

**BIODEPURAZIONE, ELETTROCHIMICA , EVAPOTRASPIRAZIONE: DESCRIZIONE DI METODI  
CORRETTIVI DI TERZO E QUARTO STADIO NEL TRATTAMENTO AVANZATO PER LA  
DEPURAZIONE E IL RIUTILIZZO A SCOPI CIVICI DELLE ACQUE DI RIFIUTO URBANE DI  
COMUNITA' COSTIERE SOTTOPOSTE A VINCOLO AMBIENTALE**

di Natale G. Calabretta  
*E-mail: natale.calabretta@virgilio.it*

Nel campo del trattamento delle acque di rifiuto urbane, le innovazioni tecnologiche riguardano soprattutto i processi di natura chimico-fisica, quali quelli che si impiegano a valle della depurazione biologica, o in sostituzione di essa come il trattamento chimico dei liquami.

Tali processi depurativi sono posti a cardine delle tecniche applicate al riutilizzo delle acque reflue in ambito industriale e agricolo.

<b>Fossa Imhoff</b>	Senza Degrassatore
	Con Degrassatore
<b>Filtro batterico</b>	Anaerobico
	Aerobico
<b>Biologico ad Ossidazione Totale</b>	
<b>Sub-irrigazione</b>	Non Drenata
	Drenata
<b>Fitodepurazione</b>	A flusso Orizzontale
	A flusso Verticale
<b>Evapotraspirazione</b>	

Sistemi di depurazione più comunemente adottati per il trattamento delle acque reflue di origine domestica.

In questo articolo si vogliono proporre processi o combinazioni di processi che possono essere utilizzati come trattamenti di quarto stadio ed inoltre tra questi, il trattamento elettrochimico dei reflui e l'evapotraspirazione: il primo, allo stato attuale delle tecnologie, si presenta come una valida possibilità di abbinamento alle tecniche a membrana ad osmosi inversa, mentre il secondo traccia una linea di intervento diversa basando il principio della depurazione proposto dalle innovative tecniche della phytoremediation.

Di recente, infatti, la necessità di adeguarsi agli standard tecnici e normativi ha condotto ad una più consapevole attenzione alle particolari esigenze tecnico ambientali presenti in zone costiere di rilevante interesse naturalistico e dal fragile bilancio idrico fa di questi due criteri depurativi e di riutilizzo delle acque di scarto le linee guida preferenziali applicabili per ridurre l'impatto ambientale degli insediamenti antropici costieri e possono costituire prodromi per ulteriori sviluppi tecnico impiantistici a vasto raggio temporale ad uso civile quali l'impianto di desalinazione, come sviluppo dei criteri dell'elettrochimica applicata alla depurazione dei reflui urbani costieri e un radicale ripristino naturalistico ambientale di matrice vegetazionale conseguente ad una diffusa applicazione della fitodepurazione.

La progettualizzazione di lungo periodo di riutilizzo ad uso civico dei reflui auspicata dall'approfondimento delle problematiche di depurazione ad alto valore aggiunto, (ovvero che non si limita alla sola produzione di acqua purificata da scaricare), e

basso impatto ambientale si rende necessaria per un più ampio e radicale coinvolgimento delle realtà urbane costiere nel quadro delle dinamiche e dei criteri che stanno alla base di una corretta gestione di un ambito protetto facendolo diventare così autentico promotore di cultura di pianificazione urbana “pulita”; pertanto, l’adozione di tali tecnologie depurative e di riutilizzo risulta quanto mai auspicabile in zone dal delicato equilibrio ambientale ed ecologico e dalla prepotente e spesso insultante presenza urbana costiera quale la costa, la subcosta e le acque di un A.M.P. (D.L. 9/12/1998 n°426 istituyente l’A.M.P. di Capo Rizzuto, Ente Gestore Provincia di Crotone) oltre che in zone a forte rischio idrico di origine pluviometrica e/o idrogeologica, esse infatti nell’immediato realizzerebbero al medesimo tempo tre importanti obbiettivi quali:

1. limitare il prelievo delle acque sotterranee e superficiali;
2. ridurre l’impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori;
3. favorire il risparmio idrico.

Mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
P (mm)	76,8	50,7	59,6	30,8	22,2	11,2	4,3	6,3	44,2	108	108	98,9	621,4
Max in 12 h	43,4	60,8	59,6	57	24	36	33,4	80	64	88	97	99,4	99,4
Max in 24 h	58,8	65	62	59,2	29,6	36	33,4	80	74,6	105	127	124	126,6

Dati pluviometrici per la stazione di Crotone. Periodo di riferimento 1951 – 1980.

Obbiettivi, questi, attuali ed urgenti stante la situazione di ormai cronica emergenza idrica del Meridione d’Italia.

Più specificatamente a tale proposito il recente regolamento che adotta le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue depurate (D.M. n°185/2003), indica tre possibili destinazioni d’uso ammissibili:

- a. irriguo: per l’irrigazione di colture destinate sia alla produzione di alimenti destinati per il consumo umano ed animale, sia a fini non alimentari nonché per l’irrigazione per aree destinate al verde o ad attività ricreative o sportive;
- b. civile: per il lavaggio delle strade nei centri urbani, per l’alimentazione dei sistemi di riscaldamento o raffreddamento, per l’alimentazione di centri duali di adduzione, separata da quelli potabili;
- c. industriale: come acque antincendio, di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali, con l’esclusione degli usi che comportano un contatto tra acque reflue recuperate sebbene depurate e gli alimenti o prodotti farmaceutici e cosmetici.



Scarichi a mare non controllati: sbocco condotta interrata alla spalle del sito industriale ex Montedison, (foto Lega Ambiente), a sin.; scarico fognario nei pressi di località Marinella, a des.

Il D.M. n°185/2003 all'articolo 4 stabilisce, inoltre, i requisiti minimi di qualità delle acque reflue recuperate all'uscita dell'impianto di recupero, così come sono riportati nell'allegato del regolamento.

E' bene specificare che già nella prassi le acque reflue (di origine non domestica o non propriamente di rifiuto urbano) possono essere recuperate presso il medesimo stabilimento o consorzio industriale (per questi primi due casi: previa correzione chimica, che in seguito definiremo di "4° stadio") o collettore depurativo urbano (il riutilizzo di queste non è disciplinato dal regolamento di cui al D.M. n°185/2003) oppure possono essere recuperate per usi industriali o agricoli da fonti esterne all'impianto di depurazione industriale come gli impianti di depurazione di acque reflue urbane o miste del comprensorio.

*Le **definizioni** qui riportate sono state rilevate dai disposti normativi di cui alle DLgs 152/1999, DLgs 258/2000.*

*Per scarico idrico si intende qualsiasi **immissione diretta** tramite condotta di acque reflue liquide, semiliquide e comunque convogliabili nelle acque superficiali, sul suolo, nel sottosuolo e in rete fognaria, indipendentemente dalla loro natura inquinante, anche sottoposte a preventivo trattamento di depurazione.*

*Il **corpo recettore** dello scarico è il sistema idraulico che riceve il refluo trattato. Può essere costituito dagli strati superficiali del suolo (sub-irrigazione) o dal reticolo idrico superficiale (acque superficiali). Il reticolo idrico superficiale, che in senso esteso può comprendere l'intera rete drenante superficiale, non è sempre idoneo a ricevere scarichi, anche se trattati.*

*Vanno quindi considerate **acque superficiali** idonee a ricevere scarichi tutti quei sistemi idrici di una certa dimensione ed importanza nei quali sia presente acqua corrente anche nei periodi di massima siccità. Tale condizione è da ritenersi indispensabile affinché un corpo idrico superficiale si possa considerare un idoneo corpo recettore, in quanto solo un flusso d'acqua che non si interrompe nei mesi estivi consente d'evitare impaludamenti e ristagni e dunque d'impedire, o quantomeno limitare lo sviluppo di insetti.*

*Con la definizione di **acque domestiche** si intendono normalmente le acque reflue provenienti da insediamenti di tipo residenziale ovvero da servizi provenienti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche.*

*" DLgs 152/99, art. 28, comma 7.*

*Salvo quanto previsto dall'articolo 38 e salva diversa normativa regionale, ai fini della disciplina*

*degli scarichi e delle autorizzazioni, sono assimilate alle acque reflue domestiche quelle che presentano caratteristiche qualitative equivalenti, nonché le acque reflue provenienti da:*

- a. imprese dedite esclusivamente alla coltivazione del fondo o alla silvicoltura;*
- b. imprese dedite ad allevamento di bestiame che dispongono di almeno un ettaro di terreno agricolo funzionalmente connesso con le attività di allevamento e di coltivazione del fondo, per ogni 340 chilogrammi di azoto presente negli effluenti di allevamento al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione;*
- c. imprese dedite alle attività di cui ai punti 1 e 2 che esercitano anche attività di trasformazione o di valorizzazione della produzione agricola, inserita con carattere di normalità e complementarietà funzionale nel ciclo produttivo aziendale e con materia prima lavorata proveniente per almeno due terzi esclusivamente dall'attività di coltivazione dei fondi di cui si abbia a qualunque titolo la disponibilità;*
- d. impianti di acquacoltura e di piscicoltura che diano luogo a scarico e si caratterizzino per una densità di allevamento pari o inferiore a 1 Kg per metro quadrato di specchio di acqua o in cui venga utilizzata una portata d'acqua pari o inferiore a 50 litri al minuto secondo."*

Si descriveranno di seguito le fasi dei trattamenti depurativi e di recupero delle acque nei loro aspetti tecnici e chimico-fisici e se ne proporranno modifiche ed innovazioni.

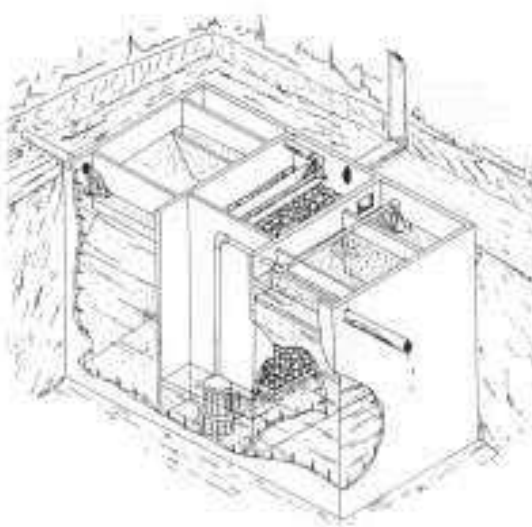
### 1. Trattamenti terziari.

A seguito dei processi cosiddetti primari e secondari (rispettivamente meccanici e biologici), i trattamenti terziari tradizionalmente utilizzati per l'abbattimento dei materiali in sospensione, per la mineralizzazione dei composti organici ed implicitamente per l'abbattimento della carica batterica, va sempre più sviluppandosi l'impiego, in linea, di ulteriori processi di depurazione di carattere chimico-fisico. Questi sono finalizzati al raggiungimento di due diverse categorie di obiettivi:

- a. miglioramento delle caratteristiche degli effluenti (riutilizzo dei reflui);
- b. protezione della qualità dei corpi ricettori (fenomeni di eutrofizzazione).

A sua volta, la disinfezione degli effluenti dei vari trattamenti costituisce un processo mirato la cui finalità primaria è l'abbattimento, pressoché totale, della carica microbica patogena.

