



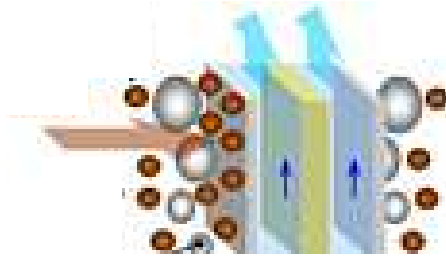
Università degli Studi di
Napoli Federico II



Università degli
Studi di Palermo



Università degli
Studi di Salerno



BioMAc 2013

Bioreattori a Membrane (MBR) per la depurazione delle Acque

Applicazione dei sistemi MBR al trattamento dei reflui ospedalieri

Francesco Gradilone (Università degli Studi di Firenze)

Palermo, 4-5 Luglio 2013

Sommario

■ Introduzione

- PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente
- Meccanismi di rimozione dei PPCPs

■ Il ruolo dei Reattori a Membrana (MBR) nel trattamento dei reflui ospedalieri:

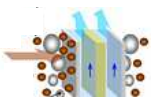
- Età del fango: parametro chiave
- Porosità nominale della membrana

■ Il caso dell'impianto di depurazione di Gualdo (FE):

- Filiera impiantistica e funzionalità riscontrata
- Sperimentazione sull'ozonolisi e la rimozione di PPCPs

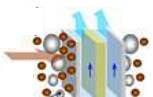
■ Considerazioni conclusive

- Accumulo sulla fase solida (Fanghi di Supero)
- Confronto CAS / MBR / MBR + O₃ + UVC



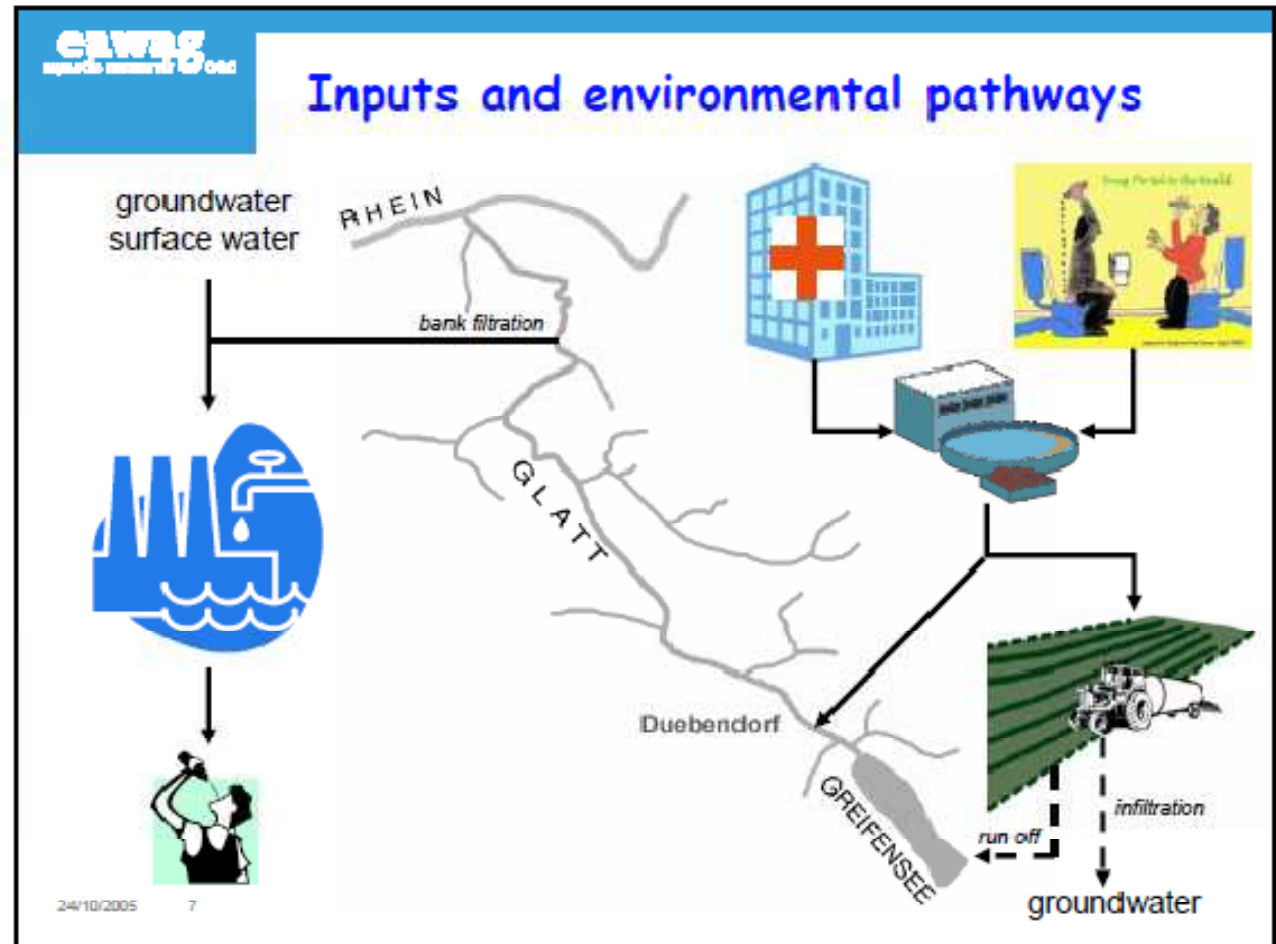
PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

- Sono riconducibili ai composti indicati come PPCPs (Pharmaceuticals and Personal care Products) che includono, oltre ai prodotti farmaceutici, anche quelli utilizzati per l'igiene e la cura personale (detergenti, fragranze, muschi,). Sono comunemente presenti nei reflui civili con caratteristiche molto diverse tra loro in termini di biodegradabilità e volatilità; spesso molto persistenti nell'ambiente acquatico e bioaccumulabili
- Trattandosi di sostanze attive specificamente ideate per suscitare risposte nell'uomo ai bassi dosaggi, rappresentano potenziali pericoli per la catena trofica e al tempo per l'uomo stesso.
- Prima evidenza di una contaminazione nel 1976 nelle acque di un lago del Nevada: concentrazioni da 1 a 2 $\mu\text{g/l}$ di acido clofibrico e di acido salicilico.
- Nel 1992 tracce dell'acido clofibrico e farmaci contro il colesterolo nelle acque potabili di Berlino

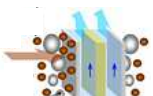


PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

- Nel 2005 confermata la presenza di effetti genotossici nelle acque di scarico di un ospedale universitario francese (2600 posti letto e 1500-2000 m³/giorno di reflui prodotti)



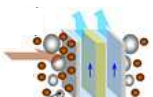
- Nel 2004: Progetto POSEIDON - Assessment of Technologies for Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Product in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse



PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

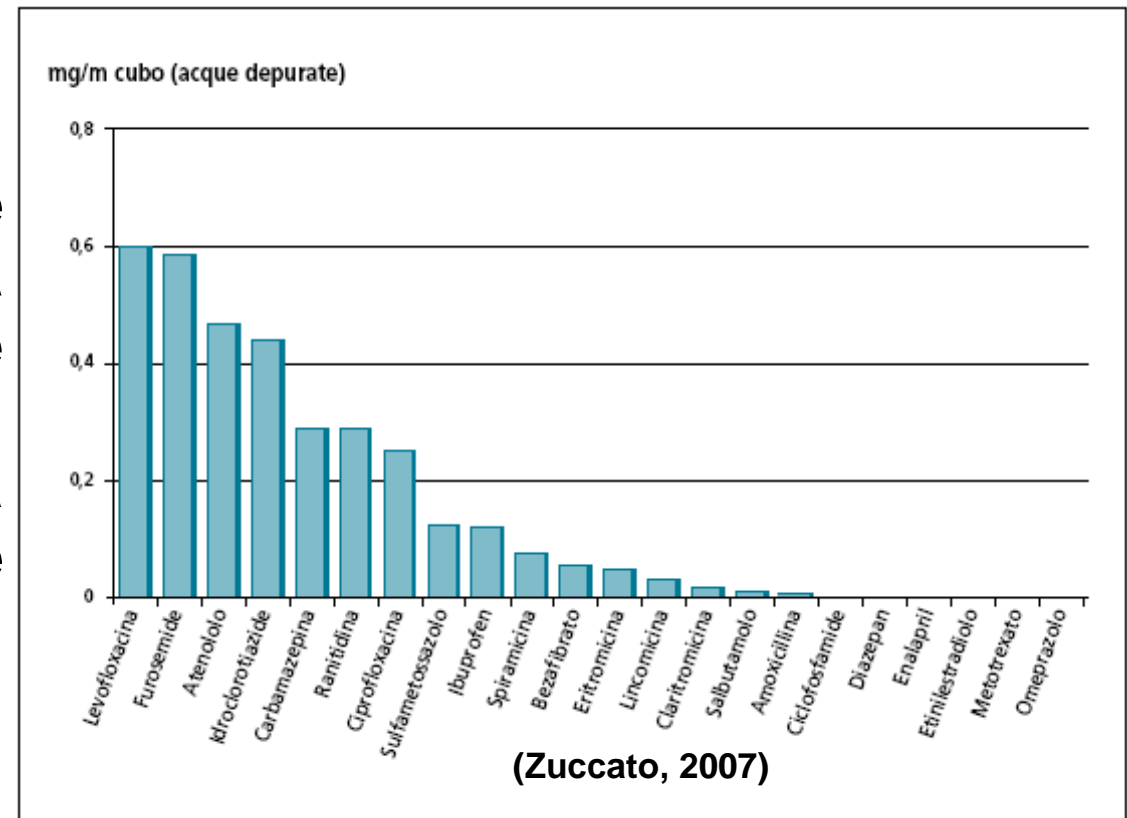
DINAMICHE DI INQUINAMENTO:

- dal 50 al 90% della struttura chimica di un farmaco somministrato viene escreta tal quale.
- Più del 70-80% dell'inquinamento da farmaci ha origine dalle escrezioni dei pazienti.
- Inquinamento industriale, smaltimento improprio e/o illegale contribuiscono per il restante 20-30% (Zuccato, 2007)
- Il 30% dei farmaci prodotti nei primi anni '90 sono lipofili: capacità di passare attraverso le membrane cellulari ed agire così all'interno delle cellule
- Con lo stesso meccanismo i farmaci escreti, che arrivano nell'ambiente, possono penetrare nella catena alimentare (Montague, 1998)

