

H

Eliminazione dei microinquinanti Studio di fattibilità **Versione 05.02.2016**

COMMITTENTE:	Consorzio Depurazione Acque Chiasso e Dintorni
LUOGO:	Impianto di depurazione acque a Vacallo (Pizzamiglio)
OPERA:	Rinnovo e ammodernamento trattamento acque e realizzazione trattamento microinquinanti
MANDATO:	Prestazioni per le fasi Progettazione definitiva, Appalto e Realizzazione
APPALTO:	Pubblico concorso

IDA Pizzamiglio

Eliminazione dei microinquinanti

STUDIO DI FATTIBILITÀ

Versione	1
Approvato / verificato	05.02.2016
Sostituisce	21.07.2014

Agno, 5 febbraio 2016

Revisioni

Versione	Data	Indicazione delle modifiche	Copia a
0	21.07.2014	Prima emissione	CDACD, SPAAS
1	05.02.2016	Allineamento a situazione attuale	CDACD, SPAAS
2			
3			

Indice

Riassunto	3
1. Introduzione, documenti di base	4
2. I microinquinanti	5
2.1 Definizione	5
2.2 Strategia e quadro normativo	6
2.3 Situazione nel comprensorio CDACD	9
2.3.1 Inclusione dell'IDA Pizzamiglio nel programma microinquinanti	9
2.3.2 Precendenti studi e analisi	9
3. Processi per l'eliminazione dei microinquinanti	15
3.1 Processi adsorbitivi	15
3.1.1 Carbone attivo in polvere (PAC)	16
3.1.2 Carbone attivo granulare (GAC)	17
3.2 Processi ossidativi	19
3.2.1 Ozonizzazione	19
3.2.2 Advanced Oxidation Processes (AOP)	21
3.3 Altri processi	22
3.3.1 Trattamenti biologici secondari	22
3.3.2 Tecnologie a membrane	23
4. Valutazione comparativa dei processi	24
4.1 Conclusioni	26
5. Dati di base	27
5.1 Riepilogo dati di esercizio	27
5.2 Dati di dimensionamento	29
6. Elaborazione e dimensionamento delle varianti processuali	32
6.1 Dosaggio di carbone attivo in polvere con bacini di sedimentazione	32
6.1.1 Dimensionamento	33
6.1.2 Apparecchiature elettromeccaniche	34
6.2 Aggiunta di carbone attivo in polvere senza bacini di sedimentazione	35
6.3 Ozonizzazione	36
6.3.1 Dimensionamento	37
6.3.2 Elementi salienti	38
6.4 Proposte "chiavi in mano"	40
6.4.1 Acitflo®Carb (Veolia – Alpha Wassertechnik)	40

6.4.2	PulsaGreen (Degremont – Techfina)	41
6.5	Valutazione e confronto delle varianti	43
6.5.1	Ingombro superficiale	43
6.5.2	Rispetto dei requisiti di scarico	43
6.5.3	Effetto sul trattamento fanghi/produzione di fanghi	44
6.5.4	Effetto sul rendimento di depurazione della linea acque	44
6.5.5	Rischio di corrosione e/o abrasione	45
6.5.6	Sicurezza	45
6.5.7	Costi	46
6.6	Riepilogo risultati valutazione	50
6.7	Layout	51
7.	Conclusioni	52

Riassunto

Il Consorzio depurazione acque Chiasso e Dintorni (CDACD), concluso l'ampliamento dei pre-trattamenti meccanici e della linea fanghi, ha dato inizio ad una nuova fase di ottimizzazione delle proprie infrastrutture che interessa il cuore dell'impianto – il trattamento biologico – affidando agli scriventi un mandato per i primi stadi di progettazione.

Nell'ambito di questa fase si inserisce la tematica della rimozione dei microinquinanti organici, in quanto nell'elaborazione degli interventi relativi al comparto biologico si dovrà tenere conto degli ingombri qui stimati.

La tematica è oggetto di una proposta di modifica dell'Ordinanza sulla Protezione delle Acque (OPAc), che, terminata la consultazione nel marzo 2015 ed approvata definitivamente dal Consiglio Federale nel novembre 2015, entrerà in vigore il 1° Gennaio 2016. L'obiettivo è il dimezzamento, a livello nazionale, del carico di microinquinanti organici immesso nei ricettori tramite l'inserimento di uno stadio di trattamento dedicato in circa un centinaio di impianti di depurazione in Svizzera.

Secondo i criteri contenuti dell'OPAc, e in linea con lo scritto della SPAAS del 25 settembre 2015 in cui si è delineata la strategia cantonale per la rimozione dei microinquinanti organici dagli IDA, il CDACD sarà chiamato a realizzare le relative misure.

In considerazione di quanto sopra, il presente studio di fattibilità ha descritto e confrontato alcuni processi presenti sul mercato per la rimozione dei microinquinanti presso gli impianti di depurazione, valutandone l'applicabilità presso l'IDA di Pizzamiglio.

Le seguenti configurazioni sono risultate applicabili:

- dosaggio di carbone attivo in polvere (PAC) in reattore di contatto senza sedimentazione
- ozonizzazione seguito da filtrazione.

Se a livello di ingombro le due soluzioni si equivalgono, sulla prima gravano alcune incertezze legate principalmente alla configurazione del nuovo comparto biologico (biofiltrazione) che esclude la possibilità di ricircolo di PAC all'interno dello stesso, diminuendone la resa.

Per la seconda vi è invece la necessità di verificare l'idoneità dei reflui di Chiasso ad un'ozonizzazione tramite test dedicato ("Ozontestverfahren"); in caso, infatti, di concentrazioni elevate di alcune sostanze, su tutte il bromuro, l'ossidazione spinta mediante ozono comporta la formazione di sottoprodotti indesiderati in quantità tale da non renderla applicabile. Il tema è di particolare attualità per il CDACD, a seguito della presenza delle acque di percolazione provenienti dalla Valle della Motta.

Gli investimenti complessivi si collocano tra i 3.3 ed i 4.5 milioni di CHF (filtrazione esclusa, i cui costi da progetto di massima ammontano a 4.5 milioni di CHF). Gli oneri gestionali sono stimati tra i 200'000 e i 900'000 CHF/anno; per una definizione più corretta di questi ultimi, è necessario il consolidamento delle esperienze dei primi impianti in esercizio a scala reale.

1. Introduzione, documenti di base

Scopo del presente documento è analizzare e mostrare le diverse possibilità di implementazione di uno stadio di rimozione dei microinquinanti presso l'IDA di Pizzamiglio. I risultati di questo studio, in particolare modo la stima degli ingombri planimetrici delle diverse soluzioni, saranno in seguito ripresi nel progetto di massima per l'adeguamento e il potenziamento dello stadio biologico.

Si è in primo luogo introdotta la tematica della rimozione dei microinquinanti presso gli impianti di depurazione e confermata la necessità di uno stadio dedicato presso l'IDA di Pizzamiglio. A seguito di una panoramica generale dei diversi processi presenti sul mercato, si è effettuata una valutazione comparativa, che ha portato alla definizione di alcuni processi idonei alla rimozione dei microinquinanti.

Nella seconda parte dello studio si è effettuato un approfondimento dei processi, definendo delle possibili configurazioni di impianto. Queste sono state oggetto di una valutazione comparativa, evidenziandone i vantaggi e gli svantaggi secondo diversi criteri, tra cui ingombri superficiali definiti tramite un dimensionamento di massima, rispetto dei requisiti allo scarico, effetti su altre parti di impianto e costi, le cui stime, sia di investimento che di esercizio, sono state effettuate con una precisione del $\pm 25\%$.

I documenti di base e le condizioni al contorno per il presente studio di fattibilità sono :

- adeguamento e potenziamento stadio biologico IDA Chiasso - Studio di fattibilità – TBF+Partner AG, il 21.12.2012;
- adeguamento e potenziamento stadio biologico IDA Chiasso – Basi di dimensionamento – TBF+Partner AG, il 18.01.2012;
- planimetrie dell'IDA Chiasso;
- i dati di esercizio dell'IDA Chiasso;
- basi di dimensionamento di studi sui microinquinanti precedenti redatti da TBF+Partner AG;
- varie schede informative e pubblicazioni dell'UFAM;
- documentazione varia da www.micropoll.ch;
- varie pubblicazioni sull'ozonizzazione e sul dosaggio in polvere di carbone attivo.

2. I microinquinanti

Il presente capitolo contiene informazioni riguardanti i microinquinanti e la strategia che la Confederazione sta elaborando per una mitigazione degli effetti degli stessi.

2.1 Definizione

Negli ultimi decenni, grazie alla buona qualità degli impianti di smaltimento delle acque urbane (canalizzazioni, bacini di raccolta dell'acqua piovana e impianti di depurazione delle acque), la qualità delle acque svizzere è notevolmente migliorata. Nell'ambito della protezione delle acque resta tuttavia da risolvere il problema dell'immissione di elementi organici in tracce e metalli pesanti (microinquinanti) attraverso gli scarichi.

Per microinquinanti s'intende una varietà di composti organici e metalli pesanti contenuti in diversi prodotti di uso comune e che hanno un ruolo importante nelle nostre attività quotidiane. Tra i prodotti contenenti microinquinanti, a titolo di esempio, vi sono i farmaci, i detersivi, i coloranti, i pesticidi. In Svizzera, secondo l'Ufficio Federale dell'Ambiente, si contano oltre 30'000 sostanze del genere. Non esiste una raccolta sistematica di dati sulle quantità, sull'utilizzazione, sulle emissioni, sul comportamento nell'ambiente e sulla tossicità di queste sostanze. Esse entrano quotidianamente nei corpi idrici attraverso vie di migrazione diffuse (canali di scolo, dilavamento di superfici agricole utili, acqua piovana) o lo smaltimento delle acque urbane, in quanto gli impianti di depurazione, allo stato attuale, non sono progettati per eliminare i microinquinanti ed essi rischiano di essere solo un punto di raccolta e transito al corpo idrico recettore.

In acqua e già a bassissime concentrazioni (da un milionesimo a un milionesimo di grammo al litro – da qui il nome microinquinanti) i microinquinanti hanno effetti negativi ai danni degli organismi acquatici, esercitando involontariamente l'azione ricercata durante il loro impiego. Gli erbicidi, ad esempio, producono un effetto di inibizione della fotosintesi delle alghe mentre gli insetticidi danneggiano il sistema nervoso degli animali acquatici.

Inoltre, l'acqua dei fiumi può infiltrarsi nelle acque sotterranee, da cui proviene oltre l'80% dell'acqua potabile in Svizzera, con possibili effetti negativi sulla salute umana. Comunque, allo stato attuale delle conoscenze, le concentrazioni misurate nelle acque sotterranee e superficiali non sono pericolose per la salute umana.

Le misure che si possono intraprendere per ridurre le concentrazioni di microinquinanti nei corpi idrici sono sostanzialmente di due tipi: misure alla fonte e misure end-of-pipe.

Per misure alla fonte si intendono sia quelle azioni atte a regolamentare e ridurre l'utilizzo dei microinquinanti nelle industrie per lo sviluppo dei prodotti sia quelle atte a ridurre il consumo di tali prodotti:

- divieti o restrizioni, quali ad esempio l'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim), l'Ordinanza sui biocidi (OBioc) o l'Ordinanza sui prodotti fitosanitari (OPF);

- incentivi economici per misure facoltative, quali le indennità previste per i provvedimenti presi dall'agricoltura per prevenire il convogliamento e il dilavamento di sostanze;
- informazione della popolazione per favorire un cambio di abitudini e diminuire il consumo di prodotti.

Seppur importanti, le misure alla fonte non sono sufficienti per cui si deve ricorrere alle misure cosiddette end-of-pipe, ovvero che si intraprendono dopo che i microinquinanti sono stati prodotti, utilizzati e quindi rilasciati nell'ambiente:

- riduzione presso gli impianti di depurazione (microinquinanti organici);
- rafforzamento del trattamento delle acque industriali;
- trattamento delle acque stradali.

In particolare, il primo di queste misure "end of pipe", ovvero la riduzione del carico di microinquinanti tramite processi specifici che trattino le acque di scarico, ricopre un ruolo fondamentale per raggiungere dei buoni risultati di rimozione.

2.2 Strategia e quadro normativo

Diversi programmi di ricerca (ad esempio PNR 50 "Interferenti endocrini: Importanza per gli esseri umani, gli animali e gli ecosistemi", Studio sul calo della popolazione ittica in Svizzera "Fischnetz") svolti ad inizio anni 2000 hanno analizzato il problema dei microinquinanti ed evidenziato la necessità di ottimizzare la depurazione delle acque di scarico.

In tal senso, nel 2006 l'Ufficio Federale dell'Ambiente ha istituito un progetto intitolato "Strategie Micropoll" con lo scopo di elaborare dei principi e formulare una strategia di lotta contro i microinquinanti provenienti dalle acque reflue.

Sulla base dei numerosi studi effettuati durante questo progetto, il Dipartimento federale dell'Ambiente, dei Trasporti, dell'Energia e delle Comunicazioni (DATEC) ha elaborato quindi un progetto di adeguamento dell'Ordinanza sulla Protezione delle Acque (OPAc) e indetto un'indagine conoscitiva su di essa da fine novembre 2009 a fine aprile 2010, interpellando, tra gli altri, i consorzi di depurazione. L'adeguamento dell'OPAc contempla essenzialmente esigenze relative all'eliminazione delle sostanze organiche in tracce negli IDA comunali.

Nell'ambito dell'indagine sono pervenuti 82 pareri, ed oltre l'80% di essi ha riconosciuto la necessità di risolvere il problema dei microinquinanti e si è espresso per un ampio sostegno alla strategia del pacchetto di misure orientato alla soluzione e per il potenziamento selettivo degli IDA, sollevando alcune critiche tra cui, una delle principali, sul finanziamento secondo il principio di causalità, respinto espressamente da 52 partecipanti all'indagine. La maggioranza dei partecipanti ha richiesto un finanziamento attraverso una tassa sulle acque di scarico sull'intero territorio nazionale.

La Commissione dell'Ambiente, della pianificazione del territorio e dell'energia del Consiglio degli Stati (CAPTE-S), dopo essere stata informata sui risultati dell'indagine, ha quindi depo-

sitato nel 2010 la mozione “Elementi in tracce nelle acque di scarico. Finanziamento della loro eliminazione conformemente al principio del chi inquina paga”, approvata dal Consiglio Federale, dal Consiglio degli Stati e dal Consiglio nazionale nel 2011.

In seguito l'UFAM, i rappresentanti di Cantoni, di gestori di impianti di depurazione, di ricerca e di industria hanno proposto una piattaforma di basi tecniche gestita dalla VSA (futuro centro di competenze IDA) con lo scopo di organizzare e trasferire conoscenze nonché scambiare esperienze relative alle tecnologie di processo per la rimozione dei microinquinanti negli impianti di depurazione delle acque comunali, attiva dal 2012.

Nel corso del 2014, le Camere federali hanno approvato la proposta di modifica della Legge sulla Protezione delle Acque (LPaC) e di un finanziamento su scala nazionale per il potenziamento di circa 100 impianti di depurazione.

L'OPaC, in consultazione da dicembre 2014 a marzo 2015, è stata licenziata ad inizio novembre 2015 dal Consiglio Federale ed entrerà quindi in vigore a partire dal 1° Gennaio 2016. Di seguito si riportano brevemente i contenuti salienti:

– Campo di applicazione: gli impianti di depurazione interessati dalla proposta sono:

- IDA con potenzialità superiore a 80'000 abitanti allacciati;
- IDA con potenzialità superiore a 24'000 abitanti allacciati che immettono le proprie acque in bacino imbrifero di un lago;
- IDA con potenzialità superiore a 8'000 abitanti allacciati che immettono le proprie acque in un corpo idrico a limitata diluizione.

Ulteriori restrizioni potranno essere imposte dai Cantoni in zone carsiche o ad elevato sfruttamento potabile. I Cantoni potranno altresì derogare qualora sia provato che l'impatto delle acque reflue sul ricettore finale sia molto limitato.

– Resa di rimozione pari all'80% (influyente / effluente).

– Finanziamento: a partire dal primo gennaio 2016 sarà istituito un fondo, a livello federale, a copertura degli interventi, alimentato da un prelievo annuale per ogni abitante allacciato, che avrà un massimo di 9 CHF per poi diminuire negli anni successivi. Il fondo servirà per sussidiare il 75% dei nuovi investimenti. Secondo stime dell'UFAM, si stima un volume di sussidi compreso tra 20 e 60 milioni di franchi all'anno fino al 2040.

Il tema finanziamento è approfondito in una direttiva dedicata (Vollzugshilfe "Finanzierung von Massnahmen bei der Elimination von Spurenstoffen bei Abwasseranlagen"), attualmente in consultazione (D/F) ed ufficialmente pubblicata nella seconda metà del 2016.

Il Canton Ticino prevede inoltre il sussidiamento, secondo le consuete modalità, per la quota parte degli investimenti non soggetta a contributo federale.

– Procedure elaborazione progetti: l'UFAM avrà un ruolo centrale nel processo di approvazione e gestione dei singoli progetti e nella raccolta ed erogazione dei sussidi. Maggiori dettagli sono riportati nella sopracitata direttiva.

- Tempistiche: l'inizio degli interventi di realizzazione delle opere dovrà avvenire al più tardi entro 20 anni dall'entrata in vigore della nuova OPAC. Ciascuna realizzazione dovrà inoltre essere portata a compimento entro i 5 anni dall'approvazione definitiva da parte della Confederazione; in caso contrario, non sarà più assicurato il finanziamento.

La supervisione dell'esercizio per il controllo dell'efficacia delle misure sarà indicata in un'ordinanza dipartimentale dedicata, attualmente in fase di elaborazione e che si prevede essere pronta per metà 2016.

In base alle attuali conoscenze, saranno definite 12 sostanze indicatrici, suddivise in due gruppi:

- molto ben biodegradabili, 8 sostanze:
 - amisulpride (psicofarmaco)
 - carbamazepina (antiepilettico)
 - citalopram (antidepressivo)
 - claritromicina (antibiotico)
 - diclofenac (analgesico)
 - idroclorotriazide (diuretico)
 - metaprololo (betabloccante)
 - venlafaxina (antidepressivo).
- ben biodegradabili, 4 sostanze:
 - benzotriazolo (anticorrosivo)
 - candesartan (antiipertensione)
 - irbesartan (antiipertensione)
 - 4-, 5-metilbenzotriazolo (anticorrosivo).

