



Università degli Studi di
Napoli Federico II



Università degli
Studi di Palermo



Università degli
Studi di Salerno



Corso di Aggiornamento

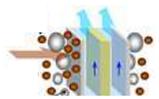
BioMAc 2013

Bioreattori a Membrane (MBR) per la depurazione delle Acque

**I sistemi MBR nel contesto dell'evoluzione
tecnologica e normativa per il rispetto dei limiti allo
scarico e il riuso delle acque reflue**

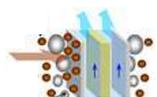
Francesco Pirozzi (Università di Napoli *Federico II*)

Palermo, 4-5 Luglio 2013

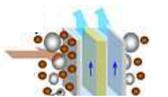
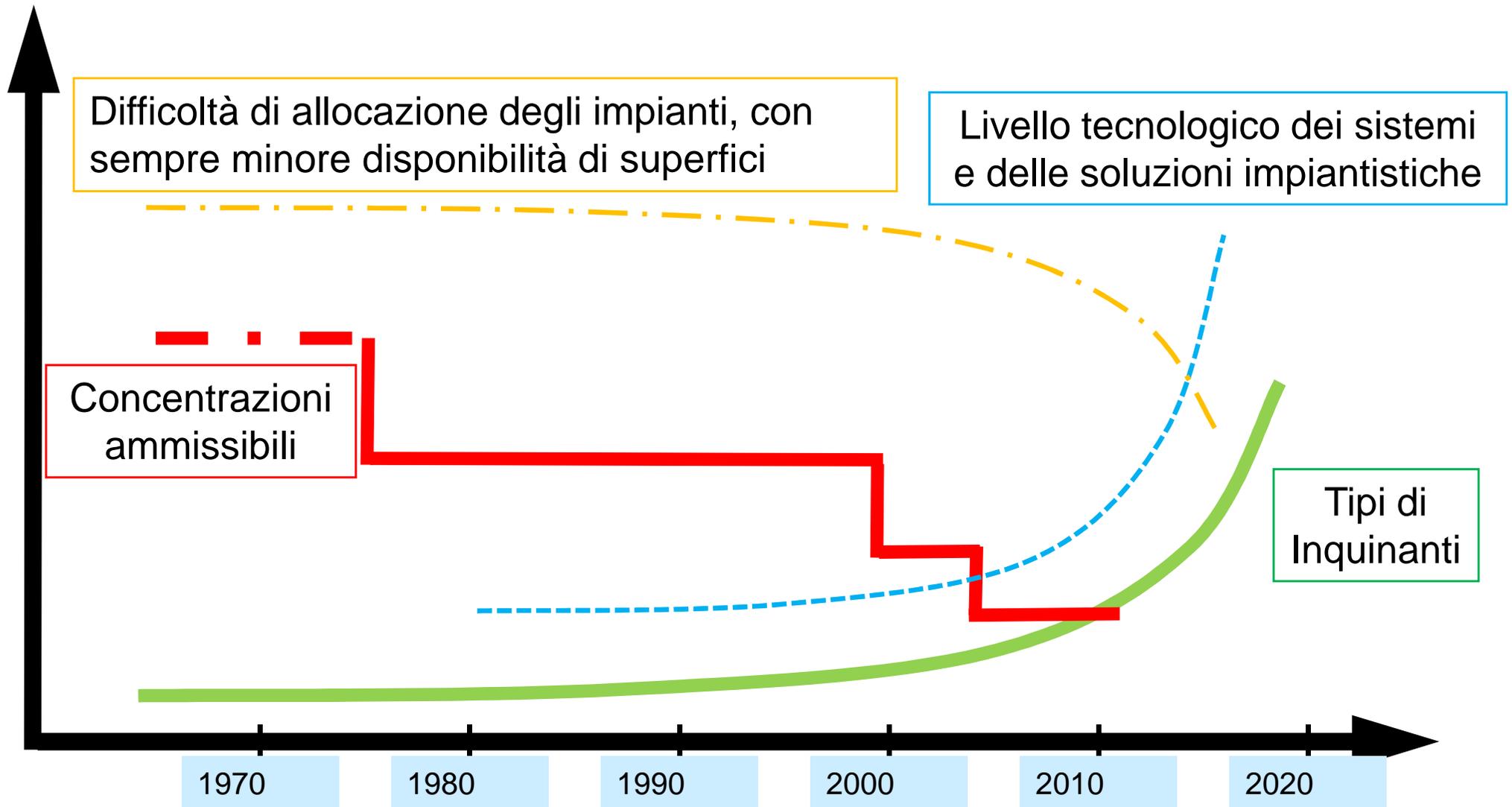


Premesse

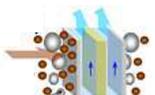
**Quali sono stati i motivi che
hanno determinato l'esigenza di
introdurre nuovi sistemi di
depurazione ?**



Premesse

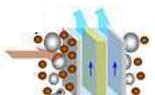


NORMATIVA



Disposizioni su qualità reflui e corpi idrici

- Legge 319/1976 (c.d. Legge Merli)
 - Decreto Presidente della Repubblica 470/1982
 - Piani Regionali di Risanamento delle Acque
 - Decreto Legislativo 152/1999
 - **Decreto Ministero dell'Ambiente 185/2003**
 - **Decreto Legislativo 152/2006**
 - **Decreto del Presidente della Repubblica 227/2011**
 - **Decreto Legislativo 116/2008 (Acque di balneazione)**
 - **Decreto Ministero Salute 30/03/2010 (Acque di balneazione)**
- 

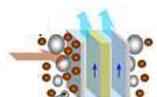


Decreto Ministero dell'Ambiente 185 12/6/2003

Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'art. 26 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n.152

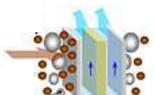
Requisiti di qualità:

	<i>Parametro</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore limite</i>
Parametri chimico fisici	pH		6-9,5
	SAR		10
	Materiali grossolani		Assenti
	Solidi sospesi totali	mg/L	10
	BOD5	mg O2/L	20
	COD	mg O2/L	100
	Fosforo totale	mg P/L	2
	Azoto totale	mg N/L	15
	Azoto ammoniacale	mg NH4/L	2
	Pesticidi clorurati (ciascuno) Nota 2	mg/L	0,0001
Pesticidi fosforati (ciascuno)	mg/L	0,0001	
Altri pesticidi totali	mg/L	0,05	
Parametri microbiologici	Escherichia coli	UFC/100mL	10 (80% dei car ni)
	Nota 3		100 valore puntu max
	Salmonella		Assente



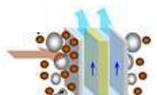
Elenco dei possibili scarichi

- Gli **scarichi** a cui si fa riferimento nel Decreto, ovvero gli *ambienti* in cui è possibile recapitare le acque reflue, sono i seguenti:
 - ✓ scarichi in acque dolci e di transizione;
 - ✓ scarichi in acque marino-costiere;
 - ✓ scarichi in corpi idrici superficiali;
 - ✓ scarichi in corpi idrici superficiali ricadenti in zone sensibili;
 - ✓ scarichi sul suolo;
 - ✓ scarichi sul sottosuolo e nelle acque sotterranee;
 - ✓ scarichi nella rete fognaria.



Classificazione delle acque reflue

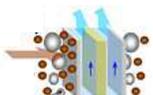
- **Acque reflue domestiche:** provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti prevalentemente dal metabolismo umano e da attività domestiche;
- **Acque reflue industriali:** qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici od impianti in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento;
- **Acque reflue urbane:** acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie, anche separate, e provenienti da agglomerato.



Decreto Legislativo 152/2006

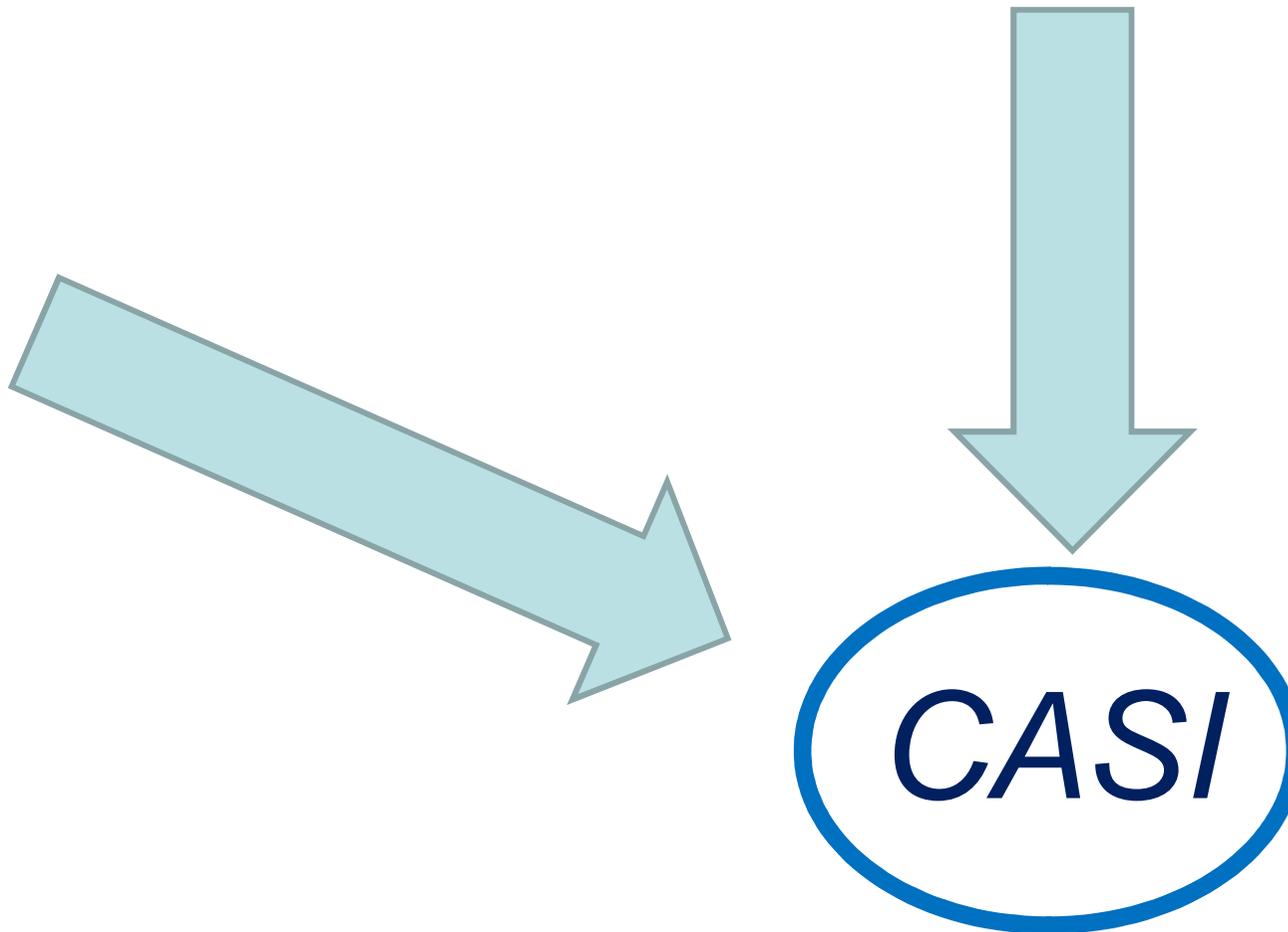
Ulteriori reflui regolamentati dal Decreto

- La normativa, oltre che interessarsi delle acque reflue (domestiche, industriali e urbane), regola o fornisce indicazioni anche in merito alle modalità di smaltimento di:
 - ✓ sostanze pericolose;
 - ✓ acque termali (introdotto dal d.lgs. 152/2006);
 - ✓ acque reflue di allevamenti e acque di vegetazione dei frantoi oleari;
 - ✓ acque meteoriche.



SCARICHI

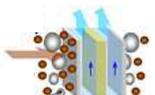
ACQUE REFLUE



Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

- Tabella 1: scarichi di **acque reflue urbane** in corpi idrici superficiali;
- Tabella 2: scarichi di **acque reflue urbane** in corpi idrici superficiali **classificati come aree sensibili**;
- Tabella 3: scarichi di **acque reflue industriali** in corpi idrici superficiali e in reti fognarie;
- Tabella 3/A: scarichi di **acque reflue industriali** relative a specifici cicli produttivi, con limiti riferiti all'unità di prodotto;
- Tabella 4: scarichi di **acque reflue urbane e industriali e di acque meteoriche** sul suolo;
- Tabella 5: sostanze per le quali non sono consentite deroghe ai limiti vigenti per le **acque reflue industriali** contenuti nella Tabella 3, né ai limiti vigenti per la Tabella 4 in caso di per scarichi sul suolo.