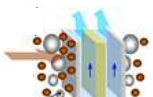


PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

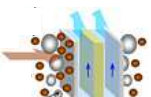
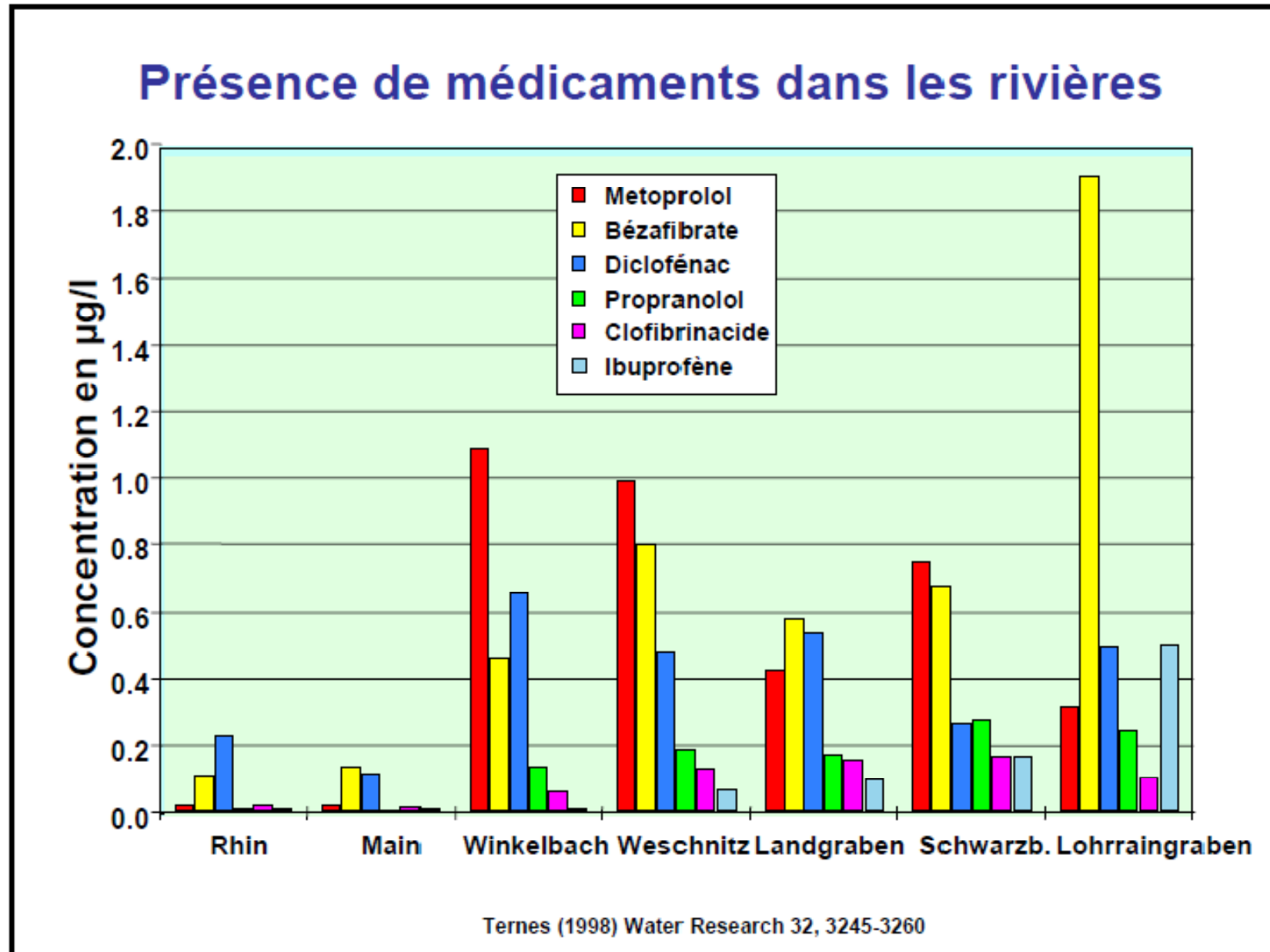
- Farmaci come eritromicina, ciclofosfamide, naproxene, sulfametossazolo e sulfasalazina hanno una vita media nell'ambiente superiore ad un anno; mentre l'acido clofibrico ha una persistenza ambientale media di 21 anni (Zuccato, 2007) cellule



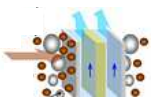
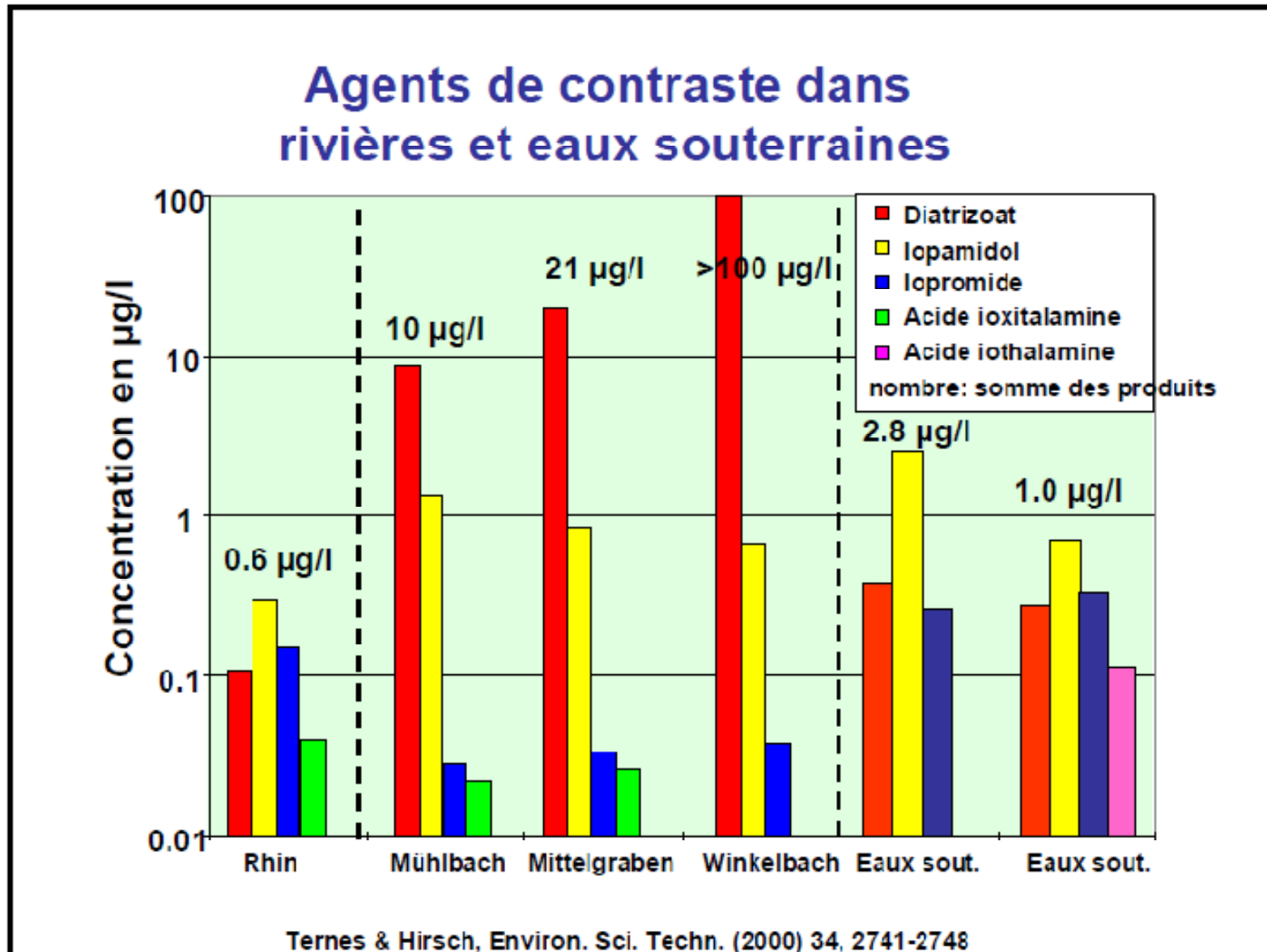
- Veicolati dalle acque reflue urbane, molti farmaci sono rimossi solo parzialmente dai depuratori convenzionali (CAS - Conventional Activated Sludge). Altri, più persistenti non sono rimossi per nulla.



PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente



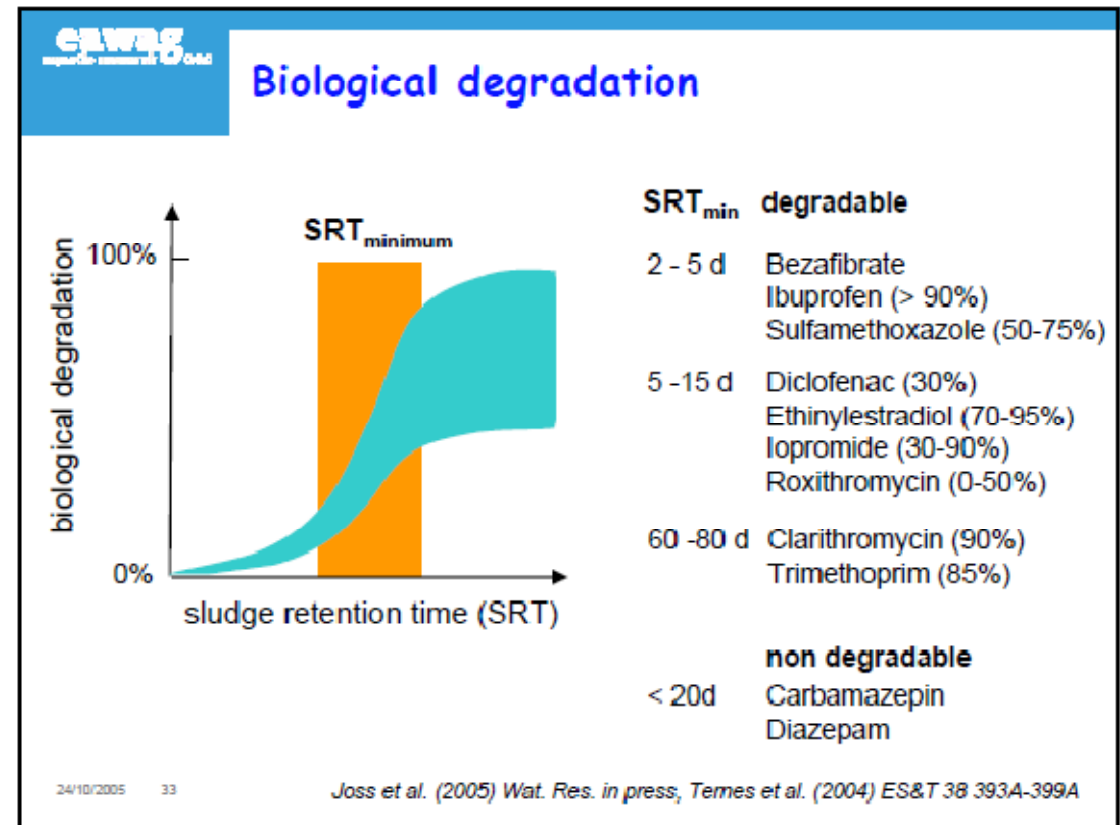
PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente



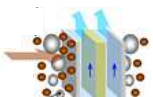
PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

MECCANISMI DI RIMOZIONE DEI PPCPs:

- Degradazione biologica: I principali meccanismi di abbattimento sono la biodegradazione e l'assorbimento sui solidi sospesi e i microrganismi
- L'età del fango rappresenta il fattore di maggiore influenza nella trasformazione microbiologica della struttura chimica dei farmaci.