IMPIANTO PREFABBRICATO  
PER LA DEPURAZIONE DELLE ACQUE  
A LETTO BATTERICO

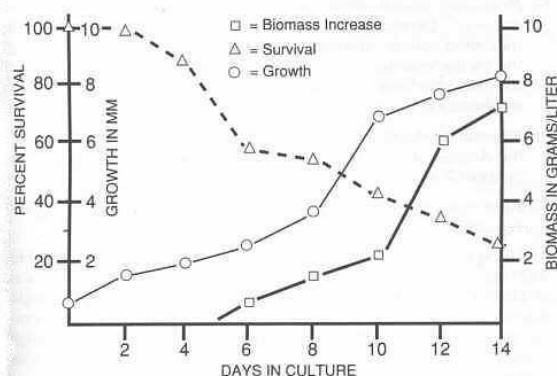


Descrizione di un impianto di trattamento terziario per la depurazione delle acque a letto batterico. Sistema monoblocco a letto batterico con sollevamento e seconda decantazione con vasca interrata e pompa di sollevamento.

### 1.1 Riutilizzo effluenti.

L'impiego dei reflui urbani depurati, quali fonti non convenzionali di approvvigionamento idrico, è una prassi che in maniera ormai concreta viene considerata applicata al reintegro delle risorse idriche, sempre più deficitarie rispetto alle crescenti domande delle molteplici utenze. I principali fattori limitanti in tal senso, notoriamente, sono rappresentati dai criteri di qualità richiesti per le acque a seconda del loro impiego. I presupposti fondamentali, per ogni utilizzazione sono comunque costituiti dalla bassa concentrazione dei solidi sospesi

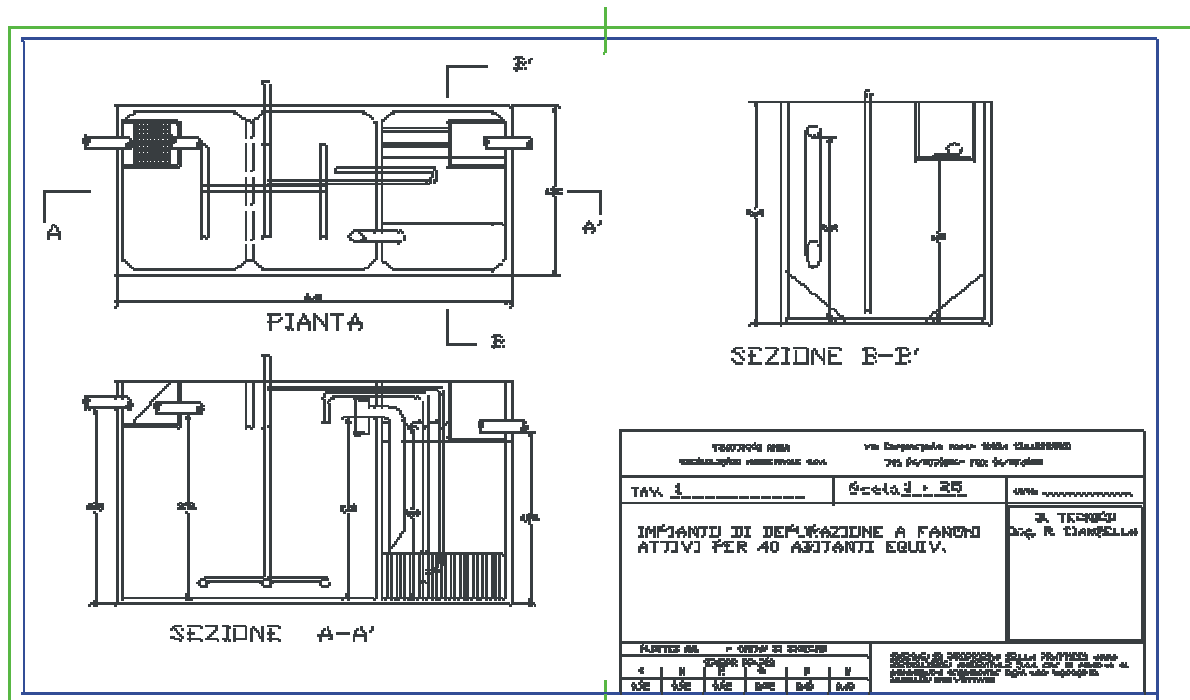
(5-10 ppm), e della carica batterica (assenza di E-coli in 100 ml). Il requisito di un adeguato grado di mineralizzazione (90%) è implicitamente soddisfatto nel caso di effluenti provenienti dal trattamento secondario.



Monod: diagrammi di crescita e sopravvivenza dei microrganismi depuranti in funzione della loro età e della densità di biomassa presente nel depuratore. Si nota come anche un ambiente favorevole che faciliti la crescita del singolo microrganismo e quindi l'aumento di densità dell'intera colonia nel reattore, può provocare carestia di cibo e di ossigeno innescando un proporzionale calo della sopravvivenza percentuale.

I processi che a tal fine si rendono necessari sono pertanto quelli della chiarificazione spinta (per raggiungere almeno 5-10 ppm di solidi sospesi).

Grazie ai tre stadi di trattamento menzionati, (1. abbattimento solidi sospesi; 2. mineralizzazione BOD, COD; 3. abbattimento carica batterica), le acque di rifiuto urbane assumono da un punto di vista fisico, biologico e igienico, più o meno, le caratteristiche di un'acqua superficiale di buona qualità e pertanto, a prescindere dal loro uso in agricoltura, esse possono essere impiegate per una serie di utenze pubbliche e nell'interno delle industrie quali acque di servizio.



Schema sintetico di un impianto di depurazione a fanghi attivi (trattamento biologico) per uso civile.

Qualora si volesse far ricorso ai reflui del terzo stadio provenienti da fonti non convenzionali, cioè reflui non di origine urbana né abitativa, quali acque di processo, si deve affrontare la questione della correzione delle loro caratteristiche chimiche fino a pervenire, in certi casi, alla loro demineralizzazione, secondo lo stesso tipo di logica che si adotta nel caso di approvvigionamento con fonti convenzionali. Questo tipo di trattamento correttivo può essere definito di quarto stadio.



A lato: Entrata impianto di depurazione elettrochimica trattante corrente di acque reflue di origine mista sia urbana che industriale (non convenzionale: oli industriali). Un simile impianto provvede al trattamento simultaneo di terzo e quarto stadio (ed eventuale riflussaggio delle acque di uscita del quarto stadio al terzo).

## 1.2 Abbattimento fosfati.

La presenza dei fosfati costituisce, come noto, una delle principali cause di eutrofizzazione dei corpi ricettori, con le ovvie conseguenze di degrado della loro qualità, soprattutto dal punto di vista biologico ed estetico.

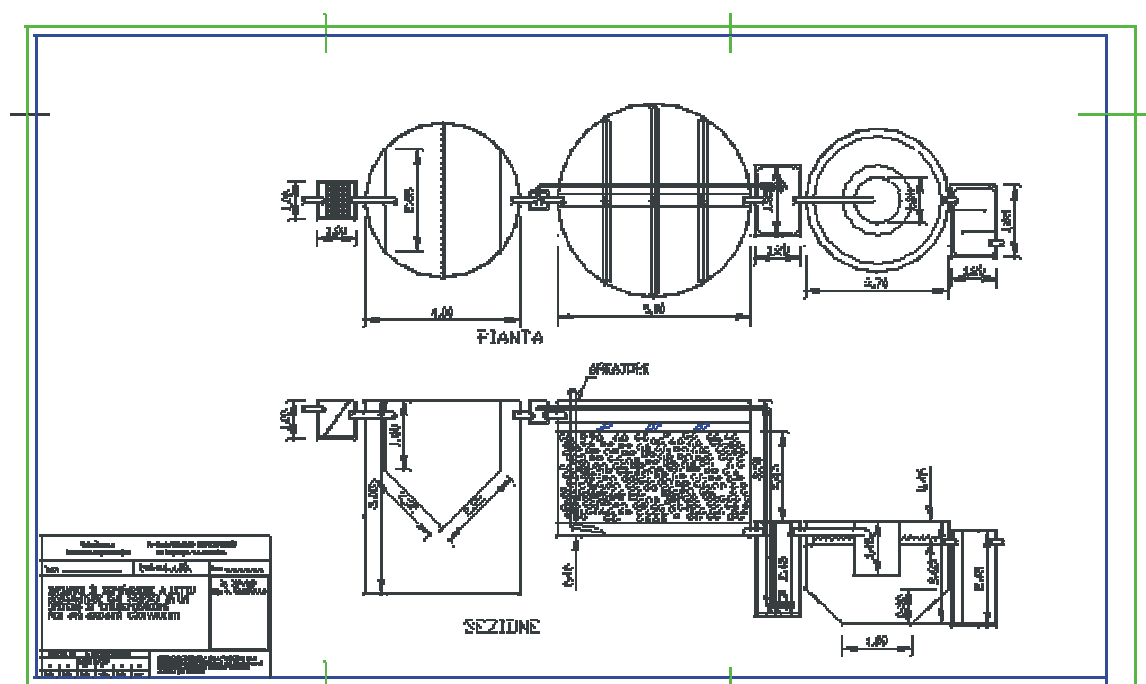
L'abbattimento dei fosfati di per sé (a prescindere da quello dell'azoto) rappresenta pertanto un processo mirato allorché come accennato, il trattamento terziario è finalizzato alla protezione della qualità del corpo

ricettore o al mantenimento dei parametri chimico-fisici (di legge) ai fini di un riutilizzo idrico integrato con le esigenze di un uso civico. Industriale, agricolo, etc.

## 1.3 Approfondimento dei dati dimensionali d'impianto e di processo delle tecnologie di biodepurazione a biomassa adesa per il trattamento dei liquami nelle aree urbane.

L'adozione di tecnologie innovative per l'adeguamento alla notevole restrizione degli standard qualitativi degli effluenti dagli impianti di depurazione, sia per quanto riguarda gli inquinanti di tipo tradizionale, che per i nutrienti, degli impianti attualmente in funzione e per la costruzione di quelli futuri ha portato a concludere, in ambedue i casi, che l'impiego delle tecnologie a biomasse adese può essere una valida alternativa all'adozione di trattamenti chimico-fisici spinti e preferibilmente adottati a valle del trattamento biologico dei reflui ad alto carico organico. Le caratteristiche di tali reattori sono ben note, e saranno qui solamente riassunte in breve.

Diverse tipologie impiantistiche sono attualmente disponibili, delle quali alcune applicate già in scala reale (filtri sommersi, letti percolatori plastici), altre finora solamente allo stadio sperimentale (letti fluidizzati, UASB).



Schema sintetico di un filtro a letto percolatore a biomassa adesa su substrato plastico.

- Filtri sommersi.

I filtri sommersi permettono, oltre alla rimozione delle specie chimiche inquinanti, un'azione di filtrazione, con conseguenti buone efficienze nell'abbattimento dei solidi sospesi. Ciò comporta un progressivo intasamento dei reattori, che necessitano quindi di essere sottoposti ad operazioni di controlavaggio. Il monitoraggio ed i controlavaggi possono essere completamente automatizzati.

I filtri sommersi sono dotati di una buona flessibilità operativa, in quanto permettono di attuare trattamenti in fase aerobica, anossica ed anaerobica, di conseguenza, diversi schemi di trattamento sono impiegati per la nitrificazione e la rimozione totale dell'azoto:

- nitrificazione secondaria o terziaria;
- predenitrificazione;
- postdenitrificazione.

- Dimensione dei reattori biologici

Dipendono ovviamente dalla granulometria dei materiali impiegati come supporto per la crescita batterica (cioè dalla loro superficie specifica). Esempi di granulometria per i diversi tipi di configurazione impiantistica sono riportati in tabella 1.

