dell'americana US-EPA;
- i principali riferimenti europei (Direttive 91/271/CEE, 2000/60/CE e 2006/77/CE);
- la situazione italiana e regionale.
In Italia allo stato attuale la disciplina del funzionamento degli scaricatori di piena fa riferimento ai Regolamenti del Gestore del Servizio Idrico Integrato e ad alcune Leggi o Regolamenti Regionali, in particolare ai Piani Regionali di tutela delle acque. Si sono esaminati il Piano regionale di tutela delle acque (PRTA) del Friuli Venezia Giulia, il recente Regolamento regionale 6/2019 della Lombardia e la delibera "RQTI" del 2017 di AEGESI (in particolare riguardo al macro-indicatore M4 - "Adeguatezza del sistema fognario").

CONCLUSIONI

Si è potuto constatare che i problemi che possono affliggere gli scaricatori di piena fognari sono di varia natura e spaziano dai più intuitibili rischi di occlusione da parte dei sedimenti accumulati, ai ben più articolati problemi di dimensionamento, modellazione e comprensione globale del funzionamento di tali dispositivi in relazione al sistema delle reti fognarie.
In questo contesto emerge piuttosto chiaramente l'inadeguatezza del controllo ambientale ottenibile con gli approcci tradizionali al dimensionamento dei manufatti scaricatori, ma anche l'esistenza di validi strumenti per poter intervenire e migliorare la situazione.
Al di là delle possibili tecnologie e soluzioni, quello che pare più urgente è che a livello nazionale e nelle singole Regioni il problema venga affrontato in modo mirato, sistematico ed organico.

DIREZIONI DI INTERVENTO PER IL MIGLIORAMENTO

SOLUZIONI DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI SFIORO

Un'alternativa alle vasche di prima pioggia possono essere i sistemi di trattamento "in situ" degli scarichi degli sfioratori di piena fognari. Una prima classificazione che può essere fatta distingue due grandi gruppi: le soluzioni "tecnologiche" e le soluzioni "naturali".

• Soluzioni "tecnologiche"