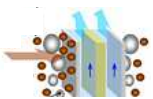
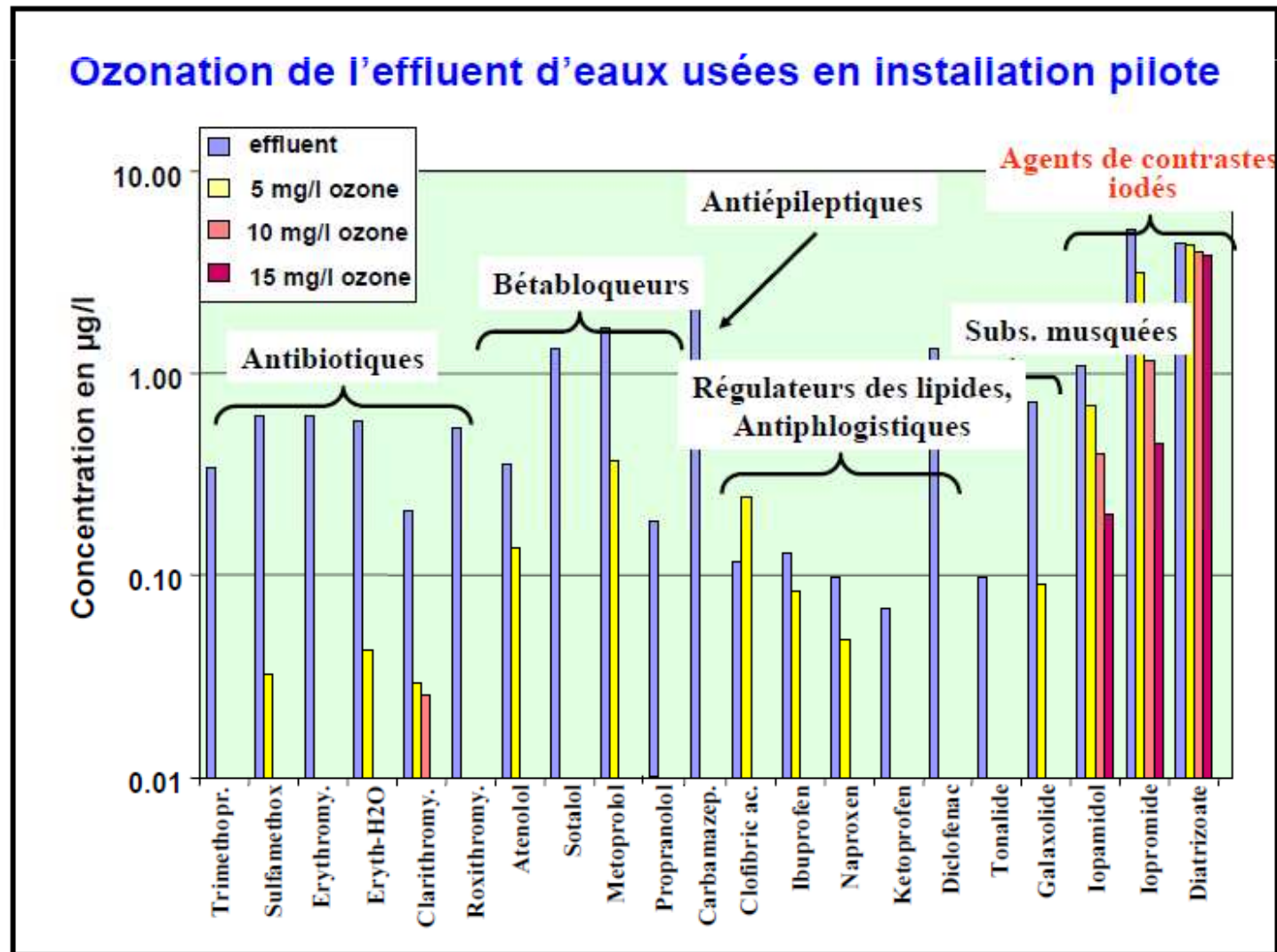


- Prevalgono meccanismi di cometabolismo: substrato primario = fonte di carbonio e di energia; substrato cometabolico (PPCPs) modificato ma non comporta crescita di biomassa.



PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

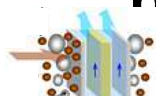
- Ossidazione chimica: L'Ozonazione dell'effluente che ha subito un trattamento biologico si conferma come un importante step per la eliminazione potenziale di un largo numero di prodotti. .



PPCPs : Inquinanti emergenti ed il loro impatto sull'ambiente

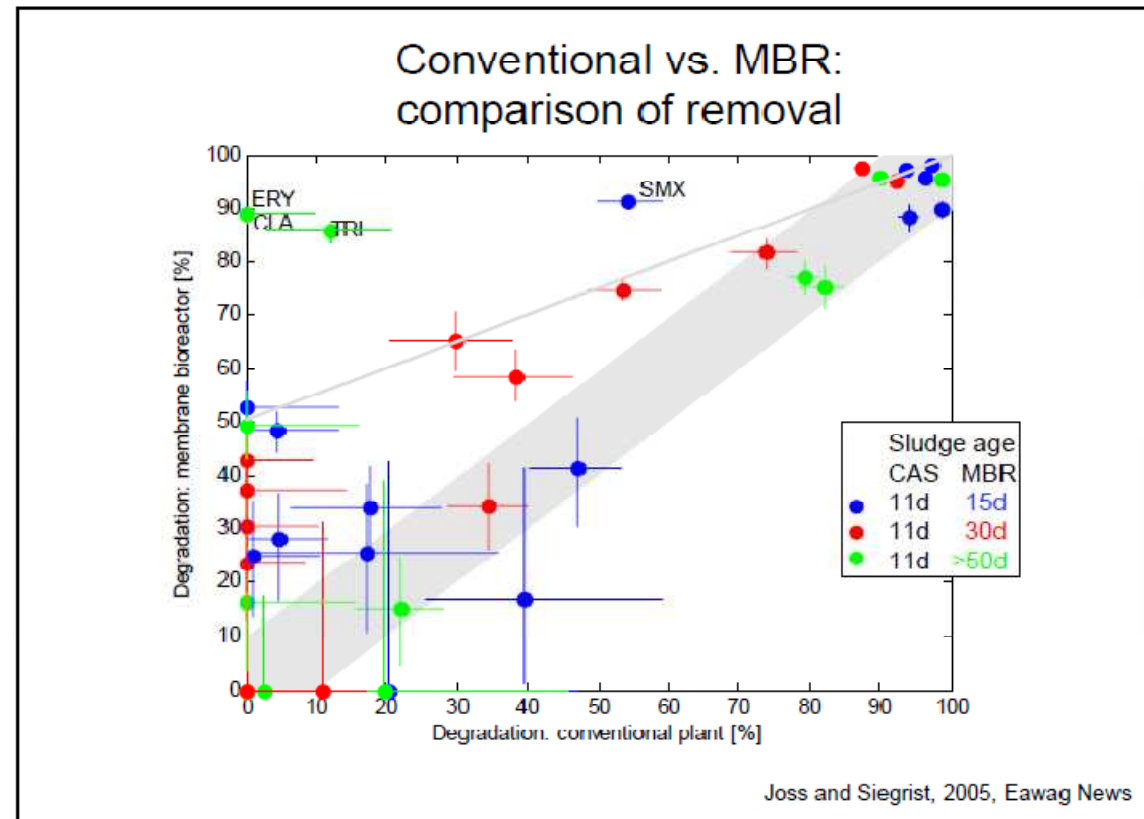
- L'applicazione di più agenti ossidanti per esaltare l'azione di ossidazione è stato studiato su scala sperimentale. L'impiego di Ozono e Acqua Ossigenata porta alla formazione di radicali liberi OH molto reattivi, e capaci di aumentare la biodegradabilità del refluo. Anche l'impiego di O₃ e raggi UV-C ha dato buoni risultati.

FONTE	Prodotti farmaceutici	Dosaggi		Tempi di contatto (minuti)	Rimozione %
		O3	UV/ H ₂ O ₂		
WEDECO: -Ozonizzazione delle acque comunali effluenti per la rimozione dei prodotti farmaceutici.	Mezzi di contrasto Beta-bloccanti Antiflogistici Antibiotici	5-10-15 (g/mc)	30-50 (W/mc)	Non menzionati	≥ 80
WATER RESEARCH: -Ozonation: a tool for removal of pharmaceutical, contrast media and musk fragrances from wastewater?	Mezzi di contrasto Antibiotici Antidepressivi Lipidi regolatori	10-15 (g/mc)	400 (J/mq)	18	≥ 85
WEDECO: -Applicazione dei Processi di Ossidazione Avanzata per il trattamento delle acque reflue.	Antibiotici Betabloccanti Estrageni	5-10-15 (g/mc)	30-50 (W/mc)	Non menzionati	≥ 85
WEDECO: -Ozonizzazione delle acque comunali effluenti per la rimozione dei prodotti farmaceutici.	Mezzi di contrasto Beta-bloccanti Antiflogistici Antibiotici	5-10-15 (g/mc)	30-50 (W/mc)	Non menzionati	≥ 80
WATER RESEARCH: -Ozonation: a tool for removal of pharmaceutical, contrast media and musk fragrances from wastewater?	Mezzi di contrasto Antibiotici Antidepressivi Lipidi regolatori	10-15 (g/mc)	400 (J/mq)	18	≥ 85
WEDECO: -Applicazione dei Processi di Ossidazione Avanzata per il trattamento delle acque reflue.	Antibiotici Betabloccanti Estrageni	5-10-15 (g/mc)	30-50 (W/mc)	Non menzionati	≥ 85
Turkish J. Eng. Env. Sci. : Pre-Treatment of Antibiotic Formulation Wastewater by O3/UV	ANTIBIOTIC: Enrofloxacin	0.96-4.44 (g/h)		0-60	
Turkish J. Eng. Env. Sci. : Pre-Treatment of Antibiotic Formulation Wastewater by O3/H2O2	Antibiotic: Enrofloxacin	2.96 (g/L.h)		60	87-99

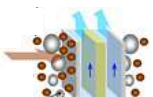


Il ruolo dei Reattori MBR nel trattamento dei reflui ospedalieri

- Le membrane MF ed UF dei reattori MBR rimuovono steroidi (etinilestradiolo, estrone, estriolo, testosterone) e antibiotici (eritromicina, sulfametazolo, trimethoprim) (Snyder et al., 2006).