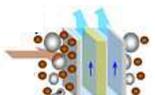


Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

Tabella 1

<i>Parametro</i>	<i>Concentrazioni massime ammissibili</i>
BOD ₅ (mg/l)	25
COD (mg/l)	125
SST (mg/l)	35

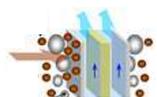


Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

Tabella 2

<i>Parametro</i>	<i>CONCENTRAZIONI MASSIME AMMISSIBILI</i>	
	<i>ABITANTI</i>	<i>ABITANTI</i>
	<i>EQUIVALENTI SERVITI TRA 10000 E 100000 ABITANTI</i>	<i>EQUIVALENTI SERVITI SUPERIORI A 100000 ABITANTI</i>
Fosforo totale (mg/l)	2	1
Azoto totale (mg/l)	15	10



Decreto Legislativo 152/2006

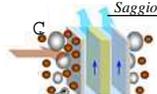
Disciplina degli scarichi - Allegato 5

Tabella 3

Parametro	Colonna 1	Colonna 2
<i>pH</i>	5.5 - 9.5	5.5 - 9.5
Temperatura	Indicazioni variabili	
Colore diluizione)	1:20	1:40
Odore	Non molesto	Non molesto
Materiali grossolani (mg/l)	Assenti	Assenti
Solidi sospesi totali (mg/l)	80	200
BOD ₅ (mg/l)	40	250
COD (mg/l)	160	500
Al (mg/l)	1	2
As (mg/l)	0.5	0.5
Ba (mg/l)	20	--
B (mg/l)	2	4
Cd (mg/l)	0.02	0.02
Cr totale (mg/l)	2	4
Cr VI (mg/l)	0.2	0.2
Fe (mg/l)	2	4
Mn (mg/l)	2	4
Hg (mg/l)	0.005	0.005
Ni (mg/l)	2	4
Pb (mg/l)	0.2	0.3
Cu (mg/l)	0.1	0.4
Se (mg/l)	0.03	0.03
Sn (mg/l)	10	--
Zn (mg/l)	0.5	1
Cloro attivo libero (mg/l)	0.2	0.3
H ₂ S (mg/l)	1	2
P (mg/l)	10	10
NH ₄ ⁺ (mg/l)	15	30
N-NO ₂ (mg/l)	0.6	0.6
N-NO ₃ (mg/l)	20	30
Grassi, olii animal/vegetali (mg/l)	20	40
Idrocarburi totali (mg/l)	5	10
Fenoli (mg/l)	0.5	1
Aldeidi (mg/l)	1	2
Solventi organici aromatici (mg/l)	0.2	0.4
Solventi organici azotati (mg/l)	0.1	0.2
Solventi clorurati (mg/l)	1	2
Tensioattivi totali (mg/l)	2	4
Pesticidi fosforati (mg/l)	0.1	0.1
Pest. Tot. (esclusi fosforati) (mg/l)	0.05	0.05
tra cui:		
Aldrin (mg/l)	0.01	0.01
Dieldrin (mg/l)	0.01	0.01
Endrin (mg/l)	0.002	0.002
Isodrin (mg/l)	0.002	0.002
Cianuri totali (mg/l)	0.5	1
Escherichia coli (UFC/100 cc)	5000-cons	5000-cons
Saggio tossicità	≥50%	≥80%

Parametro	Colonna 1	Colonna 2
<i>pH</i>	5.5 - 9.5	5.5 - 9.5
Materiali grossolani (mg/l)	Assenti	Assenti
Solidi sospesi totali (mg/l)	80	200
BOD ₅ (mg/l)	40	250
COD (mg/l)	160	500
Al (mg/l)	1	2
As (mg/l)	0.5	0.5
Zn (mg/l)	0.5	1
Cloro attivo libero (mg/l)	0.2	0.3
H ₂ S (mg/l)	1	2
P (mg/l)	10	10
NH ₄ ⁺ (mg/l)	15	30
N-NO ₂ (mg/l)	0.6	0.6
N-NO ₃ (mg/l)	20	30
Grassi, olii animal/vegetali (mg/l)	20	40
Idrocarburi totali (mg/l)	5	10
Solventi organici aromatici (mg/l)	0.2	0.4
Solventi organici azotati (mg/l)	0.1	0.2
Pesticidi fosforati (mg/l)	0.1	0.1
Pest. Tot. (esclusi fosforati) (mg/l)	0.05	0.05
Cianuri totali (mg/l)	0.5	1
Escherichia coli (UFC/100 cc)	5000-cons	5000-cons
Saggio tossicità	≥50%	≥80%

**Alcuni
parametri
della
Tabella 3**



Decreto Legislativo 152/2006

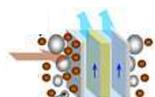
Disciplina degli scarichi - Allegato 5

Tabella 3/A

Tabella 3/A. Limiti di emissione per unità di prodotto riferiti a specifici cicli produttivi (**)

Settore produttivo	Quantità scaricata per unità di prodotto (o capacità di produzione)	medi a mens ile	medi a giorn o (*)
Cadmio			
Estrazione dello zinco, raffinazione del piombo e dello zinco, industria dei metalli non ferrosi e del cadmio metallico			
Fabbricazione dei composti del cadmio	g/kg grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato	0,5	
Produzione di pigmenti	g/kg (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	0,3	
Fabbricazione di stabilizzanti	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	0,5	
Fabbricazione di batterie primarie e secondarie	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	1,5	
Galvanostegia	g/kg al (grammi di Cd scaricato per chilogrammo di Cd trattato)	0,3	
Mercurio (settore dell'elettrolisi dei cloruri alcalini)			
Salamoia riciclata - da applicare all'Hg presente negli effluenti provenienti dall'unità di produzione del cloro	g Hg/t di capacità di produzione di cloro, installata	0,5	
Salamoia riciclata - da	g Hg /t di capacità di	1	

Continua

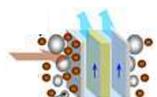


Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

Tabella 4

Decreto Legislativo 152/99 Tabella 4 Allegato 5; Limiti di emissione per le acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo			
Numero parametro	PARAMETRI	Unità di misura	Scarico in dispersione (il valore della concentrazione deve essere minore o uguale a quello indicato)
1	pH		6,8
2	SAR		10
3	Materiali grossolani	-	assenti
4	Solidi sospesi totali	mg/L	<u>25</u>
5	BOD5	mg O ₂ /L	<u>20</u>
6	COD	mg O ₂ /L	<u>100</u>
7	Azoto totale	mg N/L	15
8	Fosforo totale	mg P/L	2
9	Tensioattivi totali	mg/L	0,5
10	Alluminio	mg/L	1
11	Berillio	mg/L	0,1
12	Arsenico	mg/L	0,05
13	Bario	mg/L	10
14	Boro	mg/L	0,5
15	Cromo totale	mg/L	1
16	Ferro	mg/L	2
17	Manganese	mg/L	0,2
18	Nichel	mg/L	0,2
19	Piombo	mg/L	0,1
20	Rame	mg/L	0,1
21	Selenio	mg/L	0,002
22	Stagno	mg/L	3
23	Vanadio	mg/L	0,1
24	Zinco	mg/L	0,5
25	Solfuri	mg H ₂ S/L	0,5
26	Solfiti	mg SO ₃ /L	0,5
27	Solfati	mgSO ₄ /L	500
28	Cloro attivo	mg/L	0,2
29	Cloruri	mg Cl/L	200
30	Fluoruri	mg F/L	1
31	Fenoli totali	mg/L	0,1
32	Aldeidi totali	mg/L	0,5
33	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,01

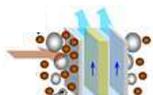


Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

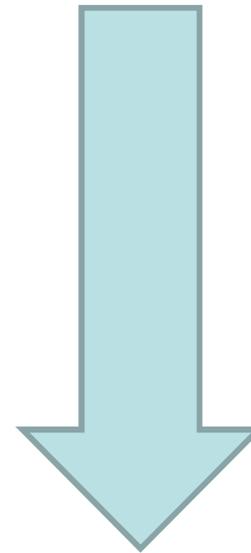
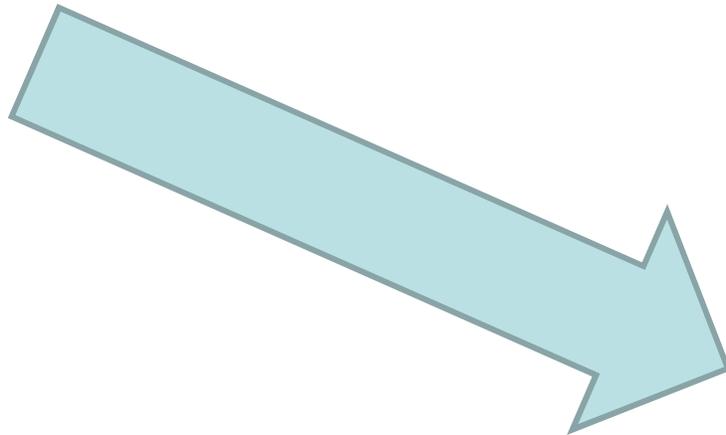
Tabella 5

1	Arsenico
2	Cadmio
3	Cromo totale
4	Cromo esavalente
5	Mercurio
6	Nichel
7	Piombo
8	Rame
9	Selenio
10	Zinco
11	Fenoli
12	Oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti
13	Solventi organici aromatici
14	Solventi organici azotati
15	Composti organici alogenati (compresi i pesticidi clorurati)
16	Pesticidi fosforiti
17	Composti organici dello stagno
18	Sostanze classificate contemporaneamente "cancerogene" (R45) e "pericolose per l'ambiente acquatico" (R50 e 51/53) ai sensi del decreto legislativo 3 febbraio 1997, n. 52, e successive modifiche



ACQUE REFLUE

SCARICHI

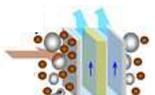


CASI

Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

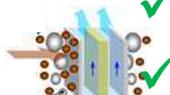
- Le situazioni che possono presentarsi sono riconducibili ai seguenti principali **14 Casi**:
- ✓ **Caso 1**: scarico di acque reflue urbane depurate (**prive di contributi industriali**) in impianti con potenzialità inferiore a 2000 abitanti equivalenti e con recapito in acque dolci o in acque di transizione;
 - ✓ **Caso 2**: scarico di acque reflue urbane depurate (**prive di contributi industriali**) in impianti con potenzialità inferiore a 10000 abitanti equivalenti e con recapito in acque marino-costiere;
 - ✓ **Caso 2**: scarico di acque reflue urbane depurate (**prive di contributi industriali**) in situazioni diverse da quelle dei *Casi 1 e 2*;
 - ✓ **Caso 4**: scarico di acque reflue urbane depurate (**prive di contributi industriali**) in impianti con potenzialità superiore a 10000 abitanti equivalenti e con recapito in corpi idrici superficiali compresi in aree sensibili;
 - ✓ **Caso 5**: scarico di acque reflue urbane depurate (**con contributi industriali**) e con recapito in corpi idrici superficiali non compresi in aree sensibili;



Decreto Legislativo 152/2006

Disciplina degli scarichi - Allegato 5

- ✓ **Caso 6:** scarico di acque reflue urbane depurate (con contributi industriali) con recapito in corpi idrici superficiali compresi in aree sensibili;
- ✓ **Caso 7:** scarico di acque reflue industriali non provenienti da cicli produttivi particolari in corpi idrici superficiali non ricadenti in aree sensibili;
- ✓ **Caso 8:** Scarico di acque reflue industriali in corpi idrici superficiali ricadenti in aree sensibili;
- ✓ **Caso 9:** scarico di acque reflue industriali all'interno di reti fognarie;
- ✓ **Caso 10:** scarico di acque reflue industriali provenienti da particolari cicli produttivi in corpi idrici superficiali;
- ✓ **Caso 11:** scarichi sul suolo;
- ✓ **Caso 12:** scarichi nel sottosuolo e nelle acque sotterranee;
- ✓ **Caso 13:** scarico di acque termali;
- ✓ **Caso 14:** scarico di acque reflue urbane in zone di alta montagna.

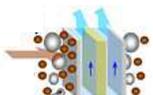


Decreto Legislativo 152/2006

Caso 1

Scarico di acque reflue urbane depurate (prive di contributi industriali) in impianti con potenzialità inferiore a 2000 abitanti equivalenti e con recapito in acque dolci o in acque di transizione

- ✓ la norma prevede che le acque reflue siano sottoposte ad un **trattamento appropriato**, dovendo, comunque, essere sottoposte a trattamenti secondari o equivalenti;
- ✓ nella fattispecie viene esplicitamente auspicato il ricorso a tecnologie di depurazione naturale, quali il lagunaggio o la fitodepurazione, ovvero a letti percolatori o impianti a colture sospese cosiddetti ad ossidazione totale;
- ✓ in ogni caso, i trattamenti appropriati devono essere individuati con l'obiettivo di: semplificare la manutenzione e la gestione; sopportare adeguatamente forti variazioni dei carichi idraulici ed inquinanti; minimizzare i costi gestionali.

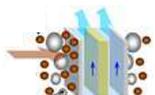


Decreto Legislativo 152/2006

Caso 2

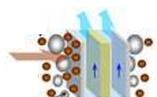
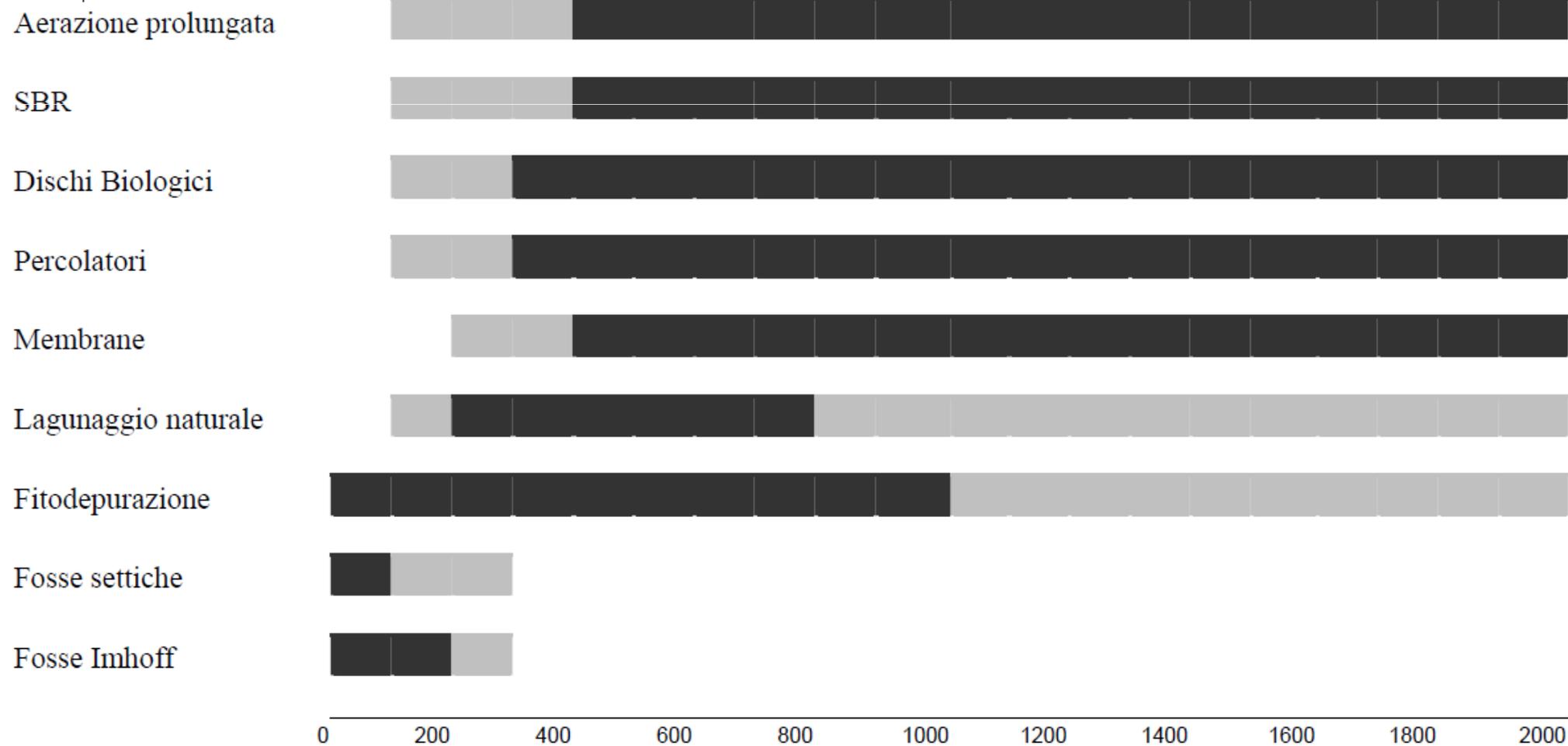
Scarico di acque reflue urbane depurate (prive di contributi industriali) in impianti con potenzialità inferiore a 10000 abitanti equivalenti e con recapito in acque marino-costiere

- ✓ la norma prevede che le acque reflue siano sottoposte ad un **trattamento appropriato**, dovendo, comunque, essere sottoposte a trattamenti secondari o equivalenti.