TABELLA 1 - Superfici e volumi di biofiltri (relativi a 1000AE)

Riferimenti bibliografici	Superficie/10 <sup>3</sup> AE (m <sup>2</sup> )	Volume/10 <sup>3</sup> AE (m <sup>3</sup> )	Tipologia impiantistica	Processi di rimozione
Gilles (1989)	4.2÷4.4	8.8÷10.1	biofiltro flusso discendente	secondario, COD
Pujol et al. (1992)	2.5	5.4	biofiltro flusso discendente	secondario, COD, nitrificazione (21%)
	1.5	4.4	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD, nitrificazione (18%)
Pujol et al. (1993)	4.7÷5.3	-	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD
Lacamp et al. (1993)	4.0	-	biofiltro flusso discendente	secondario, COD
Rogalla et al. (1990)	-	21.5	biofiltro flusso discendente	secondario, COD, nitrificazione

- Rimozione aerobica del COD.

Fattori da tenere in considerazione:

- tra carico organico applicato e concentrazione nell'influente vi è una relazione lineare, che dipende sia dal tipo di liquame che dalla tipologia di reattore installata per cui il carico va conformato agli standard qualitativi richiesti;
- i carichi organico ed idraulico applicabili dipendono anche dall'eventuale presenza di trattamenti simultanei di nitrificazione; in questo caso, devono essere applicati carichi minori;
- la direzione del flusso è importante?  
dai dati riportati in letteratura ai filtri a flusso ascendente vengono applicati maggiori carichi, idraulici e di COD, per quanto le prestazioni sulla rimozione del COD non differiscano; ciò è dovuto al fatto che i filtri a flusso ascendente si intasano più facilmente per velocità di filtrazione troppo basse. lo stesso accade per i filtri a flusso discendente per velocità molto basse se il carico in COD è elevato; ma in questo caso anche le alte velocità di filtrazione aumentano la frequenza alla quale devono essere eseguiti i controlavaggi, il che comporta un maggiore carico economico.

TABELLA 2 - Carichi idraulico e organico applicati per la rimozione aerobica del COD



Riferimenti bibliografici	carico idraulico (m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	carico organico (kgCODm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	Tipologia impiantistica	Processi di rimozione
Gilles (1989)	2.3	5÷8	biofiltro flusso discendente	secondario, COD
Pujol (1989)	2.2	3.6	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD
Pujol et al. (1992)	2.7	4.0±0.7 1.8kgTKNm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso discendente	secondario, COD, nitrificazione 21%
	2.2	6.8±1.3 1.0kgTKNm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD, nitrificazione 18%
		3.5	biofiltro flusso discendente	secondario, COD, nitrificazione 55%
Pujol et al. (1993)	-	0.2÷10	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD
Pujol (1992)	6.2÷8.6	3	biofiltro flusso ascendente	secondario, COD
Canler e Perret (1993)	1.2÷5.6 valore medio 1.7 valore medio 2.6	3.5÷12 valore medio 8.1 valore medio 9.6	biofiltri biofiltro flusso discendente biofiltro flusso ascendente	secondario, COD*
Lacamp et al. (1993)	1.6	~8	biofiltro flusso discendente	secondario, COD
	1.5÷2	2.5 kgBODm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> 0.4÷1.0 kgTKNm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso discendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione
Rogalla et al. (1990)	2÷4	÷10	biofiltro flusso discendente impianto pilota	secondario, COD
	~2	÷4 0.3÷0.6 kgTKNm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso discendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione
	1.4	2.4÷3.9	biofiltro flusso discendente	secondario, COD nitrificazione
Carrand et al. (1990)	5.1	9.4	biofiltro flusso ascendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione 19%
Rogalla e Bourbigot (1990)	-	÷1.4 1.0÷4.5 kgTKNm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso ascendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione

Dillon e Thomas (1990)	0.9÷3.5	2.5÷4.6 (come BOD <sub>5</sub> )	biofiltro flusso discendente impianto pilota	secondario, COD
Rogalla e Sibony (1992)	-	3÷4	biofiltro flusso discendente	secondario, COD
Rogalla et al. (1991)	2.2÷3.5	1.2÷4** 0.3÷0.7 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso discendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione , pre-denitrificazione in 2 stadi
Desbos et al. (1990)	2÷4.5	÷15 0.2÷1.1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>	biofiltro flusso ascendente impianto pilota	secondario, COD nitrificazione , pre-denitrificazione in 1 stadio

\* valori riferiti ad una dozzina di impianti, di cui alcuni (2) operanti nitrificazione secondaria

\*\* carico organico calcolato considerando anche il volume anossico

TABELLA 3 - Dati sull'aerazione

Riferimenti bibliografici	Nm <sup>3</sup> aria/kg COD rimosso	Tipologia impiantistica
Gilles (1989)	32.5	biofiltro flusso discendente
Canler e Perret (1993)	37.3 20.5	biofiltro flusso discendente biofiltro flusso ascendente
Kleiber et al. (1993)	23??	biofiltro flusso discendente
Paffoni et al. (1990)	130 Nm <sup>3</sup> aria/kg N rimosso	biofiltro flusso discendente, impianto pilota, nitrificazione terziaria

L'immissione di aria di processo rappresenta la maggior parte dell'energia consumata dalla biofiltrazione: non sono molti i dati disponibili, ma essi sono concordi nell'attribuire ad essa circa l'85% del consumo energetico, mentre il rimanente 15% circa è attribuito alle operazioni di controlavaggio. In generale, il consumo energetico è maggiore per i filtri a flusso ascendente, come facilmente intuibile; i valori sono comunque confrontabili.

TABELLA 4 - Consumi energetici riferiti al solo stadio biologico

Riferimenti bibliografici	kWh/kg COD rimosso	Tipologia impiantistica
Gilles (1989)	0.7	biofiltro flusso discendente
Canler e Perret (1993)	1.0 1.3	biofiltro flusso discendente biofiltro flusso ascendente

Kleiber et al. (1993)	1.2	biofiltro flusso discendente
Pujol (1989)	1.5	biofiltro flusso ascendente
Pujol et al. (1992)	0.9 1.3	biofiltro flusso discendente biofiltro flusso ascendente

TABELLA 5 - Produzione specifica di fanghi biologici

Riferimenti bibliografici	Produzione specifica di fanghi biologici (kg/ST/kg COD rimosso)	Tipologia impiantistica
Gilles (1989)	0.4	biofiltro flusso discendente
Kleiber et al. (1993)	0.3÷0.5	biofiltro flusso discendente
Pujol (1989)	0.5÷0.6	biofiltro flusso ascendente
Pujol et al. (1992)	0.4	biofiltro flusso discendente biofiltro flusso ascendente
Carrand et al. (1990)	~ 1 kgST/kg BOD <sub>5</sub> rimosso	biofiltro flusso ascendente, impianto pilota
	2.1 kg/ST/kgN-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> trattato	biofiltro flusso ascendente, impianto pilota, nitrificazione terziaria
Rogalla e Sibony (1992)	0.7÷1.3 kgST/kg BOD <sub>5</sub> rimosso	biofiltro flusso discendente

- Solidi sospesi

La biofiltrazione, sia nella configurazione ascendente che discendente, permette di ottenere buone rese nella rimozione di solidi sospesi. Bisogna tenere conto che carichi idraulici elevati sono accompagnati da un incremento delle forze idrodinamiche, con conseguente erosione della biomassa adesa e suo rilascio nell'effluente.

TABELLA 6 - Carichi idraulici e di solidi sospesi

Riferimenti bibliografici	carico idraulico (m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	carico in solidi sospesi (kgSSTm <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )	Tipologia impiantistica
Gilles (1989)	2.3	4.6	biofiltro flusso discendente
Pujol (1989)	2.2	0.8	biofiltro flusso ascendente
Canler e Perret (1993)	0.8÷4.6	÷3.2	biofiltri flusso ascendente e discendente
Rogalla et al. (1990)	2.0÷4.0	÷3	biofiltro flusso discendente, impianto pilota

- Rimozione dei nutrienti

In generale, i reattori a biomassa adesa sono particolarmente efficaci nella rimozione del TKN, che, come è noto, viene operata da popolazioni batteriche caratterizzate da basse velocità specifiche di crescita. Ciò comporta, negli impianti a fanghi attivati, grandi volumi del bacino preposto a tale trattamento, nei biofiltri, la nitrificazione può essere operata sia nella configurazione a flusso ascendente che discendente.

A seconda del rapporto C/N, la nitrificazione può essere inclusa nel trattamento secondario, o costituire un trattamento terziario dell'effluente. La nitrificazione su reattori a biomassa adesa può essere situata anche a valle di un convenzionale bacino di ossidazione a fanghi attivati. Inoltre, tra trattamento secondario e terziario può essere interposto o meno uno stadio di sedimentazione. Nella nitrificazione terziaria si ottiene anche un'ulteriore riduzione del COD e dei solidi sospesi.

Le statistiche di monitoraggio del processo in laboratorio e in impianto reale riportano buone rese per la nitrificazione in impianti progettati solo per la rimozione del COD, per carichi inferiori a  $0.45 \text{ kgTKN m}^{-3}\text{d}^{-1}$  (rapporti C/N prossimi a 10 nell'influente al biologico).

Bisogna considerare diversi fattori che influenzano le rese di tale trattamento, come la temperatura e la capacità tamponante del liquame.

Per quanto riguarda il trattamento terziario si giudicano ottimali carichi fino a circa  $1.5 \text{ kgTKNm}^{-3}\text{d}^{-1}$ , e carichi idraulici fino ai  $10 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ .

La denitrificazione può essere conseguita tanto ricircolando l'effluente dallo stadio di nitrificazione ad un filtro anossico posto in testa alla linea di trattamento (predenitrificazione), quanto a valle del detto stadio di nitrificazione, somministrando substrato carbonioso (postdenitrificazione). Sono attualmente allo studio reattori che permettono di conseguire ossidazione-nitrificazione e predenitrificazione in un singolo stadio, mantenendo in condizioni anossiche una porzione del reattore stesso.

Nel caso in cui viene attuata la denitrificazione, è fondamentale il rapporto di ricircolo, al quale è proporzionale l'efficienza di denitrificazione. È anche fondamentale controllare che il carico organico allo stadio anossico non sia limitante per l'efficienza di denitrificazione desiderata, ed eventualmente supplementarlo con una fonte esogena.

Le più recenti applicazioni propongono per la denitrificazione un carico  $>4 \text{ kgN-NO}_3\text{-m}^{-3}\text{d}^{-1}$  ed una velocità di filtrazione fino a  $14 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ .

Impianti di biofiltrazione in scala reale che operano la rimozione totale dell'azoto sono già in funzione, per quanto non ho trovato i dati di carico applicato, sono riportati valori di inquinanti in uscita. In trattamenti molto spinti con doppio stadio è possibile raggiungere concentrazioni nell'influente  $< 2 \text{ mg/l N-NH}_4^+$  e  $< 8 \text{ mg/l}$  di azoto totale.

Nelle tabelle 7 ed 8 sono riportati i dati di carico idraulico ed inquinante di impianti pilota rispettivamente per la nitrificazione terziaria e la predenitrificazione. Per la nitrificazione secondaria, dati relativi sia ad impianti pilota che a reattori in piena scala sono riportati in tabella 2.