I Cantoni avranno la facoltà di scegliere almeno 6 sostanze per il monitoraggio dei propri impianti, con rapporto 2:1 tra il primo ed il secondo gruppo. Importante è che le stesse siano presenti in concentrazioni tali da poter apprezzare una riduzione di quasi un ordine di grandezza (grado di abbattimento $\geq 80\%$). Si consiglia per esempio la scelta di quei composti la cui concentrazione in ingresso all'IDA sia almeno 10 volte superiore alla concentrazione minima misurabile.

2.3 Situazione nel comprensorio CDACD

2.3.1 Inclusione dell'IDA Pizzamiglio nel programma microinquinanti

L'impianto di Pizzamiglio, in base alla modifica dell'Ordinanza proposta, risulta interessato dagli interventi, in quanto di potenzialità maggiore a 24'000 abitanti con scarico nel Breggia che, oltre a non garantire un rapporto di diluizione adeguato, immette le proprie acque nel lago di Como (ricettore finale).

Infine, il Breggia, dopo poche centinaia di metri dallo scarico dell'impianto, entra in territorio italiano, per cui subentrano pure elementi di protezione di acque internazionali.

In considerazione di questi aspetti, la competente Autorità cantonale con scritto del 25 settembre 2015 ha indicato l'IDA di Pizzamiglio quale prioritario nella realizzazione delle misure per l'eliminazione dei microinquinanti. Conformemente al quadro legislativo, il Cantone non ha indicato alcuna scadenza sul breve termine per l'inizio dei lavori; l'esecuzione per Chiasso di consiglia ad ogni modo in parallelo alle opere di Fase 3, al fine di ottimizzare al meglio le sinergie a livello di cantiere.

2.3.2 Precedenti studi e analisi

Negli scorsi anni non sono stati effettuati particolari studi sulla tematica; solamente nel 2010, nell'ambito di una tesi universitaria dell'Università di Losanna, sono stati effettuati alcuni prelievi all'entrata ed all'uscita IDA su cui si sono misurate le concentrazioni di alcuni microinquinanti. Le campagne sono state effettuate in un giorno ferialo con tempo secco (26.09.10), in un giorno festivo con tempo secco (30.09.10) e in un giorno ferialo con tempo di pioggia (05.10.10).

Nella seguente tabella sono indicate le sostanze analizzate e le concentrazioni misurate.

Sostanze	ENTRATA 26.09.10	USCITA 26.09.10	ENTRATA 30.09.10	USCITA 30.09.10	ENTRATA 05.10.10	USCITA 05.10.10
	ng l ⁻¹	ng l ⁻¹	ng l ⁻¹	ng l ⁻¹	ng l ⁻¹	ng l ⁻¹
Bezafibrate	225	145	438	327	314	266
Fenofibrate	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Carbamazepin	53	59	101	127	121	186
Gabapentin	1'662	1'432	3'509	3'095	2'960	3'107
Diclofenac	288	291	256	340	436	432
Naproxen	354	199	625	396	475	278
Primidone	58	44	80	93	46	80
Atenolol	314	245	476	311	508	431
Sotalol	287	162	505	305	462	362
Clarithromycin	118	74	274	208	217	184
Sulfamethoxazole	9	9	6	7	13	12
Trimethoprim	62	31	154	68	134	81
Iohexol	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Iomeprol	nd	nd	1'025	577	nd	nd
Iopamidol	nd	nd	nd	Nd	nd	nd
Iopromide	579	171	16'320	10'603	3'911	2'899
Benzotriazole	1'768	1'023	3'501	1'884	2'643	1'784
Triclosan	712	nd	1004	587	nd	476
Atrazin	1	1	1	2	2	2
Mecoprop	169	181	54	56	495	423
Terbutryn	4	5	40	32	14	13

Tabella 1 Analisi microinquinanti in entrata ed in uscita IDA Chiasso

Nella seguente figura si mostra la media delle concentrazioni delle tre giornate di campionamento.

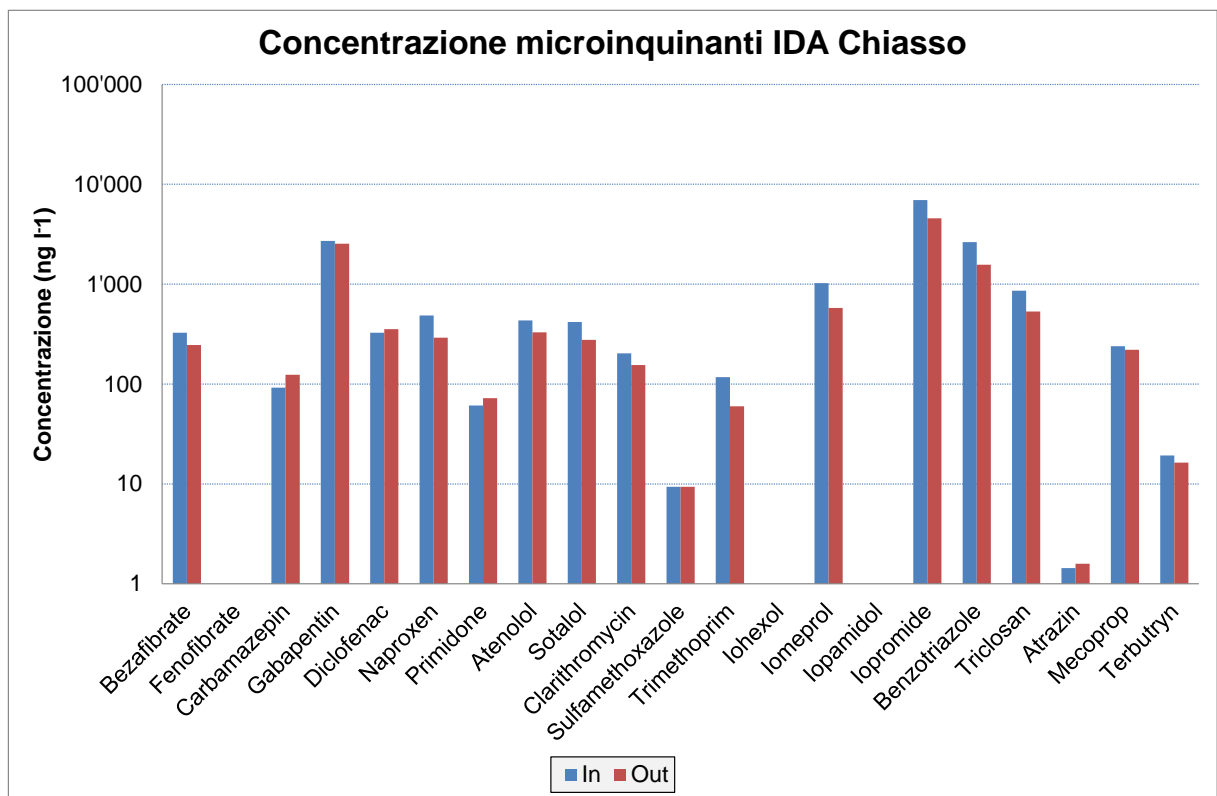


Figura 1 Media concentrazione microinquinanti

Nella seguente figura è indicata la percentuale di rimozione di carico dei microinquinanti analizzati nelle tre giornate di campionamento.

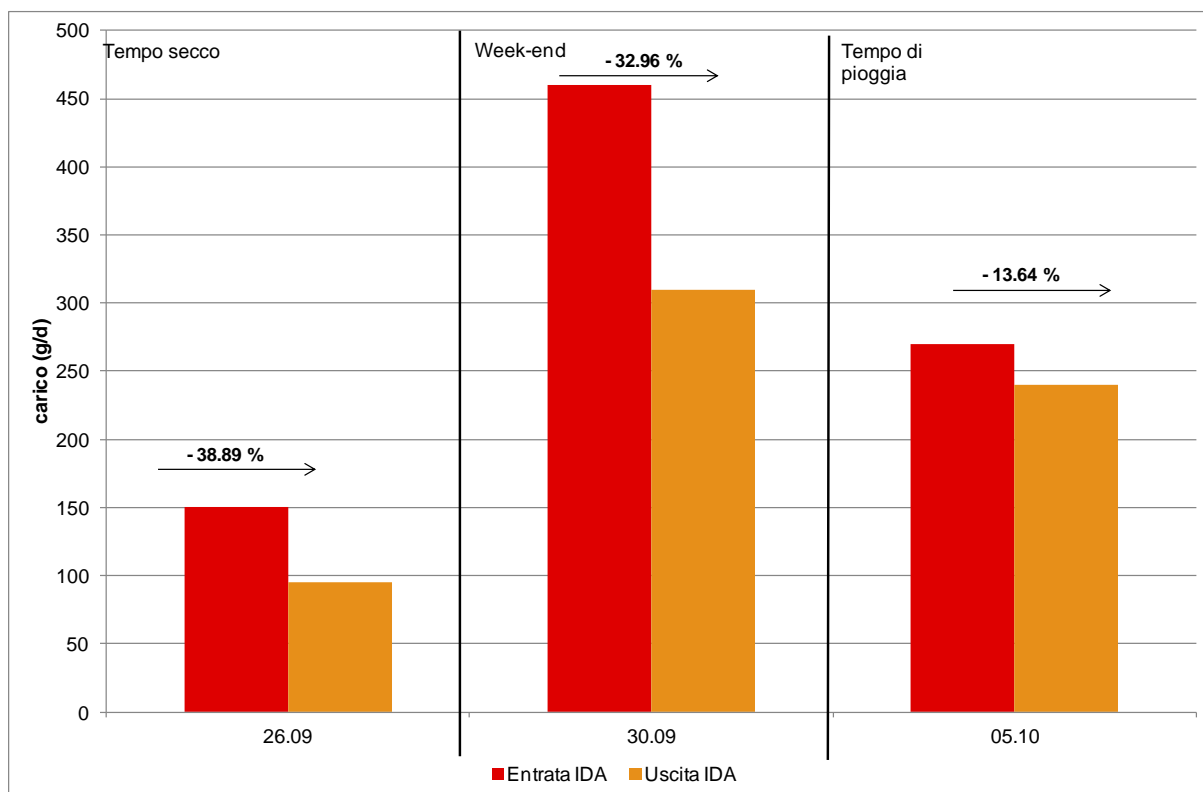


Figura 2 Rimozione carico complessivo microinquinanti

Le figure 1 e 2 mostrano come avvenga una rimozione del carico di microinquinanti, ma solamente in una percentuale non sufficiente per il rispetto delle esigenze incluse nella nuova OPAC.

È stato inoltre calcolato il rischio ambientale previsto nel Breggia per quattro composti tra quelli analizzati. Secondo l'ecotossicologia, esiste un rischio ambientale quando la Concentrazione Prevista "Nessun Effetto" (PNEC), ovvero la concentrazione che non provoca effetti collaterali nell'organismo più sensibile testato, è più elevata della Concentrazione Ambientale Prevista o Analizzata (PEC o MEC). Quindi se il rapporto MEC/PNEC è maggiore di 1 (linea blu nel grafico), esiste un rischio ambientale.

Come si vede dalla seguente figura, per Diclofenac e Sulfamethoxazolo il rischio ambientale è risultato essere molto elevato.

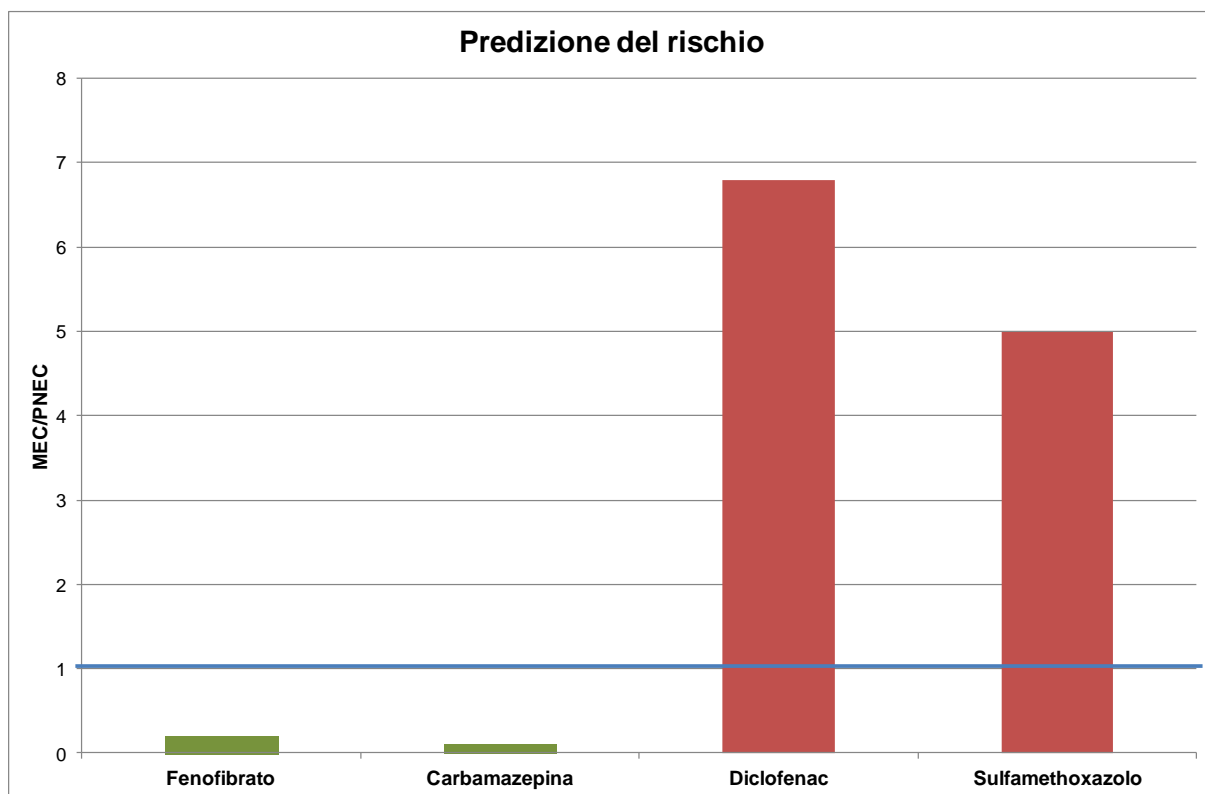


Figura 3 *Predizione del rischio ambientale*

Nell'ambito dello stesso studio, si sono effettuati dei campionamenti anche sull'IDA di Mendrisio, provvisto di nitrificazione e filtrazione finale su sabbia.

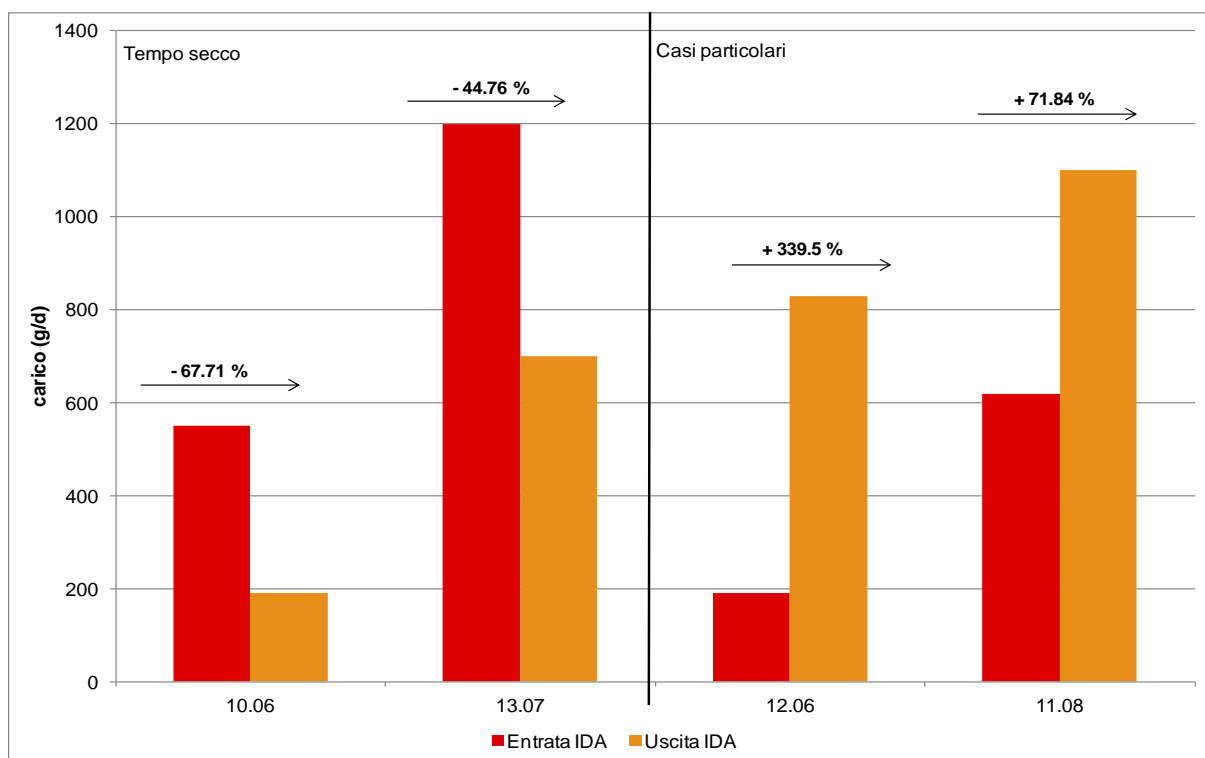


Figura 4 *Rimozione carico complessivo microinquinanti – IDA Mendrisio*

In sintesi, i risultati sia sull'IDA di Chiasso, sebbene ottenuti da una campagna di soli 3 giorni, che sull'IDA di Mendrisio sono in linea con le indicazioni derivanti dai dati raccolti in studi dedicati nelle altre regioni linguistiche della Svizzera.

Appare evidente quindi che, per raggiungere gli obiettivi previsti nella nuova Ordinanza (eliminazione dell'80% del carico in ingresso), si debba provvedere a degli adeguamenti tecnologici, introducendo un nuovo stadio di trattamento dedicato alla rimozione dei microinquinanti.

3. Processi per l'eliminazione dei microinquinanti

Nei seguenti paragrafi sono descritti tutti i processi tecnologici che permettono una rimozione più o meno spinta dei microinquinanti dalle acque reflue. In seguito verrà effettuata una valutazione comparativa dei diversi processi che porterà all'esclusione di alcuni di essi nel prosieguo dello studio.