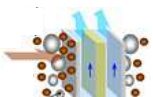


- Esperienze svolte su un refluo proveniente da un reparto oncologico, mostrano che con gli MBR si ottengono migliori abbattimenti dei principali prodotti farmaceutici somministrati (antineoplastici) (Joss, 2005)



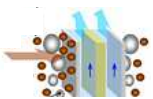
Il ruolo dei Reattori MBR nel trattamento dei reflui ospedalieri

- **L'età del fango è correlata al rateo di crescita delle colonie di microrganismi: alte età del fango = sviluppo di colonie di microrganismi con bassa velocità di crescita, quindi sviluppo di biocenosi differenziate in grado di degradare vari inquinanti**
- **Un'età del fango non inferiore ai 10-12 giorni a $T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ rappresenta la soglia sotto a cui è bene non scendere (Clara et al., 2005)**
- **Il tempo di ritenzione idraulica è un parametro che non influisce sui processi di rimozione dei microinquinanti (Joss et al., 2002)**
- **Con MBR a fibre cave, età del fango di 60-65 giorni, si ottengono rimozioni di prodotti acidi (acido clofibrico, diclofenac, ibuprofene, chetoprofene, naproxen, acido mefenamico) nel range 80-98%, contro rimozioni del 40-70% ottenute in un impianto a fanghi attivi tradizionale (Rimura et al., 2007)**



Il ruolo dei Reattori MBR nel trattamento dei reflui ospedalieri

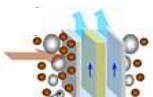
- **Uno studio recente (Radjenovic et al., 2007) conferma che gli abbattimenti per diverse categorie di farmaci è superiore in un impianto a membrane (Kubota) piuttosto che in un impianto a fanghi attivi tradizionale (predenitro-nitro ed età del fango di sette giorni)**
- **In tutte le sperimentazioni L'età del fango si è confermata come il fattore di maggiore influenza nella trasformazione microbiologica della struttura chimica dei farmaci. Il grado di degradazione dei vari composti differisce significativamente senza che vi sia una evidente correlazione con la specifica struttura molecolare. Si osservano rimozioni che avvengono rapidamente (Estradiolo, Paracetamolo) ed altre che non avvengono per niente (Carbamazepina, Diatriazoato).**



Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero

- La città di Ferrara ha costruito Il nuovo Polo Ospedaliero di Ferrara (812 posti letti, 2.400 addetti, alloggi per anziani e studenti per circa 250 persone)
- A Gualdo, nel comune di Voghiera, è stato costruito un depuratore che tratta gli effluenti del Polo Ospedaliero di Cona, ed i reflui urbani di Gualdo, Ducentola e di un'area artigianale
- Impianto biologico a Fanghi Attivi, con membrane di ultra filtrazione (MBR). È presente la defosfatazione, la denitrificazione e la nitrificazione biologica. Sono presenti trattamenti avanzati di ossidazione, mediante ozono, e di disinfezione mediante raggi UV-C
- L'impianto è in funzione dal luglio 2011
- L'Ospedale è stato allacciato nel settembre 2012

Tipologia del Refluo	Portata (m ³ /d)	Abitanti Equivalenti medi
Residenziale urbana	320	406
Produttiva	70	89
Dal Polo Ospedaliero	650	2.890
Totale	1.040	3.385

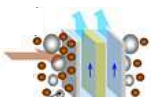
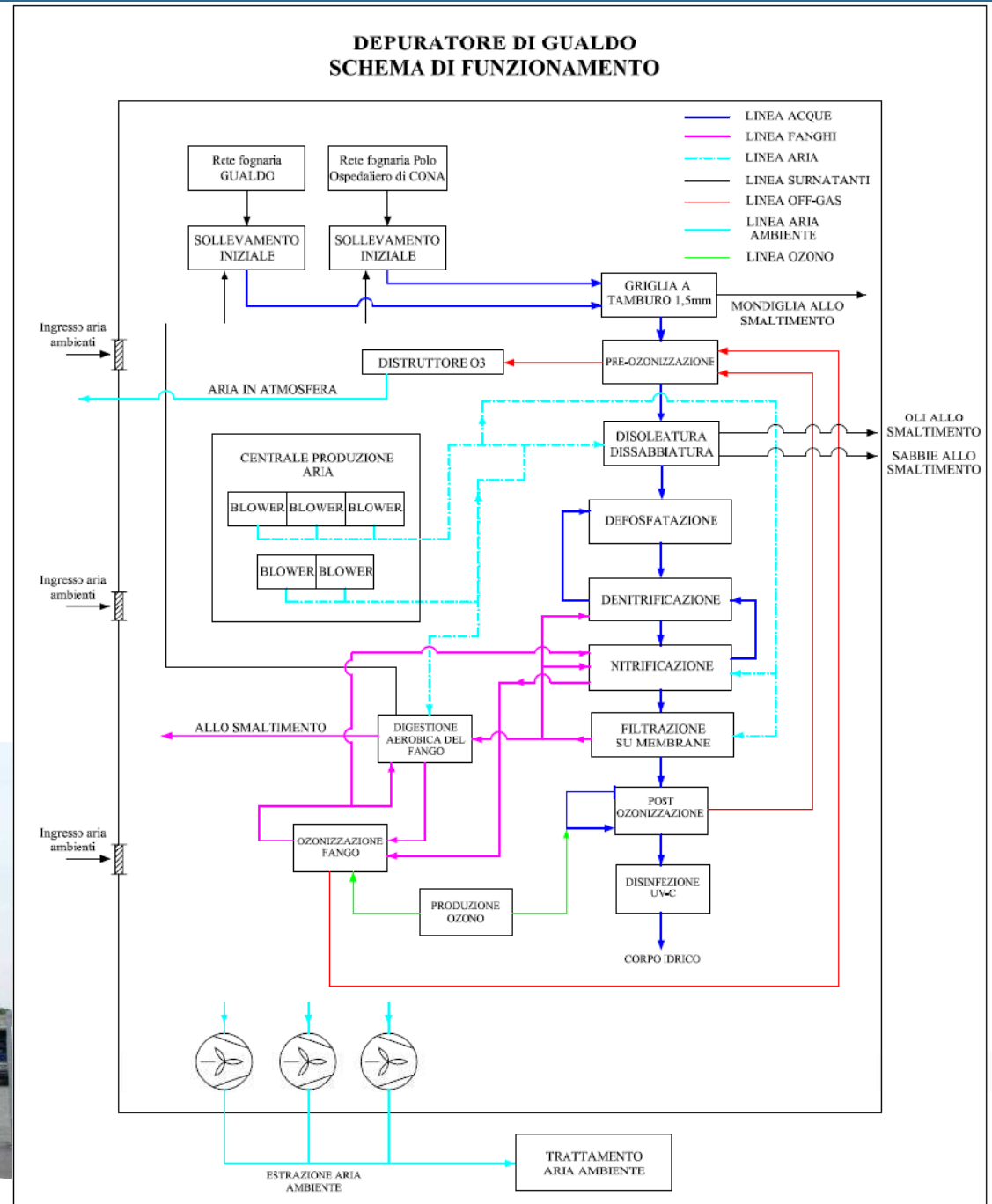


Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero

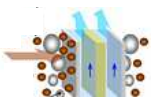
L'impianto è completamente racchiuso in un edificio, con aerazione forzata e trattamento biologico dell'aria esausta

Potenzialità media dell'impianto:	4.000 A.E.
Potenzialità di punta dell'impianto:	6.200 A.E.
Volumi di processo:	946 m ³
Superficie delle membrane (*):	4.000 m ²
Produzione massima di aria:	600 Nm ³ /h
Potenze elettriche Installate:	297 kW
Potenza UV-C installata:	2 kW
Produzione di Ozono massima:	300 g/h
Potenze massime assorbite:	142 kW
Consumi elettrici stimati:	803.500 kWh/a
Produzione fanghi di supero:	10,34 tonSST/a

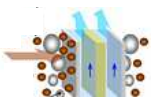
(*) In questa prima fase ne sono installate 2.000 m²



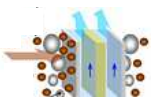
Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero



Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero



Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero

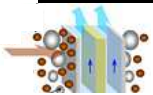
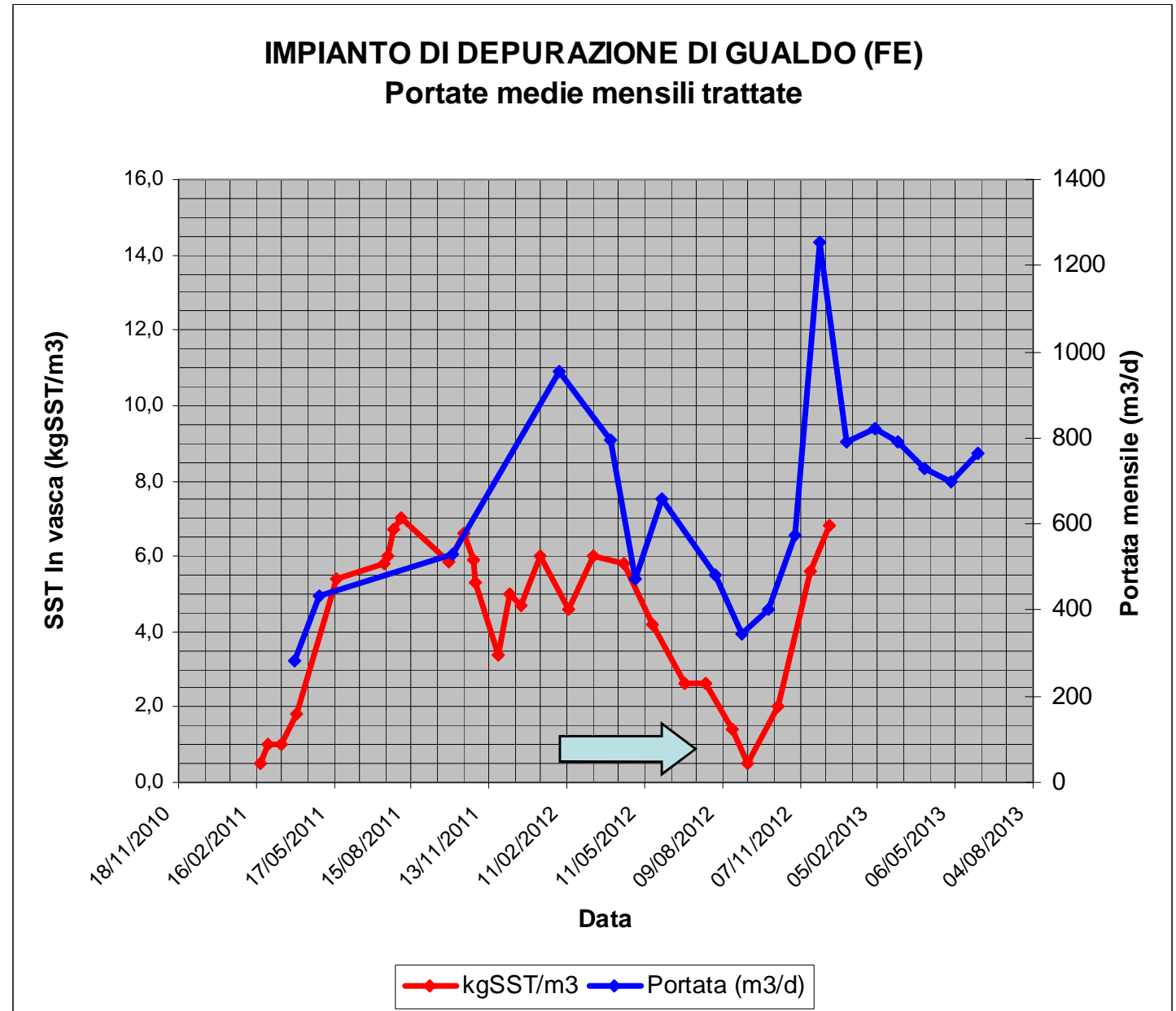


Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero

- Portate trattate: 766 m³/h – Portata di progetto: 1.040 m³/h (*)

- (*) con 4.000 m² di membrane
- Attualmente ne sono installate 2.000 m²
- perdita di biomassa per scarichi tossici (disinfettazione di alcuni reparti ospedalieri)

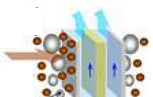
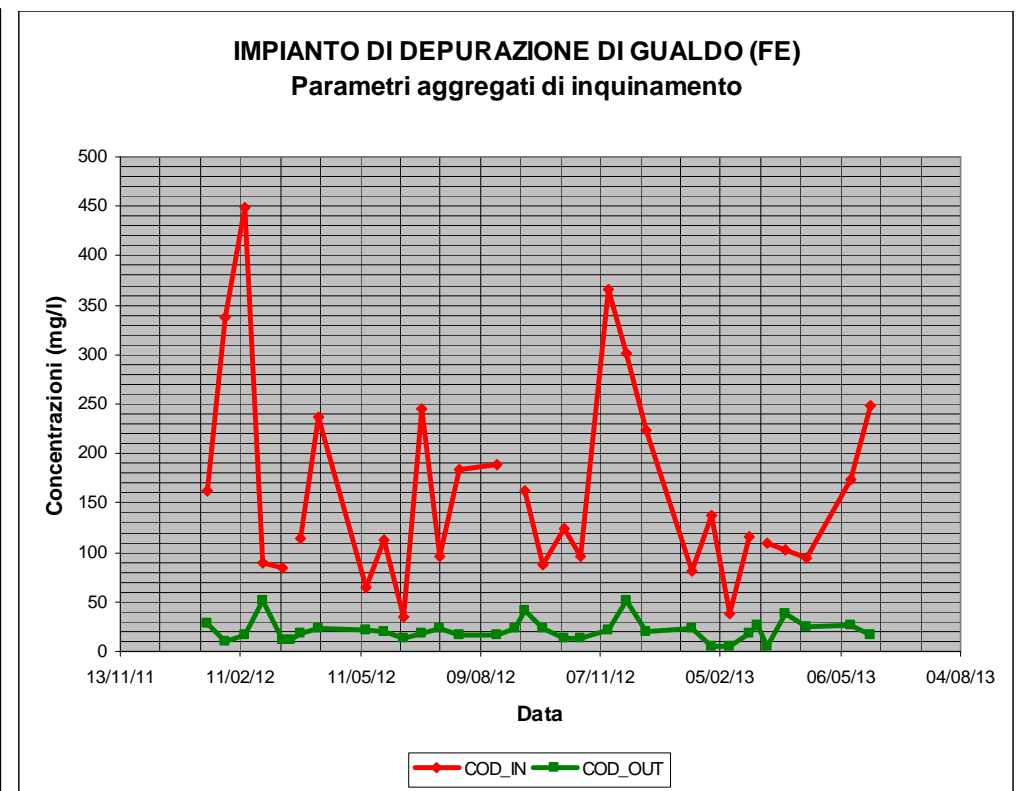
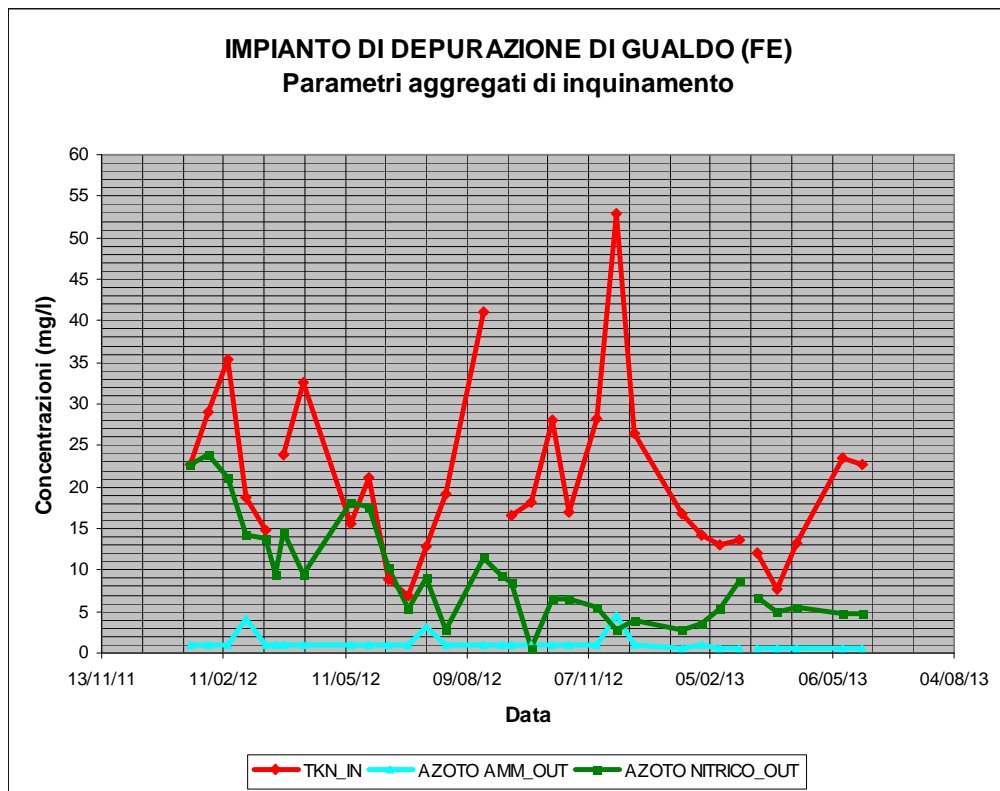
Mese	Portata (m ³ /d)	Portata specifica alle membrane (l/m ² /h)
media 2011	415	8,65
media 2012	660	13,75
media 2013	766	15,86



Il depuratore di Gualdo (FE) al servizio del polo ospedaliero

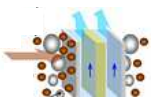
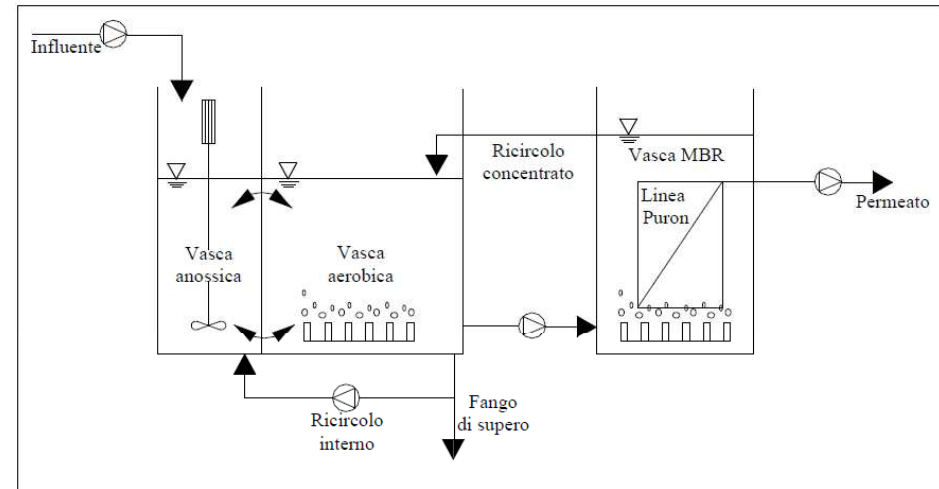
- Efficienza di depurazione

Data	COD_IN	COD_OUT	TKN_IN	NH ₄ ⁺ _OUT	NO ₃ _OUT	NO ₂ _OUT	Ntot_OU T	Ptot_IN	Ptot_OUT	SST_OUT
Media 17/01/2012 - 11/10/2012	163	21	21,5	1,3	12,0	0,1	14,4	2,3	1,9	7
Media 11/10/2012 - 28/05/2013	154	22	20,2	1,0	5,1	0,1	7,3	3,0	1,7	5



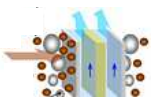
LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

- **Impianto pilota:**
 - ✓ **denitrificazione (1.98 m³)**
 - ✓ **nitrificazione (2.57 m³)**
 - ✓ **alloggiamento del modulo di filtrazione (0.64 m³)**
 - ✓ **fibra cava out-to-in (0.05 μm)**
 - ✓ **superficie filtrante utile 30 m²**
 - ✓ **portata influente 484 - 530 l/h**
 - ✓ **ricircolo interno nitro-denitro 1.000 l/h**



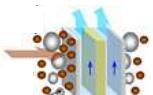
LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

- **Ozonizzazione del fango derivando una corrente dal ricircolo**
- **Ozonizzazione + UV-C sull'effluente depurato**
- **Ricerca di farmaci in ingresso ed uscita dall'impianto (Ist. M. Negri Milano)**
- **Comparazione dell'impianto MBR con CAS in scala reale (Stagnoni – La Spezia da 100.000 A.E. – 140.000 m³/d trattati)**
- ✓ **Dosaggio di 3-5 gO₃/kgSST trattati**
- ✓ **Dosaggio di 10 mgO₃/l + Dose UV-C di 55 mJ/cm² sull'effluente**
- ✓ **Età del fango nell'impianto MBR: 30 – 45 giorni (i valori più elevati si sono ottenuti durante il funzionamento dell'ozonizzazione su una corrente derivata del ricircolo)**
- ✓ **Età del fango nell'impianto CAS: 8 – 11 giorni**



LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

- **E' stata trattata giornalmente, mediante ozonizzazione, una massa di solidi pari al 15% dei solidi presenti nel sistema**
- **La portata derivata dal ricircolo, sottoposta ad ozonizzazione, era pari al 5,5% della portata influente**
- **Ricercate tracce di 41 farmaci appartenenti alla classe degli antibiotici, antitumorali, anti-infiammatori, broncodilatatori, cardiovascolari, urologici, ansiolitici, diuretici, gastrointestinali, ipolipemizzanti, oppiacei estrogeni e metaboliti**
- ✓ **Ricercate molecole la cui biodegradabilità è nota**
- ✓ **Altre poco biodegradabili nei CAS**
- ✓ **Molecole veicolate nella matrice acquosa**
- ✓ **Molecole che si accumulano nei fanghi**
- **Riscontrati 25 farmaci nelle acque reflue da trattare**



LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

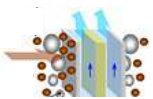
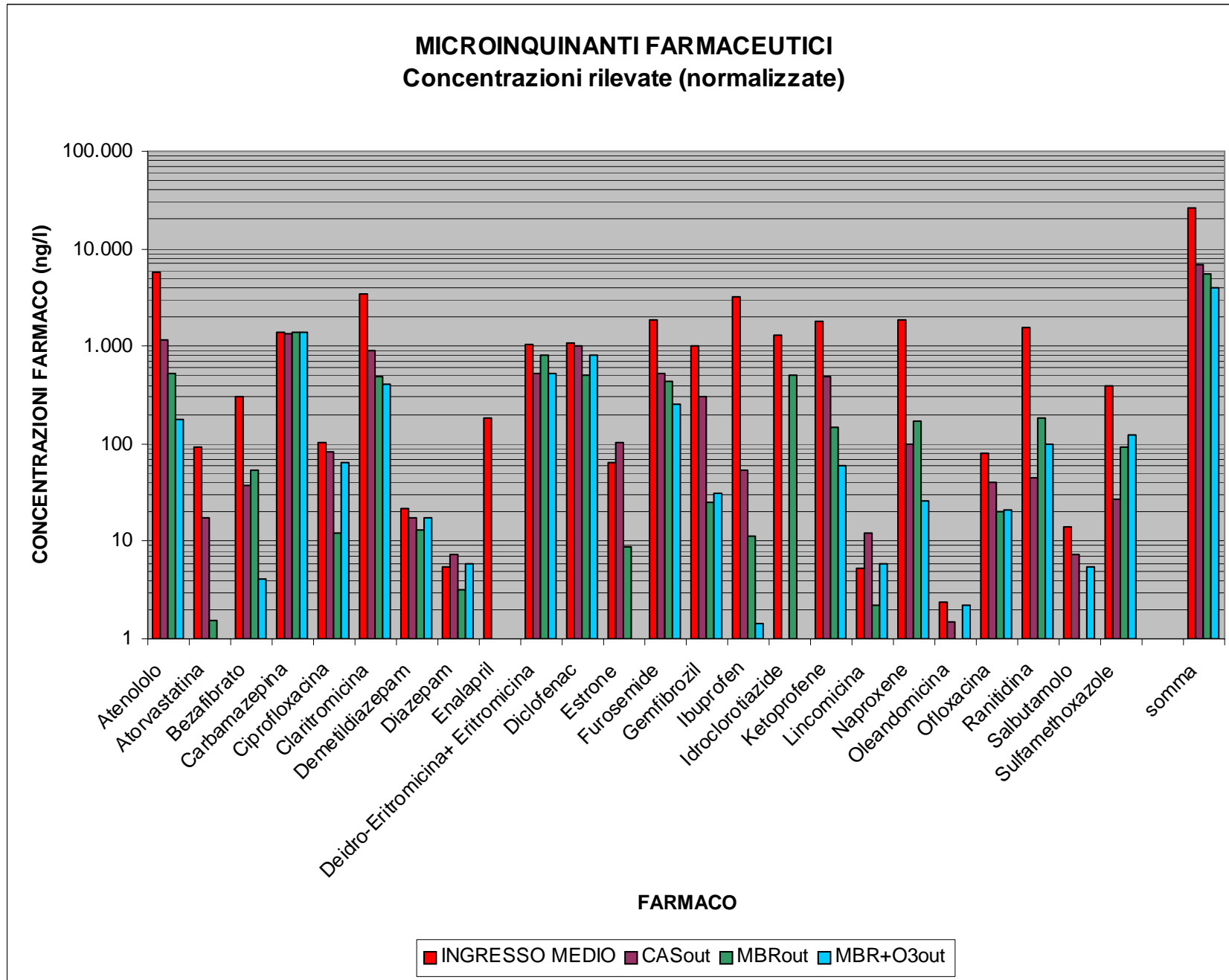
Classe terapeutica		Farmaco	
Antibiotici per uso umano	Macrolidi-Lincosamidi	Clarithromicina Eritromicina Spiramicina Lincomicina	
		Chinoloni	Ciprofloxacina Ofloxacina
		Penicilline	Amoxicillina
		Altri Antibiotici	Vancomicina Teicoplanina
	Sulfamidici	Sulfametossazolo	
Antibiotici per uso veterinario	Macrolidi	Oleandomicina Tilmicosina Tilosina	
	Tetraciline	Ossitetraciclina	
Antitumorali		Ciclofosfamide Metotressato Tamoxifen	
Anti-infiammatori		Ibuprofen Ketoprofene Naproxene Diclofenac	
Broncodilatatori		Salbutamolo	
Cardiovascolari		Atenololo Enalapril	
Urologici		Sildenafil	
Sistema nervoso		Diazepam Carbamazepina	
Diuretici		Furosemide Idroclorotiazide	
Gastrointestinali		Omeprazolo Ranitidina	
Ipolipemizzanti		Bezafibrato Atorvastatina Gemfibrozil	
Oppiacei		Morfina Codeina	
Estrogeni		17 α -etinilestradiolo	
Estrogeni naturali		17 β -estradiolo Estrone	
Metaboliti		Acido Clofibrico Demetil diazepam	

✓ MATRICE ACQUOSA

FARMACO	Concentrazioni rilevate in ng/l			
	INGRESSO MEDIO	CAS _{out}	MBR _{out}	MBR+O3 _{out}
Atenololo	5.822	1146	516	175
Atorvastatina	93	17	2	
Bezafibrato	302	37	54	4
Carbamazepina	1.383	1340	1404	1386
Ciprofloxacina	104	83	12	64
Clarithromicina	3.419	890	485	401
Demetildiazepam	22	17	13	18
Diazepam	6	7	3	6
Enalapril	185	0	0	0
Deidro-Eritromicina+ Eritromicina	1.037	533	822	532
Diclofenac	1.083	1001	508	800
Estrone	64	103	9	1
Furosemide	1.832	518	446	254
Gemfibrozil	995	308	25	31
Ibuprofen	3.241	54	11	1
Idroclorotiazide	1.276		502	
Ketoprofene	1.817	489	147	61
Lincomicina	5	12	2	6
Naproxene	1.833	100	171	26
Oleandomicina	2	1	0	2
Ofloxacina	80	40	20	21
Ranitidina	1.552	45	184	101
Salbutamolo	14	7	0	5
Sulfamethoxazole	388	27	93	122
somma	26.555	6.776	5.429	4.017



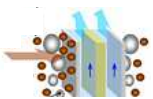
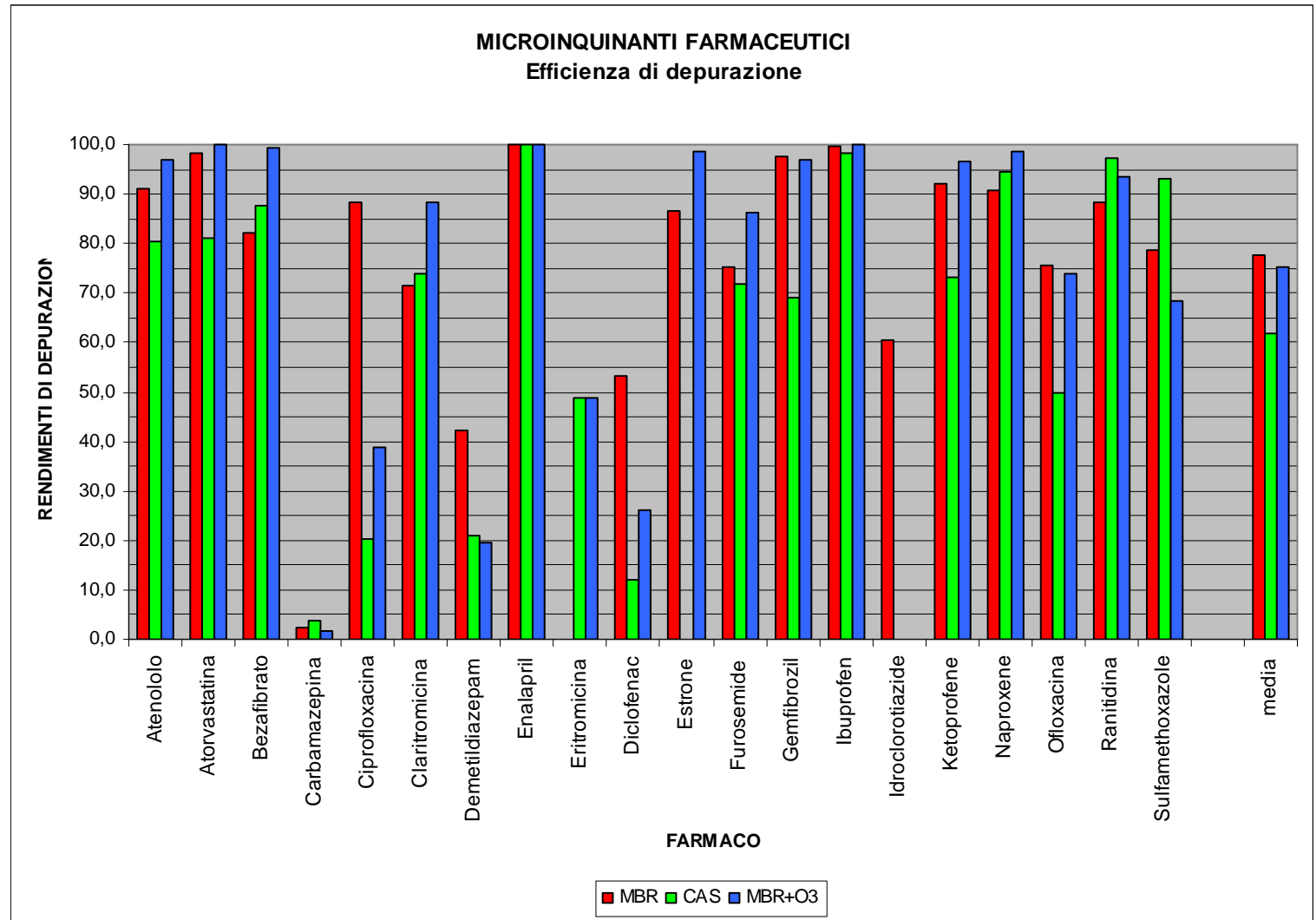
LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA



LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

- **Rendimenti nella fase acquosa**

- ✓ **CAS: 74–77%**
- ✓ **MBR: 78–79%**
- ✓ **MBR+O3: 84–86%**

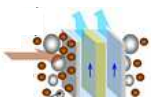
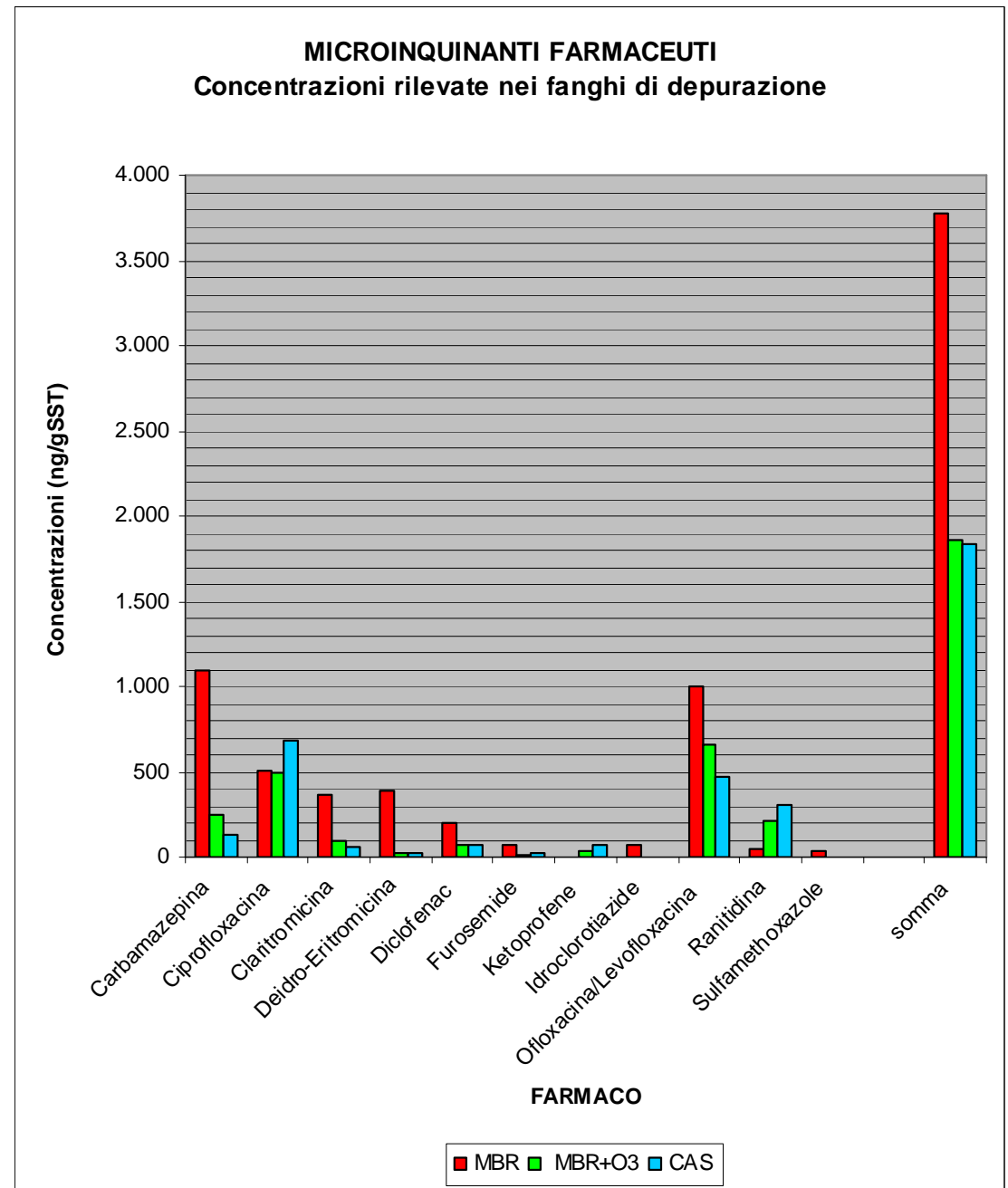


LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

✓ MATRICE SOLIDA

- Le analisi effettuate nei fanghi hanno evidenziato la presenza di 11 farmaci
- Si evidenzia accumulo di PPCPs nei fanghi da MBR
- L'ozonizzazione dimezza la concentrazione di PPCPs nel fango

FARMACO	Concentrazioni rilevate in ng/gSST		
	MBR	MBR+O3	CAS
Carbamazepina	1.096	251	124
Ciprofloxacina	506	493	682
Clarithromicina	362	99	64
Deidro-Eritromicina	393	21	22
Diclofenac	205	70	73
Furosemide	68	16	24
Ketoprofene	0	31	73
Idroclorotiazide	68	0	0
Ofloxacina/Levofloxacina	998	660	471
Ranitidina	51	213	300
Sulfamethoxazole	34		
somma	3.780	1.854	1.833

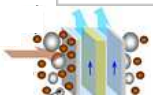
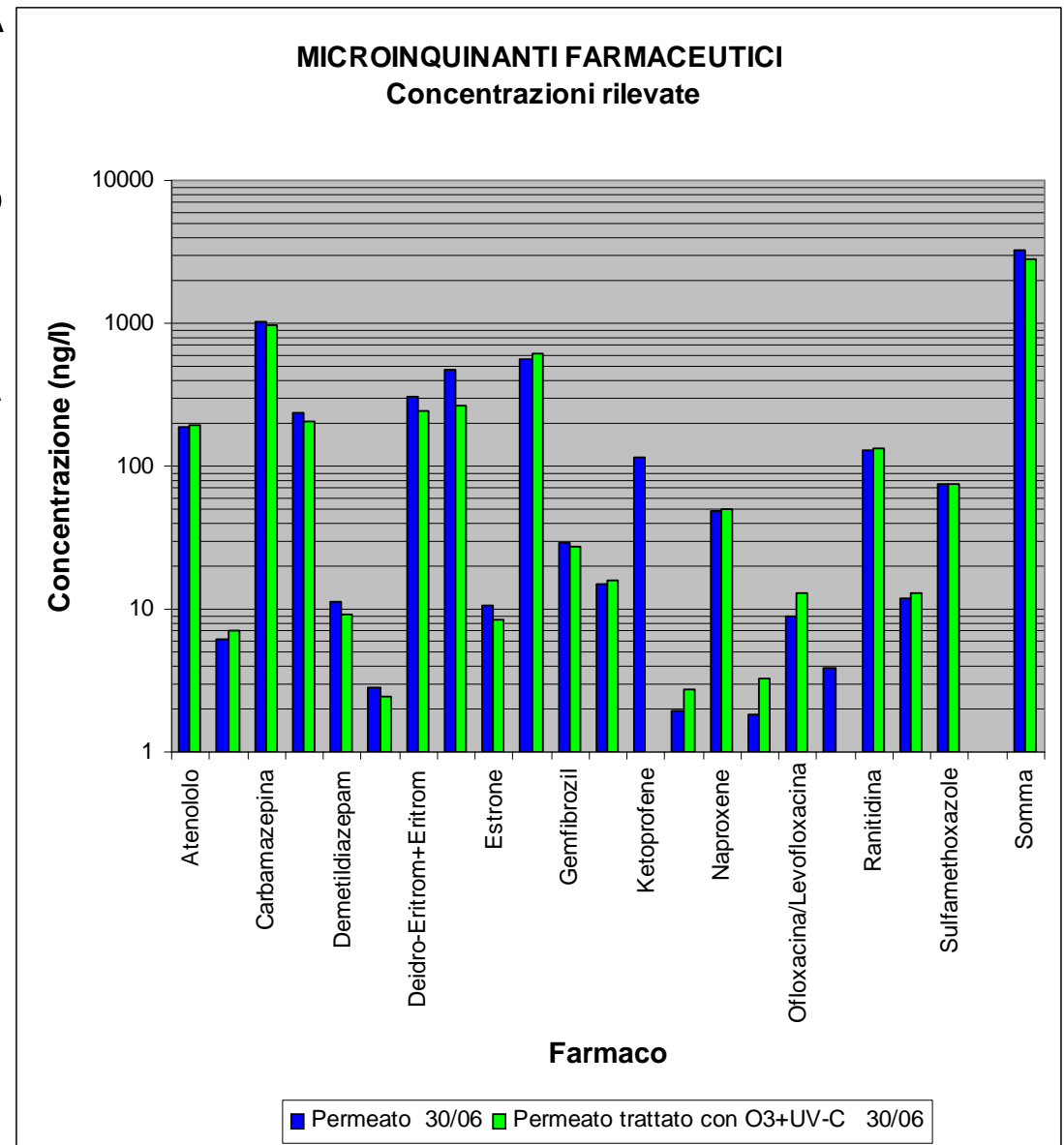


LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

✓ OSSIDAZIONE COMBINATA DEL PERMEATO: O₃ + UV-C

- Efficienza di rimozione molto bassa
- Basse concentrazioni da trattare = scarsa efficienza

FARMACO	Concentrazioni rilevate in ng/gSST		
	MBR	MBR+O3	CAS
Carbamazepina	1.096	251	124
Ciprofloxacina	506	493	682
Claritromicina	362	99	64
Deidro-Eritromicina	393	21	22
Diclofenac	205	70	73
Furosemide	68	16	24
Ketoprofene	0	31	73
Idroclorotiazide	68	0	0
Ofloxacina/Levofloxacina	998	660	471
Ranitidina	51	213	300
Sulfamethoxazole	34		
somma	3.780	1.854	1.833