TABELLA 7 - Carichi idraulico ed inquinante applicati per la nitrificazione terziaria

Riferimenti bibliografici	carico idraulico ( $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	carico inquinante ( $\text{kgTKNm}^{-3}\text{d}^{-1}$ )	Tipologia impiantistica
Paffoni et al. (1990)	2.5÷4	0.6÷1	biofiltro discendente, impianto pilota
Carrand et al. (1990)	3.3	0.3	biofiltro ascendente, impianto pilota
Dillon e Thomas (1990)	0.9÷2.2	0.5÷1.1	biofiltro discendente, impianto pilota

TABELLA 8 - carichi idraulico ed inquinante applicati per la denitrificazione

Riferimenti bibliografici	carico idraulico ( $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ )	carico inquinante ( $\text{kgN-NO}_3\text{-m}^{-3}\text{d}^{-1}$ )	Tipologia impiantistica
Rogalla e Boubigot (1990)	-	0.4÷1.5	biofiltro flusso ascendente, impianto pilota
Rogalla et al. (1991)	>10	0.2÷0.5	biofiltro flusso discendente, impianto pilota

## 2. Trattamento chimico.

Una volta descritto il particolare trattamento biologico di acque reflue, quello cioè a biomassa adesa su supporto inerte particolarmente indicato per centri urbani costieri a vocazione turistica o sottoposti a stretti vincoli urbanistico-ambientali: tali reattori infatti hanno la caratteristica di essere di ridotte dimensioni, di struttura compatta e di avere una certa modularità nell'installazione impiantistica. Nelle aree urbane ciò rappresenta, oltre ovviamente ad un considerevole risparmio sulle spese relative all'acquisto dei siti, ad un minore impatto sull'ambiente circostante. Infatti, è da rilevare che sempre più frequentemente gli impianti di depurazione a servizio dei centri urbani sorgono in aree densamente urbanizzate per installazione logistica o per la successiva espansione urbana.

A valle di tali reattori, quindi si collocheranno li impianti di trattamento dei reflui con più spiccate finalità correttive ai fini della buona pratica del riutilizzo evitando lo scarico diretto in corpi recettori e favorendo il ripristino idrico.

Qualora infatti lo smaltimento dei reflui urbani avvenga in tratti di costa aperti è da considerarsi vantaggioso ai fini del riutilizzo un trattamento dei liquami mediante chiarificazione spinta, seguito da disinfezione, utilizzando per l'immissione in mare uno scarico a fondale adeguatamente posizionato.



Scarico a fondale.

Possiamo quindi definire il trattamento chimico come alternativa poco dispendiosa al semplice scarico a mare dopo la sola depurazione in impianto.

Il risparmio economico, in termini di risparmio idrico, ottenuto da un ciclo di trattamenti chimici di 4° stadio di reflui, rispetto a quello di un trattamento biologico con finale in mare, è ovvio soprattutto considerando i bassi costi di esercizio, di gestione e la quasi totale assenza di specifiche apparecchiature o particolari rami di impianto da inserire in un impianto preesistente. D'altra parte, il minore rendimento depurativo e correttivo del trattamento chimico è compensato dalle concomitanti e soddisfacenti azioni di risoluzione dei fenomeni di inquinamento, peculiari del corpo ricettore marino attesi i fattori oceanografici e meteorologici.

Soluzioni del genere sono prevedibili, ed in qualche caso già previste, nel contesto delle leggi italiane che regolano lo smaltimento dei reflui urbani, (D.L. n°152/1999, D.L. n°258/2000, D.M. n°185/2003 ed alt.).

E' da ricordare, ancora, che il trattamento chimico trova opportuno impiego, a monte di quello biologico, nel particolare caso della depurazione di reflui urbani con alto carico organico soprattutto composto da materiale in sospensione (ad esempio nel caso di immissione di reflui industriali organici nella rete urbana).

### 3. Soluzioni avanzate (3° e 4° stadio).

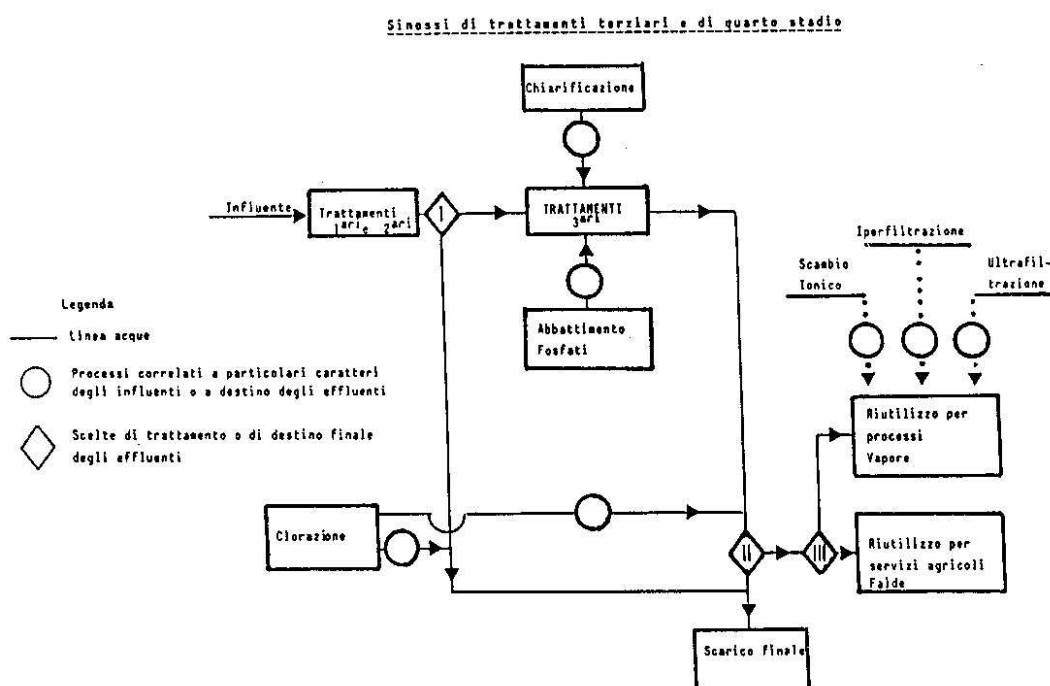
Tale espressione si ritiene possa riferirsi all'impiego di processi (e sequenze di esse) che non figurano tradizionalmente negli impianti di depurazione ma che utilizzano principi e soluzioni tecnologiche più sofisticate (spesso mutate dai trattamenti delle acque di approvvigionamento) che consentono, comunque, di ottenere efficienze di depurazione e correttive per il riutilizzo più spinte, a costi competitivi ed a volte minori.

A proposito dei processi dianzi richiamati (chiarificazione spinta, disinfezione, abbattimento dei fosfati), si ritiene che un trattamento avanzato, capace di soddisfare le massime efficienze depurative e correttive richieste per una o più delle istanze menzionate sia quello elettrochimico.

A sua volta, per la correzione spinta e la demineralizzazione dei reflui terziari riteniamo si possa ricorrere a processi a membrana quali l'osmosi inversa e l'evapotraspirazione.

In tal caso i due tipi di trattamento elettrochimico opereranno in serie tra loro mentre l'evapotraspirazione opererà in serie ai reattori biologici a biomassa adesa (prima descritti) e al trattamento chimico che apporterà particolari correzioni alle caratteristiche chimico-fisiche del refluo prima dell'immissione nei reattori a matrice vegetale.

È ancora da considerarsi come, in casi particolari quali quelli degli ambienti costieri sottoposti a vincoli ambientali, in cui si debba provvedere in contemporanea allo smaltimento dei reflui ed all'approvvigionamento idrico oltre che alla salvaguardia del patrimonio naturalistico con articolari accorgimenti impiantistici dal ridottissimo impatto ambientale, i due trattamenti possono invece operare in parallelo e tra loro integrati.



Schema sinottico trattamenti di terzo e quarto stadio (fonte: Kunina, L.A. ( 1983 ). Teknisk Ukeblad, 19, 81-85).

### 3.1 Trattamento elettrochimico.

Il cardine del trattamento è quello di utilizzare la produzione “in situ” dei reattivi capaci di svolgere le azioni di flocculazione e di disinfezione.

Il principio è quello dell'elettrolisi del liquame da trattare, previa aggiunta ad esso di una soluzione salina che ne esalti dovutamente la conducibilità specifica. A tal fine vengono utilizzate l'acqua di mare oppure delle salamoie.

Qualora l'obiettivo sia quello specifico della disinfezione, può effettuarsi l'elettrolisi dell'acqua di mare a solo mescolandola successivamente al liquame.

Le reazioni caratteristiche del processo dipendono specificamente dalla disposizione degli elettrodi (verticale oppure orizzontale), dalla posizione del catodo rispetto all'anodo (superiore o sottostante) dal materiale di confezione degli elettrodi: (ferro, titanio, grafite etc.). Sull'efficienza ed economicità del processo incide ovviamente la conducibilità del miscuglio in elettrolisi e la distanza tra gli elettrodi (caduta

ohmica). Nel caso in cui si voglia eseguire una chiarificazione spinta è preferibile operare con gli elettrodi orizzontali.

Facendo passare un miscuglio di acqua di rifiuto mescolata con acqua di mare o salamoia, attraverso una cella di elettrolisi ad elettrodi orizzontale (catodo di ferro superiore, anodo di titanio o grafite in basso), si determinano tre fenomeni principali:

- a) reazione agli elettrodi riguardanti l'acqua ed i relativi sali disciolti con produzione di  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $OH^-$ ;

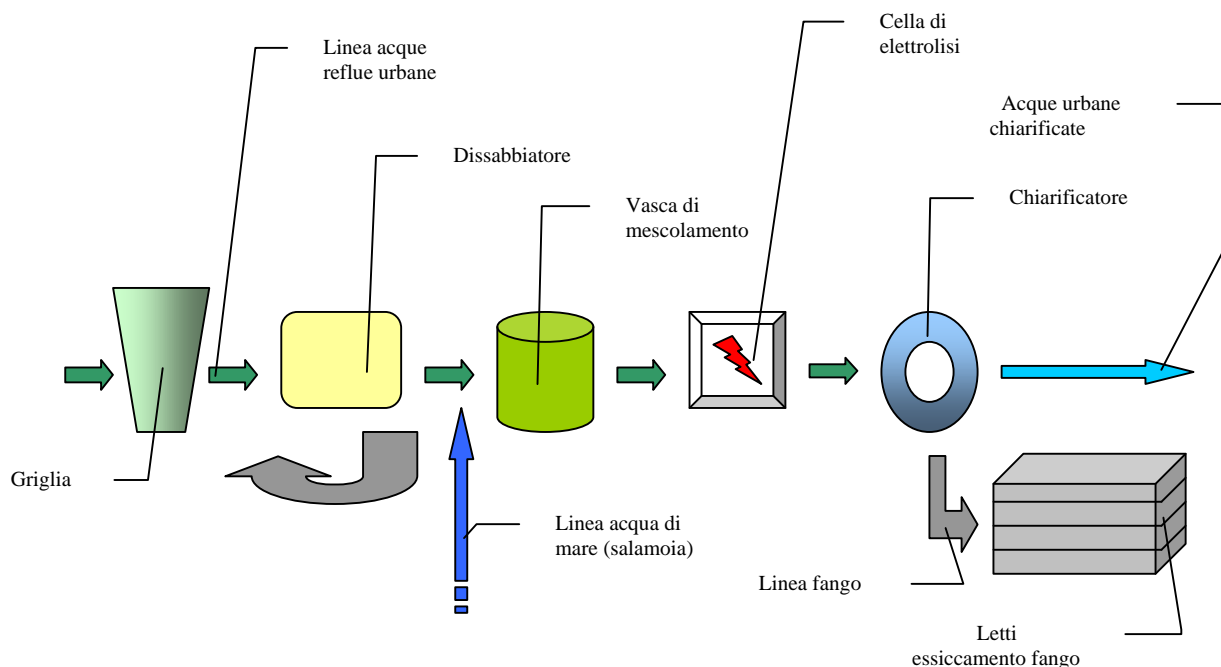
- b) reazioni chimiche successive, tra i prodotti dell'elettrolisi e di essi con i costituenti dell'acqua di mare (salamoia): formazione del flocculante  $Mg(OH)_2$ , del disinfettante  $HClO$ , formazione di  $Ca_3(PO_4)_2$ ;  $MgNH_4PO_4$  (precipitazione dei fosfati);

- c) azioni chimico-fisiche, svolte da alcuni dei prodotti delle reazioni menzionate su alcuni inquinanti: ad esempio le bollicine di idrogeno favoriscono la flottazione dei solidi sospesi a basso peso specifico, i fiocchi di  $Mg(OH)_2$  facilitano l'assorbimento dei fosfati, etc.