In linea generale, i vari processi si possono suddividere nelle seguenti categorie:

- processi adsorbitivi;
- processi ossidativi;
- altri processi.

3.1 Processi adsorbitivi

L'adsorbimento è il processo fisico-chimico in base al quale i solidi porosi trattengono, sulla loro superficie, molecole disciolte nelle acque con cui vengono a contatto. Avviene quindi un trasferimento di massa di alcune sostanze (adsorbibili) dal liquido alla superficie (esterna e interna) del solido sulla quale sono trattenute per effetto di azioni fisiche e/o chimiche.

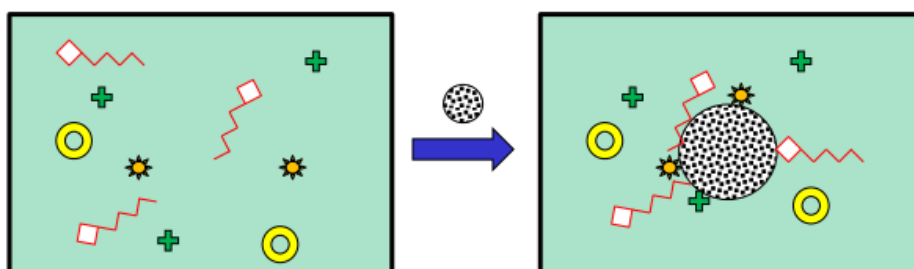


Figura 5 Schema semplificato processi adsorbitivi. Fonte: VSA

In condizioni prefissate e dopo un tempo opportuno, si raggiunge inevitabilmente uno stato d'equilibrio, che è funzione della concentrazione dell'adsorbibile e della quantità di adsorbente messa a disposizione.

I solidi capaci di presentare una significativa attività adsorbente sono numerosi, ma quello con le migliori caratteristiche per l'affinamento delle acque da trattare ed in particolare per la rimozione dei microinquinanti è il carbone attivo, anche perché, non essendo una sostanza polare, è molto ridotto il grado di interferenza che l'acqua può esercitare sul processo di adsorbimento.

I carboni attivi vengono preparati da sostanze ricche di carbonio (legno, torba, lignite, bitume, oli minerali, ossa...); il prodotto finito presenta elevatissime superfici specifiche (da 500 a 3'000 m² g⁻¹, di norma 700-1'500 m² g⁻¹) ed è disponibile sia sotto forma granulare (GAC) che in polvere (PAC).

In Svizzera il processo con carbone attivo in polvere è stato testato a più livelli, mentre le esperienze accumulate con il carbone attivo granulare provengono principalmente da Germania e Paesi Bassi, dove il processo è già in funzione su scala industriale.

3.1.1 Carbone attivo in polvere (PAC)

Il PAC rimuove un'ampia gamma di microinquinanti dalle acque di scarico. Il processo può essere facilmente integrato su di un impianto esistente e non genera prodotti o rifiuti problematici, pur incrementando il flusso di sostanze dirette all'incenerimento per smaltimento finale.

Per un impianto a fanghi attivi convenzionale, come è attualmente l'impianto di Chiasso, il processo con PAC può essere implementato sostanzialmente in tre modi:

- immissione di PAC direttamente nella sezione biologica dell'impianto, separazione dalle acque tramite la chiarificazione finale, ricircolo del PAC e fase di filtrazione finale;
- implementazione di un reattore di contatto dedicato che tratti l'acqua in uscita dal comparto biologico, fase di separazione dedicata (sedimentazione) e ricircolo del PAC all'interno del reattore di contatto, fase di filtrazione finale;
- implementazione di un reattore di contatto dedicato che tratti l'acqua in uscita dal comparto biologico, fase di filtrazione e ricircolo del PAC all'interno del comparto biologico insieme alla acque di lavaggio.

In tutti e tre casi deve essere prevista una sezione di stoccaggio e di dosaggio del carbone attivo, nonché un dosaggio di precipitante e flocculante per ottimizzare la struttura dei fiocchi e quindi favorire il processo di separazione del fango, che verrà in parte ricircolato e in parte inviato alla linea fanghi. La produzione totale di fanghi aumenta del 5-10% circa, valore che cresce al 10-30% con un dosaggio diretto nella fase biologica.

Nell'impianto di Chiasso, nell'ambito dell'adeguamento e potenziamento dello stadio biologico, e sulla base dei risultati dello studio di fattibilità redatto dagli scriventi, il processo a fanghi attivi convenzionale sarà sostituito da un processo di biofiltrazione.

Nei reattori di biofiltrazione, allo stato attuale dell'arte, non è possibile l'immissione diretta di PAC; per questo motivo, nel prosieguo del presente studio, il processo con PAC verrà unicamente considerato come uno stadio aggiuntivo posto a valle del comparto biologico, come rappresentato nella seguente figura.

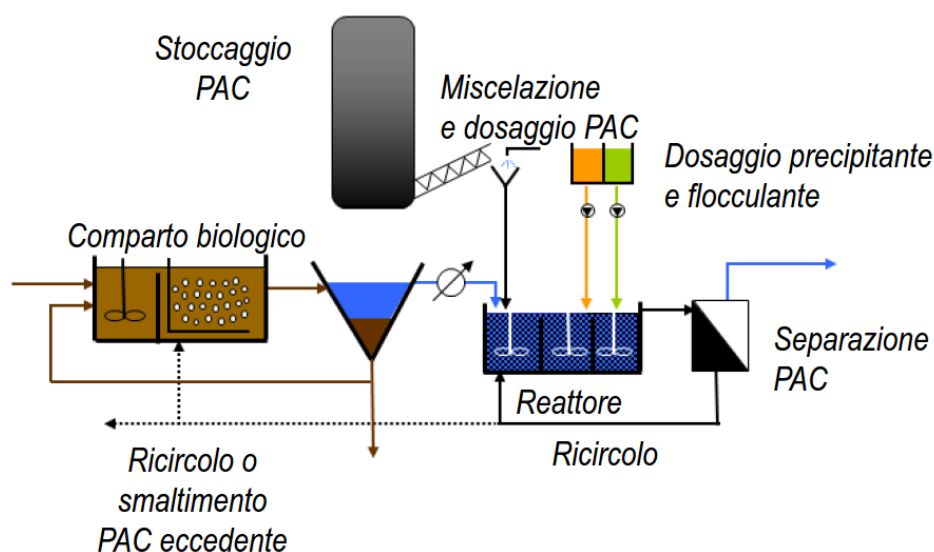


Figura 6 Schema configurazione processo PAC quale stadio aggiuntivo. Fonte: VSA

Come descritto, il PAC separato viene normalmente ricircolato all'interno del comparto biologico, accorgimento che ha effetti positivi e porta, a parità di PAC dosato, ad un incremento di circa il 10-20% dell'efficienza di rimozione dei microinquinanti rispetto ad una configurazione senza ricircolo di PAC. Tuttavia, ciò non risulta applicabile per un impianto dotato di biofiltrazione, come sarà l'IDA di Chiasso, in quanto i filtri verrebbero intasati dal carbone. Altri effetti del PAC sulla biofiltrazione non sono stati ancora studiati e saranno oggetto di studi di future ricerche. Per questo motivo, nel caso dell'IDA di Chiasso, il PAC dovrà essere ricircolato in testa all'impianto e rimosso dalla sedimentazione primaria.

Il fabbisogno energetico supplementare necessario è relativamente basso nell'IDA; i componenti che consumano più energia sono gli agitatori del reattore di contatto e le pompe di ricircolo. La produzione di carbone attivo in polvere, invece, richiede una grande quantità di energia cosiddetta grigia, circa 2-5 kg di materia prima per 1 kg di carbone attivo.

3.1.2 Carbone attivo granulare (GAC)

L'adsorbimento su carbone attivo granulare viene effettuato su filtri attraversati dalle acque di scarico. Questo processo è largamente utilizzato negli impianti di potabilizzazione, mentre è tuttora assente a scala reale nell'ambito della depurazione.

Il filtro GAC viene implementato dopo la fase biologica ed è costituito generalmente da un letto filtrante, riempito con uno o più strati di carbone attivo e un dispositivo di contro lavaggio per rimuovere i solidi trattenuti come pure una parte del biofilm che si forma sulle superfici del filtro e dei granuli.

L'acqua di controlavaggio viene re-immessa in circolo a livello di pre-trattamenti meccanici o direttamente in biologia. Dopo aver esaurito la capacità di adsorbimento, il materiale filtrante deve essere sostituito. Occorrono quindi almeno due filtri operanti.

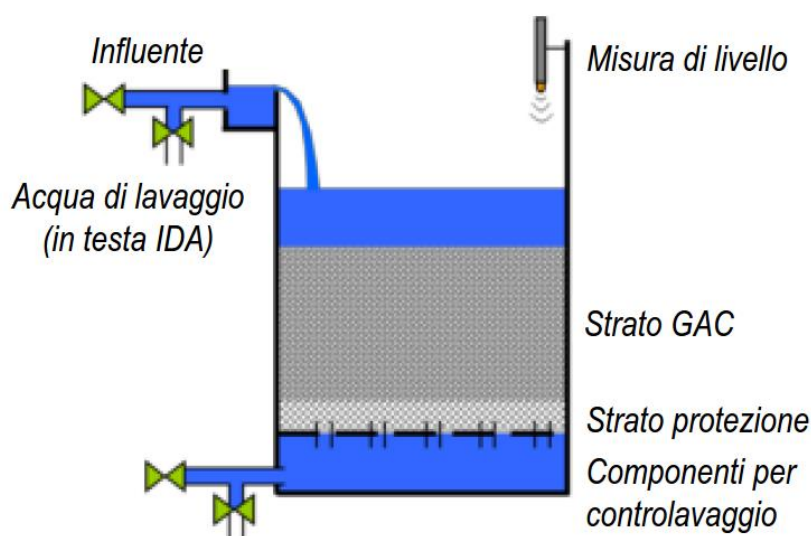


Figura 7 Schema configurazione processo GAC. Fonte: VSA

Il fabbisogno energetico è simile a quello di un filtro a sabbia, ossia $0.01-0.05 \text{ kWh m}^{-3}$ di acqua trattata. Ai fini di un bilancio complessivo, bisogna considerare il consumo energetico per la produzione e rigenerazione di carbone attivo, che dipende molto dalla durata di vita del filtro. Non esistono però purtroppo dati affidabili in tal senso.

I filtri GAC sembrano garantire una buona efficacia di eliminazione, ma si pongono alcuni interrogativi sulla velocità di saturazione della capacità adsorbente del letto filtrante. Studi pilota dedicati hanno infatti mostrato come, specie per alcune sostanze, la resa del filtro scenda piuttosto rapidamente, rendendo necessaria una frequenza di ricambio del letto filtrante piuttosto elevata con impatti significativi sui costi gestionali, già considerevoli a seguito dei consumi energetici.

Le sperimentazioni più recenti, tuttora in corso, si stanno concentrando sulla combinazione ozono – GAC (in serie), che sembra essere più promettente, rendendo possibile un'ottima resa su una gamma di prodotti ancora più ampia, un minore consumo di ozono rispetto alle configurazioni tradizionali (si veda il paragrafo 3.2), nonché una maggiore durata del letto filtrante GAC in termini di saturazione.

Al momento la tecnologia ha però una maturità tale da non poter essere approfondita con il dovuto grado di precisione.

3.2 Processi ossidativi

L'ossidazione è il processo chimico in base al quale un agente ossidante modifica chimicamente le molecole da rimuovere. Possono avvenire sia fenomeni di ossidazione diretta, nei quali l'agente reagisce direttamente con le sostanze da rimuovere, che fenomeni di ossidazione indiretta, per cui l'agente si decompone in acqua formando altre sostanze attive nella trasformazione delle molecole tossiche.

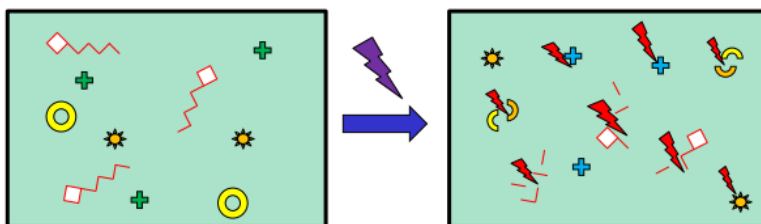


Figura 8 Schema semplificato processi ossidativi. Fonte: VSA

Esistono numerosi agenti ossidanti e quindi numerosi processi ossidativi, ma di interesse per la rimozione di microinquinanti sono solamente:

- ossidazione tramite ozono O_3 ;
- Advanced Oxidation Processes (AOP).

3.2.1 Ozonizzazione

L'ozonizzazione scompone un'ampia gamma di microinquinanti in sottoprodotti che, secondo le attuali conoscenze, non sono di norma problematici.

Il punto di forza nell'ozonizzazione risiede nella compattezza di esecuzione che si può integrare molto facilmente in un IDA dotato o meno di filtrazione finale. Nel secondo caso, uno piccolo stadio biologico (p.e. MBBR) sarebbe sufficiente come post-trattamento, anche se ulteriori approfondimenti a riguardo sono tuttora in corso nell'ambito del progetto VSA "Nachbehandlung" in fase di sviluppo nell'ambito del gruppo di lavoro sui microinquinanti.

Il punto di debolezza è invece legato al consumo competitivo di reagente da parte di alcune sostanze – p.e. nitrito ($N-NO_2$) o carbonio organico disciolto (DOC) – o al rischio di formazione di sottoprodotti indesiderati e pericolosi, che, limitato per acque reflue "convenzionali", può essere reale nel caso in cui l'IDA si trovi in prossimità di particolari industrie inceneritori o discariche, i cui reflui sono immessi in canalizzazione. In quest'ambito, particolarmente sensibile è il tema bromuro che, se presente al di sopra di una certa soglia, oltre a consumare ozono e quindi incrementarne il fabbisogno, è trasformato in bromato, sostanza pericolosa per la salute umana.

L'ozono è un gas incolore, d'odore pungente, corrosivo e tossico in aria ad alte concentrazioni, abbastanza solubile in acqua (circa 10 volte più dell'ossigeno).

In soluzione acquosa, l'ozono può reagire direttamente con i composti presenti (reazione diretta) oppure decomporsi con formazione di diversi radicali (tra cui principalmente il radicale $\text{OH}\cdot$), che a loro volta danno luogo a reazioni ossidative indirette.

L'efficienza di degradazione dipende da numerosi fattori:

- proprietà delle sostanze: le sostanze non reagiscono tutte in egual maniera e, a seconda della struttura, le reazioni avvengono in maniera più o meno rapida;
- dosaggio di ozono: maggiore è la quantità, più ozono sarà disponibile per le reazioni;
- DOC e solidi: ozono e radicali OH formati reagiscono anche con la matrice di fondo, per cui dovrebbe essere presente la quantità minima possibile di sostanze organiche;
- nitrito: il nitrito reagisce molto rapidamente con l'ozono, per cui una sua elevata concentrazione aumenta il fabbisogno di ozono;
- valore pH: in presenza di valori pH elevati, l'ozono è meno stabile e si decompone rapidamente. Per l'eliminazione dei microinquinanti tale effetto è trascurabile, ma deve essere comunque preso in considerazione nel dimensionamento del reattore;
- alcalinità e temperatura hanno una influenza sulla stabilità dell'ozono, da ritenersi però trascurabile.

L'ozono è un gas molto instabile che deve essere prodotto sul sito di utilizzo a partire da aria, aria arricchita con ossigeno o da ossigeno puro. La produzione avviene per effetto di una scarica a corona che si produce tra due elettrodi soggetti ad una forte differenza di potenziale.

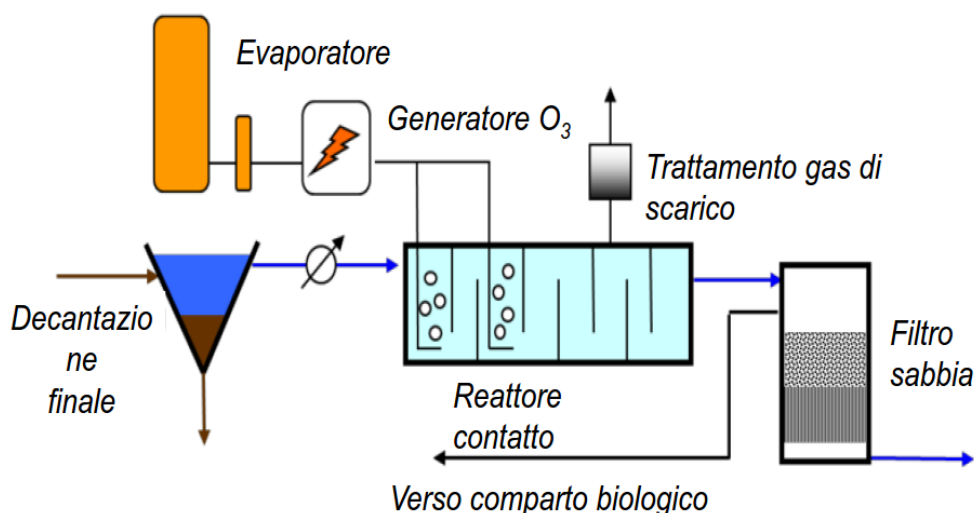


Figura 9 Schema configurazione ozonizzazione. Fonte: VSA

L'ozonizzazione necessita di corrente supplementare, specialmente per il generatore di ozono e la produzione di ossigeno. La potenza allacciata è elevata, per cui l'alimentazione di energia deve essere eventualmente adattata.

L'aumento di consumo energetico è stimato nell'intervallo 0.03-0.1 kWh m⁻³ e dipende in buona sostanza dal DOC presente negli effluenti.

3.2.2 Advanced Oxidation Processes (AOP)

I processi denominati di ossidazione avanzata (AOP) prevedono l'utilizzazione di diversi ossidanti in combinazione tra loro, con altre specie chimiche (catalizzatori) o con agenti fisici (per esempio radiazione UV, ultrasuoni), per migliorare l'efficienza, incrementando la formazione di radicali liberi di elevata reattività.

A titolo di esempio si può prevedere l'uso di:

- ozono in combinazione con l'acqua ossigenata e/o con radiazione UV;
- acqua ossigenata in combinazione con ferro bivalente ed eventualmente UV;
- ozono o acqua ossigenata in combinazione con catalizzatori metallici.