Trattamenti appropriati

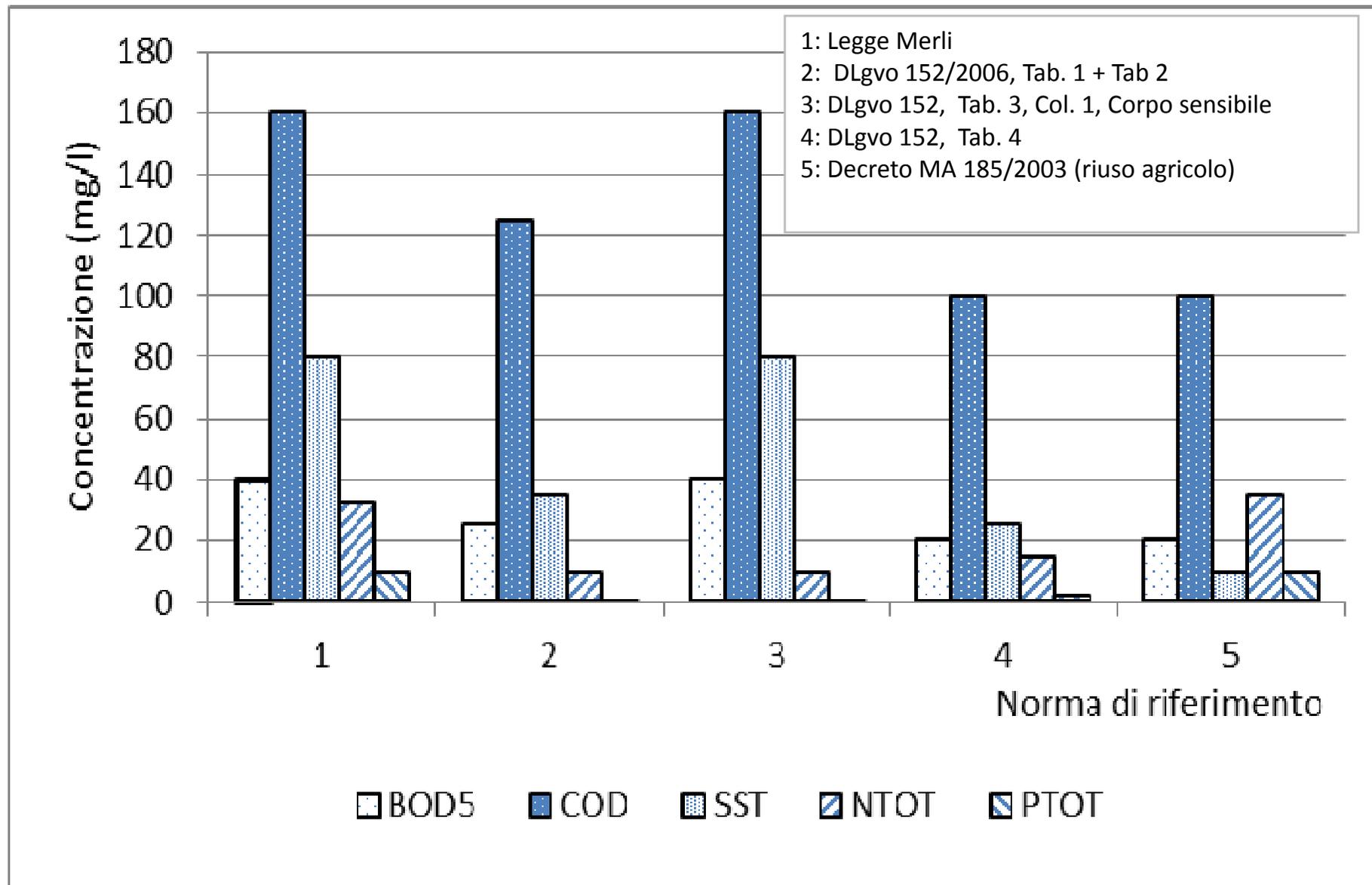
Trattamento



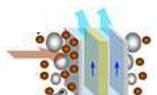
Trattamenti appropriati

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
Fossa settica + Pozzo assorbente	X												
Fossa settica + Sub-irrigazione	X	X											
Fossa settica + Sub-irrigazione fitoprotetta	X	X											
Fossa settica + Filtro a sabbia + Sub-irrigazione		X											
Fossa settica + Filtro a sabbia + Sub-irr. Fitopr.		X											
Fossa settica + Fitodep. Combinata + Sub-irr..													X
Fossa settica + Fitodep. Combinata + Sub-irr. fitopr.													X
Fossa settica + Sub-irrigazione e drenaggio			X										
Fossa settica + Sub-irrigazione fitopr. E drenaggio			X										
Fossa settica + Trincea drenante			X										
Fossa settica + Fitodepurazione HF		X	X		X								
Fossa settica + Fitodepurazione VF			X	X	X								
Fossa settica + Stagno			X		X								
Stagni in serie			X		X								
Stagno facoltativo + Fitodepurazione			X		X								
Fossa Imhoff + Fitodepurazione combinata				X		X							
Fossa tricamerale + Fitodepurazione combinata + Filtro a sabbia						X							
Stagno anaerobico + Fitodepurazione combinata				X		X							
Letto ad evapotraspirazione completa		X											
Fossa settica + Filtro a sabbia intermittente				X	X								
Tricamerale + Stagno					X								
Fossa Imhoff + Filtro percolatore							X		X				
Fossa Imhoff + biodischi							X		X				
Fossa settica + Impianto aerazione prolungata							X		X				
Tratt. Primario + Impianto ANOX-OX								X		X	X		
Impianto SBR								X				X	
Chiariflocculazione							X	X					
Impianto biologico + Fitodepurazione								X		X	X		
Impianto biologico + Stagni di finissaggio										X			
Impianto biologico + chiariflocculazione										X			
Colonna A	Tratt. appr. per scarichi fino a 50 AE su suolo												
Colonna B	Tratt. appr. per scarichi fino a 50 AE su suolo a falda vulnerabile												
Colonna C	Tratt. appr. per scarichi fino a 50 AE in acque superficiali generiche												
Colonna D	Tratt. appr. per scarichi fino a 50 AE in acque di buona o elevata qualità												
Colonna E	Tratt. appr. per scarichi da 50 a 500 AE in acque superficiali generiche												
Colonna F	Tratt. appr. per scarichi da 50 a 500 AE in acque di elevata qualità o aree sensibili												
Colonna G	Tratt. appr. per scarichi da 500 a 2000 AE in acque superficiali generiche												
Colonna H	Tratt. appr. per scarichi da 500 a 2000 AE in acque di elevata qualità o aree sensibili												
Colonna I	Tratt. appr. per scarichi da 2000 a 10000 AE in acque marino-costiere												
Colonna J	Tratt. appr. per scarichi fino da 2000 a 10000 AE in acque marino-costiere di aree sensibili												
Colonna K	Trattamenti specifici per scarichi oltre i 50 AE su suolo (Tab.4 All.5)												

Concentrazioni massime ammissibili

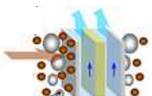


SOLUZIONI IMPIANTISTICHE



Applicazioni dei processi biologici

- La depurazione per via biologica, rispetto ad altre soluzioni, è caratterizzata da una maggiore *sostenibilità* in termini di:
 - Efficienze depurative conseguibili a parità di impegno economico;
 - Consumo di risorse;
 - Produzione di fango;
 - Contenuto di sostanze residue nelle acque trattate.
- La depurazione per via biologica trova sempre più numerose applicazioni.



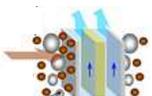
Applicazioni dei processi biologici

■ Acque reflue urbane

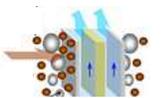
- Degradazione della sostanza organica biodegradabile disciolta;
- Rimozione dei solidi sospesi non sedimentabili;
- Degradazione di composti dell'azoto e del fosforo;
- Rimozione di specifici composti organici, spesso presenti in tracce nella corrente idrica influente all'impianto di depurazione (contaminanti emergenti).

■ Acque reflue di attività produttive

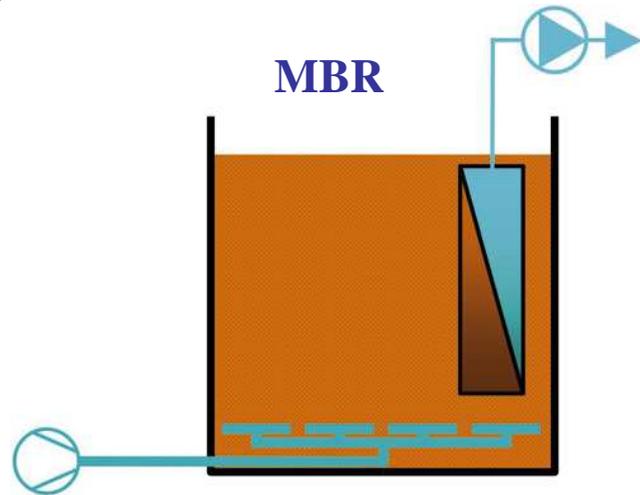
- Degradazione della sostanza organica biodegradabile disciolta;
- Rimozione dei solidi sospesi non sedimentabili;
- Degradazione di composti dell'azoto e del fosforo;
- Degradazione di composti dello zolfo;
- Rimozione di composti organici lentamente biodegradabili;
- Nell'ambito di cicli volti alla rimozione di metalli pesanti (soluzioni integrate).



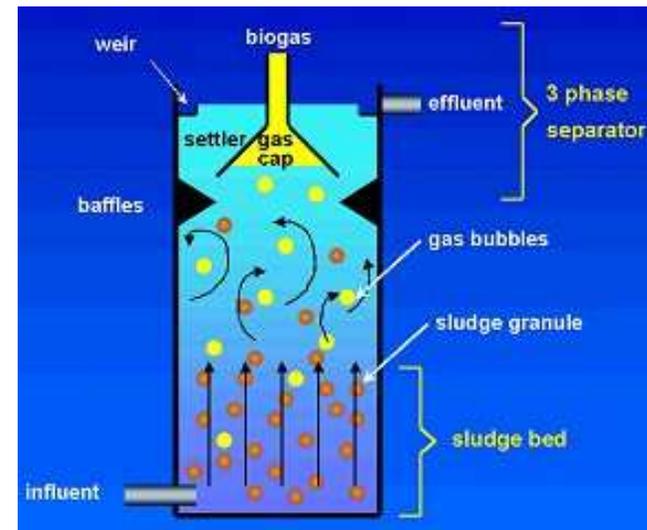
Sistemi biologici tradizionali



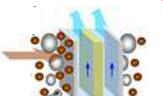
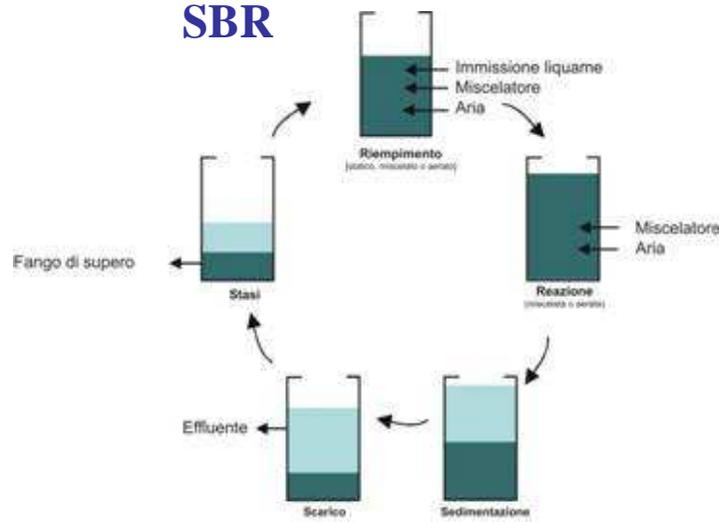
Sistemi biologici innovativi a colture sospese



UASB

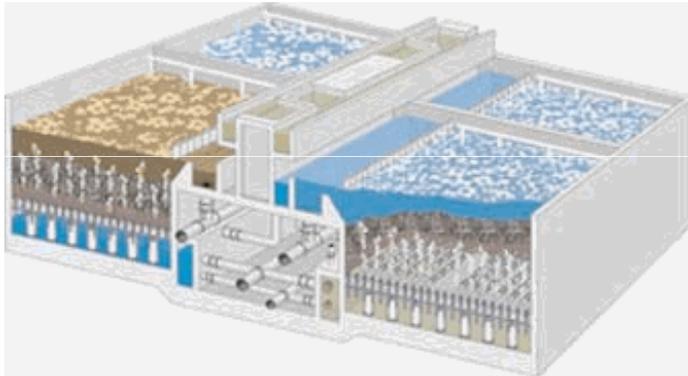


SBR

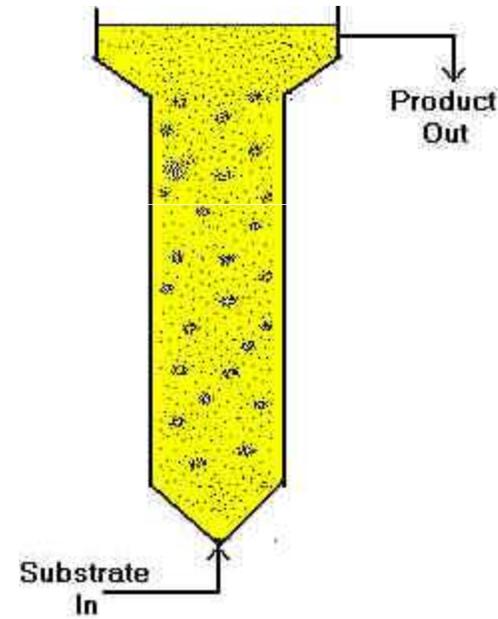


Sistemi biologici innovativi a colture adese

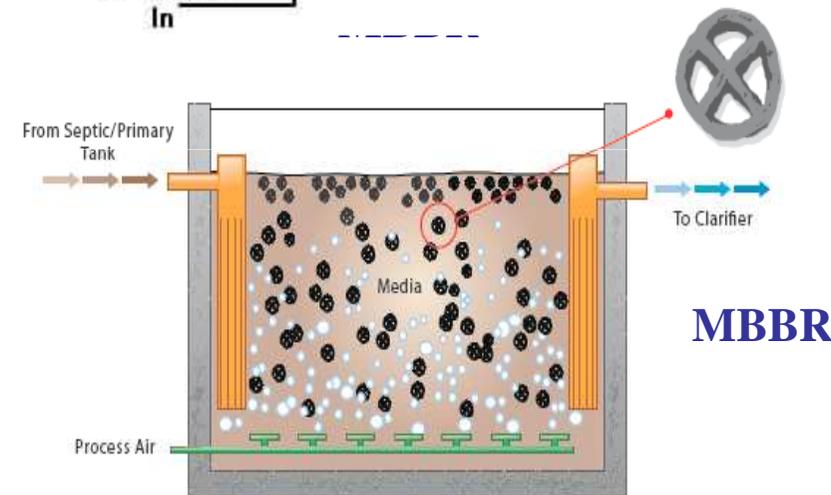
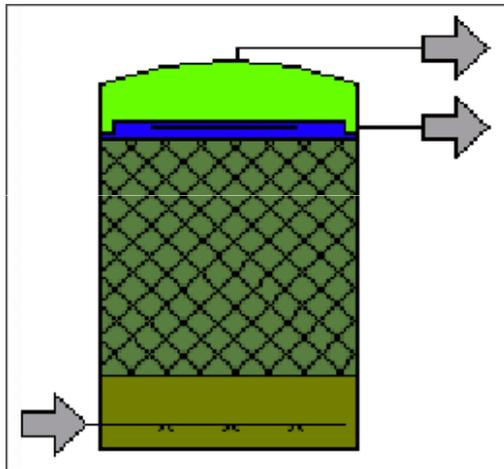
BAF



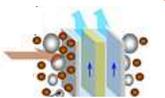
FBR



AF

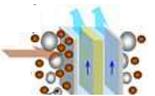


MBBR



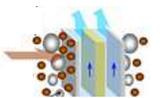
Peculiarità dei sistemi biologici innovativi

$$Vx=$$



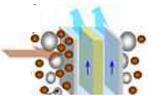
Peculiarità dei sistemi biologici innovativi

$$V_x = \frac{q(S_o - S_e)}{}$$



Peculiarità dei sistemi biologici innovativi

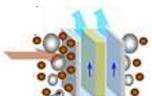
$$V_x = \frac{q(S_o - S_e)}{v}$$



Peculiarità dei sistemi biologici innovativi

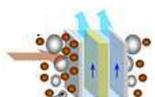
$$Vx = \frac{q(S_o - S_e)}{v}$$

- Efficienze depurative più elevate;
- Maggiore velocità dell'azione di degradazione;
- Contenimento dei volumi, attraverso l'aumento della concentrazione della biomassa.