### 3.1.1. Fasi principali.

Le fasi principali del trattamento per linea acqua sono:

- a. grigliatura del liquame grezzo;
- b. dissabbiamento (eventuale);
- c. mescolamento con acqua di mare (rapporto medio di diluizione 3:1);
- d. elettrolisi di miscuglio: liquame – acqua di mare;
- e. chiarificazione.



Ciclo del trattamento elettrochimico dei fluidi urbani.

Si intende richiamare l'attenzione sull'ultima di queste specifiche fasi che, dal punto di vista impiantistico, nel particolare, costituisce un criterio avanzato e di notevole economicità.



Il trattamento tradizionale chimico delle acque, notoriamente, prevede oltre la preparazione, dosaggio ed aggiunta dei reattivi, le fasi di mescolamento rapido, flocculazione, sedimentazione.

Si adoperano a tal fine vasche separate, il cui volume complessivo corrisponde a circa 3 ore di detenzione.

Una notevole evoluzione in tal senso è stata rappresentata dall'impiego degli impianti a bacino unico che, grazie al principio in essi sviluppato del ricircolo o contatto con i fanghi preformati (coadiuvati), consentono di incrementare l'efficienza del processo di chiarificazione, e di ridurre il tempo di detenzione (fino a 60-90 min.) con ovvia economia di volumi di gioco.

Nel caso del trattamento chimico dei liquami la rapida setticita' dei fanghi non consente, di poter praticare la chiariflocculazione con l'ausilio dei fanghi preformati.

Nel trattamento elettrochimico, viceversa, tale tecnologia può essere vantaggiosamente applicata in considerazione dell'alta concentrazione di cloro presente nel miscuglio dopo l'elettrolisi e nella vasca di chiariflocculazione.

Ciò consente al fango ricircolante di svolgere azione coadiuvante della chiarificazione.

La vasca, inoltre, svolge anche la funzione di capacità di contatto per la disinfezione. Atteso il tempo detenzione adoperato (60-90 min.) l'effluente finale oltre che fortemente chiarificato risulta pressoché sterilizzato.

Qualora, come nel caso del riutilizzo dei reflui, sia necessario un ulteriore abbattimento dei solidi sospesi sarà sufficiente un trattamento di filtrazione rapida.



A lato:  
Filtri a sabbia.

Infatti, al termine di tali trattamenti non è raro rilevare la presenza di solidi sospesi in concentrazioni superiori ai limiti di accettabilità imposti dalla normativa vigente sugli scarichi. In tal caso la filtrazione finale deve essere una operazione concepita e progettata con particolare cura all'interno dello schema di processo e nella scelta delle apparecchiature d'impianto.

Fra le diverse possibili applicazioni, che in questa sede verranno solo accennate, quelle maggiormente adottate prevedono la filtrazione su sabbia o la microfiltrazione in continuo attraverso particolari tele con luce dei passaggi fino a 20 $\mu$ .

In particolare, scopo della filtrazione su sabbia è quello di trattenere le particelle residue in sospensione ed effettuare un "polishing" finale dell'acqua.

Per rimuovere i solidi accumulati, i filtri a sabbia devono essere periodicamente sottoposti a controlavaggio con acqua depurata o di rete; l'acqua reflua è convogliata in testa all'impianto.

Più immediata dal punto di vista progettuale e tecnologico risulta l'alternativa del trattamento finale delle acque di processo nel caso di scarico in mare, per le quali sarà opportuno controllare l'eventuale eccesso di cloro residuo, (oltre agli altri parametri chimico-fisici secondo il dettato degli allegati tecnici del D.L. n°152 del 1999), il cui dosaggio, comunque, è regolabile intervenendo sulle condizioni di processo a monte.

### 3.2 Linea fanghi.

Per quanto riguarda la linea fanghi, è stato provato sperimentalmente che è sufficiente una semplice disidratazione per via naturale o, nel caso, meccanica senza digestione. I fanghi disidratati andranno esitati mediante scarica controllata. Cio' è reso possibile grazie alla forte azione battericida del cloro prodotto nel corso del processo, dato oltretutto il lungo tempo di contatto nel bacino di chiariflocculazione.

### 3.3 Risultati sperimentali.

Nella tabella viene riportata una sintesi dei risultati ottenuti sperimentalmente con un impianto pilota, relativamente all'abbattimento percentuale di solidi sospesi, BOD<sub>5</sub> e fosfati.

	Quantità	Unità
<b>Dati di esercizio</b>	Intensità di corrente	(A) 200
	Densità di corrente anodica	(B/dm <sup>2</sup> ) 1,33
	Differenza potenziale	(V) 4
	Consumo di energia	(kWh/m <sup>3</sup> ) 0,53
	Tempo di detenzione in cella	(l/hr) 2000
	Tempo di detenzione nel chiarifloc.	(sec) 38
	Rapporto liquame/acqua	(min) 1/3
<b>Effluenti</b>	Solidi sospesi	(ppm) 12
	BOD <sub>5</sub>	(ppm) 140
	Fosfati	(ppm) 1,3
	Cloro residuo dopo l'elettrolisi	(ppm) 23,5
<b>Efficienza depurativa</b>	Solidi sospesi rimossi	97%
	BOD <sub>5</sub> rimosso	57%
	Fosfati rimossi	86%

Tabella: Risultati di sperimentazione pilota con le acque di rifiuto urbane (fonte: Poon, C.P.C., and T.G. Brueckner ( 1975 ). Jour. Water. Poll. Contr. Fed., 47).

Si ribadisce la convenienza del trattamento elettrochimico sia come sistema unico nel caso di scarico a mare, sia come processo a se stante di terzo stadio.

L'alternativa dell'uso della salamoia, conferma comunque la validità del processo per la produzione " in situ " di reattivi in uso nella depurazione, che consente di trasferire nelle zone interne l'impiego del trattamento in questione. L'uso della salamoia, se da lato non consente l'azione di diluizione del liquame con l'acqua di mare, dall'altro consente minori capacità di impianto.

## 4. Trattamenti di quarto stadio: correzione elettrochimica.

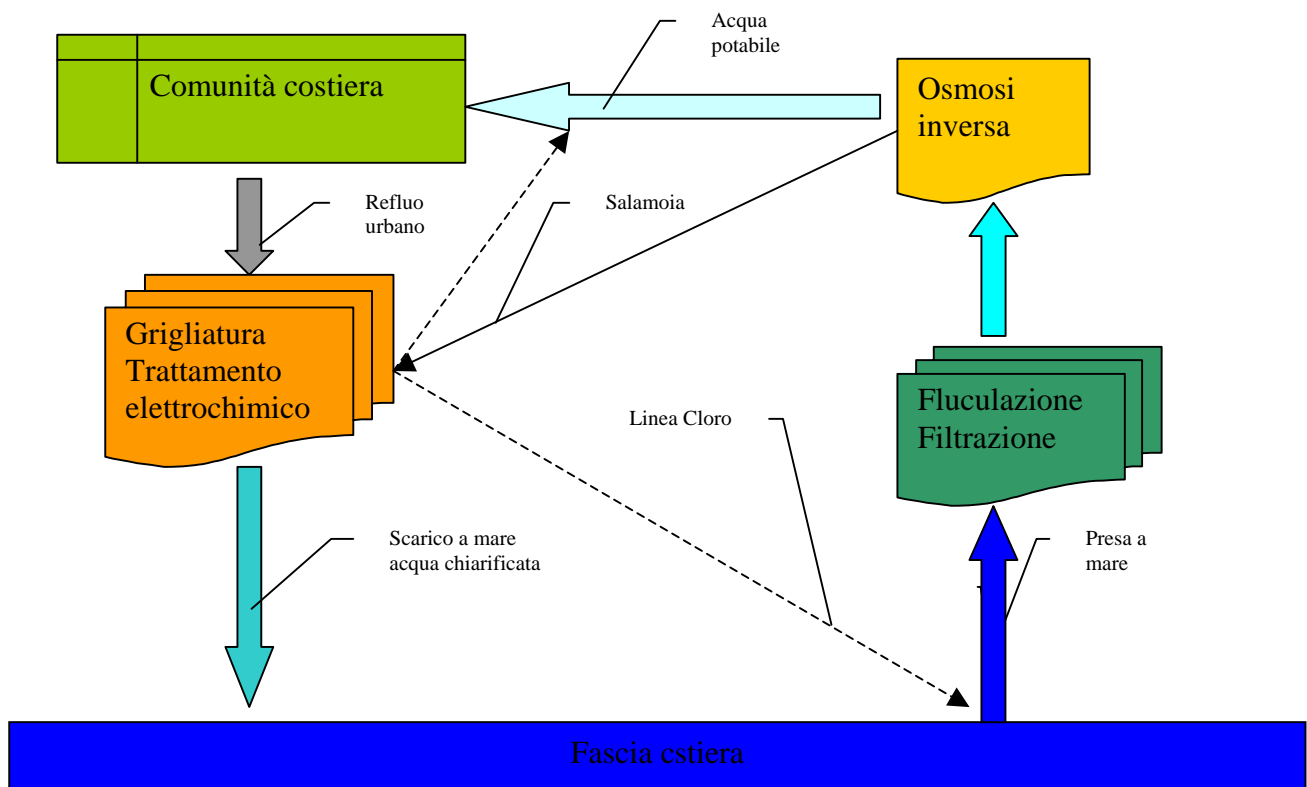
Il trattamento di iperfiltrazione o osmosi inversa fa uso di membrane polimeriche dalla “trama così fitta” da essere in grado di trattenere perfino la gran parte degli ioni presenti. Eccellente, quindi, per l’abbattimento dei solidi disciolti (con efficienze di rimozione del 90-95%) si comporta a maggior ragione, come barriera totale per la rimozione di macromolecole, colloidali e solidi sospesi.

L’osmosi inversa, quindi applicata a valle di uno schema di trattamento dei reflui urbani da luogo ad una portata trattata (il permeato) con caratteristiche paragonabili a quelle di un’acqua potabile o addirittura di una acqua di processo industriale.

La capacità ritentiva di particelle, molecole e ioni è, però al tempo stesso la causa del principale problema applicativo dell’osmosi inversa: lo sporcamento delle membrane. Lo sporcamento si ricuce con un adeguato pretrattamento che, nel caso di reflui urbani, implicherà a valle della sedimentazione secondaria, disinfezione, chiariflocculazione con calce, filtrazione a letto misto, e su cartucce, dosaggio di acido e antiincrostanti.

Per quanto riguarda i costi d’impianto e d’esercizio, tradizionalmente rilevanti, essi si sono ridotti, di recente, grazie all’introduzione sul mercato di moduli di membrana capaci di operare, su acque a bassa salinità quali i reflui urbani trattati, (a pressione di solo 15 atmosfere, contro le 30 finora necessarie).

Applicazioni ormai “storiche” sono gli impianti nei quali il concentrato di risulta del processo è costituito ovviamente dal materiale trattenuto che nel caso di acque marine o salmastre è rappresentato da una salamoia.



Caso di comunità costiera: trattamento combinato, elettrochimico ed osmosi inversa.

#### 4.1 Trattamento combinato: depurazione e correzione elettrochimica.

Un'interessante applicazione nell'ambito dell'ingegneria civile e sanitaria a basso impatto ambientale e paesistico può essere riferita alla peculiare combinazione di osmosi inversa e trattamento elettrochimico, nel caso di piccole comunità costiere.