Questi processi sono molto costosi ed utilizzati maggiormente per il trattamento di acque industriali e per la potabilizzazione di acque di falda, mentre non c'è alcun impianto a scala reale per il trattamento di acque reflue e le conoscenze accumulate si basano su prove di laboratorio e piccoli impianti pilota.

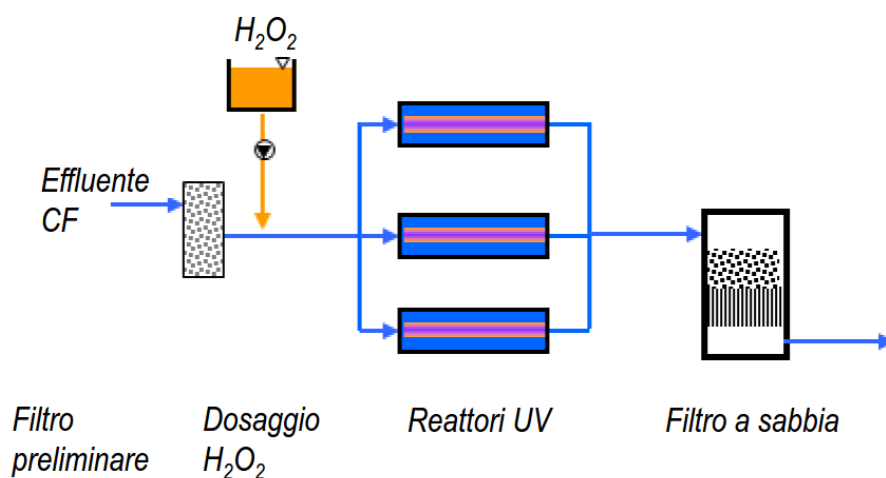


Figura 10 Schema configurazione AOP. Fonte: VSA

3.3.2 Tecnologie a membrane

I processi di trattamento mediante membrane operanti sotto pressione adatti alla rimozione fisica dei microinquinanti sono:

- nanofiltrazione: opera a pressioni inversa comprese tra i 5 ed i 15 bar;
- osmosi inversa: è il trattamento più spinto tra tutti quelli a membrana, opera a pressione molto elevata (25-80 bar), consentendo la rimozione pressoché completa della carica microbiologica.

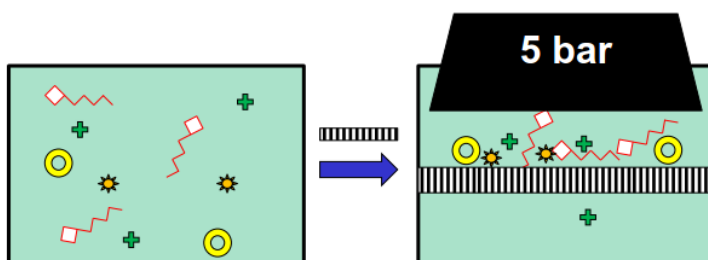


Figura 12 Schema semplificato processi a membrane. Fonte: VSA

Questi processi sono molto efficienti anche per la rimozione dei microinquinanti; tuttavia, risultano molto costosi richiedenti un elevato fabbisogno di energia. Inoltre producono il cosiddetto concentrato, un flusso molto carico di inquinanti e di difficile smaltimento.

4. Valutazione comparativa dei processi

Il presente paragrafo si occupa di sottoporre i diversi processi in precedenza illustrati ad una valutazione comparativa, con lo scopo di individuare le soluzioni meritevoli di approfondimento.

Si è adottato un approccio “multi-criteria”, valutando ogni variante secondo i differenti aspetti di seguito elencati:

- ampiezza efficacia: in considerazione della numerosità dei microinquinanti (> 30'000 sostanze), tale criterio tiene in considerazione lo spettro di azione della tecnologia;
- sottoprodotti/rifiuti: si considera l'eventuale produzione di sottoprodotti o rifiuti che necessitano di un particolare smaltimento o di un ulteriore stadio di trattamento, aspetto che costituisce uno svantaggio;
- applicabilità, intesa quale facilità di integrazione del nuovo stadio all'interno dell'IDA esistente;
- costi: impatto economico, in termini tanto di investimento, quanto di oneri gestionali.

La tabella seguente riassume in maniera efficace le valutazioni sui processi per ogni singolo criterio considerato e, nell'ultima colonna, riporta la possibile idoneità degli stessi, quale risultante delle colonne precedenti.

Processo	Ampiezza Efficacia	Sottoprodotti/Rifiuti	Applicabilità	Costi	Idoneità
PAC	☺	☺	☺	☺	☺
GAC	☺	☺	☺	R	☺/R
Ozonizzazione	☺	☺	☺	☺	☺
AOP	☺	☹/R	?	☹	☹/R
Biologico secondario	☹	☹	☺	☹	☹
Membrane	☺	☹	?	☹	☹

Tabella 2 Valutazione processi: ☺ buono, ☺ sufficiente, ☹ insufficiente, R necessaria ricerca, ? mai applicati in scala reale per rimozione microinquinanti da acque reflue

Dalla tabella si può desumere che i processi con PAC e l'ozonizzazione sono idonei alla rimozione dei microinquinanti nelle acque di scarico degli impianti di depurazione.

La filtrazione con GAC pare essere interessante, specie in combinazione all'ozonizzazione, ma allo stato attuale necessita, come già sottolineato nel paragrafo dedicato, di ulteriori studi e ricerche per valutare al meglio la sua idoneità.

Le altre tecnologie risultano non idonee: i processi AOP così come le membrane sono troppo costosi, comportando peraltro un grado di depurazione eccessivo, mentre i processi biologici, al contrario, non permetterebbero di raggiungere l'efficienza di rimozione desiderata.

Questa valutazione è in linea con quanto suggerito ed indicato dal gruppo di lavoro VSA sui microinquinanti, che individua in PAC ed ozonizzazione le tecnologie al momento di riferimento per la rimozione dei microinquinanti dagli IDA, riconoscendo alla filtrazione su GAC un interessante potenziale che necessita tuttavia di dovuti approfondimenti a livello di ricerca e sperimentazioni.

I due processi sono stati oggetto di numerosi studi (laboratorio e pilota) e si contano oggi, nel panorama elvetico, un impianto in esercizio a scala reale per ciascuna tecnologia:

- Ozonizzazione: ARA Neugut, a Dübendorf (150'000 AE), dalla primavera 2014
- PAC: ARA Bachwis, Herisau (34'000 AE), dall'estate 2015.

Entrambi gli impianti costituiscono due cosiddetti *first mover* e saranno in grado di fornire numerose informazioni importanti per la progettazione dei prossimi impianti.

Il seguente grafico riporta invece i risultati consolidati delle principali sperimentazioni a livello pilota per la rimozione dei microinquinanti secondo le configurazioni più promettenti. In dettaglio:

- stadio a PAC senza ricircolo a diversi dosaggi (PAC)
- stadio a PAC con ricircolo (PAC con R),
- dosaggio di PAC direttamente in biologia (PAC bio)
- ozonizzazione a diversi dosaggi (O_3).

Quale riferimento sono stati considerati degli IDA convenzionali – biologia a fanghi attivi con o senza nitrificazione (FA con nitro, FA senza nitro) – privi di stadio per la rimozione dei microinquinanti.

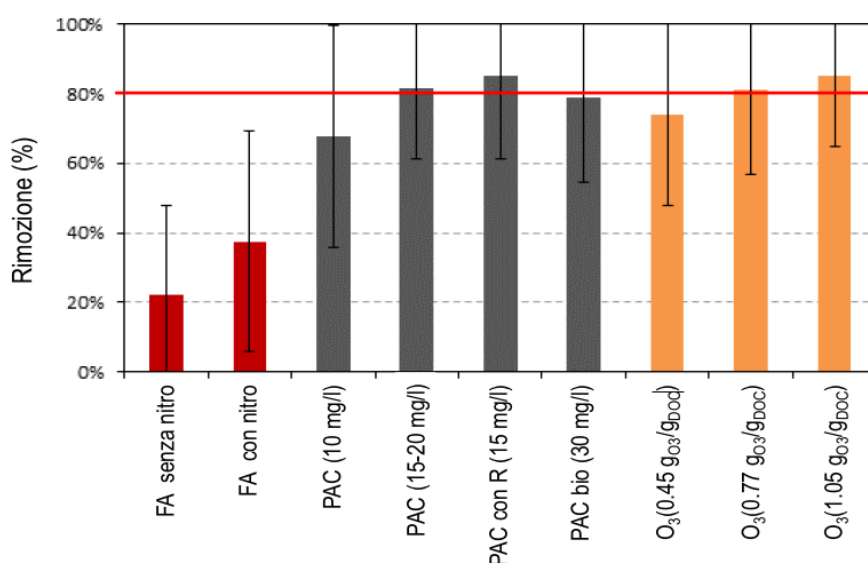


Figura 13 efficienze di rimozione di differenti configurazioni a PAC ed ozonizzazione. Fonte: VSA

I dati in figura confermano come una biologia tradizionale non sia sufficiente a raggiungere un'efficienza di rimozione conforme all'esigenza della nuova OPAC.

Il PAC con ricircolo a una concentrazione di 15 mg l⁻¹ raggiunge oltre l'80 % di efficienza di rimozione, così come l'ozonizzazione con una concentrazione di 0.77 g_{O3} g_{DOC}⁻¹.

Tali valori risultano al momento leggermente superiori rispetto a quanto riscontrato presso i citati *first mover*, a dimostrazione che a scala reale i margini di ottimizzazione gestionali sono al momento ancora piuttosto importanti.

4.1 Conclusioni

In considerazione delle attuali conoscenze scientifiche e dei risultati di studi e sperimentazioni disponibili, si reputa opportuno concentrarsi sulle due tecnologie di riferimento – adsorbimento su PAC ed ozonizzazione – che saranno pertanto approfondite nei seguenti paragrafi.

Sarà in particolare effettuato un pre-dimensionamento delle stesse, così da individuarne gli ingombri e fornire quindi preziose indicazioni ai fini dell'elaborazione del progetto di massimo del nuovo comparto biologico, in cui si dovrà tenere necessariamente conto delle esigenze in termini di spazio del nuovo stadio per il trattamento dei microinquinanti.

Si tiene a precisare, però, che nelle future fasi di progettazione potranno essere comunque incluse ulteriori tecnologie o configurazioni dei processi considerati, qualora le attività di ricerca in corso dovessero fornire dati favorevoli. Si fa in particolare riferimento al GAC, attualmente oggetto di studi e sperimentazioni sia in Svizzera, sia in Germania.

5. Dati di base

5.1 Riepilogo dati di esercizio

Il documento Basi di dimensionamento, redatto dagli scriventi e approvato da SPAAS, definisce i dati di dimensionamento per la progettazione del nuovo comparto biologico e contiene un'analisi e un riepilogo dei dati di esercizio per il quinquennio 2007-2011. Si è ritenuto opportuno estendere questa analisi anche al biennio 2012-2013 per individuare eventuali modifiche sostanziali ai carichi in ingresso all'IDA nel periodo 2009-2013 rispetto al periodo 2007-2011. Questa analisi verrà ripresa e, se necessario, approfondita nell'ambito del progetto di massima per il nuovo comparto biologico dell'IDA.

Di seguito si riportano quindi i carichi in ingresso all'IDA nel periodo di riferimento, così valutati:

- si sono considerati i dati di esercizio frutto delle analisi regolarmente effettuate dal personale IDA;
- si sono determinati la media ed il valore-90% (novantesimo percentile), elaborazione statistica che considera il valore che ha una probabilità di accadimento del 90%. Ciò significa che solo il 10% dei dati (1 su 10) è superiore al valore-90%. L'utilizzo del valore-90% è prassi adottata dai principali studi di ingegneria in Svizzera e consente di dimensionare un impianto in grado di rispettare i limiti di scarico almeno nel 90% dei casi.
- i carichi di COD, BOD, P_{tot} e N_{tot} sono stati determinati al netto dei ricircoli dalla linea fanghi, ossia applicando un fattore di 80% sul dato grezzo, campionato a valle della re-immissione dei ricircoli. Ciò è avvenuto fino alla fine di aprile 2010, quando, nell'ambito delle modifiche previste dalle opere di fasi 1 e 2, si è cominciato a campionare a monte dell'immissione delle acque di risulta.

Anno	Q <i>m³ d⁻¹</i>	Q _{TS} * <i>m³ d⁻¹</i>	COD <i>kg d⁻¹</i>	BOD ₅ <i>kg d⁻¹</i>	P _{tot} <i>kg d⁻¹</i>	P-PO ₄ <i>kg d⁻¹</i>	N _{tot} <i>kg d⁻¹</i>	N-NH ₄ <i>kg d⁻¹</i>	SS <i>kg d⁻¹</i>	n. cam pion.
2007	13'990	12'537	3'767	1'600	62.0	19.5	405	271	2'210	52
2008	18'199	14'799	3'881	1'635	53.0	19.0	452	295	2'395	42
2009	16'595	14'248	3'989	1'745	54.2	18.7	457	279	2'370	51
2010	18'669	16'135	4'107	1'793	56.7	20.3	490	261	2'134	50
2011	15'412	13'556	3'895	1'748	47.4	21.9	494	287	1'626	54
2012	14'772	12'161	3'943	1'808	47.5	15.4	544	329	1'946	52
2013	17'017	13'580	3'921	1'714	51.9	19.1	480	287	2'042	51
07 - 11	16'573	14'255	3'928	1'704	54.7	19.9	459	279	2'147	249
09 - 13	16'493	13'936	3'971	1'761	51.5	19.1	493	289	2'023	258

Tabella 3 Carichi idraulico ($m^3 d^{-1}$) e dei principali inquinanti ($kg d^{-1}$) in ingresso all'IDA.
Dati 2007-2013. Media.

Anno	Q <i>m³ d¹</i>	Q _{TS} * <i>m³ d¹</i>	COD <i>kg d¹</i>	BOD ₅ <i>kg d¹</i>	P _{tot} <i>kg d¹</i>	P-PO ₄ <i>kg d¹</i>	N _{tot} <i>kg d¹</i>	N-NH ₄ <i>kg d¹</i>	SS <i>kg d¹</i>	n. cam pion.
2007	17'476	12'537	5'334	2'127	80.0	23.3	496	334	2'878	52
2008	28'137	14'799	5'190	2'528	77.2	24.0	580	404	3'569	42
2009	23'518	14'248	5'429	2'241	71.9	22.3	538	351	2'935	51
2010	23'735	16'135	5'282	2'448	83.3	26.0	602	399	3'025	50
2011	20'616	13'556	4'957	2'311	61.7	25.3	668	375	2'373	54
2012	22'158	12'161	5'430	2'266	66.4	20.1	715	465	3'025	52
2013	27'242	13'580	4'637	2'317	52.8	22.2	734	411	2'423	51
07 - 11	22'696	14'255	5'239	2'331	74.8	24.2	557	373	2'956	249
09 - 13	23'454	13'936	5'147	2'317	67.2	23.2	651	400	2'756	258

Tabella 4 Carichi idraulico (*m³ d¹*) e dei principali inquinanti (*kg d¹*) in ingresso all'IDA.
Dati 2007-2013. Valore-90%.

Al fine di poter effettuare una valutazione comparativa dei differenti composti inquinanti, identificando, così, quelli di maggior peso, si sono successivamente valutati gli abitanti equivalenti corrispondenti, utilizzando i carichi specifici di seguito indicati:

- COD: 120 g AE-1 d-1
- BOD₅: 60 g AE-1 d-1
- P_{tot}: 1.8 g AE-1 d-1
- P-PO₄: 0.6 g AE-1 d-1
- N_{tot}: 12 g AE-1 d-1
- N-NH₄: 7.5 g AE-1 d-1
- SS: 70 g AE-1 d-1

Anno	COD AE	BOD ₅ AE	P _{tot} AE	P-PO ₄ AE	N _{tot} AE	N-NH ₄ AE	SS AE
2007	31'391	26'671	34'444	32'434	33'764	36'138	31'578
2008	32'341	27'246	30'157	32'496	37'667	39'376	34'218
2009	35'418	30'164	30'107	31'187	38'062	37'264	33'856
2010	35'464	30'804	33'517	33'860	42'813	37'343	30'487
2011	32'459	29'126	26'342	36'581	41'147	38'455	23'222
2012	32'857	30'132	26'376	25'655	45'330	43'890	27'800
2013	30'325	30'589	24'469	28'401	46'388	43'184	29'165
07 - 11	32'979	28'585	30'817	33'213	38'502	37'552	30'672
09 - 13	32'869	29'946	28'065	31'039	42'560	39'864	28'906

Tabella 5 Carichi dei principali inquinanti (AE) in ingresso all'IDA.
Dati 2007-2013. Media.

Anno	COD	BOD ₅	P _{tot}	P-PO ₄	N _{tot}	N-NH ₄	SS
	AE	AE	AE	AE	AE	AE	AE
2007	44'453	35'445	44'461	38'815	41'356	44'533	41'115
2008	43'251	42'132	42'979	40'114	48'326	53'873	50'992
2009	45'243	37'357	39'942	37'238	44'862	46'754	41'932
2010	43'824	40'608	48'433	41'379	51'627	53'896	43'207
2011	41'311	38'513	34'269	42'153	55'672	50'031	33'898
2012	45'246	37'722	36'891	33'568	59'592	61'977	43'220
2013	38'640	38'613	29'350	36'960	61'130	54'756	34'608
07 - 11	43'617	38'811	42'017	39'940	48'369	49'817	42'229
09 - 13	42'853	38'573	37'777	38'260	54'577	53'483	39'373

Tabella 6 Carichi dei principali inquinanti (AE) in ingresso all'IDA.
Dati 2007-2013. Valore-90%.

Rispetto al periodo 2007-2011, nel quinquennio 2009-2013 non si notano alterazioni particolari dei carichi in ingresso, sia dal punto di vista idraulico che inquinante. Vi è stato un lieve aumento (+10% ca) dei carichi di azoto, un'altrettanta lieve diminuzione per i carichi di fosforo totale e solidi sospesi, mentre non vi sono modifiche nei carichi idraulici (portate) e di carbonio.

5.2 Dati di dimensionamento

Per il dimensionamento degli impianti di rimozione dei microinquinanti tramite adsorbimento con PAC o ozonizzazione sono da considerarsi i seguenti parametri caratterizzanti il flusso in ingresso allo stadio:

- portata;
- concentrazione di solidi sospesi totali SST;
- concentrazione di azoto nitroso N-NO₂;
- concentrazione di carbonio organico disciolto DOC.