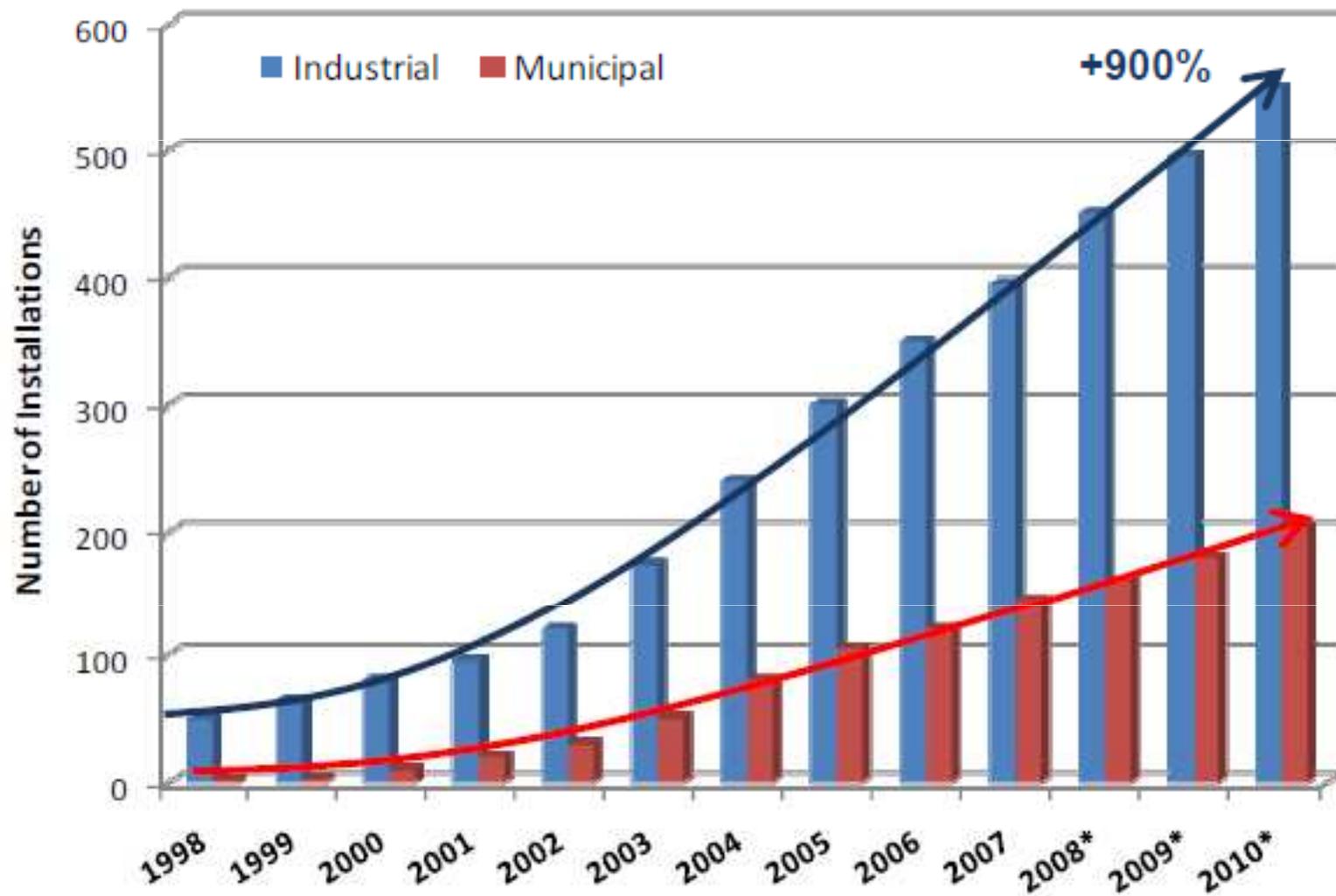


Confronto tra sistemi biologici

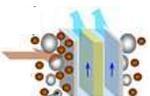
Fattore	Fanghi attivi	MBBR	Biofiltri	MBR
Tipo di refluo	Ampia applicabilità			Meglio se alte concentrazioni
Qualità effluente	Buona			Ottima
Superficie	Alta	Media	Bassa	
Flessibilità	Media	Alta		
Costruzione/gestione	Semplice		Complessa	
Costo investimento	Medio		Alto	
Costo esercizio	Basso		Medio	Alto



Diffusione degli MBR



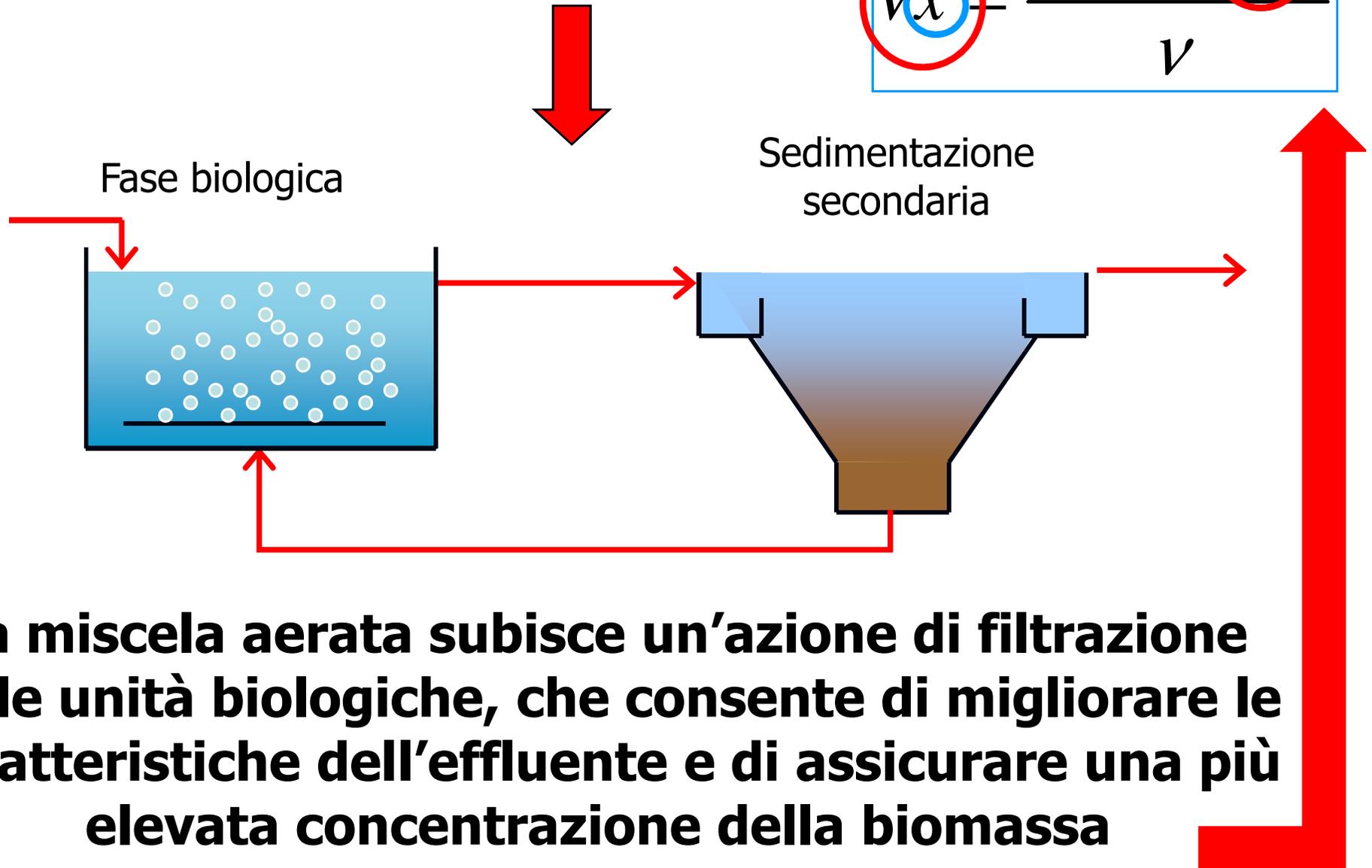
Adapted from Verrecht (2009)



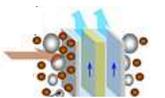
Ciclo di trattamento degli MBR

IMPIANTO TRADIZIONALE A FANGHI

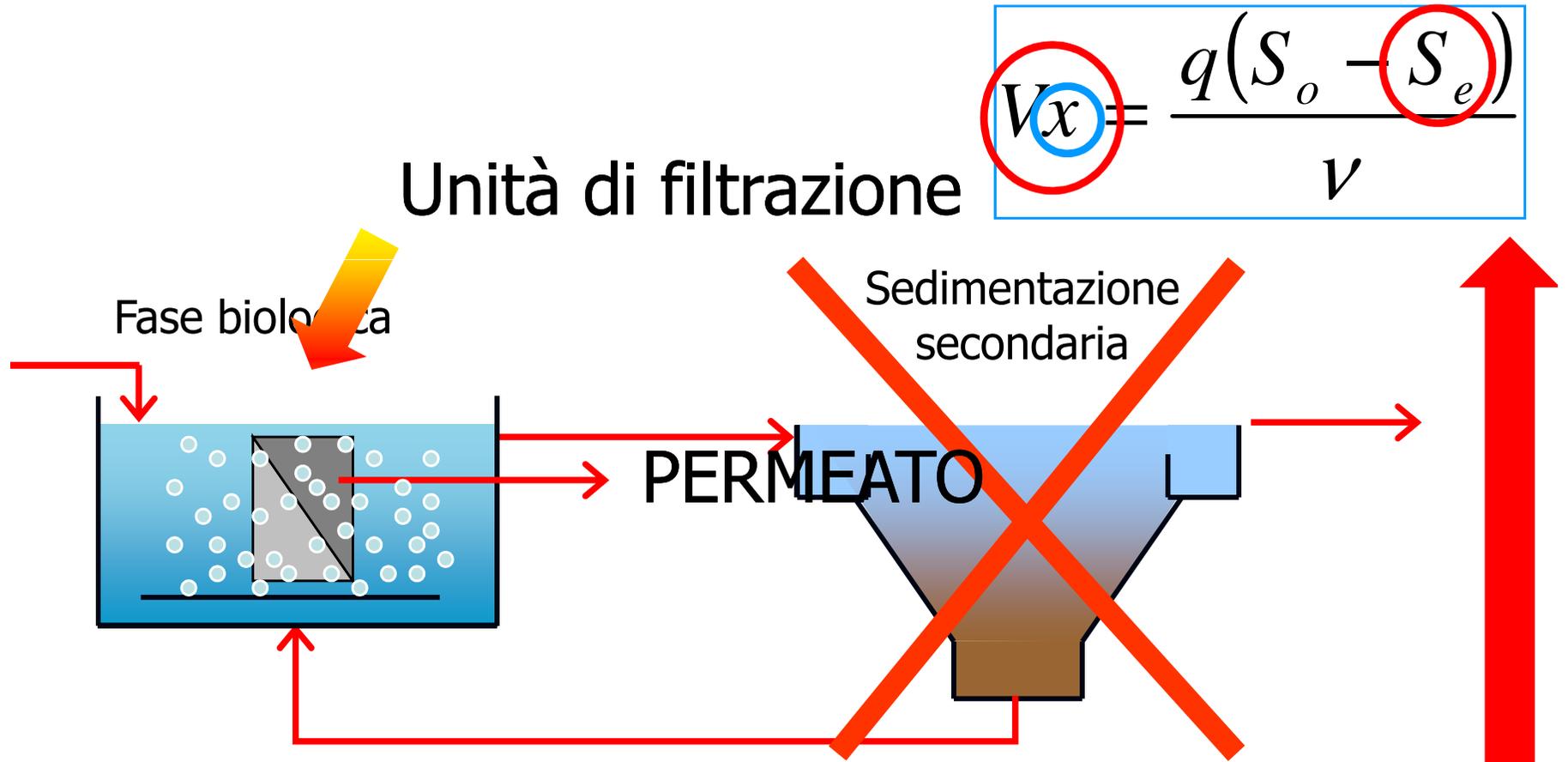
$$Vx = \frac{q(S_o - S_e)}{v}$$



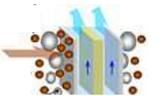
La miscela aerata subisce un'azione di filtrazione nelle unità biologiche, che consente di migliorare le caratteristiche dell'effluente e di assicurare una più elevata concentrazione della biomassa