L'osmosi inversa viene usata per l'approvvigionamento idrico dissalando l'acqua di mare, mentre il trattamento elettrochimico, associato allo scarico a fondale, risolve il problema della depurazione dei reflui della comunità (vedi diagramma di flusso precedente).

Entrambe le tecnologie utilizzano aree molto limitate garantendo un basso livello di impatto ambientale poiché, non sono rumorose, non generano cattivi odori né inquinamento termico e provocano, quindi un minimo impatto ambientale con evidenti, rilevanti vantaggi per zone spesso ad economia turistica.

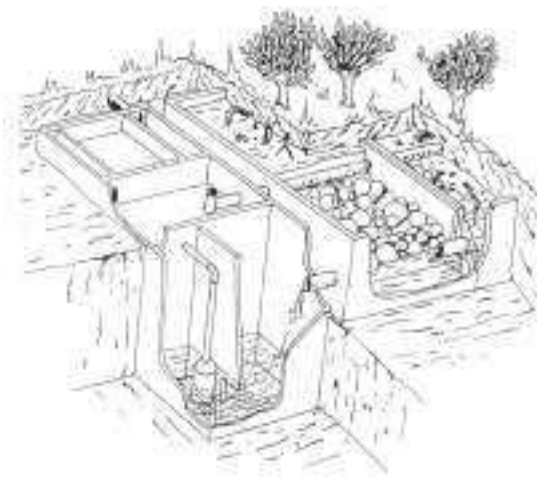
Inoltre, dal punto di vista processistico, la combinazione dei due sistemi è particolarmente interessante perché l'osmosi inversa fornisce al trattamento elettrochimico la salamoia di cui esso ha bisogno e quest'ultimo fornisce alla dissalazione il cloro necessario per la disinfezione dell'alimentazione e del prodotto. Ancora, la stessa apparecchiatura utilizzata per il trattamento elettrochimico può fungere, ad elettrodi invertiti, come pretrattamento di flocculazione necessario all'osmosi inversa.

Tutte le apparecchiature, inoltre fanno uso di corrente elettrica (addirittura di tipo continuo per le celle elettrochimiche) consentendo, quindi, forme di alimentazione ed energie rinnovabili quali la fotovoltaica e/o l'eolica.

#### 5. Impianto correttivo di acque di quarto stadio: evapotraspirazione.

Come già accennato, quindi, a valle dell'impianto di biodepurazione a biomassa adesa e ancora in serie al ciclo integrato di trattamenti chimici, si pone il sistema di fitodepurazione evapotraspirante per il trattamento correttivo di quarto stadio di cui si darà di seguito una sintetica descrizione tecnico-impiantistica e se ne descriveranno le caratteristiche degli innesti vegetazionali depuranti.

IMPIANTO PREFABBRICATO  
PER LA DEPURAZIONE DELLE ACQUE  
A TRASPIRAZIONE VEGETALE



Rappresentazione di un impianto modulare di phitodepurazione basato sul principio depurativo della vapotraspirazione.

### 5.1 Generalità.

Tra i vari metodi presi in considerazione per lo smaltimento e la correzione chimico-fisica ai fini del reimpiego ad usi civili, industriali, agricoli, etc. delle acque provenienti da scarichi assimilabili al civile, ha avuto la massima attenzione in ambito di ricerca di sistemi depurativi ad alto valore aggiunto, lo studio del sistema basato sull'evapotraspirazione da considerare a tutti gli effetti un trattamento depurativo di tipo biologico, poiché esso comporta l'azione combinata dei vegetali che crescono in superficie, dei batteri del suolo, oltre che della azione fisica e chimico-fisica del suolo stesso.

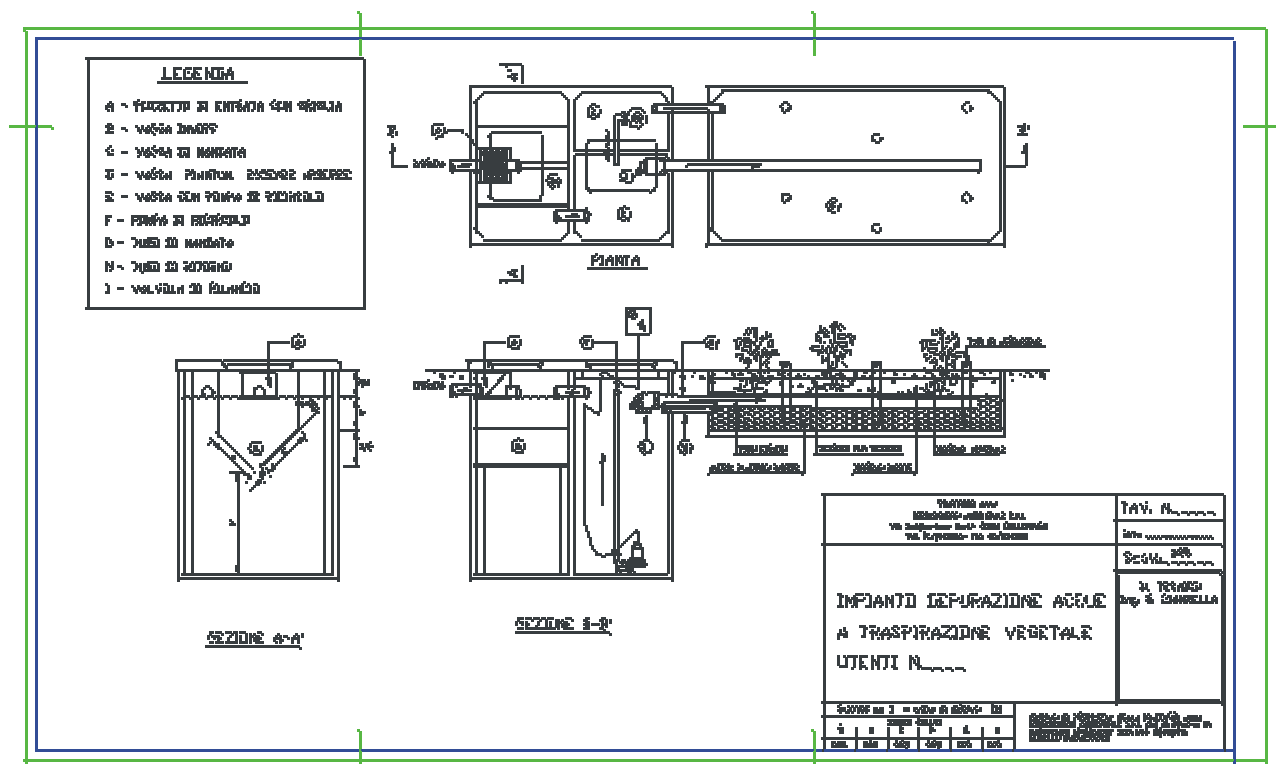
Lo smaltimento delle acque con detto sistema, utilizza un processo del tutto naturale, che comporta il completo adsorbimento del liquame e quindi assenza di percolazione, tramite la evapotraspirazione, una evaporazione di tipo fisico unita al consumo biologico di acqua da parte di vegetali.

Nel complesso si tratta di un fenomeno che dipende dal clima, dal tipo di terreno e di colture e dalla utilizzazione vegetale delle sostanze inquinanti contenute nel liquame domestico. Il carico organico che arriva con le acque viene mineralizzato dalla flora batterica presente nel terreno e adsorbito da parte di piante dotate di caratteristici cicli biologici; tali cicli fanno in modo che l'acqua salendo dalle radici verso le foglie venga smaltita per evaporazione. Questa tecnica in linea con i principi generali della bioarchitettura, consente di eliminare le acque con basso utilizzo dell'energia elettrica, necessaria nella sola eventualità di un esubero temporaneo e quindi perfettamente in linea con le regole di uno sviluppo sostenibile. Il metodo consigliato soprattutto in presenza di falde superficiali, in vicinanza di pozzi o quando il rapporto tra volume edificato e superficie del lotto disponibile è maggiore dello 0,40 (D.L. n°319/1976, DL n°152/1999, DM n°185/2003 ed alt.) per cui non è possibile eseguire la subirrigazione. Tale metodo può essere assimilato ad una subirrigazione di tipo protetto, senza, cioè rilascio di acque nell'ambiente, od anche ad una fertirrigazione a perfetta tenuta stagna. Un impianto di phitodepurazione evapotraspirante racchiude nelle tre camere in cui è diviso, una vasca imhoff, una vasca chiarificatrice e di mandata e una vasca di accumulo e ricircolo. Il collegamento dell'impianto tecnico alla vasca dove si effettua la subirrigazione (sistema vegetale e minerale assimilabile ad un reattore biologico a se stante) è reso agevole dai collegamenti tubbieri e collettori.

### 5.2 Descrizione dell'impianto.

Le acque provenienti dalle abitazioni , caratterizzate da un inquinamento specifico E-coli pari a 375 mg/l, raggiungono il monoblocco d'impianto (comprendente la sezione tecnica e quella biologica), dove all'interno della imhoff di forma rettangolare è alloggiata una griglia a maglie larghe. Nella vasca imhoff le acque perdono per sedimentazione le parti più pesanti, mentre i grassi si depositano per flocculazione all'interno del bacino superiore, che ha la funzione di condensagrassi. Le acque così trattate, il valore di E-coli in uscita è di 243 mg/l, inferiore al limite massimo della tabella di pertinenza parametrica dell'allegato tecnico del D.L. n°152/1999, passano in una vasca di chiarificazione, da dove tramite un sifone a pressione munito di valvola a peso, raggiungono il bacino di piantumazione. Il sifone a pressione ha la funzione di realizzare un piccolo colpo di ariete all'interno del tubo distributore posto nella vasca di piantumazione, consentendo così oltre che la pulizia dei fori e dei tagli eseguiti sul tubo irriguo dai sedimenti di terriccio, tale pressione idraulica permette anche il superamento della resistenza di ritenzione che causata un innalzamento dell'acqua all'interno della vasca di chiarificazione solitamente dovuta alle caratteristiche di progettazione idraulica.

Il risultato conseguito è il rilascio dell'acqua all'interno del bacino di piantumazione a piccole ondate. L'acqua si distribuisce nella vasca di piantumazione dove forma un bacino che può raggiungere un livello massimo di 20 cm dal fondo, trovando spazio nelle cavità presenti, realizzate dal pietrame di varia taglia proporzionali alla grandezza dell'impianto. Tale sistema di drenaggio naturale consente alle acque di essere trasferite per osmosi nella zona di terreno più in basso e mantenerlo sempre umido.



Schema sintetico di impianto di smaltimento acque ad evapotraspirazione.

Il sistema minerale drenante è posto a forma di letto con altezza uniforme all'interno del bacino e su di esso è posizionato il tubo distributore; sul sistema sopra descritto viene steso un tessuto non tessuto, a copertura totale di tutto il bacino. Su tale tessuto viene posto il terreno misto di materiale inerte e vegetale, in modo da costringere i corpi radicali delle piante a prelevare le acque e le sostanze organiche mineralizzate necessarie ai loro cicli biologici nel bacino sottostante. Naturalmente, poiché le acque non vengono rilasciate con continuità, ma per lo più durante periodi della giornata con portate di punta ed essendo le piante in grado di asportarle con uniformità ma in piccole quantità, onde evitare l'allagamento periodico del bacino di piantumazione, con conseguente immersione delle radici e quindi loro danneggiamento (si rischia la sopravvivenza delle piante stesse) il bacino viene mantenuto come detto ad una altezza massima di 20 cm dal fondo tramite un troppo pieno, che riporta le acque di esubero in una vasca apposita di accumulo dove una pompa provvederà al reflussaggio nel chirificatore.

### 5.3 Bacini di piantumazione.

Tali impianti sono calcolati in sede sperimentale per un rilascio medio pro capite di 160 litri acqua/ giorno.