I primi sono stati determinati partendo dai dati di esercizio descritti nel capitolo precedente; per gli altri parametri, poiché il comparto biologico dell'IDA sarà oggetto di completo rinnovamento, sono stati considerati dei valori in uscita dalla biofiltrazione secondo indicazioni VSA, esperienza degli scriventi ed esigenze allo scarico stabilite dall'OPAc (già riportate nel rapporto Basi di dimensionamento e nello Studio di fattibilità per il nuovo comparto biologico).

Portata

Il gruppo di lavoro sui microinquinanti si è chinato, nell'ambito di uno dei primi progetti ufficialmente conclusi (11 novembre 2015, sulla determinazione dei quantitativi di acque da trattare nello stadio dei microinquinanti al fine di raggiungere le esigenze di trattamento contenute nella nuova OPAC.

I risultati, raccolti in una pubblicazione orientativa (Empfehlung) per progettisti e gestori di IDA attualmente in consultazione, non sono stravolgenti, benché frutto di numerose simulazioni. È infatti necessario sottoporre a trattamento tutta la portata trattata dal comparto biologico, salvo eccezioni legate a particolari condizioni al contorno del comprensorio.

In considerazione di ciò, per l'IDA di Chiasso, la portata di dimensionamento per i volumi di trattamento, nonché i generatori di ozono è la portata massima istantanea transitante nell'IDA, definita **528 l/s**.

Per quanto riguarda la portata media giornaliera, necessaria alla stima dei consumi p.e. di prodotti chimici (PAC, precipitante, flocculante, ozono), conformemente alle basi di dimensionamento assunte per lo sviluppo dello studio di fattibilità e del progetto di massima per il nuovo comparto biologico, si è assunto il valore **17'530 m³/d**.

Solidi sospesi totali

La concentrazione di solidi sospesi totali ha un influsso sul processo di adsorbimento con carboni attivi, andando ad influenzare il dosaggio di PAC necessario per la rimozione dei microinquinanti.

La configurazione del nuovo comparto biologico scelta per l'IDA di Pizzamiglio dovrebbe consentire il raggiungimento di valori piuttosto contenuti; si è pertanto assunta una concentrazione di riferimento pari a **10 mg l⁻¹**.

Azoto nitroso

La concentrazione di azoto nitroso (N-NO₂) influenza il processo di ozonizzazione, andando ad incidere sul consumo di ozono. L'OPAC stabilisce quale limite di scarico per l'azoto nitroso N-NO₂ il valore di **0.3 mg l⁻¹** (valore-90%), assunto prudenzialmente nel presente studio. Per una biofiltrazione ben funzionante la concentrazione di nitriti in uscita da esso si può considerare nulla.

Carbonio organico disciolto

Anche il DOC influenza il processo di ozonizzazione, andando a reagire con l'ozono ed incidendo pertanto sul consumo dello stesso. Sempre l'OPAC stabilisce il valore-90% allo scarico per DOC di 10 mg l⁻¹. Un trattamento biologico correttamente dimensionato e ben funzionante consente di raggiungere valori compresi tra 5 e 6 mg l⁻¹.

In considerazione della presenza della discarica Valle della Motta nel comprensorio CDACD, benché con influsso limitato come evincibile dal relativo studio effettuato nell'ambito della de-

terminazione delle basi di dimensionamento per il nuovo comparto biologico, si è assunta prudenzialmente una concentrazione DOC pari a **8 mg l⁻¹**.

La seguente tabella riassume i valori dei parametri necessari per il dimensionamento dei processi di rimozione dei microinquinanti.

Parametro		Unità	Valore
Portata massima istantanea	Q _{MAX}	l s ⁻¹	528
		m ³ h ⁻¹	1'901
Portata media giornaliera	Q _{d,TS}	m ³ d ⁻¹	17'530
Solidi sospesi totali	SST	mg l ⁻¹	10.0
Azoto nitroso	N-NO ₂	mg l ⁻¹	0.0
Carbonio organico disciolto	DOC	mg l ⁻¹	8.0

Tabella 7 Riepilogo dati di dimensionamento

6. Elaborazione e dimensionamento delle varianti processuali

I seguenti paragrafi contengono un approfondimento delle possibili varianti processuali delle tecnologie per la rimozione dei microinquinanti che hanno superato la prima vagliatura (paragrafo 4.4). In dettaglio:

- dosaggio di carbone attivo in polvere (PAC) con bacini di sedimentazione;
- dosaggio di carbone attivo in polvere (PAC) senza bacini di sedimentazione;
- ozonizzazione.

Per ognuna di queste si è provveduto ad una stima degli ingombri complessivi, valutati come superficie necessaria per l'espletamento delle relative reazioni incrementata di un fattore 1.5, così da tenere in considerazione pure le infrastrutture tecniche accessorie (p.e. locali elettrici, locali strumentazione...).

Indipendentemente dal processo, lo stadio di trattamento è inserito a valle del comparto biologico dell'IDA e a monte della filtrazione, come rappresentato schematicamente in Figura 14. Se, per i processi adsorbitivi, quest'ultima ha essenzialmente funzione di separazione del materiale adsorbente – tipicamente residuo (configurazione con sedimentazione) o più raramente dell'intero quantitativo (configurazione senza sedimentazione) – per l'ozonizzazione ha lo scopo di ritenere i sottoprodotti di reazione.

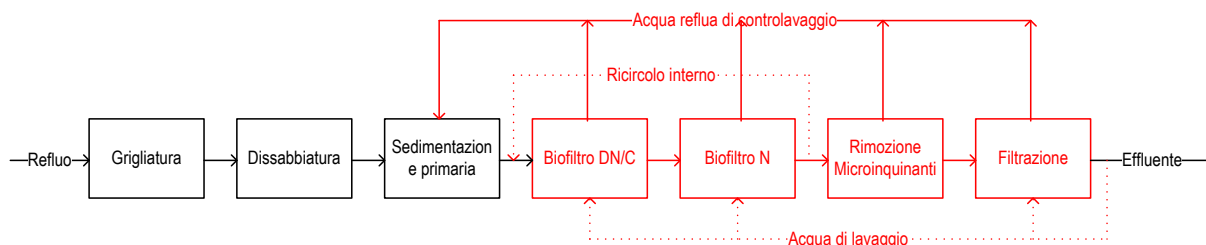


Figura 14 Schema di processo IDA Chiasso con nuovo comparto biologico a biofiltrazione e stadio per la rimozione dei microinquinanti

6.1 Dosaggio di carbone attivo in polvere con bacini di sedimentazione

Come già descritto nel paragrafo 3.1.1, i microinquinanti nelle acque di scarico aderiscono al carbone attivo in polvere dosato e vengono quindi estratti dal refluo. Prerequisito per il buon funzionamento del processo è quindi una rimozione quasi completa dalle acque del carbone in polvere dosato. Al contrario dell'ozonizzazione, l'adsorbimento tramite carbone attivo non produce alcun prodotto intermedio, sconosciuto o indesiderato. I microinquinanti vengono effettivamente eliminati o rimangono invariati nel refluo.

Lo schema di processo attualmente più utilizzato e studiato è rappresentato in figura 15. Le acque reflue in uscita dal comparto biologico sono inviate ad un reattore di adsorbimento (o di contatto), nel quale si dosano il PAC ed i precipitanti. I microinquinanti vengono adsorbiti dal PAC, che è successivamente separato attraverso uno stadio di sedimentazione dedicato. Una fase di filtrazione finale separa il PAC rimanente e i solidi sospesi dalle acque di scarico.

La filtrazione può essere sia di volume (letto filtrante, p.e. sabbia), sia di superficie (p.e. filtro a tela), poiché a differenza dell'ozonizzazione non sono necessari processi biologici di filtrazione. Il fango in eccesso proveniente dalla sedimentazione, così come l'acqua di lavaggio della filtrazione, contenente ancora una parte di carbone attivo, vengono riciclate in ingresso all'impianto. Il PAC contenuto in questi flussi verrà asportato in fase di dissabbiatura e di sedimentazione primaria. Il ricircolo nel comparto biologico non è possibile, in quanto andrebbe molto probabilmente ad intasare i filtri.

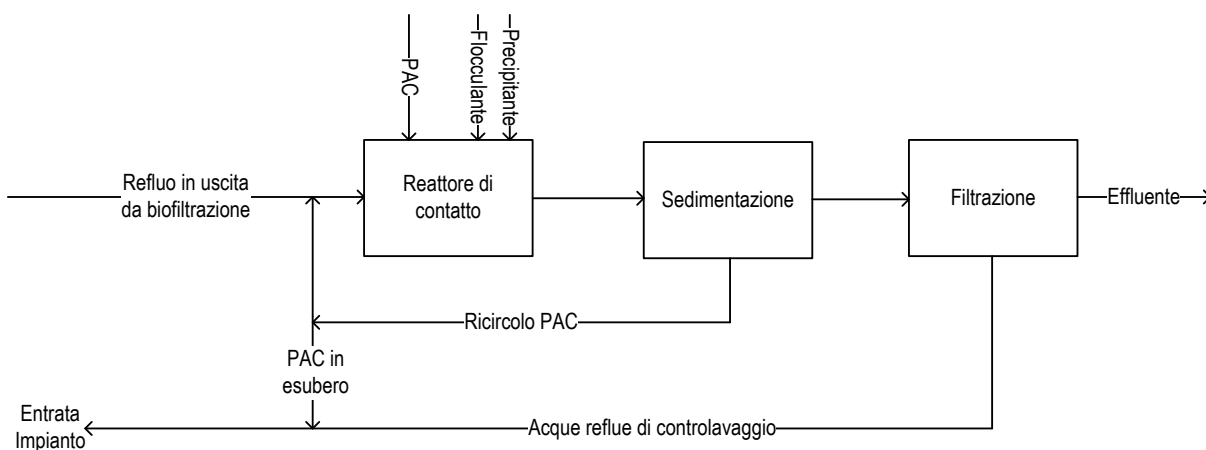


Figura 15 Schema di configurazione dosaggio PAC con sedimentazione

Esistono due possibilità per ridurre l'ingombro di questa variante che, come si vedrà in sede di calcolo, risulta piuttosto importante:

- Sedimentazione a pacchi lamellari
- Filtrazione su tela invece di una filtrazione su sabbia.

Al momento non vi sono esperienze consolidate nell'ambito del trattamento microinquinanti; pertanto si percorrerà con il presente studio la via tradizionale. Questo aspetto potrà essere oggetto di analisi nelle successive fasi progettuali.

6.1.1 Dimensionamento

Per il dimensionamento si sono considerate 2 linee di trattamento. I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle.

Il dimensionamento completo della filtrazione è escluso dal presente dimensionamento, essendo parte integrante delle attività di progettazione relativa al nuovo comparto biologico. Ci si limita soltanto ad indicare il carico superficiale che non può normalmente essere superato, ossia 9 m h^{-1} .

Parametro	Unità	Valore
Tempo di contatto	min	30.0
Volume utile reattore di contatto	m³	475
Profondità (h)	m	5.00
Superficie utile reattore di contatto	m²	95.0
Larghezza (l)	m	7.50
Lunghezza (L)	m	12.7

Tabella 8 Dimensionamento reattore di contatto PAC

Parametro	Unità	Valore
Tempo di sedimentazione	h	2.00
Volume utile di sedimentazione	m³	1'901
Carico idraulico superficiale	m h ⁻¹	2.50
Superficie utile di sedimentazione	m²	380
Profondità (h)	m	5.00
Larghezza (l)	m	10.0
Lunghezza (L)	m	38.0

Tabella 9 Dimensionamento sedimentazione PAC

Parametro	Unità	Valore
Superficie utile reattore di contatto (2x)	m ²	190
Superficie utile di sedimentazione (2x)	m ²	760
Fattore di ingombro	-	1.5
Ingombro superficiale complessivo PAC	m²	1'425

Tabella 10 Ingombri superficiali complessivi PAC (senza filtrazione)

6.1.2 Apparecchiature elettromeccaniche

Gli impianti elettromeccanici necessarie comprendono principalmente:

- serbatoio di accumulo del PAC e sistema di dosaggio;
- serbatoio e sistema di dosaggio per precipitanti e flocculanti;
- dispositivi di miscelazione nel reattore di contatto;
- raschiatori e pompe di ricircolo dei fanghi nel reattore di sedimentazione.

Il consumo di risorse è riportato nella seguente tabella. I dati specifici sono in linea con le informazioni più aggiornate.

Parametro	Unità	Valore
Portata media giornaliera	m ³ /d	17'530
Fabbisogno di PAC	g _{PAK} /m ³	12.0
	kg _{PAK} /d	210
	t _{PAK} /y	76.8
Fabbisogno di precipitante	g _{FM} /m ³	3.00
	kg _{FM} /d	52.6
	t _{FM} /y	19.2
Fabbisogno di flocculante	g _{FHM} /m ³	0.400
	kg _{FHM} /d	7.01
	t _{FHM} /y	2.56

Tabella 11 Consumo risorse PAC

6.2 Aggiunta di carbone attivo in polvere senza bacini di sedimentazione

La configurazione illustrata in precedenza occupa molto spazio, soprattutto a causa della sedimentazione (tempo di residenza di 2 ore). Una alternativa è l'eliminazione di questo stadio, utilizzando la filtrazione finale come stadio di separazione refluo/PAC, come mostrato schematicamente nella figura 17.

Non vi è un ricircolo del PAC all'interno del reattore di contatto, bensì le acque di lavaggio della filtrazione cariche di adsorbente sono re-immesse in testa all'impianto, dove la dissabbiatura e la sedimentazione primaria garantiranno una separazione dello stesso.

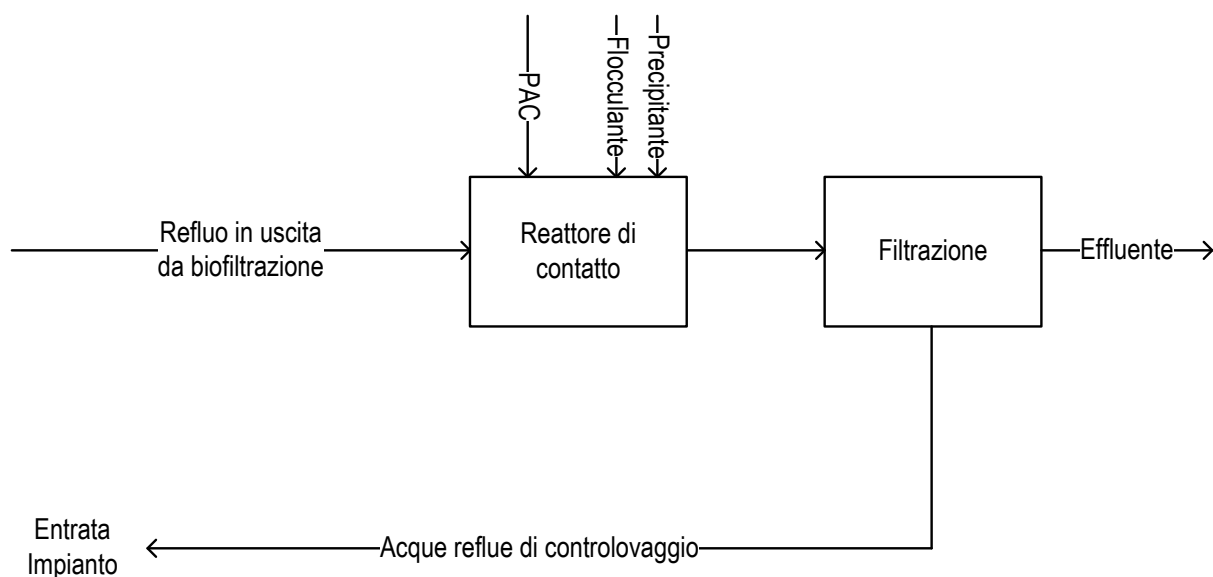


Figura 16 Schema di configurazione dosaggio PAC senza sedimentazione

In questo caso, in considerazione del ruolo “attivo” e non di sicurezza (Polizeistufe) della filtrazione, non vi è però la possibilità di prevedere una soluzione compatta a tela.

Il dimensionamento è identico a quanto descritto nel paragrafo 6.1, con la differenza che il reattore di sedimentazione è eliminato.

Per quanto riguarda il consumo di prodotti chimici, PAC in primis, c'è da attendersi un incremento attorno al 25% rispetto alla soluzione con sedimentazione.

6.3 Ozonizzazione

La configurazione impiantistica per il processo di ozonizzazione, rappresentata schematicamente in figura 18, prevede gli elementi di seguito elencati:

- reattore di ozonizzazione (reattore di contatto): la miscela ozono-ossigeno viene iniettata nel reattore, possibilmente tramite bolle fini come in una vasca a fanghi attivi. L'ozono reagisce con i microinquinanti e li trasforma in sottoprodotti di reazione, innocui secondo lo stato attuale di conoscenza. Il reattore deve essere ermetico per evitare fughe di gas;
- filtrazione finale: durante il processo di ozonizzazione si creano dei sottoprodotti di reazione e una parte di materiale organico facilmente biodegradabile (BOD_5), per l'eliminazione dei quali si prevede uno stadio di filtrazione biologicamente attivo (filtrazione di volume). Una filtrazione di superficie non sarebbe sufficiente.

Si rende attenti come, nel caso in cui non vi siano restrizioni rispetto alle esigenze minime OPAC in termine di solidi sospesi, un comparto biologico compatto a biomassa adesa (MBBR) potrebbe essere invece sufficiente. Nel presente studio si ipotizza tuttavia la realizzazione di una filtrazione in volume, come indicato nelle attività di progettazione relative al nuovo comparto biologico.

- serbatoio di ossigeno / impianto di preparazione dell'aria: l'ozono gassoso è molto instabile e deve essere generato in loco. Base per la produzione di azoto sono l'ossigeno, che può essere fornito e stoccato in un serbatoio o l'aria ambiente che deve essere trattata (rimozione di solidi, umidità...);
- generatore di ozono: l'ozono è generato con notevole dispendio di energia. Circa il 90% dell'energia fornita è ottenuta sotto forma di calore che deve essere dissipata con gruppo di raffreddamento;
- trattamento gas di scarico: il gas di scarico (off-gas) proveniente dal reattore di ozonizzazione deve essere condotto a un distruttore dell'ozono residuo, che viene convertito in ossigeno molecolare e liberato in atmosfera;
- misure di sicurezza: gli spazi in cui dell'ozono può fuoriuscire devono essere forniti di rivelatori di gas.