Ciclo di trattamento degli MBR

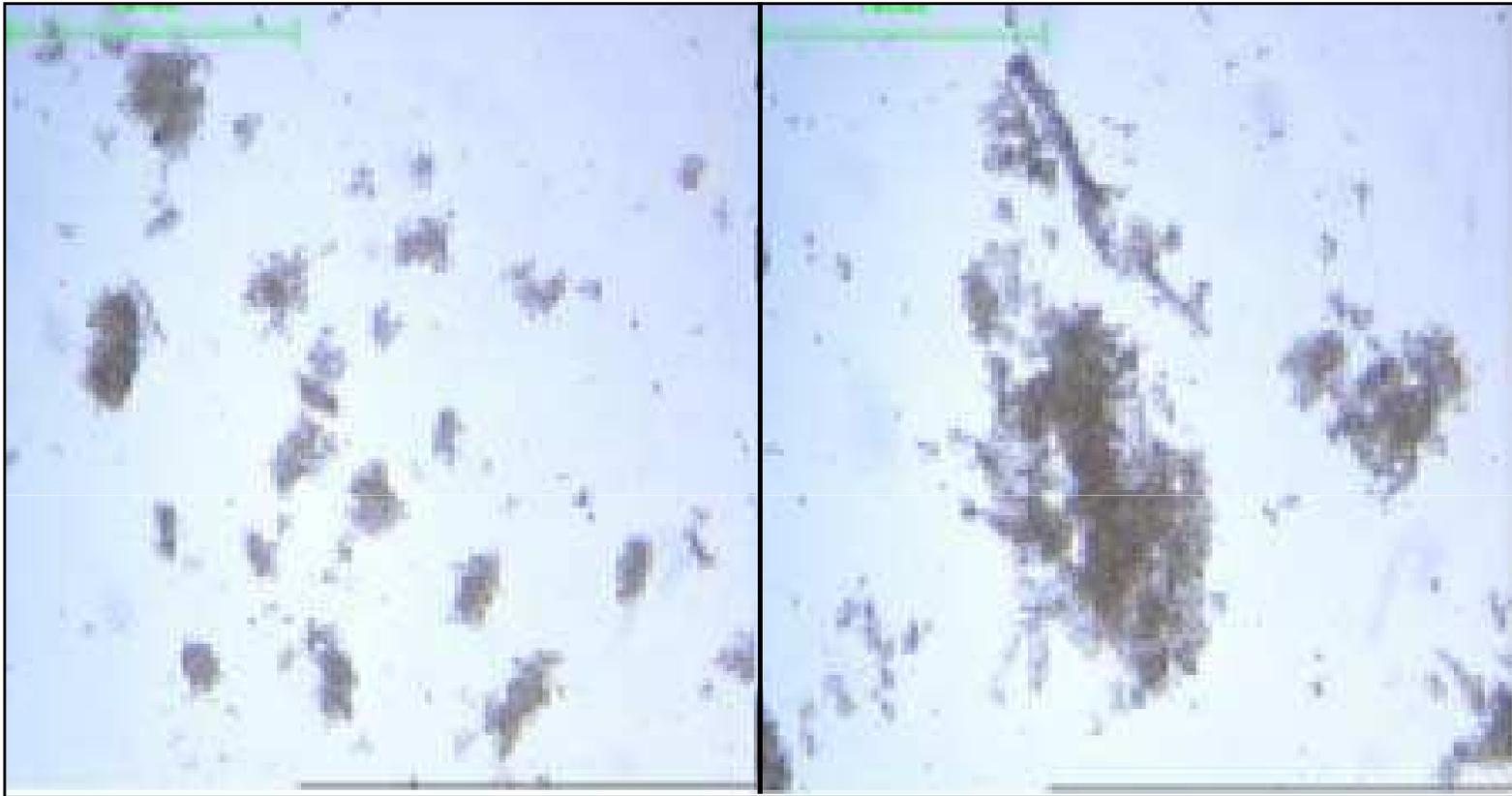


La biomassa è separata dalla corrente idrica nella fase di sedimentazione, sfruttando l'azione della gravità, ed è in parte ricircolata nella fase biologica



Caratteristiche del fango

$$V_x = \frac{q(S_o - S_e)}{v}$$



Fango attivo MBR

Fango attivo convenzionale

Forza motrice

Forza motrice:

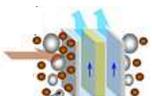
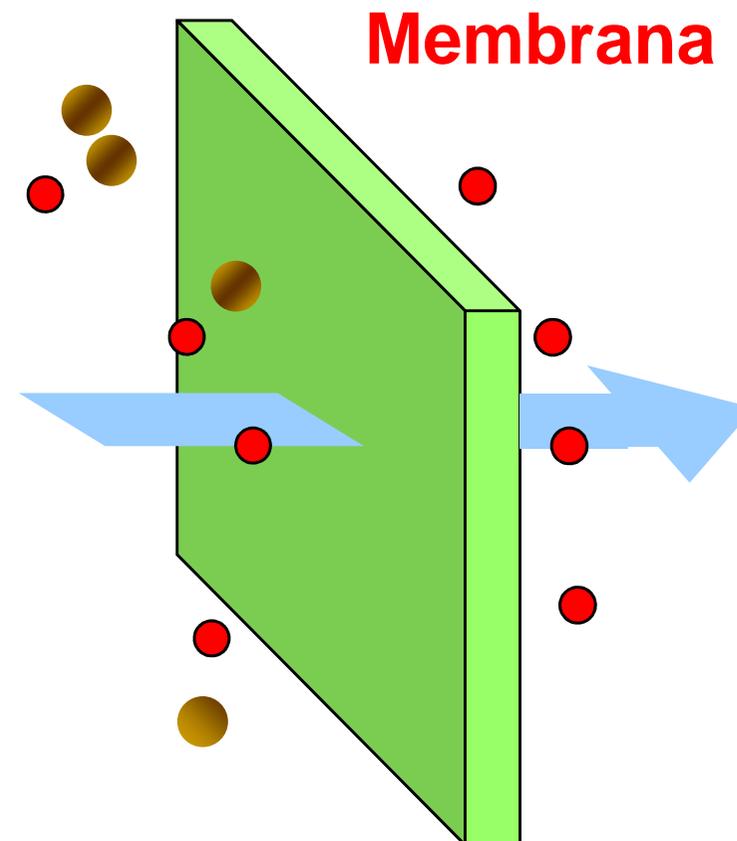
PRESSIONE (TMP)

POTENZIALE ELETTRICO

TEMPERATURA

**GRADIENTE DI
CONCENTRAZIONE**

**COMBINAZIONE DI
DIVERSE FORZE MOTRICI**

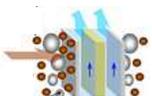
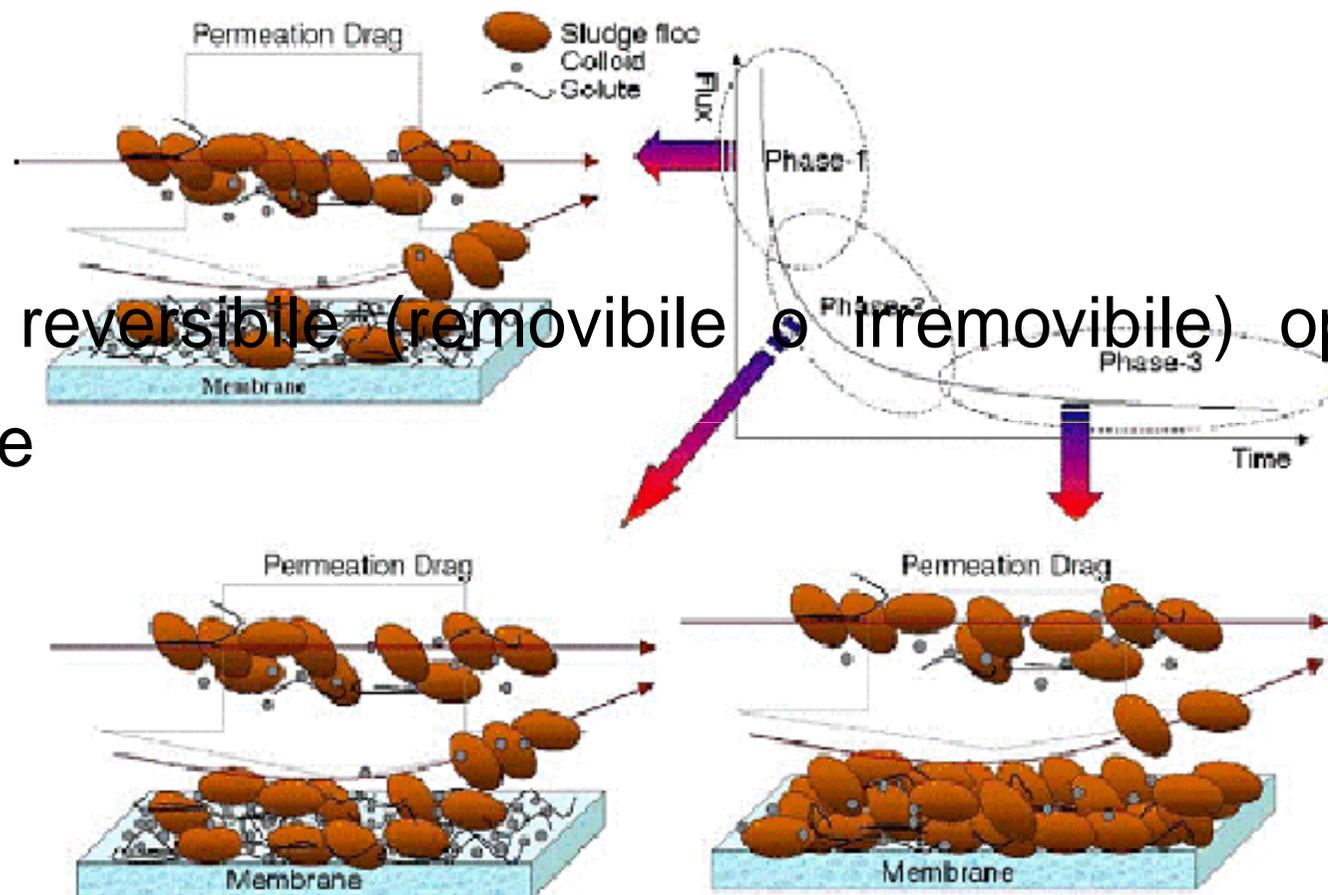


FOULING

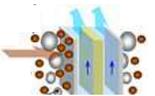
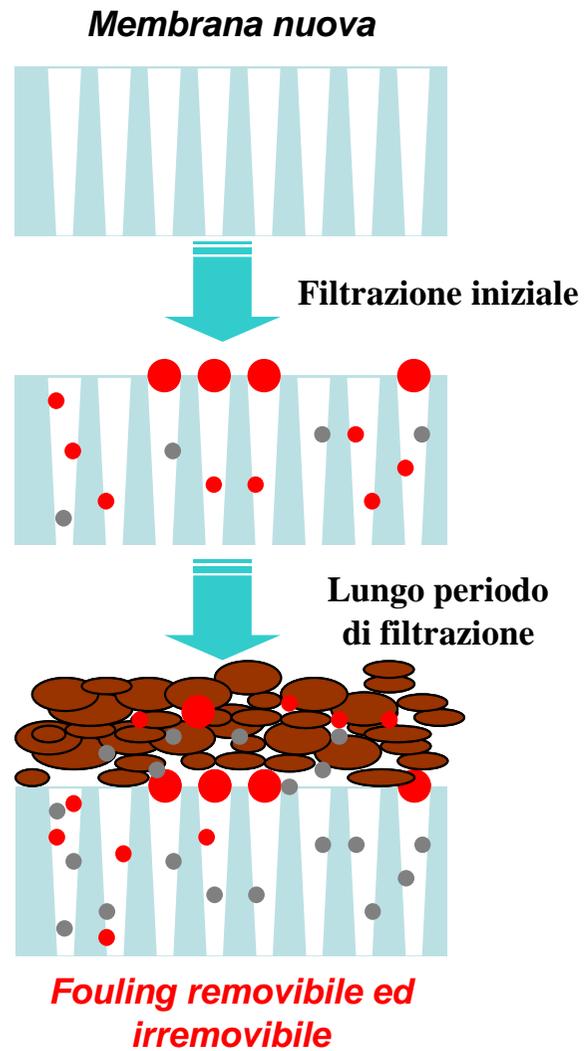
- È generato da fenomeni di adsorbimento, deposito ed ostruzione che interessano tanto la superficie della membrana che i suoi pori

- È di natura:

- È di tipo reversibile (removibile o irremovibile) oppure irreversibile

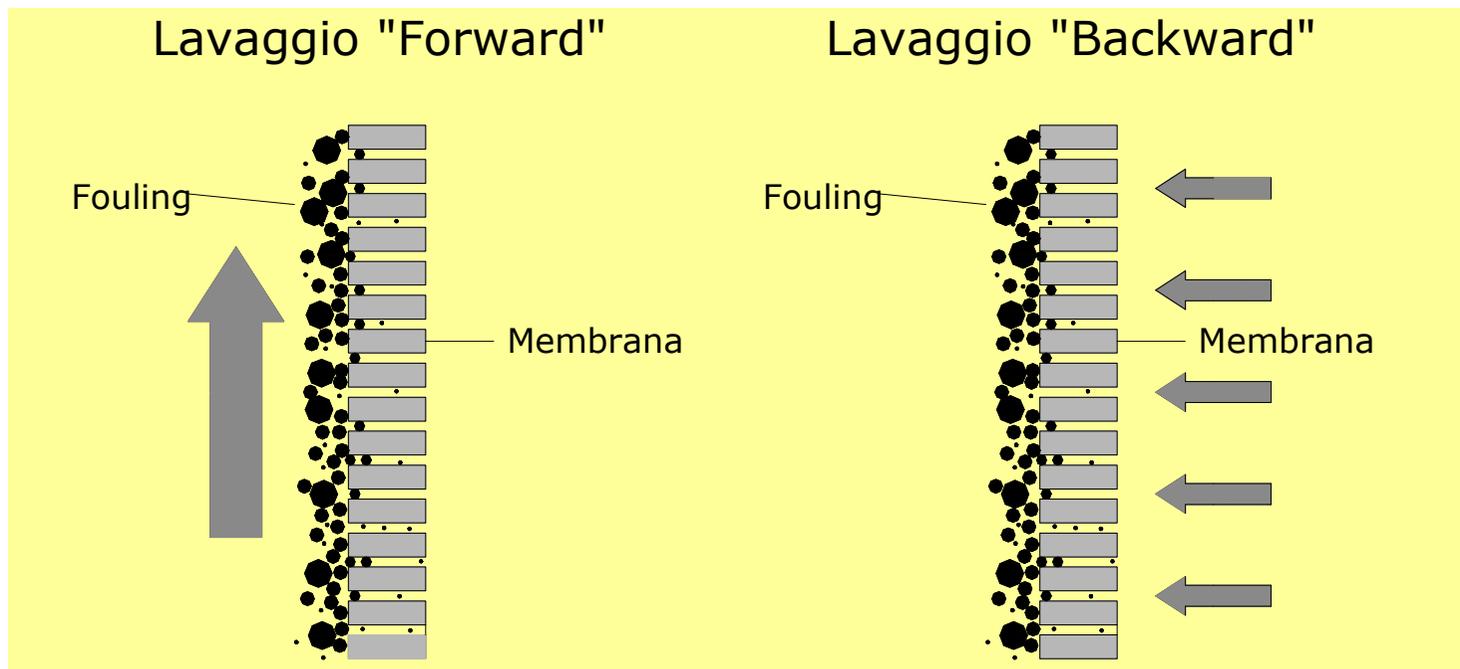


FOULING

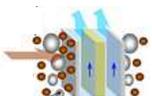


Pulizia delle membrane

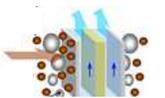
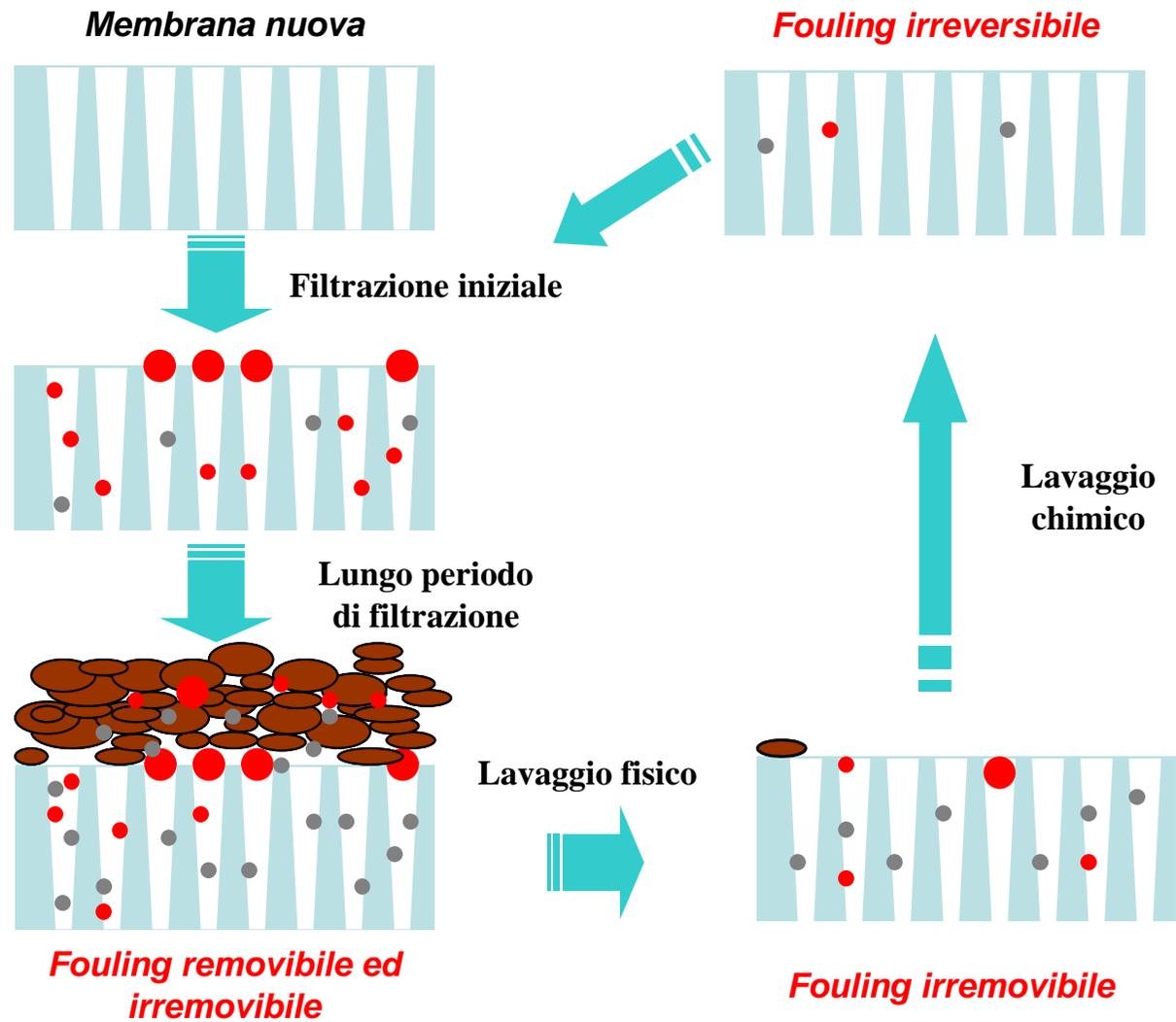
- Chimico (soluzioni di HCl, HNO₃...) (alta efficacia ma costi elevati e dannosa per le membrane)
- Meccanico, con acqua (permeato) o con acqua ed aria in modalità forward o backward



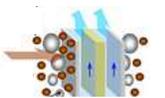
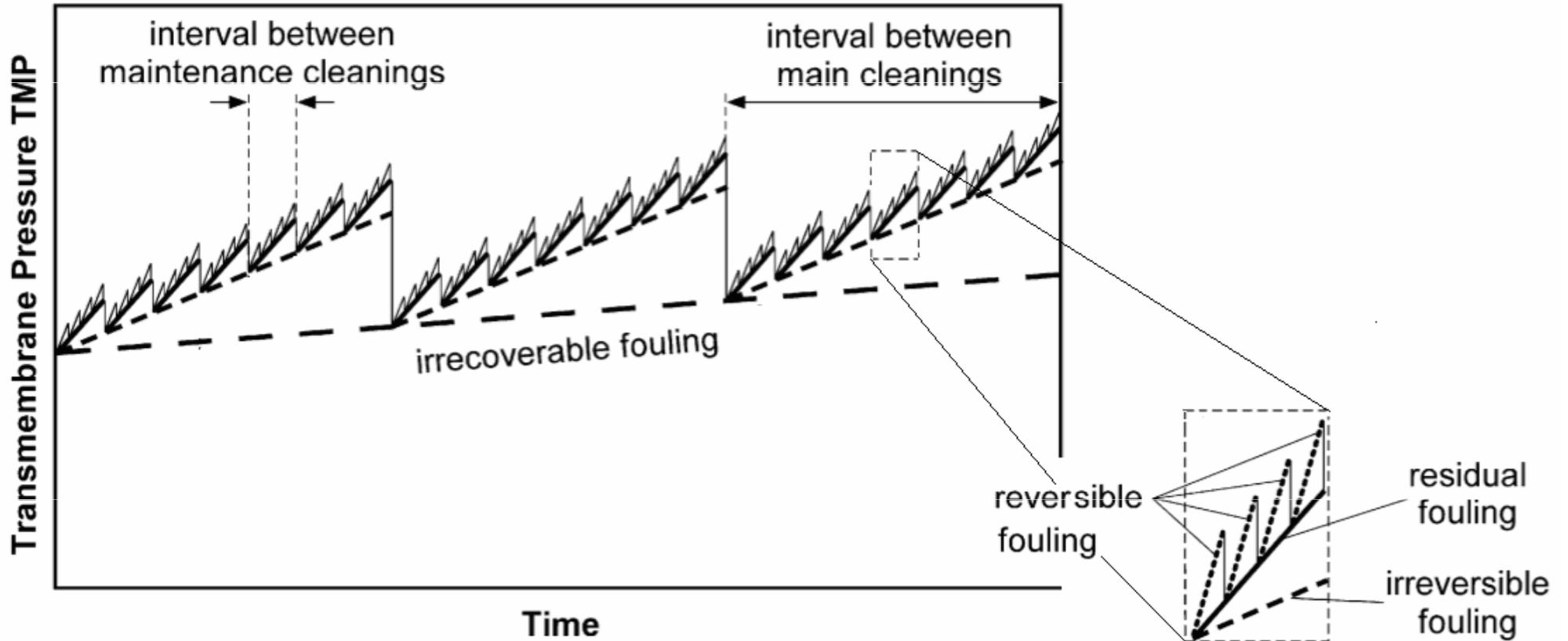
- In continuo, sfruttando l'immissione di aria di processo



FOULING



FOULING



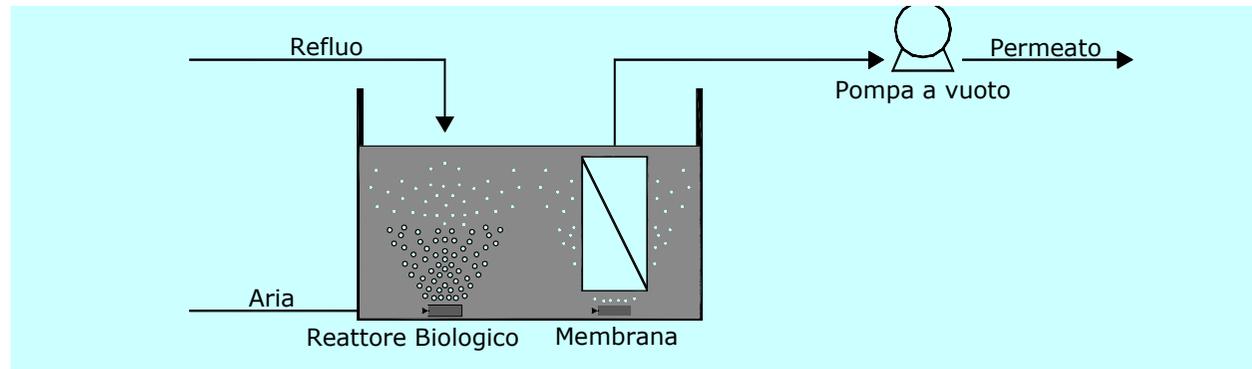
FOAMING

- È un fenomeno spesso osservato nei sistemi MBR, essenzialmente generato da fenomeni di natura biologica

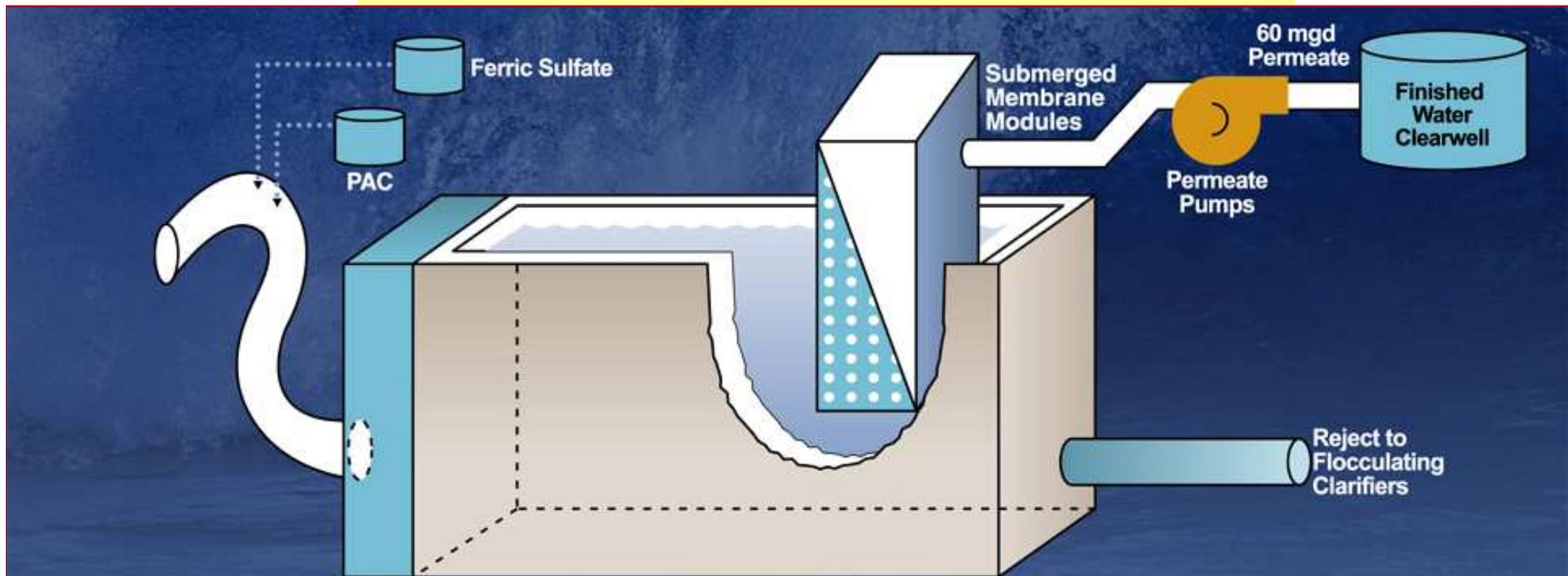


Configurazioni degli MBR

- **A membrane sommerse (submerged)**



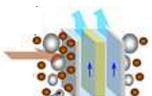
- **A membrane esterne (side stream)**



Classificazione delle membrane

Le membrane che si prestano ad essere utilizzate negli impianti MBR sono quelle di MICROFILTRAZIONE e di ULTRAFILTRAZIONE

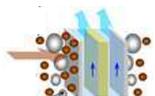
Tipo di processo	Porosità nominale (Å)	Pressioni di esercizio (bar)	Sostanze rimosse	MWCO (Dalton)
MF	100 ÷ 200	1	Particelle sospese, batteri	> 100.000
UF	20 ÷ 200	1 ÷ 10	Batteri, virus, proteine	500 ÷ 100.000
NF	10 ÷ 20	7 ÷ 14	ioni divalenti	500
OI	1 ÷ 10	14 ÷ 70	ioni	100 ÷ 200



Classificazione delle membrane

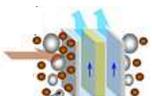
	Particle	Turbidity	Bacteria	Protozoa	Virus	TOC	Color	SOCs	IOC	Salinity
MF										
UF										
NF										
RO/EDR										