Nel dimensionare il bacino si dovrà tener conto del tipo di piante adottato e del fatto che il ciclo biologico delle essenze arboree risulterà ridotto nel periodo notturno.

Secondo dati botanici alcuni tipi di piante hanno la capacità di adsorbire notevoli quantità di acqua necessarie per il loro ciclo biologico:

bambù	21 litri/d
lauro ceraso	9 litri/d
salice piangente	250 litri/d

Dovremo inoltre tener conto che tali dati si riferiscono al periodo di bella stagione, pertanto si calcoleranno il numero di piante e le superfici per la loro messa a dimora tenendo conto del clima, della orografia del terreno e del tipo di arbusti utilizzati. Oltre ai dati necessari per la realizzazione di un buon impianto di smaltimento, occorrerà raccogliere dati sul volume del corpo radicale della pianta messa a dimora da utilizzare per stabilire l'altezza del materiale semi inerte necessario alla loro piantumazione nella parte superiore del bacino.

## ELENCO DELLE PIANTE SELEZIONATE

### ARBUSTI

*Aucuba Japonica*  
*Bambù*  
*Calycanthus Floridus*  
*Cornus Florida*  
*Cornus Stolonifera*  
*Cotoneaster Salicifolia*  
*Kalmia Latifolia*  
*Laurus Cerasus*  
*Rhamnus Frangula*  
*Sambucus Nigra*  
*Spirea Salicifolia*  
*Thuya Canadensis*

### AUCUBA

Genere di tre specie di arbusti sempreverdi, rustici, spontanei in Cina, nelle regioni dell'Himalaya e in Giappone. Sono piante dioiche: perciò, per ottenere le bacche si devono piantare vicini individui dei due sessi. Facile da coltivare, tollerano l'ombra intensa, i fumi e i gas. Possono essere piantate in mastelli o in altri contenitori in cortili ombrosi; possono anche essere utilizzate come piante da appartamento. AUCUBA JAPONICA. (Giappone). Altezza 1-4 metri, diametro 0.5-2.5 metri arbusto compatto a chioma tondeggiante, con foglie brillanti verde scuro, coriacee, ovate, di solito dentate verso l'apice. I fiori, verde oliva, riuniti in pannocchie erette, lunghe 5-10cm., sbocciano in marzo-aprile. In seguito sugli individui femminili si formano piccoli grappoli di bacche ovoidali scarlatto brillante, che spesso durano dall'autunno fino alla primavera successiva. TECNICA COLTURALE. Le aucube sono tra gli arbusti sempreverdi di più facile coltivazione. Si piantano in settembre-ottobre o in marzo-aprile in posizione soleggiata o parzialmente ombreggiata. Crescono bene in giardini di città e in riva al mare. Per ottenere le bacche si pianta un individuo maschile ogni tre piante femminili; in tal modo è assicurata l'impollinazione.

### BAMBU'

Genere di 70 specie, originarie delle zone tropicali, subtropicali e temperate, prevalentemente asiatiche. Appartengono al grande gruppo dei bambù. La specie descritta è di taglia molto bassa, adatta per essere piantata a gruppi, fra gli alberi. TECNICA COLTURALE. Si pianta in primavera, in terreno tendenzialmente umido. E' una specie rustica, che resiste bene ai freddi invernali. Cresce bene nelle zone soleggiate o parzialmente ombreggiate.

### CALYCANTHUS

Genere di 4 specie di piante arbustive, rustiche, fiorifere, affini al genere *Chimonanthus*. CALYCANTHUS FLORIDUS. America settentrionale. Altezza e diametro 2.5 metri. Arbusto a chioma tondeggiante, con foglie grandi, ovali acuminate all'apice dei rami, da maggio ad agosto. TECNICA COLTURALE. Si piantano durante l'autunno o in primavera, in tutti i terreni da giardino, in posizioni soleggiate e riparate.

### CORNUS

Questo genere è stato smembrato in più generi, in considerazione delle differenze esistenti, nella forma dei frutti e dei fiori, fra le specie ad esso attribuite, poiché i nomi proposti dai botanici non sono ancora entrati nell'uso comune, è stato mantenuto lo schema di classificazione tradizionale. Questo genere, comprende dunque 40 specie di piante erbacee perenni, arbusti e piccoli alberi, prevalentemente a foglie decidue. Le specie descritte sono tutte rustiche; vengono coltivate per i fiori, per il fogliame decorativo o per la corteccia dei fusti, vivacemente colorata. I fiori sono piccoli a forma di stella, generalmente bianchi, gialli o verdi-gialli. Crescono sui rami dell'anno precedente in ombrelli o corimbi, rotondi o appiattiti, circondati, in alcune specie, da grandi brattee simili a petali.

### CORNUS FLORIDA.

Regioni orientali degli Stati Uniti. Altezza 5-6 metri, diametro 6 metri o più. Arbusto ramificato o piccolo albero inserito, attualmente, nel genere *Cynoxylon*. Le foglie, decidue, opposte, ovate, verde scuro sulla pagina superiore e glauche inferiormente, diventano arancio brillante e scarlatte in autunno. I fiori, insignificanti, verdi, sono circondati da 4 brattee bianche simili a petali, cuoriformi, lunghe 4-6 cm. I frutti, globosi, simili a fragole, appaiono dalla fine dell'estate in poi. *Cornus florida* "Rubra" ha brattee rosa e bianche.

### CORNUS STOLONIFERA

America settentrionale Altezza 2.5-3 metri, diametro 2-3 metri. Questa specie, attribuita attualmente al genere *Swida*, è un arbusto vigoroso, pollonifero, con corteccia che in inverno diventa di colore rosso opaco. Le foglie, decidue, e i fiori assomigliano a quelli di *C. alba*. La varietà "Flaviramea" ha corteccia verde-gialla in inverno. TECNICA COLTURALE. Si piantano in autunno o all'inizio della primavera, in tutti i terreni da giardino fertili, ricchi di sostanza organica, freschi, al sole o in posizioni leggermente ombreggiate.

### COTONEASTER

Genere di circa 50 specie di arbusti a foglie decidue o sempreverdi, rustici, a portamento variabile, eretto o prostrato. La maggior parte delle specie a foglie decidue assumono, in autunno, colori vivaci; le specie e gli ibridi sempreverdi



sono adatti per formare siepi; le forme prostrate sono adatte per coprire il terreno. Tutte le specie hanno fiori a cinque petali, di colore bianco-rosa, appiattiti o a forma di coppa; i frutti sono piccole drupe simili a pomi, di colore vivace; maturano in autunno e persistono per lungo tempo sulla pianta.

#### **COTONEASTER SALICIFOLIUS.**

Cina. Altezza e diametro 3-4.5 metri arbusto sempreverde, con foglie ovali-lanceolate, simili a quelle del salice, lucide superiormente, bianco-grigiastre e pelose sulla pagina inferiore. I fiori, bianchi, sono riuniti in corimbi larghi 5-8 cm. e compaiono in giugno; i frutti sono sferici, di colore rosso brillante, riuniti in gruppi compatti. La varietà *Cotoneaster Salicifolius Floccosus* ha rami arcuati e foglie più lucide e più strette di quelle della specie tipica, bianche e lanose sulla pagina inferiore; produce grandi gruppi di frutti piccoli, rosso brillante. *Cotoneaster salicifolius "Repens"* (altezza 30 cm. è adatto per coprire il terreno. **TECNICA COLTURALE.** I cotoneastri crescono bene in tutti i terreni da giardino, preferibilmente in posizioni soleggiate. Si piantano in ottobre-novembre o in febbraio; le piante ottenute dai semi presentano caratteristiche molto variabili; le varietà devono essere moltiplicate vegetativamente, per ottenere piante con caratteri costanti. Per formare siepi, si mettono a dimora le giovani piante alla distanza di 0.6-1 metro e di 1.5-2 metri nel caso di siepi alte. Dopo la messa a dimora, si accorciano a 3 quarti dalla lunghezza tutti i rami, per ottenere piante ramificate.

#### **KALMIA**

Genere di 8 specie di arbusti sempreverdi, rustici, a fioritura estiva. Si coltivano in terreno non calcareo, in posizioni semiombreggiate, per esempio nelle zone più luminose del sottobosco, insieme con i rododendri. I fiori, tondeggianti o appiattiti, riuniti in corimbri, si formano in posizione terminale o ascellare, sui rami dell'anno precedente. **KALMIA LATIFOLIA.** Regioni nord-orientali dell'America settentrionale. Altezza e diametro 3.5 metri. Arbusto con foglie ellittico - lanceolate, coriacee, lucide, velenose. I fiori, rosa, sbocciano nei mesi di maggio-giugno. **TECNICA COLTURALE.** Le *Kalmia* si piantano in settembre-ottobre o in aprile-maggio, in terreno umido, torboso, non calcareo, preferibilmente in posizioni ombreggiate.

#### **LAURUS**

Genere di 2 specie di arbusti sempreverdi, rustici. La specie descritta, diffusa allo stato spontaneo nella regione mediterranea, si coltiva in mastelli o in piena terra; si può impiegare per formare siepi. Le foglie sono usate per aromatizzare la carne, il pesce e altre vivande. **TECNICA COLTURALE.** Si piantano in marzo-aprile, in tutti i terreni da giardino, al sole, in posizioni riparate; oppure in mastelli o cassette di 40-50 cm., riempiti con la composta.

#### **RHAMNUS**

Genere di circa 90 specie di arbusti o piccoli alberi, prevalentemente a foglie decidue, diffusi allo stato spontaneo nell'emisfero boreale, in Brasile e nell'Africa meridionale. Hanno fiori verdi o verde-giallastri, e frutti dapprima rossastri, successivamente porpora scuro e neri. **RHAMNUS FRANGULA.** Europa, Italia, Asia occidentale, Africa settentrionale. Altezza e diametro 3-5 metri. arbusto con foglie ovali, a margini ondulati, leggermente acuminate. I fiori piccoli, biancastri, riuniti in fascetti, sbocciano in primavera, seguiti da piccoli frutti dapprima verdi, poi rossi, infine neri. **TECNICA COLTURALE.** Sono piante facili da coltivare in tutti i terreni da giardino e non necessitano di particolari cure. Si piantano in primavera. Le migliori posizioni sono quelle parzialmente ombreggiate.

#### **SAMBUCUS**

Genere di 40 specie di arbusti e piccoli alberi rustici, a foglie decidue, imparipennate, con foglioline di forma variabile, da ovate a lanceolate. I fiori, piccoli, stellati, bianchi o avorio, sono riuniti in infiorescenze corimbose. I frutti sono piccole drupe lucide, rosse, blu o nere. **SAMBUCUS NIGRA.** Europa, Italia. Altezza 2-8 metri. Arbusto o piccolo albero con foglie imparipennate, formate da 3-7 foglioline ovali o oblunghie, seghettate ai margini e acuminate all'estremità. Le foglie in autunno diventano color bronzo. I fiori bianco-crema, riuniti in cime corimbose, appiattite, larghe 10-15 cm., sbocciano in maggio-giugno; in settembre maturano i frutti, tondeggianti, neri, lucidi. **TECNICA COLTURALE.** Si piantano in ottobre-novembre o in febbraio-marzo, in qualsiasi tipo di terreno da giardino, al sole o in posizioni parzialmente ombreggiate. Le varietà con foglie dorate mantengono più a lungo il loro colore giallo-verde, se sono coltivate in posizioni umide, ombreggiate e fresche.