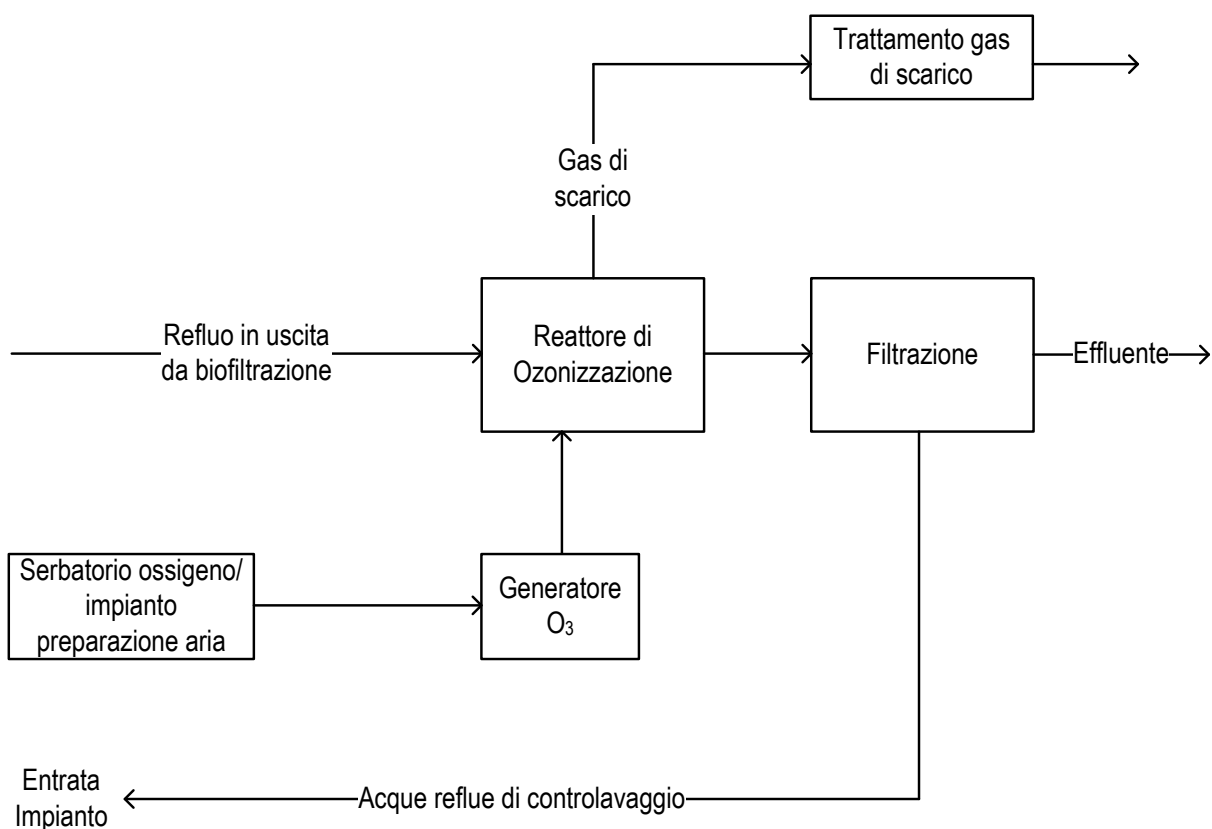


Figura 17 Schema di configurazione ozonizzazione

6.3.1 Dimensionamento

Per il dimensionamento si sono considerate 2 linee di trattamento. I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle.

Il dimensionamento completo della filtrazione è escluso dal presente dimensionamento, essendo parte integrante delle attività di progettazione relativa al nuovo comparto biologico. Ci si limita soltanto ad indicare il carico superficiale che non può normalmente essere superato, ossia 12 m h⁻¹.

Parametro	Unità	Valore
Tempo di contatto	min	20
Volume utile reattore di contatto	m³	317
Profondità (h)	m	5
Superficie utile reattore di contatto	m²	63.4
Larghezza (l)	m	7.5
Lunghezza (L)	m	8.4

Tabella 12 Dimensionamento reattore di contatto O₃

Parametro	Unità	Valore
Superficie utile reattore di contatto (2x)	m ²	127
Fattore di ingombro	-	1.5
Ingombro superficiale complessivo O₃	m²	195

Tabella 13 Ingombri superficiali complessivi O₃ (senza filtrazione)

Parametro	Unità	Valore
Portata istantanea massima	l/s	528
	m ³ /h	1'901
Portata media giornaliera	m ³ /d	17'530
DOC	mg/l	8.0
N-NO ₂	mg/l	0.300
Fabbisogno di ozono DOC	g _{O3} /g _{DOC}	0.600
Fabbisogno di punta ozono DOC	kg _{O3} /h	9.12
Fabbisogno di ozono N-NO ₂	g _{O3} /g _{N-NO2}	3.40
Fabbisogno di punta ozono N-NO ₂	kg _{O3} /h	1.94
Margine di sicurezza	-	1.20
Fabbisogno massimo di ozono	kg_{O3}/h	13.3
Fabbisogno specifico di ozono DOC	g _{O3} /g _{DOC}	0.600
Fabbisogno giornaliero di ozono DOC	kg _{O3} /d	84.1
Fabbisogno annuale di ozono DOC	t _{O3} /y	30.7
Fabbisogno specifico di ozono N-NO ₂	g _{O3} /g _{N-NO2}	3.40
Fabbisogno giornaliero di ozono N-NO ₂	kg _{O3} /d	17.9
Fabbisogno annuale di ozono N-NO ₂	t _{O3} /y	6.53
Fabbisogno specifico di ossigeno	kg _{O2} /kg _{O3}	10.0
Fabbisogno annuale di ossigeno	t_{O2}/y	372
Fabbisogno energetico specifico	kWh/kg _{O3}	10.0
Fabbisogno annuale di energia	MWh/y	372

Tabella 14 Dimensionamento generatore di ozono e fabbisogno energetico.

6.3.2 Elementi salienti

Ossigeno/raffreddamento/recupero di calore

Come già detto, l'ozono è un gas instabile che deve essere generato da ossigeno in loco. L'ossigeno può essere acquistato e conservato in serbatoi dedicati. In generale, è anche possibile utilizzare l'ossigeno presente nell'aria ambiente, ma per motivi tecnici e soprattutto economici questa soluzione non è d'interesse.

L'ossigeno liquido viene quindi stoccato in un serbatoio dedicato, installato a fianco del reattore di contatto. Il riempimento del serbatoio avviene da auto-cisterne attraverso tubazioni installate sul serbatoio. L'alimentazione avviene in maniera automatica, l'ossigeno è convertito allo stato gassoso da un evaporatore e poi alimentato al generatore di ozono.

Si rende necessario inoltre il raffreddamento del generatore di ozono tramite scambiatore di calore. Eventuali possibilità di recupero del calore dovranno essere studiate in dettaglio.

Alimentazione dell'ozono/ozono residuo

Il gas contenente ozono viene insufflato nel reattore di contatto dal basso in modo che la diffusione in acqua sia il più efficiente possibile. L'insufflazione avviene normalmente tramite diffusori a bolle fini in ceramica.

Il gas residuo all'interno del reattore di contatto viene estratto da un ventilatore e convogliato ad un distruttore dell'ozono residuo, montati sul tetto dell'edificio. L'ozono viene convertito in ossigeno molecolare tramite un catalizzatore. Un riscaldatore elettrico integrato riscalda il gas di scarico a 20° C in modo che si impedisca la condensazione di umidità nel materiale catalitico. Il consumo di energia del ventilatore e del riscaldamento è basso (<2 kW).

Controllo dell'ozonizzazione

Il controllo di un reattore di ozonizzazione deve garantire due punti in particolare:

- un adeguato apporto di ozono al reattore, al fine di ottenere le prestazioni di rimozione desiderate;
- nessun sovradosaggio dell'ozono, in modo che esso non sia convogliato alla filtrazione.

Esistono diverse modalità di dosaggio dell'ozono, che non saranno discusse in questo studio (ad esempio proporzionale al carico di DOC nell'effluente della nitrificazione, proporzionale alla portata, aggiunta costante...). Almeno una sonda per l'ozono in linea è necessaria per monitorare i valori di ozono nell'effluente dello stadio.

Le tecniche di misura e monitoraggio devono essere discusse e analizzate più a fondo nelle successive fasi di progettazione.

Sicurezza

L'ozono è un potente gas ossidante. Nell'aria ambiente non deve essere superata una concentrazione di 200 µg m⁻³. Di conseguenza, si rende necessaria l'installazione di numerose misure di sicurezza (ad esempio, rilevatore di ozono per l'aria ambiente, misurazione dell'ozono in acqua...), l'installazione di almeno un allarme e/o di un arresto dei generatori di ozono. Queste precauzioni e un personale qualificato, come mostrato negli impianti in esercizio, riducono sensibilmente il rischio d'incidente.

6.4 Proposte “chiavi in mano”

Alcuni grandi fornitori di tecnologie ambientali hanno sviluppato la propria proposta “chiavi in mano” con lo scopo primario di realizzare qualcosa di compatto ed efficiente.

Nel presente paragrafo si riportano le due principali proposte che offre il mercato svizzero, indicando, per ciascuna di esse, l’ingombro complessivo che si è potuto stimare a partire dal dato chiave del massimo idraulico carico superficiale ammissibile.

Si sottolinea che, al fine di un’informazione più completa e precisa, andrebbe richiesta un’offerta di massima, operazione al momento ritenuta prematura, anche in considerazione dell’esiguo numero di applicazioni a scala reale attualmente in esercizio.

Per questo motivo, le due proposte sono unicamente citate nel presente studio, ma non sono state considerate nell’analisi comparativa.

6.4.1 Acitflo®Carb (Veolia – Alpha Wassertechnik)

Il processo patentato Actiflo®Carb utilizza questo tipo di sedimentazione e il suo possibile impiego per l’eliminazione dei microinquinanti è stato oggetto di una ricerca presso l’IDA Schönaue, Cham, nel canton Zugo. Pure il gruppo di lavoro VSA per i microinquinanti sta approfondendo la tecnologia, che consentirebbe di contenere il fabbisogno di superficie dei processi adsorbitivi, allo stato attuale uno degli elementi più critici degli stessi specie per situazioni con limitata disponibilità di spazio come Chiasso.

Come mostrato in Figura 18, esso prevede un reattore di contatto nel quale vengono dosati il PAC, i flocculanti, i precipitanti e della microsabbia per aiutare il processo di formazione di fiocchi. La sedimentazione a pacchi lamellari separa il flusso PAC+microsabbia dal refluo e lo ricircola in testa al reattore di contatto, come nello schema tipico.

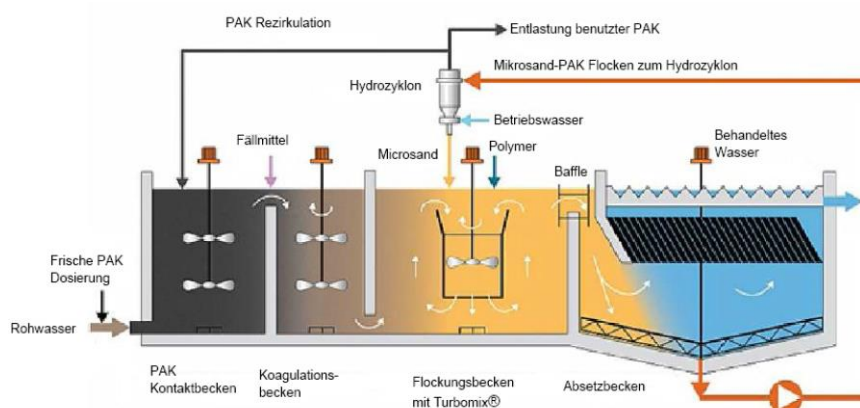


Figura 18 Schema di processo Actiflo®Carb (fonte: VSA/Swissmem)

Il Rapporto finale sulla ricerca effettuata mostra come il processo in questione sia interessante e possa trovare il suo spazio nei processi per la rimozione dei microinquinanti. Vantaggio notevole rispetto al processo tradizionale è l’ingombro superficiale ridotto, in quanto il carico

superficiale nella sedimentazione di questo tipo è di 30-50 m h⁻¹ rispetto a 2-2.5 m h⁻¹ di una sedimentazione tradizionale. Per contro, i costi di esercizio aumentano a causa della manutenzione dei pacchi lamellari.

A livello di dimensionamento, la zona di contatto è stata assunta equivalente a quanto ipotizzato per il PAC (paragrafo 6.1). La zona denominata “ActifloCarb” è stata dimensionata come da tabella seguente, ipotizzando 2 linee di trattamento.

Parametro	Unità	Valore
Carico idraulico superficiale	m h ⁻¹	30
Superficie utile zona ActifloCarb	m²	31.7
Superficie utile reattore di contatto	m²	95.0
Superficie utile reattore di contatto (2x)	m ²	63.4
Superficie utile di sedimentazione (2x)	m ²	190
Fattore di ingombro	-	1.5
Ingombro superficiale complessivo PAC	m²	380

Tabella 15 Dimensionamento Actiflo®Carb

6.4.2 PulsaGreen (Degremont – Techfina)

La seconda tecnologia alternativa ai tradizionali sistemi PAC si basa sulla presenza di un reattore con una “PAC blanket” di contatto ed adsorbimento dei microinquinanti ed una successiva sedimentazione a pacchi lamellari. L'alimentazione di questo reattore compatto è caratterizzata da un andamento ad impulsi, che comporta una continua espansione e sedimentazione dello strato di carboni attivi, attraverso il quale filtra il flusso di refluo da trattare.

Come mostrato nella figura seguente, esso prevede l'immissione contemporanea al flusso in ingresso di carbone attivo in polvere e flocculanti.

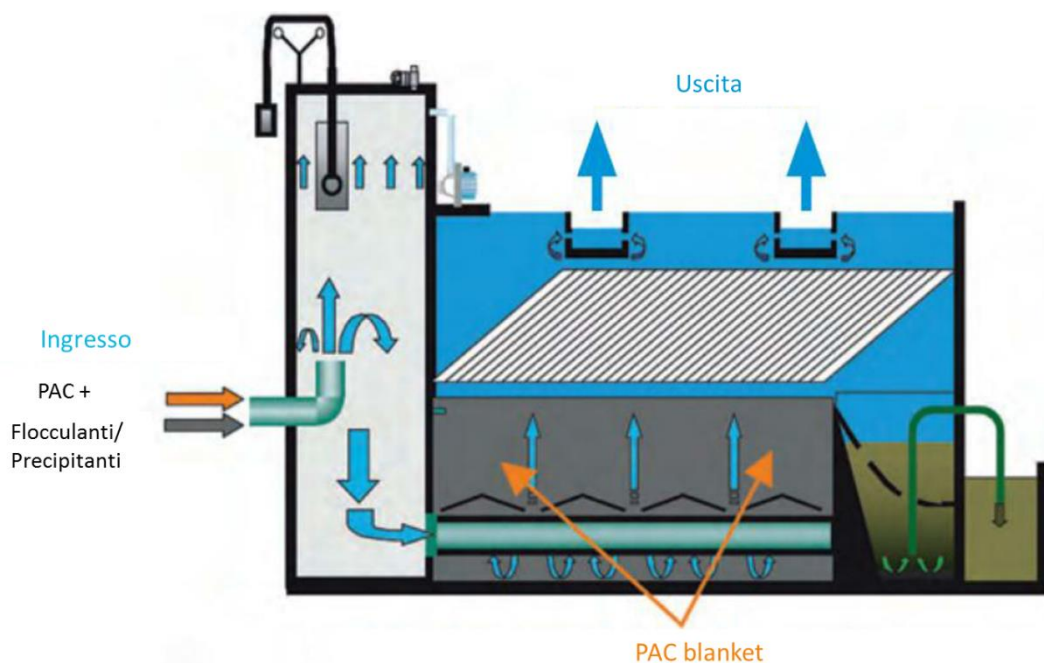


Figura 19 Schema di processo PulsaGreen

A livello di dimensionamento, si sono ipotizzate 2 linee di trattamento, con ingombro complessivo risultante come da seguente tabella.

Parametro	Unità	Valore
Carico idraulico superficiale	m h ⁻¹	6.00
Superficie utile PulsaGreen	m²	158
Superficie utile PulsaGreen (2x)	m ²	317
Fattore di ingombro	-	1.5
Ingombro superficiale complessivo PAC	m²	475

Tabella 16 Dimensionamento PulsaGreen

6.5 Valutazione e confronto delle varianti

Il presente paragrafo si occupa di effettuare una valutazione multi-criteri delle configurazioni

- ingombro superficiale, valutato applicando un fattore di 1.5 alla superficie necessaria all'espletamento delle reazioni, così da considerare pure gli ingombri delle infrastrutture tecniche accessorie
- rispetto dei requisiti di scarico, con riferimento alle esigenze della nuova OPAC (stato attuale delle conoscenze, paragrafo 2.2)
- effetto su trattamento fanghi, in termini sia di quantitativi da smaltire, sia effetti sui processi attivi a livello di linea fanghi
- effetto su rendimenti di depurazione linea acque, a seguito di eventuali ricircoli di materiale
- rischio di corrosione e/o abrasione da parte dei reagenti utilizzati
- sicurezza nello stoccaggio e dosaggio del materiale, eventuali rischi per la salute umana e per l'ambiente
- costi di investimento e gestione valutati mediante le curve di costo del rapporto "Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser" del rapporto BG 2012 su mandato dell'UFAM.

I successivi sottoparagrafi si occupano ciascuno di valutare le tre opzioni criterio per criterio.

6.5.1 Ingombro superficiale

Nella seguente tabella sono riassunte le superfici necessarie per ciascuna delle tre configurazioni analizzate (post-trattamento escluso).

Processo / configurazione	Superficie (m ²)
PAC con sedimentazione	1'425
PAC senza sedimentazione	285
Ozonizzazione	195

Tabella 17 Superfici necessarie per l'espletamento delle reazioni

Conclusione: PAC senza sedimentazione ed ozonizzazione hanno un ingombro complessivo del tutto paragonabile: si tratta, infatti, di una soluzione che prevede un reattore di contatto, pur di geometria e caratteristiche non del tutto identiche. La classica configurazione PAC con sedimentazione è invece notevolmente più ingombrante.