Parzialmente efficace

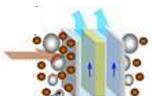
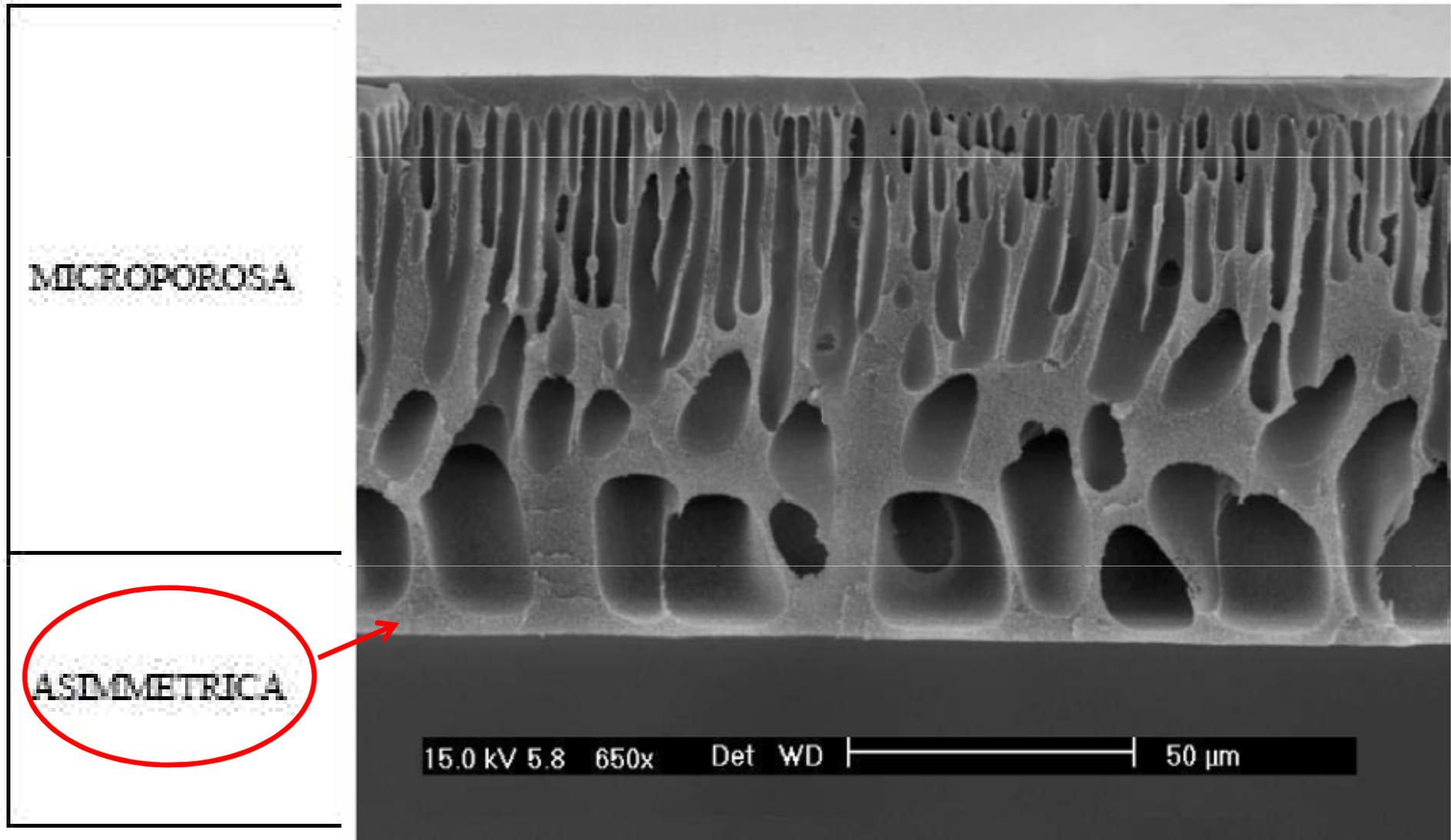


Caratteristiche delle membrane

- Le membrane si differenziano in funzione di:
 - **Natura dei materiali:** polimerici o ceramici
 - **Struttura:** microporosa e asimmetrica
 - **Direzione del flusso:** Dead end o Cross flow
 - **Geometria:** lastre piane, fibre cave, tubolari, a spirale.

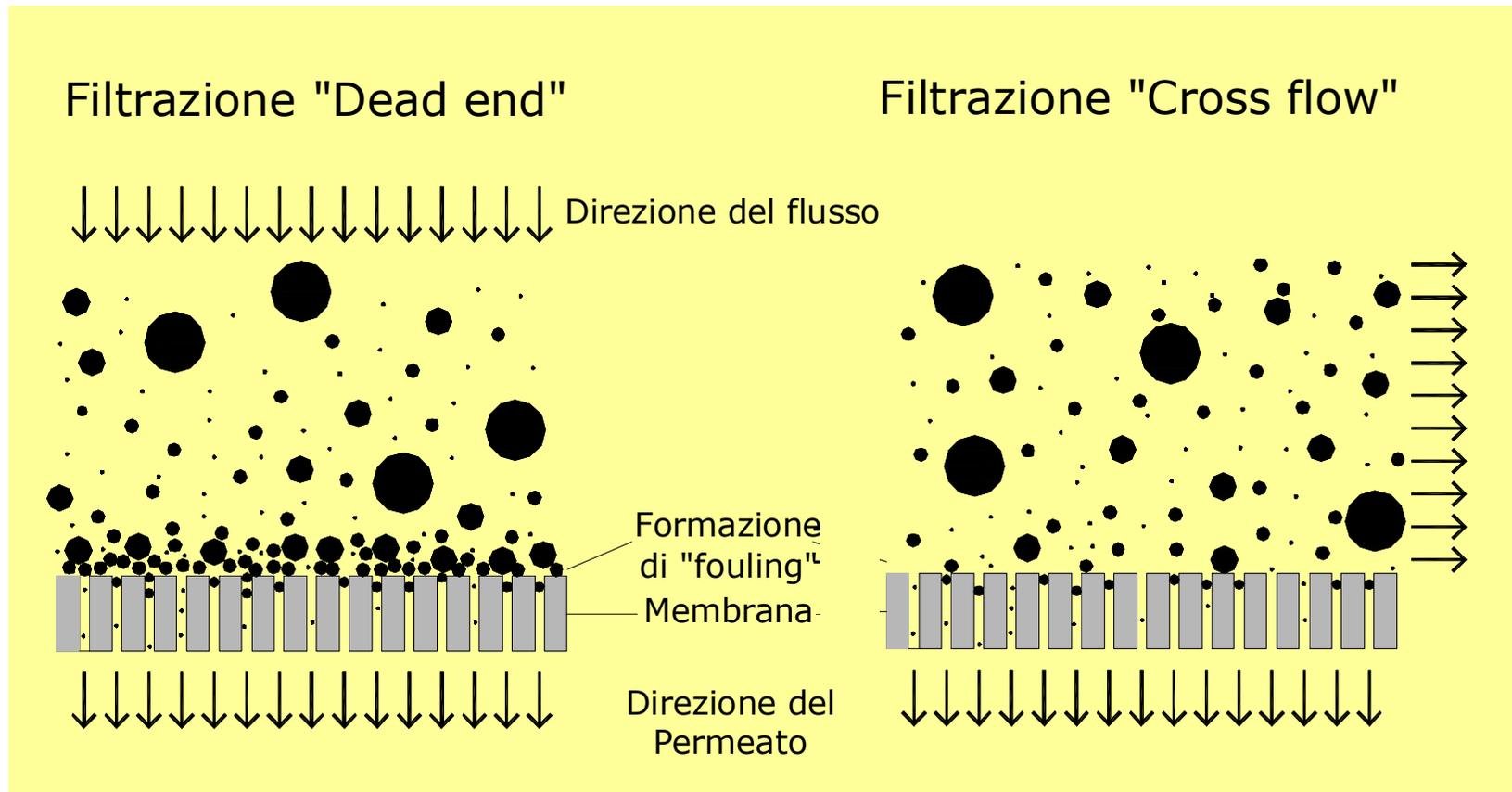


Struttura delle membrane

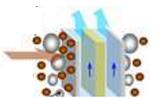


Direzione del flusso attraverso le membrane

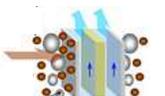
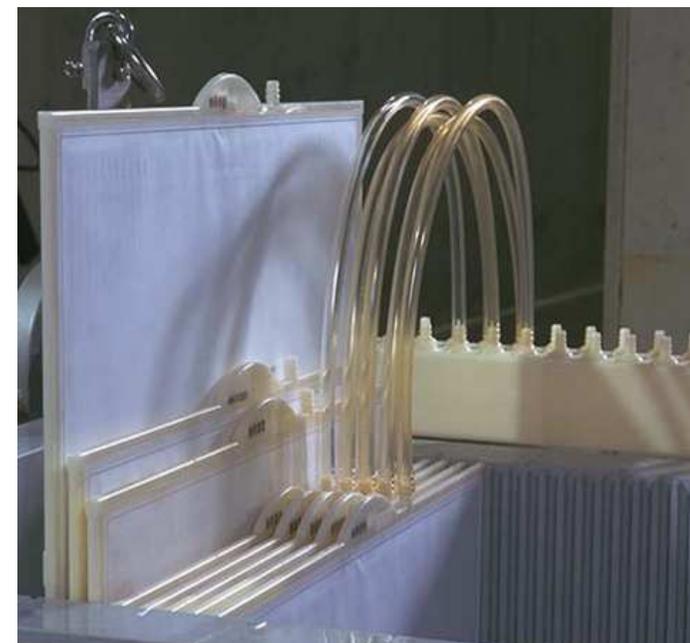
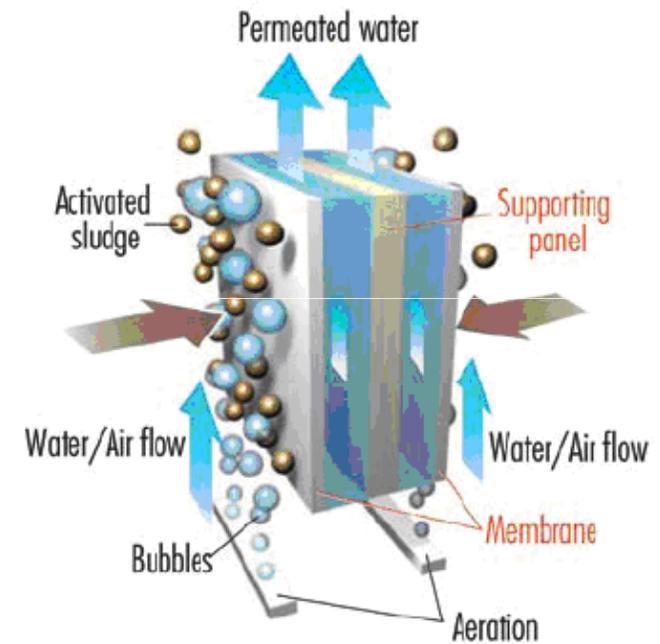
- Dead end: flusso ortogonale alla superficie filtrante



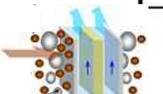
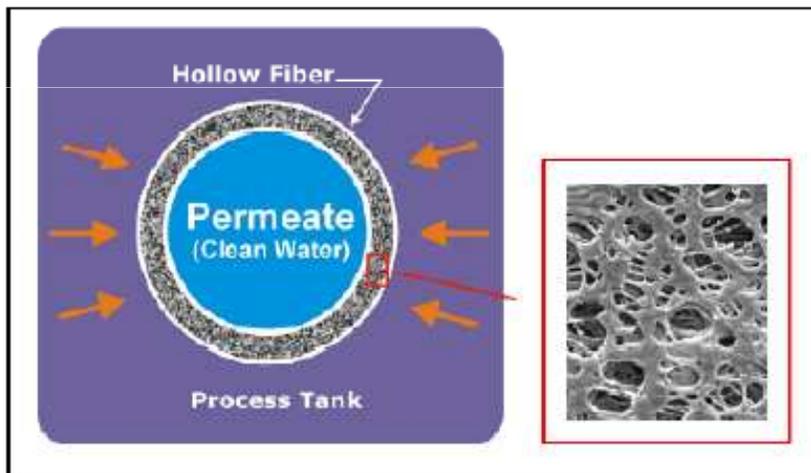
- Cross flow: flusso tangenziale alla superficie filtrante



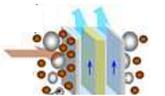
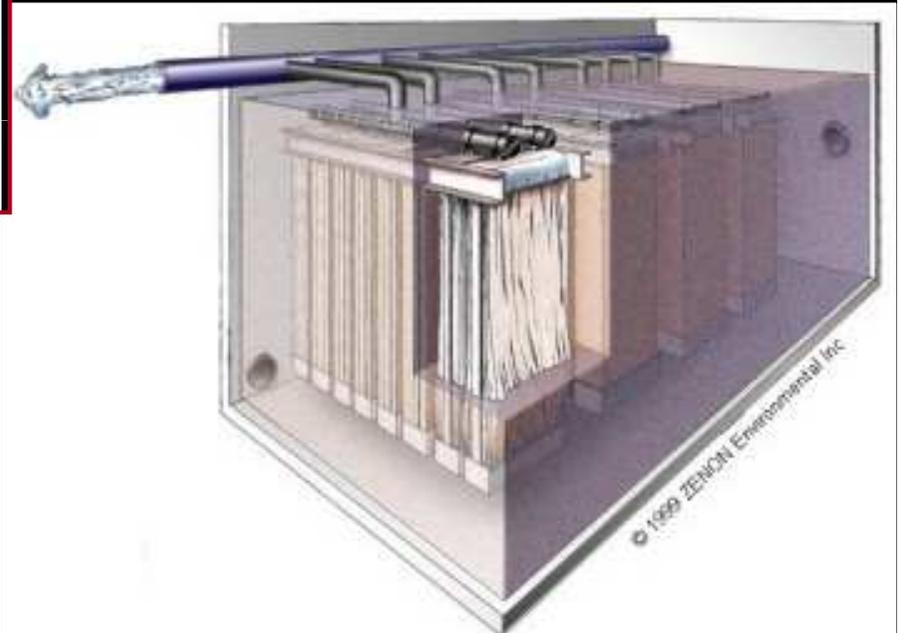
Geometria dei moduli: a lastre piane