#### **SPIRAEA**

Genere di 100 specie di arbusti fioriferi, rustici, a foglie decidue, con fiori piccoli, riuniti in corimbi o in pannocchie. Tutte le specie descritte sono adatte per formare siepi fiorifere. **TECNICA COLTURALE.** Si piantano in ottobre o in marzo, in terreno fertile, profondo, al sole. Per ottenere siepi, gli arbusti si piantano alla distanza di 40-60 cm. l'uno dall'altro, secondo le specie, e si tagliano i rami dell'anno precedente a 15 cm. dal livello del terreno. Si cimano i germogli quando sono lunghi 8-10 cm; in seguito si tagliano ogni anno dopo la fioritura.

#### **THUYA**

Genere di 5 specie di conifere sempreverdi, originarie della Cina, di Formosa, del Giappone e delle regioni settentrionali degli Stati Uniti. Sono alberi di piccole e medie dimensioni, a crescita lenta. La chioma è generalmente densa, conica o irregolarmente tondeggianti, con branche erette. Le foglie squamiformi, coprono completamente i rami; quelle giovani sono più grandi e appuntite di quelle adulte. I coni, eretti, sono lunghi meno di 2.5 cm. Le specie e le varietà nane e a crescita lenta sono adatte per i giardini piccoli o per il giardino roccioso; gli alberi di grandi dimensioni sono adatti solo per i giardini grandi o per formare siepi. **TECNICA COLTURALE.** Le tue sono facili da coltivare in tutti i terreni da giardino, preferibilmente profondi, umidi, in pieno sole. Si piantano in novembre o in marzo, utilizzando piante di altezza non superiore a 60 cm. Per formare siepi, si mettono a dimora piante alte 50 cm. alla distanza di 60-70 cm. Si cimano gli apici vegetativi, per stimolare la ramificazione.

## **FIORI**

*Astilbe*

*Auruncus Sylvester*

*Elymus Arenarius*

*Felci*

*Iris Pseudoacorus*

*Iris Kaempferi*

*Lythrum Officinalis*

*Nepeta Musini*

*Petasites Officinalis*

## **ASTILBE**

Genere di 25 specie di piante erbacee, perenni, rizomatose, rustiche. Adatte per le bordure erbacee, sono particolarmente belle quando sono piantate in gruppi vicino ad uno stagno, dove si combinano bene con le iris e le primule. Hanno foglie profondamente divise, con riflessi color rame quando sono giovani, e infiorescenze piumose di colore vivace. **TECNICA COLTURALE.** Le Astilbe richiedono un terreno sempre umido; possono essere coltivate al sole e all'ombra. Si piantano in primavera; si bagnano abbondantemente durante l'estate; in aprile si effettua una pacciamatura del terreno con letame maturo, terriccio di foglie e torba; in ottobre si tagliano le piante a livello del terreno e ogni tre anni si dividono i rizomi. Le varietà piccole possono essere coltivate in vaso; si piantano in settembre-ottobre con composta.

## **ELYMUS**

Genere di piante erbacee perenni, erette, grandi; comprende circa 45 specie delle regioni temperate dell'emisfero settentrionale. Hanno foglie piane o convolute, infiorescenze in lunga spiga terminale. I semi hanno involucri spesso muniti di setole rigide e igroscopiche, le quali, col mutare dell'umidità dell'ambiente, si muovono facilitando entro certi limiti la dispersione dei semi stessi. **ELYMUS ARENARIUS.** Diffusa in Europa media e boreale, mar Nero, mar Caspio, Siberia, Giappone, e America boreale, è presente anche nelle nostre regioni (avventizia) sul litorale veneto. E' alta circa 1 metro, e ha numerose, lunghe e robuste radici, per questa ragione si coltiva per fissare le dune sabbiose, mescolandola con *Ammophila arenaria*.

## **FELCI**

Le felci sono piante diffuse in tutte le parti del mondo in cui esiste vegetazione: La maggior parte delle specie si trovano nelle regioni tropicali, ma anche nelle zone a clima temperato si trovano numerose felci, diffuse soprattutto nel sottobosco delle foreste. Hanno dimensioni, forma e portamento molto variabili; le loro fronde si usano nelle composizioni floreali.

## **IRIS**

Genere di 300 specie di piante appartenenti alla sottoclasse delle Monocotiledoni, diffuse allo stato spontaneo nell'emisfero settentrionale, dal Circolo Polare Artico al Tropico del Cancro. Molte specie sono presenti in numerose regioni italiane. In generale hanno foglie ensiformi, disposte a ventaglio, lucide od opache, di colore variabile dal grigio-verde al verde scuro. I fiori sono formati da una serie di 3 elementi. L'involucro florale, o perigonio, è formato da due serie di segmenti saldati alla base; i 3 segmenti esterni, larghi verso l'estremità e ristretti alla base, sono rivolti all'indietro; i 3 interni sono eretti; fra i due tipi di segmenti spuntano 3 stimmi petaloidei, nastriformi. Gli stami sono 3, disposti ai segmenti esterni del perigonio.

## **IRIS LEVIGATAE**

*Iris Kaempferi.* Mancinuria, Corea, Giappone. Altezza 60-80 cm. distanza fra le piante 30-50 cm. Specie con foglie decidue, sottili, verde scuro, a nervature rilevate. I fiori, larghi fino a 20 cm, hanno perigonio con segmenti interni piccoli, eretti e segmenti esterni grandi, allargati all'infuori; la specie tipica e le varietà hanno una macchia gialla alla base dei segmenti esterni. Fiorisce in giugno-luglio. *Iris Pseudacorus.* Europa, Italia, Asia. altezza 1-1.2 metri, distanza fra le piante 60-80 cm. Pianta molto rustica, adatta per terreni sommersi; può essere coltivata anche in terreno asciutto, ma in questo caso raggiunge solo l'altezza di 60 cm. Piantata in acque poco profonde, può diventare alta anche 1.5 metri. Ha foglie decidue, verde-azzurre. Ogni fusto porta 5 o più fiori, larghi 7-9 cm., gialli, a volte con striature brune, che sbocciano in maggio-giugno. **TECNICA COLTURALE.** Le specie e le varietà della sottosezione *Laevigatae* crescono bene ai margini dei ruscelli, degli stagni e dei laghi; *Iris laevidata* e *Iris Pseudacorus*, con le loro varietà, sono vere e proprie piante acquatiche, adatte anche per le vasche. *Iris Kaempferi* non tollera il calcare e cresce bene in terreni molto fertili.

## **LYTHRUM OFFICINALIS**

Genere comprendente poco più di 20 specie di erbe annue o perenni, ampiamente distribuite. Hanno rami quadrangolari, foglie per lo più opposte, fiori solitari alle ascelle o in spighe o racemi; tubo calicino, con 4-6 lobi; petali 4-6; stami 6-12; ovario a due logge, stilo filiforme; il frutto è una capsula racchiusa nel calice, a deiscenza setticida. E' frequente lungo i corsi d'acqua e nei luoghi umidi.

## **NEPETA**

Genere di circa 250 specie di piante erbacee, annuali e perenni. Le specie perenni descritte sono rustiche e adatte per

*il giardino roccioso e per le bordure. Hanno fiori piccoli, tubolosi. Nepeta Musini. Origine orticola. Altezza 50-60 cm, distanza fra le piante 30 cm. Ibrido, adatto per le bordure, con foglie ovate, grigio-verdi; i fiori, azzurro-lavanda, riuniti in spicestri verticillati lunghi 15 cm., sbocciano da maggio a settembre. TECNICA COLTURALE. si piantano da ottobre a marzo, in tutti i terreni da giardino, al sole o in posizioni parzialmente ombreggiate. In autunno si tagliano tutti i fusti.*

#### **PETASITES**

*Genere comprendente una quindicina di specie di piante erbacee perenni nelle regioni temperate e fredde dell'emisfero settentrionale. Petasites officinalis, detto volgarmente cavolaccio o farfaraccio. E' una pianta con rizoma tuberoso, strisciante; il fusto è alto sino a 30 cm., le foglie, che per lo più compaiono dopo la fioritura sono reniformi, assai grandi con lamina sino a 80x45 cm. ragnatelese sulla pagina inferiore. I fiori sono in capolini, a loro volta riuniti in racemi, e sono rosei o porporini. Crescono bene in terreni umidi.*

**Elenco delle piante con spiccate caratteristiche di adsorbimento più comunemente utilizzate nella Fitodepurazione.**

Concludiamo che tali barriere arboree possono essere poste in prossimità del confine (il monoblocco con la fossa imhoff può essere posto a 3mt di distanza secondo i dettami del codice civile salvo diverse disposizioni regionali) e possono essere integrate con una serie di piante da fiore tipiche della zona con spiccate capacità, anche se in misura molto inferiore di adsorbimento delle acque allo scopo di meglio integrare con l'ambiente circostante l'impianto di fitodepurazione. I bacini hanno incorporati una serie di tubi di aerazione onde favorire nel sottostante terreno e sullo stato minerale drenante la crescita di batteri che producono la mineralizzazione delle sostanze organiche compiendo un processo depurativo caratteristico nella fitodepurazione.

### **Bibliografia essenziale.**

*(Integrazioni alla seguente bibliografia, possono essere ravvisate nel testo).*

- AA.VV., "Environmental technology – Safety in water analysis", (Merk KGaA);  
Paratela, Gola, Buso, "Ingegneria chimica", (Cleup);  
AA.VV., "L'esperimento Tevere: influenza di un fiume sull'ecosistema marino prospiciente la sua foce", (Quaderni IRSA-CNR);  
Allocca, "Inquinamento dell'acqua", (EPC Libri);  
Barbiero, Marchetti, Spaziani, "Valutazione dei carichi inquinanti potenziali per le acque costiere italiane", (Quaderni IRSA-CNR);  
Barletta, Marchetti, "L'inquinamento delle acque costiere italiane", (Quaderni IRSA-CNR);  
Battaglia, "La nuova legislazione per la tutela delle acque", (Edizioni delle Autonomie);  
Bianucci, Bianucci, "L'analisi chimica delle acque naturali ed inquinate", (Hoepli);  
Bianucci, Bianucci, "Il trattamento delle acque inquinate" (Hoepli);  
Bianucci, Bianucci, "Il trattamento delle acque residue industriali ed agricole", (Hoepli);  
Boffi, Lucarelli, "Le basi chimiche e chimico-fisiche", (Bulzoni Ed.);  
Borlenghi, "Guida alle norme ISO 14000", (Hoepli);  
Calomino, Veltri, "Idrologia urbana" (Editoriale Bios);  
Casotti, "Depurazione delle acque", (Calderini);  
Denbigh, Turner, "Teoria dei reattori chimici", (Etas Libri);  
Di Pinto, Floccia, Sanna, "La depurazione delle piccole comunità urbane e residenziali", (Edizioni delle Autonomie);  
Frega, "Lezioni di acquedotti e fognature", (Liguori Ed.);  
Genon, "Processi biologici industriali", (Clut);  
Imhoff, Imhoff, "Manuale del trattamento delle acque di scarico", (Franco Angeli Ed.);  
Khan, "Conversion and utilization of waste materials" (Applied Energy Tecnologi Siries);  
La Noce, "Il ruolo dei parametri analitici BOD, COD, TOD, e TOC nella valutazione dell'inquinamento delle acque", (Quaderni IRSA-CNR);  
Medugno, Gabbiotti, Pagliata. "Il nuovo regime delle acque", (La Tribuna Ed.);  
Merli, Volterra, "Definizione qualitativa dell'inquinamento", (Quaderni IRSA-CNR);  
Morrone, "Legislazione ambientale", (Rassegna Lavori Pubblici Ed.);  
Provini, Galassi, Marchetti, "Ecologia applicata", (Città Studi Ed.);  
Sanna, "Normativa e tecnica dello smaltimento dei rifiuti", (Edizioni delle Autonomie);  
Silva, Robertson, Milne, Amaratunga, "Amorphous carbon", (World Scientific);  
Tenporelli "L'acqua che beviamo" (Franco Muzzio Ed.).