6.5.2 Rispetto dei requisiti di scarico

- PAC con sedimentazione: il ricircolo del PAC all'interno del comparto biologico non è possibile per un reattore di biofiltrazione, come già sottolineato nel paragrafo 3.1.1. Per questo motivo, l'efficienza di rimozione dei microinquinanti, a parità di dosaggio di adsorben-

te, potrebbe essere inferiore rispetto allo stesso processo in un impianto a fanghi attivi. Ciò potrebbe portare, nella peggiore delle ipotesi, a rispettare difficilmente i requisiti di scarico, imponendo quindi un incremento di dosaggio di PAC e quindi di costi gestionali

- PAC senza sedimentazione: valgono le analoghe considerazioni del processo con PAC+sedimentazione.
- Ozonizzazione: con un dimensionamento appropriato e il funzionamento regolare dell'impianto è garantita l'eliminazione dell'80% e oltre dei microinquinanti.

Conclusione: il principio di ricircolo del PAC all'interno del comparto biologico non può essere applicato presso l'IDA Chiasso, trattandosi di una di biofiltrazione. È quindi probabilmente meno oneroso un rispetto dei requisiti allo scarico tramite un processo di ozonizzazione.

6.5.3 Effetto sul trattamento fanghi/produzione di fanghi

- PAC con sedimentazione: un dosaggio di PAC da 10 a 20 mg l⁻¹ porta ad un aumento nella produzione di fanghi dal 5 al 10%. L'effetto del PAC nella digestione e nella disidratazione è ancora al vaglio di studi; allo stato attuale delle conoscenze non sono state individuate controindicazioni.
- PAC senza sedimentazione: valgono le analoghe considerazioni del processo con PAC+sedimentazione.
- Ozonizzazione: il processo ha un effetto contenuto sulla produzione di fanghi e quindi sulla linea fanghi.

Conclusione: si può considerare che l'ozonizzazione non ha influenza sulla linea fanghi. L'influenza del PAC sulla digestione e sulla disidratazione è tuttora in fase di approfondimento, ma allo stato attuale non sussistono significativi elementi di disturbo noti. Il processo di adsorbimento risulta ad ogni modo svantaggiato a causa dell'aumento della produzione di fanghi e quindi dei costi di smaltimento.

6.5.4 Effetto sul rendimento di depurazione della linea acque

- PAC con sedimentazione: tramite l'aggiunta di PAC, le concentrazioni di COD e fosforo nell'effluente finale possono diminuire. Per contro, in caso di ricircolo del PAC in testa all'IDA, c'è la possibilità che parte dello stesso, se non adeguatamente separato in fase di sedimentazione primaria, finisca al comparto biologico. I possibili effetti sui processi biologici, oltre alla possibilità d'intasamento dei biofiltri, non sono ad oggi oggetto di studio. Alternativamente si potrebbe concepire un ispessimento diretto del PAC separato, analogamente a quanto avviene p.e. per il fango di supero in biologie a biomassa sospesa. Al momento non esistono tuttavia esperienze in tal senso; critici potrebbero essere gli effetti di un materiale abrasivo quale il PAC sulle componenti in movimento di un ispessitore meccanico.
- PAC senza sedimentazione: in generale, valgono le stesse considerazioni della variante precedente. Occorre inoltre rilevare che la filtrazione finale verrebbe caricata di tutto il ma-

teriale adsorbente proveniente dal reattore di contatto, con un incremento dei solidi sospesi in ingresso allo stadio. Si può quindi presumere che ciò comporti un ampliamento dello stadio di filtrazione finale.

- Ozonizzazione: un test presso l'IDA di Berna ha mostrato che l'ozonizzazione induce ad una migliore eliminazione del DOC. Gli altri parametri sono poco influenzati. L'efficienza processuale degli altri stadi biologici (ad esempio nitrificazione, eliminazione del carbonio, precipitazione), rimane inalterata.

Conclusione: l'ozonizzazione non ha alcun influsso sul trattamento biologico delle acque reflue, a parte un miglioramento in termini di DOC. L'influenza del PAC è poco studiata e potrebbe portare a effetti negativi soprattutto su un impianto con biofiltrazione come nel caso in esame. Questo svantaggio non è compensato in alcun modo dall'aumento dell'efficienza di rimozione per alcuni inquinanti (COD, DOC, TSS).

6.5.5 Rischio di corrosione e/o abrasione

- PAC con o senza sedimentazione: il PAC è un mezzo abrasivo, che potrebbe portare a una maggiore usura nelle vasche e soprattutto delle apparecchiature. Anche in questo caso non si hanno dati certi sugli effetti a lungo termine, essendo i primi impianti a scala reale in esercizio da un lasso di tempo limitato. Particolare attenzione dovrà essere prestata nella scelta dei materiali; tutte le parti a contatto con il carbone attivo dovranno essere in acciaio inox o plastica di alta qualità.
- Ozonizzazione: nell'ambito di uno studio dedicato effettuato presso l'impianto di Regensdorf non si sono osservati problemi di corrosione. Tuttavia si reputa la durata della prova eccessivamente breve (16 mesi) per poter concludere che l'ozonizzazione non abbia effetti a lungo termine sulle componenti dell'impianto o sulla filtrazione finale.

Conclusione: vi è carenza, per entrambi i metodi, di dati di lunga durata e quindi non vi è esperienza significativa nel settore delle acque reflue. In particolare, l'effetto meccanico del carbone attivo sulle apparecchiature meccaniche della digestione e delle disidratazione è sconosciuto.

6.5.6 Sicurezza

- PAC con o senza sedimentazione: il carbone attivo non presenta particolari problemi a livello di stoccaggio e dosaggio, anche se è comunque consigliabile prevedere degli accorgimenti per diminuire il rischio di formazione di incendi. Essendo inoltre un materiale di granulometria molto fine, si possono presentare piccole dispersioni in ambiente, con conseguenze comunque non pericolose né per l'ambiente né per la salute umana (irritazioni a causa di inalazione, contatto o ingestione).
- Ozonizzazione: l'esposizione prolungata ad elevate concentrazioni di ozono può provocare disturbi anche gravi alla salute umana, per cui il processo deve prevedere numerose misure di sicurezza per ridurre il rischio di fuoriuscita in ambiente e d'incidente.

Conclusione: se adottate le necessarie misure di sicurezza, il rischio di incidente è molto basso per entrambi i processi. Il carbone attivo in polvere si può considerare un prodotto innocuo sia per l'ambiente che per la salute umana, mentre l'ozono è da ritenersi pericoloso.

6.5.7 Costi

I costi annui per entrambi i processi sono stati oggetto di uno studio del 2008 effettuato su mandato dell'UFAM, in cui, a partire da 6 IDA di riferimento, sono state generate curve di costo in funzione della potenzialità in termini di abitanti equivalente.

Nel 2012 si è provveduto ad un aggiornamento dello stesso con le ultime informazioni derivanti dalle numerose sperimentazioni a differente scala effettuate in Svizzera e all'estero. Tale studio ("Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser") costituisce, allo stato attuale, il riferimento più aggiornato per la stima dei costi di investimento e degli oneri gestionali connessi alla realizzazione di un nuovo stadio per la riduzione dei microinquinanti dalle acque reflue. Per la stima dei costi nel presente studio si è dunque fatto riferimento al citato documento, di cui sono riportate le curve nelle pagine successive.

A 1.4.1 Aktualisierte Investitionskostenkurven

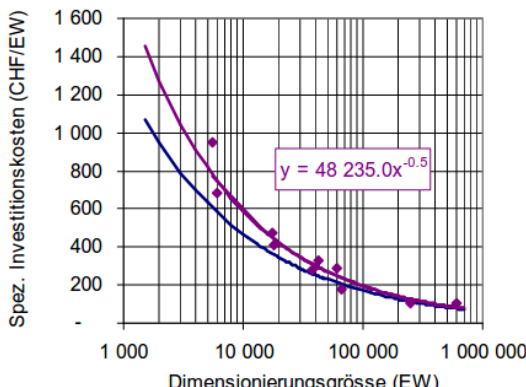
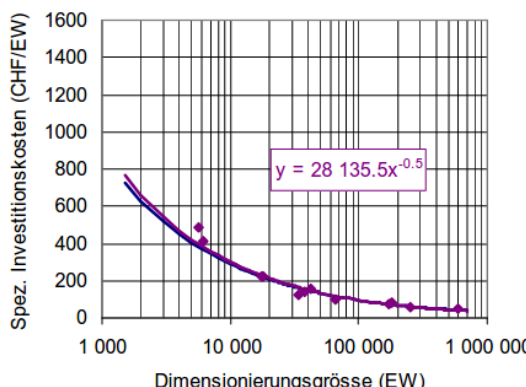
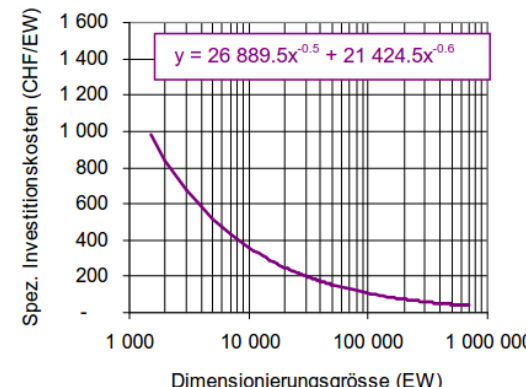
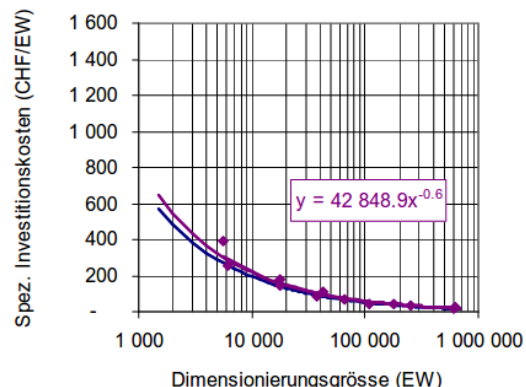
PAK mit neuer Filtration	PAK mit bestehender Filtration
 <p>Spez. Investitionskosten (CHF/EW)</p> <p>1 600 1 400 1 200 1 000 800 600 400 200 -</p> <p>1 000 10 000 100 000 1 000 000</p> <p>Dimensionierungsgrösse (EW)</p> <p>$y = 48\,235.0x^{-0.5}$</p>	 <p>Spez. Investitionskosten (CHF/EW)</p> <p>1 600 1 400 1 200 1 000 800 600 400 200 0</p> <p>1 000 10 000 100 000 1 000 000</p> <p>Dimensionierungsgrösse (EW)</p> <p>$y = 28\,135.5x^{-0.5}$</p>
<p>Abbildung 2: Violett: Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kosten- daten - Investitionskosten PAK mit neuer Filtration. Blau: Kostenkurve Hunziker 2008</p>	<p>Abbildung 3: Violett: Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kosten- daten - Investitionskosten PAK mit bestehender Filtration. Blau: Kostenkurve Hunziker 2008</p>
Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe	Ozonung mit bestehender Filtration
 <p>Spez. Investitionskosten (CHF/EW)</p> <p>1 600 1 400 1 200 1 000 800 600 400 200 -</p> <p>1 000 10 000 100 000 1 000 000</p> <p>Dimensionierungsgrösse (EW)</p> <p>$y = 26\,889.5x^{-0.5} + 21\,424.5x^{-0.6}$</p>	 <p>Spez. Investitionskosten (CHF/EW)</p> <p>1 600 1 400 1 200 1 000 800 600 400 200 -</p> <p>1 000 10 000 100 000 1 000 000</p> <p>Dimensionierungsgrösse (EW)</p> <p>$y = 42\,848.9x^{-0.6}$</p>
<p>Abbildung 4: Violett: Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kosten- daten - Investitionskosten Ozonung mit neuer bioaktiven Stufe.</p>	<p>Abbildung 5: Violett: Aktualisierte Kostenkurve und verwendete Kosten- daten - Investitionskosten Ozonung mit bestehender Filtra- tion. Blau: Kostenkurve Hunziker 2008</p>

Figura 20 Curve dei costi di investimento

A 1.4.2 Aktualisierte Betriebskostenkurven

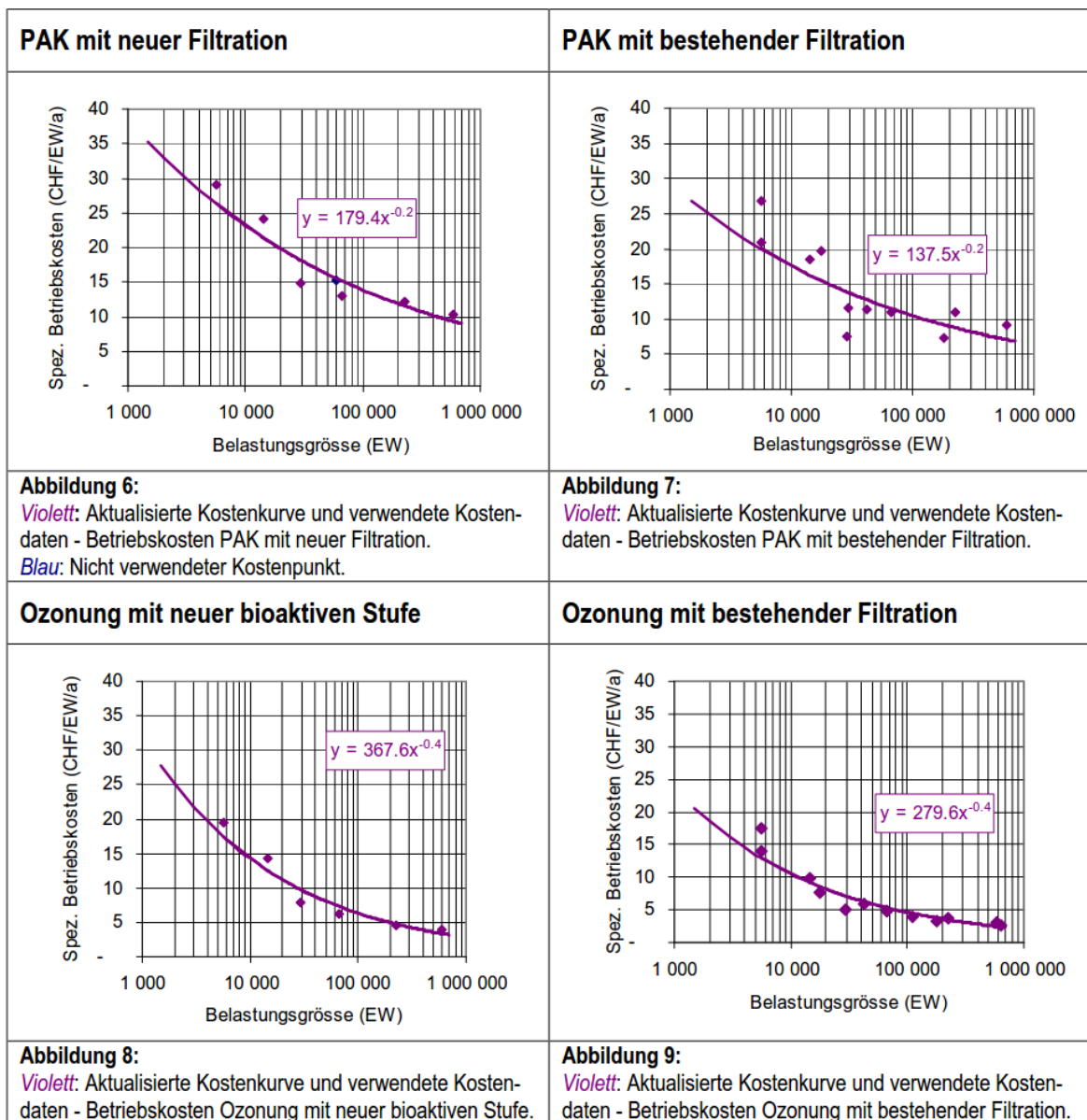


Figura 21 Curve dei costi di esercizio

Il processo PAC è inteso quale configurazione con sedimentazione. Non sono quindi disponibili dati ufficiali relativi alla configurazione priva di sedimentazione.

Dalle curve, a partire dagli abitanti equivalenti trattati dall'impianto (asse delle ascisse), si possono stimare i costi di investimento in CHF AE⁻¹ e i costi di esercizio in CHF AE⁻¹ a⁻¹ (asse delle ordinate).

I costi di investimento comprendono:

- costi generali/onorari/riserve;
- lavori di sistemazione delle aree;

- opere di genio civile;
- apparecchiature elettromeccaniche;
- impianti elettrici, di automazione e controllo;
- riscaldamento, ventilazione e impianti sanitari.

Per la stima dei costi di esercizio sono state considerate le seguenti posizioni:

- consumo di energia elettrica;
- personale;
- manutenzione;
- analisi;
- reagenti (PAC, Ossigeno, Precipitanti, Flocculanti);
- smaltimento fanghi (PAC).

Per l'IDA Chiasso si è considerata la capacità, in abitanti equivalenti, di dimensionamento – approvata dalla SPAAS e contenuta nel rapporto “Basi di dimensionamento” – pari a 52'800 AE.

I costi indicati si riferiscono unicamente allo stadio “reattivo” di trattamento senza includere alcun post-trattamento, necessario sia per i processi adsorbitivi, sia i processi ossidativi. Tra le varie opzioni, la filtrazione in volume al momento costituisce una delle possibilità più robuste.

Ad ogni modo, come peraltro già riportato nei paragrafi relativi a ciascuna variante di processo, è possibile dotarsi di post-trattamenti meno impattanti in termini di spazio e di investimenti rispetto ad una filtrazione in volume, nel caso che quest'ultima non sia strettamente necessaria per motivazioni che esulano dal trattamento dei microinquinanti (p.e. esigenze restrittive in termini di solidi sospesi).

Con le ipotesi di cui sopra, si ottengono i costi riassunti nella seguente tabella.

Processo	Costi di investimento		Costi di esercizio	
	CHF AE ⁻¹	CHF	CHF AE ⁻¹ a ⁻¹	CHF a ⁻¹
PAC con sedimentazione	122.50	6'500'000	15.60	825'000
Ozonizzazione	63.00	3'300'000	3.60	190'000

Tabella 18 Costi di investimento e di esercizio. I valori specifici sono stati calcolati impiegando le equazioni indicate nei grafici relativi alle curve di costo (figure 20 e 21)

Come già indicato, lo studio non considera il processo di PAC senza sedimentazione, i cui costi sono inferiori e si stimano attorno a 4'500'000 CHF avvicinandosi all'investimento necessario per l'ozonizzazione. Tutti gli importi citati si intendono IVA esclusa.