Geometria dei moduli: a fibre cave



Geometria dei moduli: a fibre cave



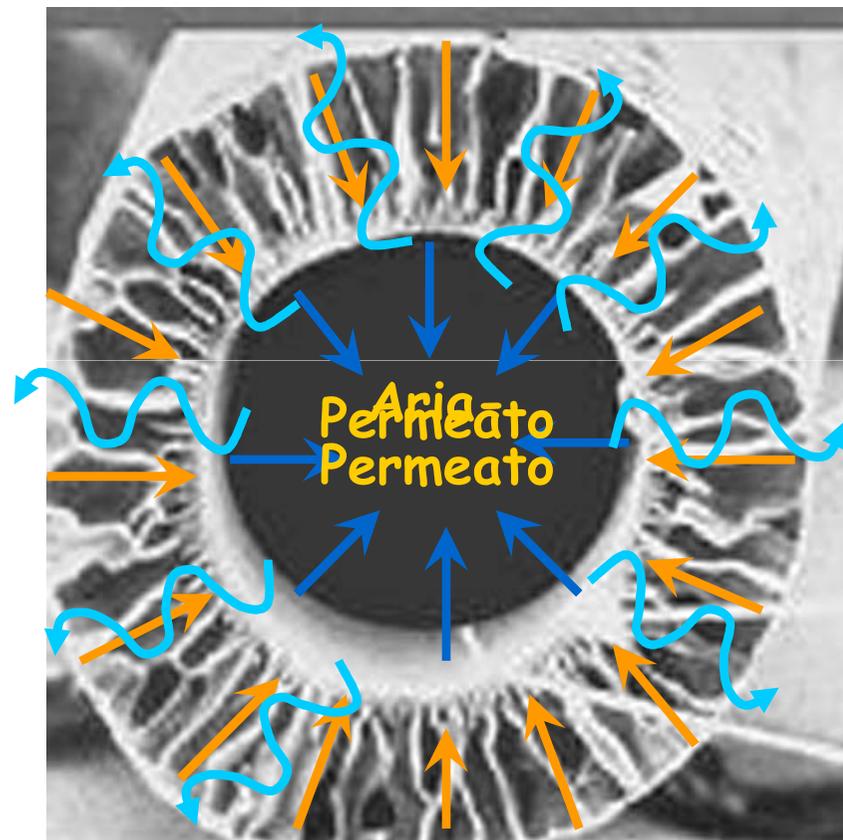
Geometria dei moduli: a fibre cave



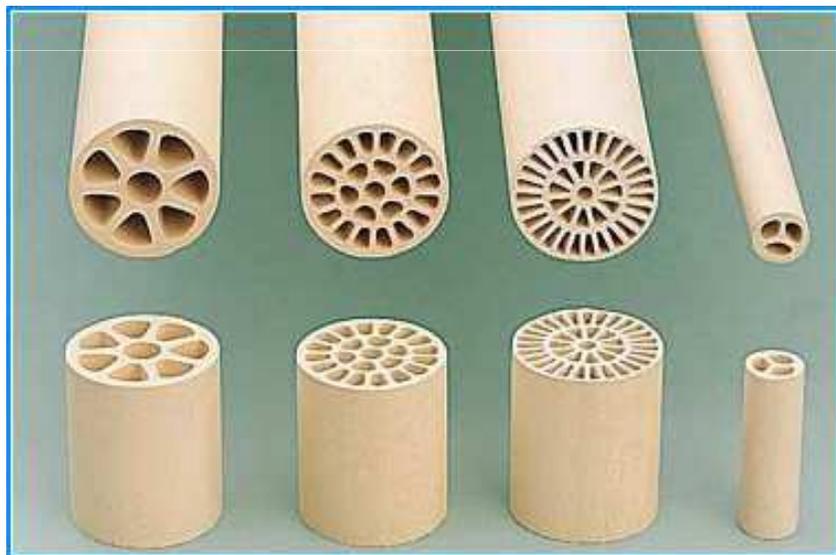
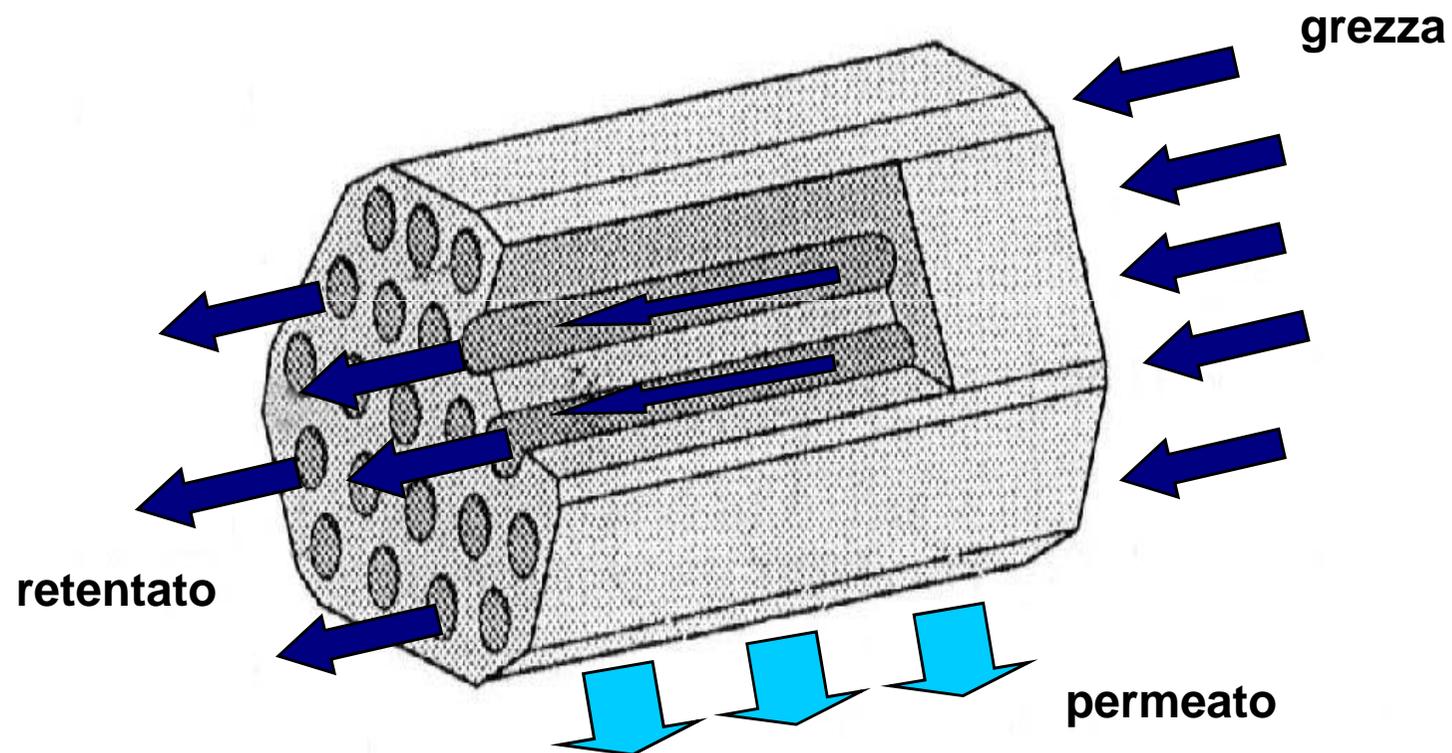
Filtrazione a membrana a fibre cave

La filtrazione avviene a pressione con il fluido da trattare che scorre all'esterno delle fibre e il permeato che si raccoglie all'interno delle fibre. I problemi di fouling sono ridotti grazie alla geometria a fibre cave.

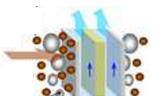
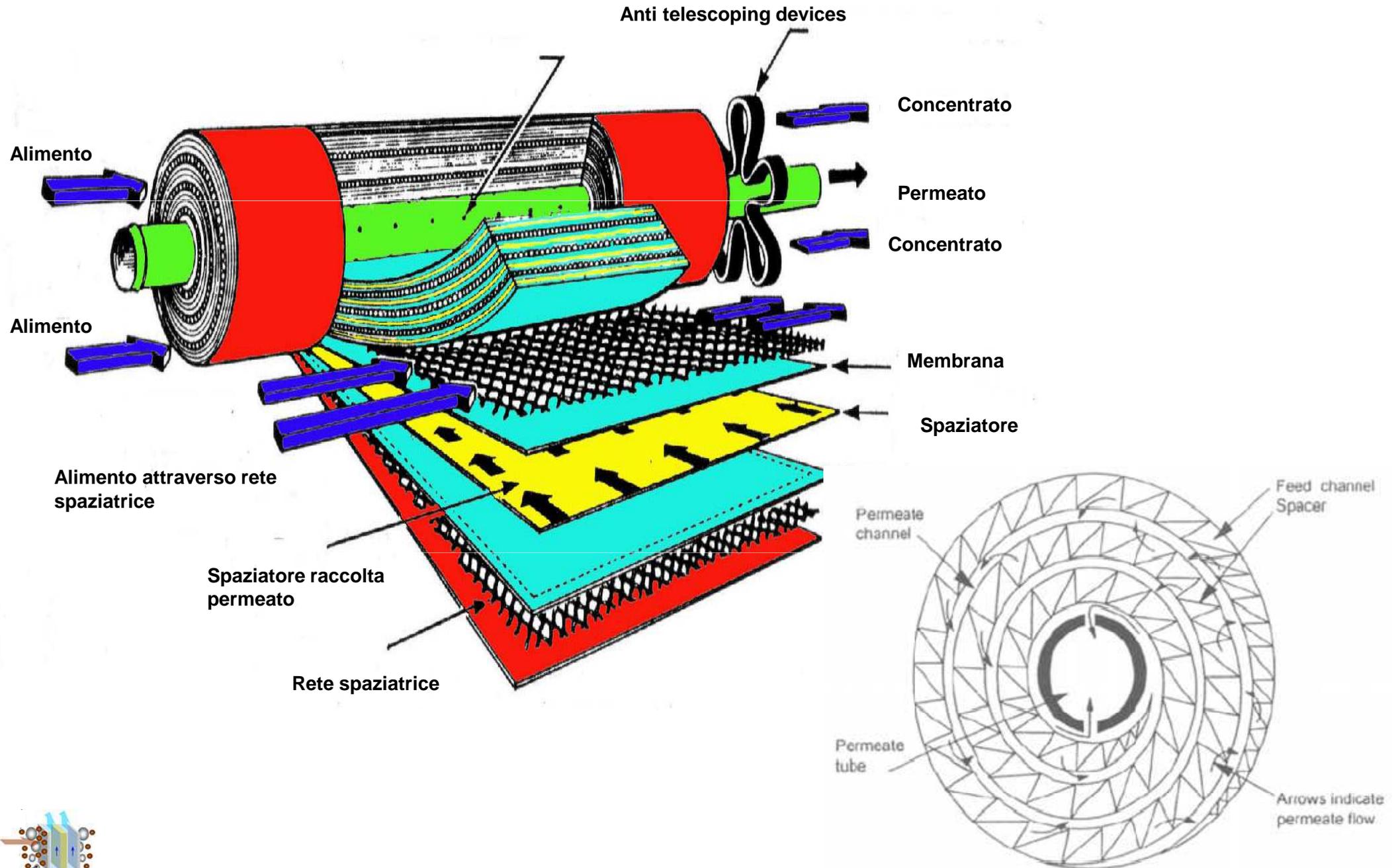
Il permeato viene convogliato all'interno della fibra e raccolto in testa al modulo



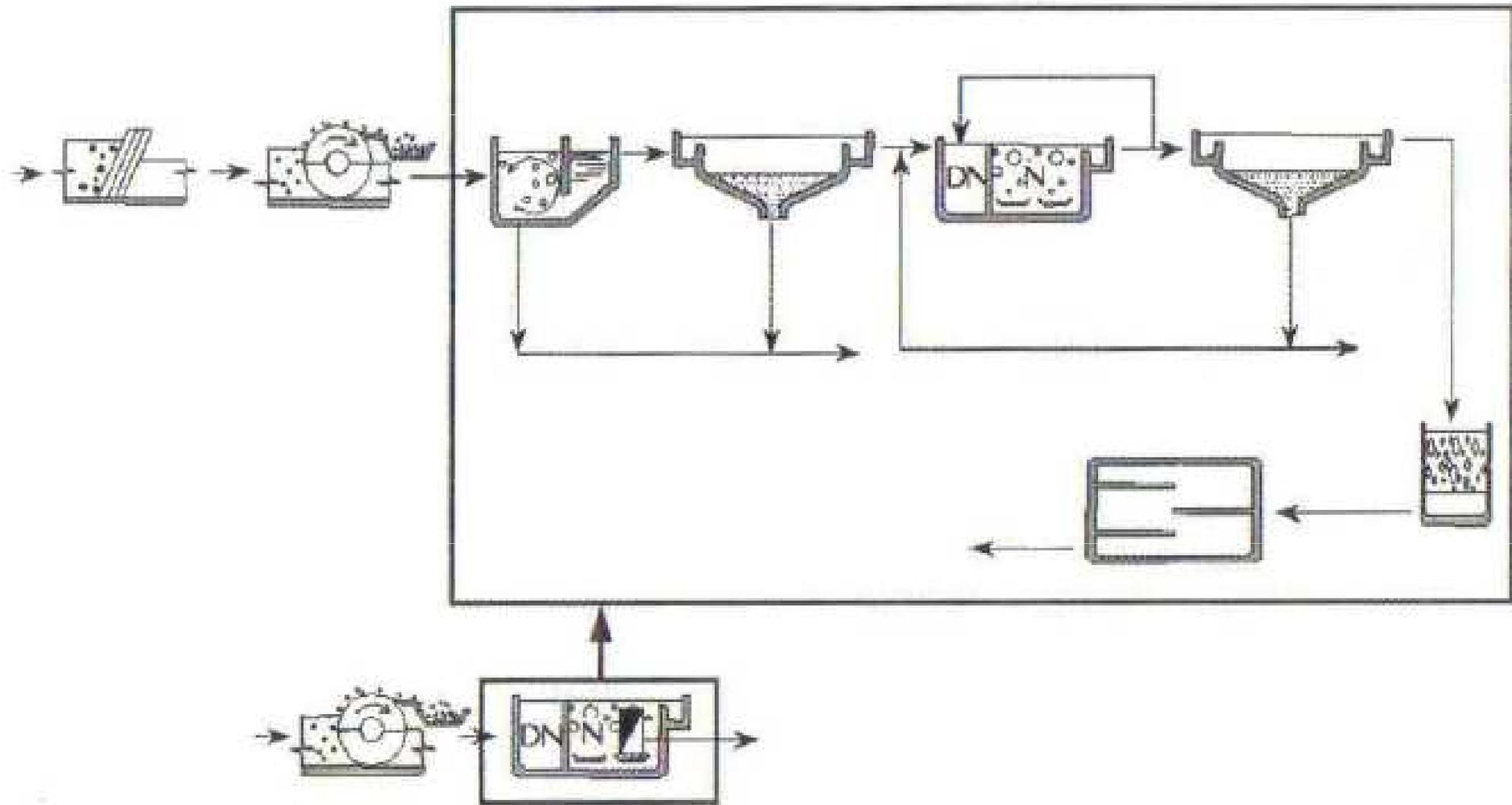
Geometria dei moduli: tubolari



Geometria dei moduli: a spirale



Semplicità del ciclo di trattamento



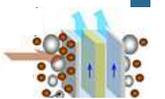
Conclusioni

■ Vantaggi

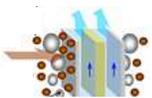
- Semplicità del ciclo di trattamento;
- Ridotti impegni di superficie e volumi ridotti;
- Elevate prestazioni depurative, svincolate dalle caratteristiche di sedimentabilità della biomassa;
- Bassa produzione di fango;
- Fango più prossimo alle condizioni di stabilità;
- Degradazione di composti lentamente biodegradabili;
- Si prestano bene al trattamento di reflui ad alta forza;
- Adeguati per interventi di upgrading.

■ Svantaggi

- Esigenza di una fase di staccatura preliminare molto spinta (1-2 mm);
- Formazione di schiume;
- Fouling ed incertezze sulle effettive cause;
- Costi energetici elevati;
- Necessità di dispositivi avanzati di controllo e regolazione del processo;
- Incertezze sulla durabilità delle membrane nelle condizioni operative.



Conclusioni



Conclusioni





Francesco Pirozzi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA)

Università degli Studi di Napoli Federico II

Via Claudio 21 – 80125 – Napoli

Tel. 081 7683440 - Fax 081 5938344

francesco.pirozzi@unina.it

www.iat.unina.it