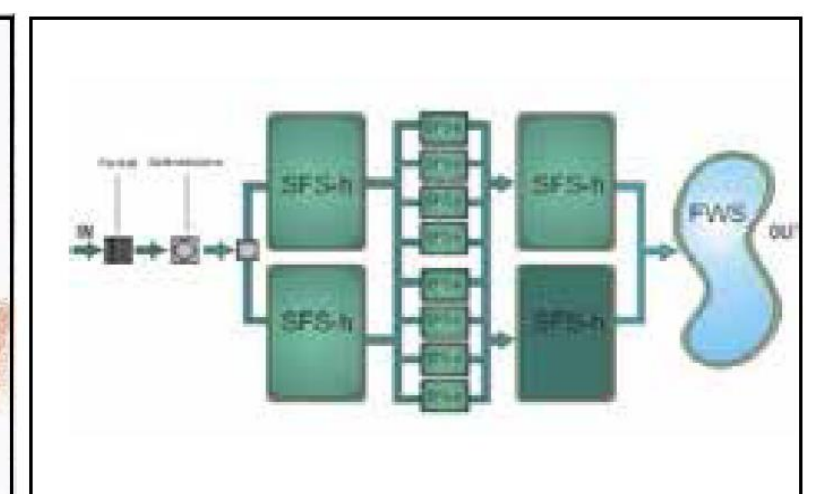
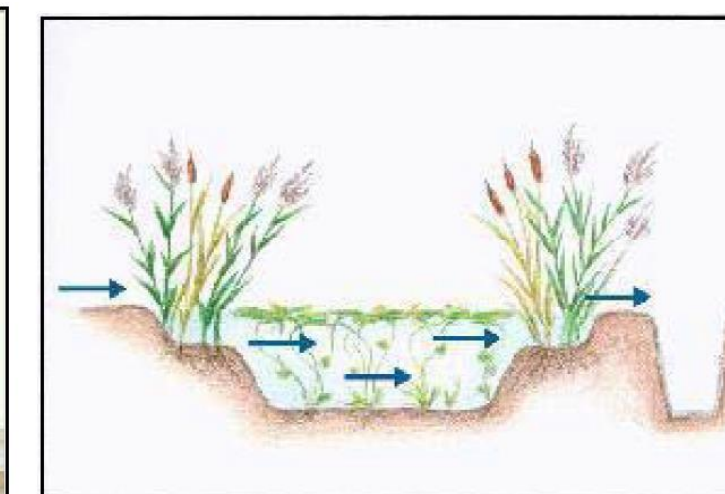
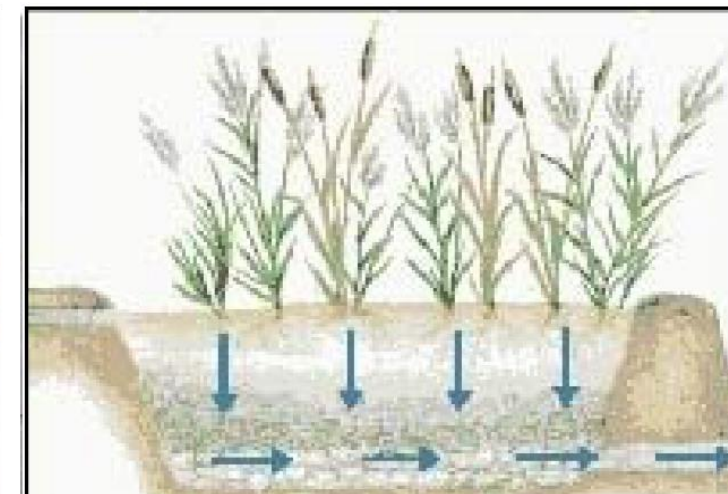
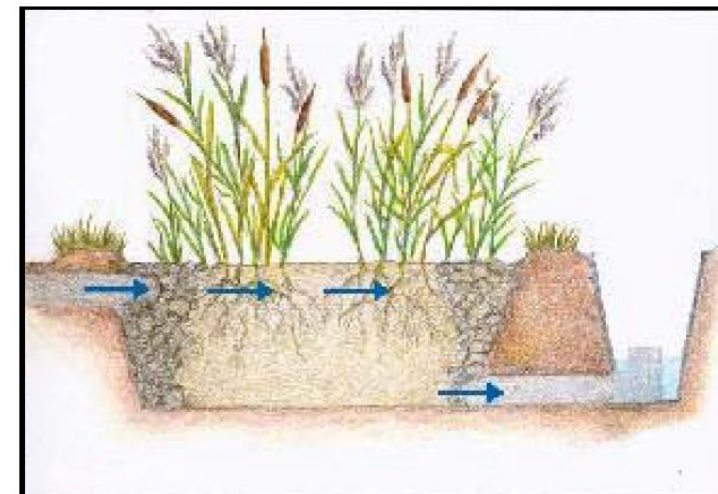
Si rifanno ai processi di trattamento fisico-chimici più tradizionali implementati negli impianti di depurazione. I processi che trovano maggiore diffusione nel trattamento delle acque sfiorate sono la grigliatura meccanica, la dissabbiatura e disoleatura, la sedimentazione primaria gravimetrica, meccanica e quella con chiariflocculazione, la filtrazione finale a tela e a sabbia e l'ultrafiltrazione.

• Soluzioni "naturali"

Le soluzioni "naturali" tendono a riprodurre in ambiente controllato i processi di autodepurazione delle zone umide naturali, in cui sono coinvolte le specie vegetali e i microrganismi associati; per quanto riguarda il trattamento delle acque di sfioro da CSO, i sistemi di maggiore interesse sono le zone umide artificiali o sistemi di fitodepurazione, chiamati a livello internazionale "ConstructedWetland" (CW).

I sistemi CW sono classificati in base al tipo di piante macrofite utilizzate o più spesso in base al percorso idraulico delle acque. In quest'ultimo caso si distinguono :

- sistemi a flusso libero superficiale, "Free Water Surface" -FWS
- sistemi a flusso sommerso, orizzontale (Horizontal flow systems-HF) e verticale (Vertical flow systems-VF)
- sistemi ibridi.



Flusso sommerso orizzontale (HF o SFS-h)

Flusso sommerso verticale (VF o SFS-v)

Flusso libero (FWS)

Ibrido

Classificazione di sistemi CW-rielaborazione tabella di Regione Lombardia (2020)