A livello di costi di esercizio non si stimano invece significative riduzioni, essendo i principali oneri legati al costo stesso dell'agente adsorbente.

Conclusioni

Basandosi sul riferimento più aggiornato per la stima dei costi di investimento ed esercizio di uno stadio per la riduzione dei microinquinanti ("Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser", BG 2012) emerge come sia i costi di investimento sia i costi di esercizio di un processo PAC con sedimentazione siano chiaramente superiori rispetto a quelli per l'ozonizzazione.

L'investimento per una configurazione a PAC senza sedimentazione potrebbe avvicinarsi a quello necessario per l'ozonizzazione. Rimarrebbero presumibilmente inalterati gli oneri gestionali, dipendendo di gran lunga dal consumo di agente adsorbente.

Si tiene comunque a sottolineare come tali stime siano del tutto indicative ed una valutazione costi più precisa sarà sviluppata nelle successive fasi progettuali appoggiandosi ad offerte dedicate, nonché su riscontri che giungeranno sempre più numerosi dagli impianti in esercizio.

6.6 Riepilogo risultati valutazione

La seguente tabella riassume in maniera efficace le valutazioni sulle configurazioni per ogni singolo criterio considerato.

Configurazione	Ingombro	Rispetto requisiti	Effetto linea fanghi	Effetto linea acque	Corrosione	Sicurezza	Costi di investimento	Costi di esercizio
PAC con sedimentazione	☹	☺/R	☹	☹/R	☺/R	☺	☹	☹
PAC senza sedimentazione	☺	☺/R	☹	☹/R	☺/R	☺	☺	☹
Ozonizzazione	☺	☺	☺	☺	☺/R	☺	☺	☺

Tabella 19 Valutazione configurazioni: ☺ buono, ☺ sufficiente, ☹ insufficiente, R necessaria ricerca

Dalla tabella si desume come la configurazione PAC con sedimentazione risulti non idonea, soprattutto per quanto riguarda l'ingombro planimetrico, aspetto particolarmente critico presso l'IDA Pizzamiglio.

Inoltre, si può desumere che, allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, la configurazione che prevede l'ozonizzazione risulti essere la più idonea ad essere implementata presso l'IDA; appare altresì evidente numerosi aspetti necessitano ulteriori studi, ricerche e applicazioni in scala reale.

6.7 Layout

Negli allegati 1, 2 e 3 del presente studio si mostrano le superfici occupate dalle tre configurazioni descritte precedentemente, oltre che una loro possibile collocazione nell'IDA di Chiasso; il layout di base è stato ripreso dallo studio di fattibilità del comparto biologico.

È evidente come la configurazione a PAC con sedimentazione sia molto ingombrante e che un suo eventuale inserimento si possa ritenere già allo stato attuale improbabile, benché potenzialmente possibile.

La possibile collocazione e disposizione di questi processi verrà ripresa e discussa più in dettaglio nel corso del Progetto di massima per l'adeguamento del comparto biologico.

7. Conclusioni

Il CDACD, in linea con i contenuti della nuova OPAC, recentemente licenziata in via definitiva dal Consiglio Federale, e con la strategia del Canton Ticino in tema microinquinanti, resa pubblica con scritto della SPAAS del 25 settembre 2015, sarà chiamato a realizzare uno stadio di trattamento aggiuntivo per la rimozione dei microinquinanti organici.

Il presente studio di fattibilità costituisce un importante punto di partenza per lo sviluppo di questa tematica per il CDACD e si inserisce necessariamente nell'ambito della progettazione del nuovo comparto biologico, in quanto nell'elaborazione dei relativi interventi si dovrà tenere conto degli ingombri qui stimati, individuando una disposizione che ben si adatti alle numerose esigenze nell'esiguo spazio a disposizione.

Malgrado il settore in oggetto sia tuttora in pieno sviluppo, sulla base di quanto ad oggi noto, è stato possibile individuare due tecnologie potenzialmente applicabili: l'adsorbimento su carbone attivo (PAC) e l'ozonizzazione. Esse sono quindi state debitamente approfondite – determinazione degli ingombri – e sottoposte a valutazione multi-criteria nelle tre configurazioni di seguito elencate:

- dosaggio di PAC in reattore di contatto con sedimentazione
- dosaggio di PAC in reattore di contatto senza sedimentazione
- ozonizzazione in reattore di contatto.

La prima, benché possibile, risulta di difficile realizzazione, comportando un fabbisogno di spazio non indifferente, aspetto particolarmente sensibile nel contesto di Chiasso, nonché costi di investimento ed oneri gestionali marcatamente superiori.

Se a livello di ingombro le rimanenti equivalgono, sulla prima gravano alcune incertezze legate principalmente alla configurazione del nuovo comparto biologico (biofiltrazione) che esclude la possibilità di ricircolo di PAC all'interno dello stesso, diminuendone la resa. Per la seconda vi è invece la necessità di verificare l'idoneità dei reflui di Chiasso ad un'ozonizzazione tramite test dedicato ("Ozontestverfahren"); in caso, infatti, di concentrazioni elevate di alcune sostanze, su tutte il bromuro, l'ossidazione spinta mediante ozono comporta la formazione di sottoprodotti indesiderati in quantità tale da non renderla applicabile. Il tema è di particolare attualità per il CDACD, a seguito della presenza delle acque di percolazione provenienti dalla Valle della Motta. Per entrambe, infine, vi è la necessità di chiarire le esigenze generali riservate per il CDACD, dal momento che le stesse influenzano direttamente il carattere del post-trattamento da inserire.

In considerazione di quanto sopra, in linea con gli scopi del presente studio, si è deciso di escludere, in vista delle future fasi progettuali, la configurazione a PAC con sedimentazione. Nell'elaborazione del progetto di massima per l'adeguamento del comparto biologico si terrà dunque in considerazione l'ingombro della seconda e della terza configurazione di cui sopra.

Si tiene ad ogni modo a sottolineare, stante la dinamicità del settore in oggetto, che nelle successive fasi progettuali sarà sempre possibile includere tecnologie di cui al momento non

si hanno sufficienti informazioni a disposizione, quali p.e. il carbone attivo granulare (GAC), che potrebbe risultare particolarmente interessante, essendo in piena sintonia con la direzione scelta per il nuovo comparto biologico.

A livello di tempistiche di realizzazione, si consiglia infine di effettuare sin d'ora uno studio di opportunità che tenga in considerazione differenti aspetti, su tutti la procedura di finanziamento prevista a livello di OPAc, la presenza di un cantiere di una certa rilevanza per il comparto biologico, nonché gli sviluppi delle conoscenze scientifiche.

Gli investimenti complessivi si collocano tra i 3.3 ed i 4.5 milioni di CHF (filtrazione esclusa, i cui costi da progetto di massima ammontano a 4.5 milioni di CHF). Gli oneri gestionali tra i 200'000 e i 900'000 CHF/anno; per una definizione più corretta di questi ultimi, è necessario il consolidamento delle esperienze dei primi impianti in esercizio a scala reale.

TBF+Partner AG
Ingegneri e Consulenti

Indice tabelle

Tabella 1	Analisi microinquinanti in entrata ed in uscita IDA Chiasso	10
Tabella 2	Valutazione processi: ☺ buono, ☹ sufficiente, ☹ insufficiente, R necessaria ricerca, ? mai applicati in scala reale per rimozione microinquinanti da acque reflue	24
Tabella 3	Carichi idraulico ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$) e dei principali inquinanti (kg d^{-1}) in ingresso all'IDA. Dati 2007-2013. Media.	27
Tabella 4	Carichi idraulico ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$) e dei principali inquinanti (kg d^{-1}) in ingresso all'IDA. Dati 2007-2013. Valore-90%.	28
Tabella 5	Carichi dei principali inquinanti (AE) in ingresso all'IDA. Dati 2007-2013. Media.	28
Tabella 6	Carichi dei principali inquinanti (AE) in ingresso all'IDA. Dati 2007-2013. Valore-90%.	29
Tabella 7	Riepilogo dati di dimensionamento	31
Tabella 8	Dimensionamento reattore di contatto PAC	34
Tabella 9	Dimensionamento sedimentazione PAC	34
Tabella 10	Ingombri superficiali complessivi PAC (senza filtrazione)	34
Tabella 11	Consumo risorse PAC	35
Tabella 12	Dimensionamento reattore di contatto O_3	37
Tabella 13	Ingombri superficiali complessivi O_3 (senza filtrazione)	38
Tabella 14	Dimensionamento generatore di ozono e fabbisogno energetico.	38
Tabella 15	Dimensionamento Actiflo®Carb	41
Tabella 16	Dimensionamento PulsaGreen	42
Tabella 17	Superfici necessarie per l'espletamento delle reazioni	43
Tabella 18	Costi di investimento e di esercizio. I valori specifici sono stati calcolati impiegando le equazioni indicate nei grafici relativi alle curve di costo (figure 20 e 21)	49
Tabella 19	Valutazione configurazioni: ☺ buono, ☹ sufficiente, ☹ insufficiente, R necessaria ricerca	50

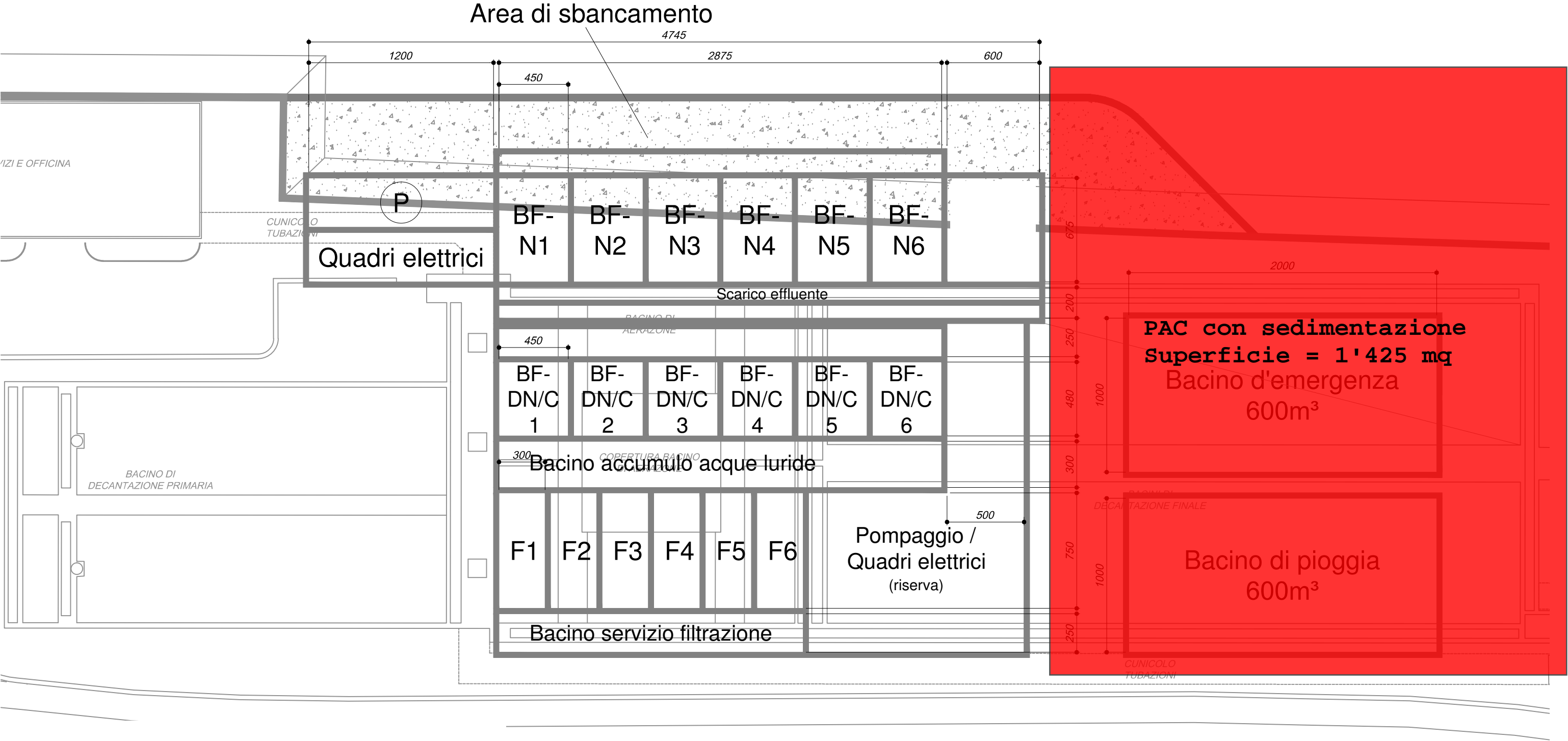
Indice figure

Figura 1	Media concentrazione microinquinanti	11
Figura 2	Rimozione carico complessivo microinquinanti	12
Figura 3	Predizione del rischio ambientale	13
Figura 4	Rimozione carico complessivo microinquinanti – IDA Mendrisio	13
Figura 5	Schema semplificato processi adsorbitivi. Fonte: VSA	15
Figura 6	Schema configurazione processo PAC quale stadio aggiuntivo. Fonte: VSA	17
Figura 7	Schema configurazione processo GAC. Fonte: VSA	18
Figura 8	Schema semplificato processi ossidativi. Fonte: VSA	19
Figura 9	Schema configurazione ozonizzazione. Fonte: VSA	20
Figura 10	Schema configurazione AOP. Fonte: VSA	21
Figura 11	Schema semplificato processi biologici secondari. Fonte: VSA	22
Figura 12	Schema semplificato processi a membrane. Fonte: VSA	23
Figura 13	efficienze di rimozione di differenti configurazioni a PAC ed ozonizzazione. Fonte: VSA	25
Figura 14	Schema di processo IDA Chiasso con nuovo comparto biologico a biofiltrazione e stadio per la rimozione dei microinquinanti	32
Figura 15	Schema di configurazione dosaggio PAC con sedimentazione	33
Figura 16	Schema di configurazione dosaggio PAC senza sedimentazione	35
Figura 17	Schema di configurazione ozonizzazione	37
Figura 18	Schema di processo Actiflo®Carb (fonte: VSA/Swissmem)	40
Figura 19	Schema di processo PulsaGreen	42
Figura 20	Curve dei costi di investimento	47
Figura 21	Curve dei costi di esercizio	48

ALLEGATO 1

Disposizione planimetrica PAC con sedimentazione

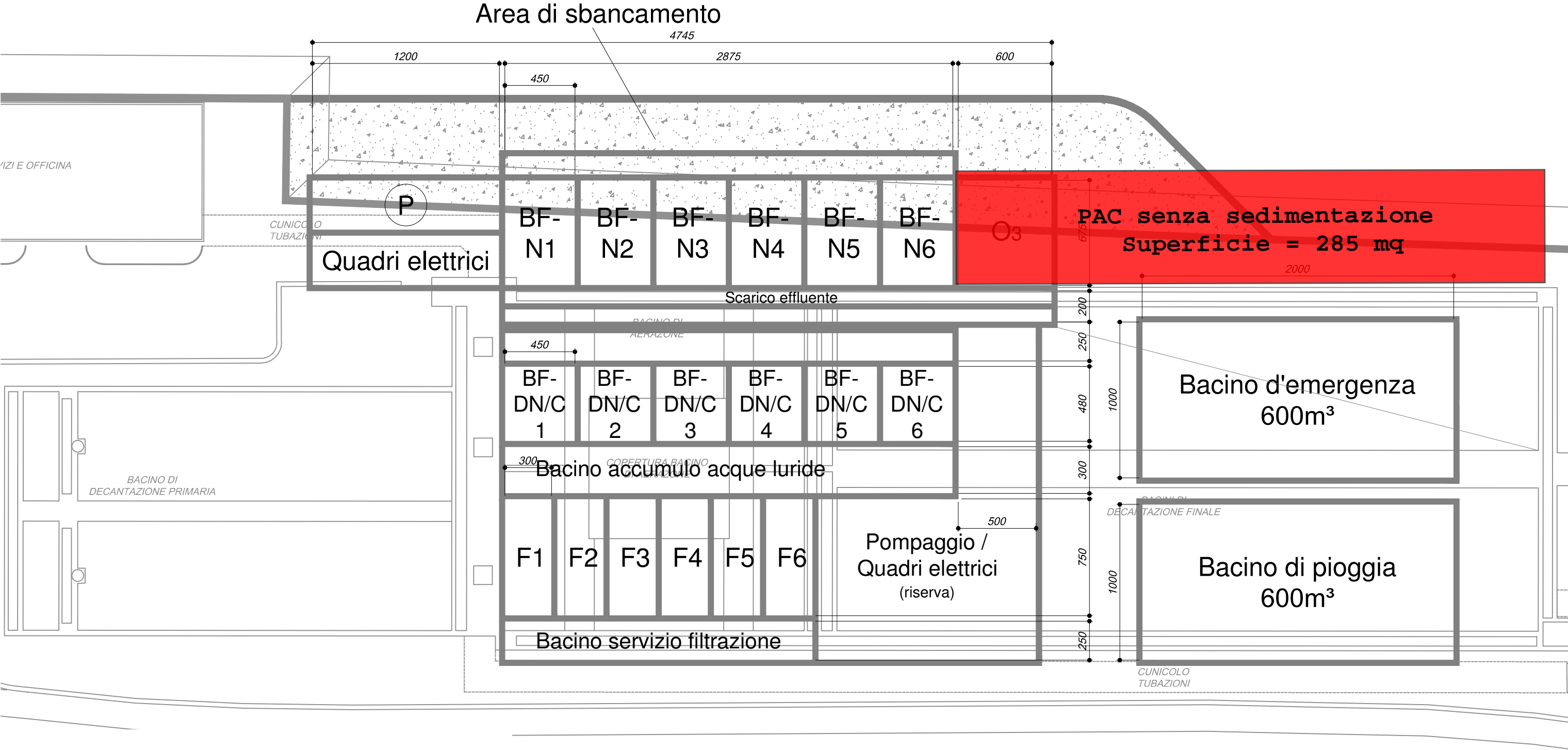
Disposizione planimetrica PAC + sedimentazione



ALLEGATO 2

Disposizione planimetrica PAC senza sedimentazione

Disposizione planimetrica PAC senza sedimentazione



ALLEGATO 3

Disposizione planimetrica ozonizzazione

Disposizione planimetrica Ozonizzazione