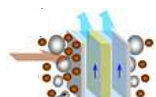


LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

✓ BILANCI DI MASSA

- Flussi verso l'esterno: Fase Liquida e Fase solida --> Corpi Idrici e Suolo

FARMACO	Bilanci di massa - FASE LIQUIDA (g/d)									Bilanci di massa FASE SOLIDA (g/d)			
	INGRESSO 5-6-7/05	INGRESSO 18-19/06	INGRESSO 25-26/06	MBR _{out} 5-6-7/05	CAS _{out} 18- 19/06	MBR+O ₃ _{out} 18-19/06	CAS _{out} 25- 26/06	MBR+O ₃ _{out} 25-26/06	FARMACO	CAS 19-27/06	MBR 08/05	MBR+O ₃ 18- 26/06	
Atenololo	110,8	56,1	45,0	9,8	9,2	1,9	10,3	1,2					
Atorvastatina	1,8	0,7	0,9	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0					
Bezafibrato	3,2	6,8	3,5	0,6	0,5	0,1	0,6	0,0					
Carbamazepina	23,2	14,8	15,4	22,6	15,1	15,4	14,2	14,8	Carbamazepina	0,387	1,918	0,332	
Ciprofloxacina	2,6	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	Ciprofloxacina	2,131	0,886	0,654	
Claritromicina	23,7	43,2	50,3	6,8	13,4	4,7	10,6	6,3	Claritromicina	0,198	0,634	0,131	
Demetildiazepam	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	Deidro-Eritromicina	0,068	0,687	0,028	
Diazepam	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0					
Enalapril	3,3	2,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Eritromicina	8,6	18,2	7,4	12,5	8,7	5,6	4,1	5,3	Diclofenac	0,229	0,359	0,093	
Diclofenac	22,7	8,9	5,8	10,6	6,7	5,3	6,3	5,1					
Estrone	1,1	0,7	0,6	0,1	1,1	0,0	1,2	0,0					
Furosemide	28,9	20,4	23,0	7,2	5,9	3,0	6,4	3,0	Furosemide	0,076	0,119	0,021	
Gemfibrozil	20,9	10,8	2,6	0,5	1,6	0,1	1,2	0,1					
Ibuprofen	53,4	40,4	32,1	0,2	0,4	0,0	0,7	0,0					
Idroclorotiazide	17,8	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Ketoprofene	29,9	23,5	17,1	2,4	4,8	0,7	5,7	0,6	Ketoprofene	0,227	0,000	0,041	
Lincomicina	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	Idroclorotiazide	0,000	0,119	0,000	
Naproxene	29,3	25,7	17,0	2,7	0,9	0,4	1,3	0,2					
Oleandomicina	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0					
Ofloxacina	1,8	0,6	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	Ofloxacina/Levofloxacin	1,470	1,748	0,875	
Ranitidina	23,2	21,8	17,6	2,7	0,5	1,6	0,6	1,0	Ranitidina	0,937	0,090	0,283	
Salbutamolo	0,0	0,4	0,3	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1					
Sulfamethoxazole	5,9	5,2	4,4	1,3	0,3	1,7	0,3	1,4	Sulfamethoxazole	0,000	0,059	0,000	
Somma	413	301	245	88	70	41	64	40	somma	5,7	6,6	2,5	



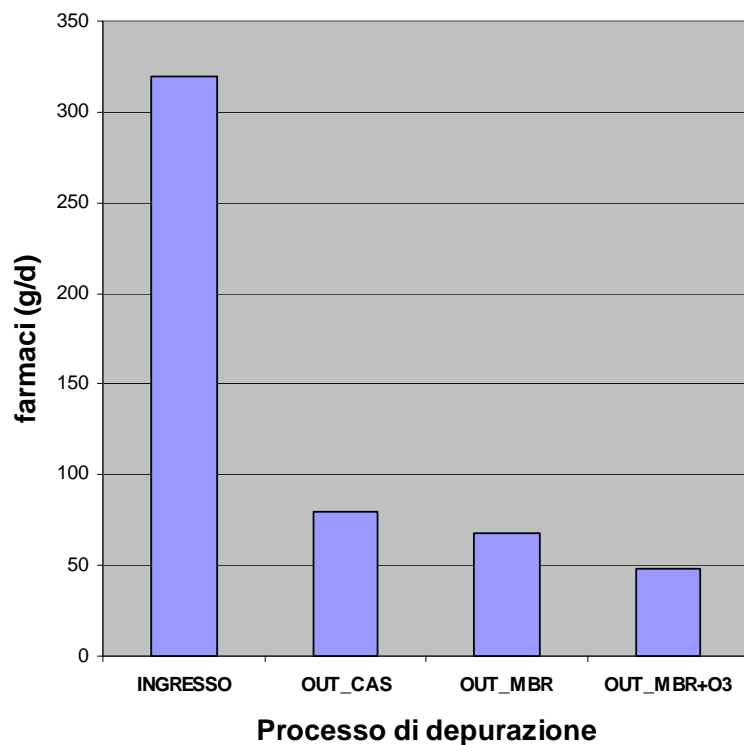
LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

✓ BILANCI DI MASSA

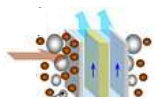
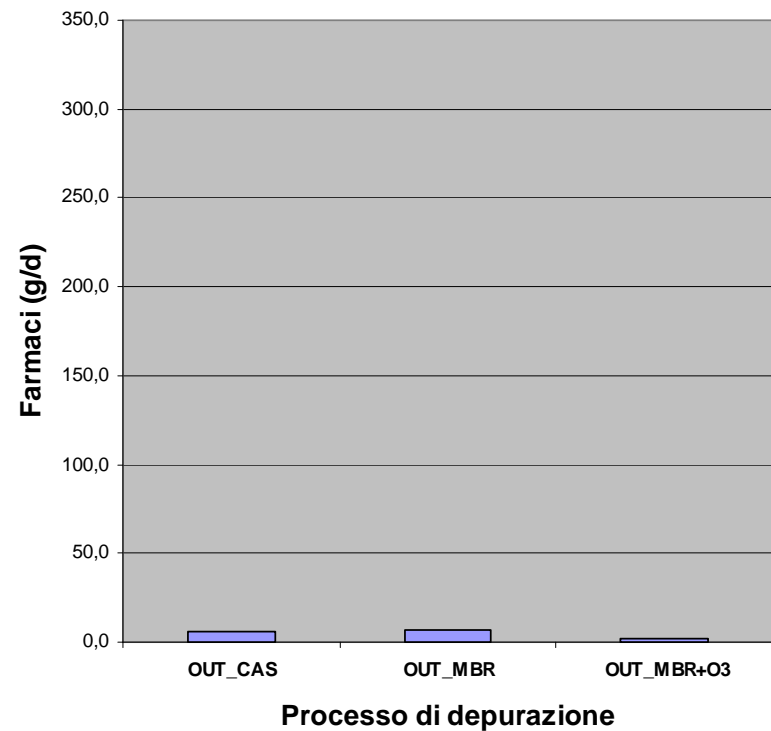
	FASE LIQUIDA			
	INGRESSO	OUT_CAS	OUT_MBR	OUT_MBR+O3
MEDIE (gPPCPs/d)	320	79	68	47,7
Percentuale	100%	25%	21%	15%

	FASE SOLIDA		
	OUT_CAS	OUT_MBR	OUT_MBR+O3
MEDIE (gPPCPs/d)	5,7	6,6	2,5
Percentuale	2%	2%	1%

**MICROINQUINANTI FARMACEUTICI
BILANCI DI MASSA NELLA FASE
LIQUIDA**



**MICROINQUINANTI FARMACEUTICI
BILANCI DI MASSA NELLA FASE
SOLIDA**



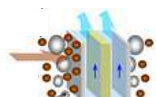
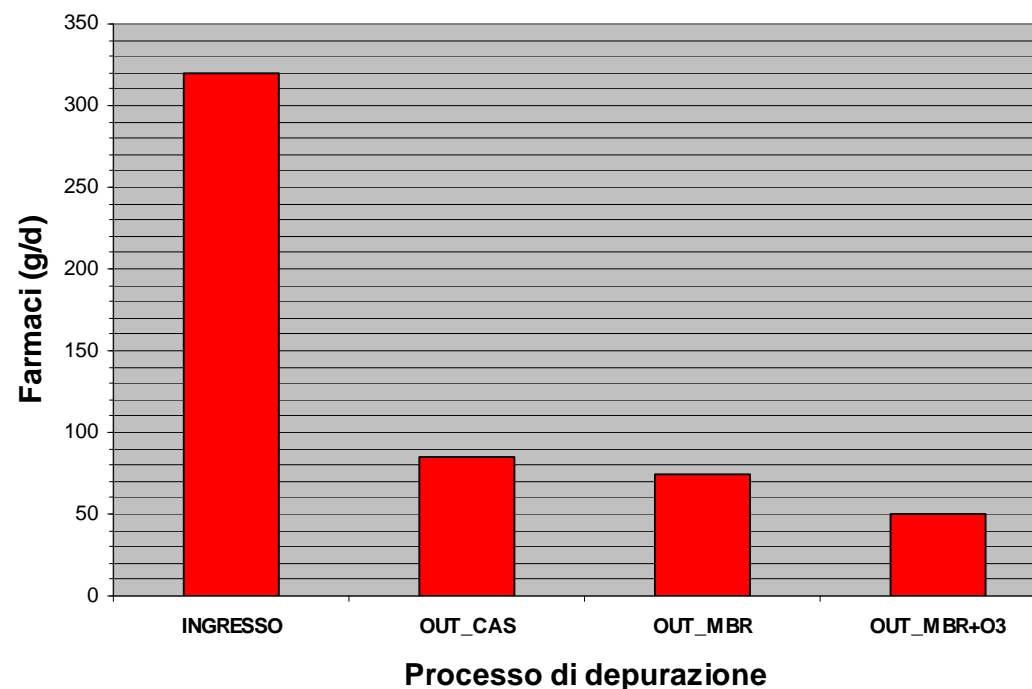
LA SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA SU IMPIANTO PILOTA

✓ BILANCI DI MASSA

	FASI LIQUIDA + SOLIDA			
	INGRESSO	OUT_CAS	OUT_MBR	OUT_MBR+O3
MEDIE (gPPCPs/d)	320	85	75	50,2
Percentuale	100%	27%	23%	16%

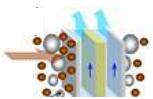
	MEDIE (gPPCPs/d)	Percentuale
Ingresso depuratore	319,7	100,0%
Uscita con effluente depurato	64,4	20,2%
Uscita con fango di supero	4,9	1,5%

MICROINQUINANTI FARMACEUTICI BILANCI DI MASSA NELL'IMPIANTO



Conclusioni

- ✓ Negli ultimi anni sono state rilevate tracce di PPCPs nelle acque primarie che rischiano di inquinare la catena trofica
- ✓ Si rilevano in concentrazioni di pochi mg/l, ma, trattandosi di sostanze reattive in basse concentrazioni, sono degne di attenzione
- ✓ Gli impianti MBR, accompagnate da processi di ossidazione avanzata, sembrano idonei a trattare reflui ospedalieri
- ✓ Si è notato un accumulo di PPCPs nel fango di supero da MBR
- ✓ L'ozono-lisi sul fango permette di ridurre la produzione di fango di supero da smaltire ed abbatte anche i PPCPs che vi si accumulano
- ✓ La veicolazione verso l'ambiente è prevalente con la fase liquida (93%) e minore con la fase solida (7%)
- ✓ La rimozione dei PPCPs nella fase liquida è stata riscontrata variabile tra il 73% (CAS), il 77% (MBR) e lo 84% (MBR + O₃)





**HEUREIN – Ingegneria e Territorio
Studio Professionisti Associati
Bologna**

Francesco Gradilone

Heurein – Ingegneria e Territorio

E-mail: gradilone@heurein.191.it

