
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI UDINE

Corso di Dottorato di Ricerca in
TECNOLOGIE CHIMICHE ED ENERGETICHE
XXIII Ciclo

TECNOLOGIE SONOZONO E FOTOSSIDATIVA NEL TRATTAMENTO ACQUE.

Supervisore

Prof. Ing. Daniele Goi

Dottoranda

Dott.ssa Giada Rossi

Co-supervisori

Dott.ssa Clara Comuzzi

Prof. Fabio Barbone

Anno Accademico 2010-2011

Indice generale

1	INTRODUZIONE	9
2	PRINCIPI DI SONOCHEMICA, OZONOLISI E FOTOSSIDAZIONE	11
2.1	Sonochimica	11
2.1.1	L'origine degli effetti sonochimici: la cavitazione	12
2.1.2	Parametri che influenzano la cavitazione	15
2.1.3	Sistemi chimici influenzabili dagli ultrasuoni	21
2.1.4	La soglia cavitativa	26
2.1.5	Tipologie di apparecchiature sonochimiche	26
2.2	Ozonolisi	36
2.2.1	Caratteristiche dell'ozono	37
2.2.2	Meccanismi di reazione	37
2.2.3	Trasferimento di massa	40
2.2.4	Processo di generazione dell'ozono	41
2.2.5	Apparato di ozonazione	45
2.2.6	Aspetti tossicologici	49
2.2.7	Vantaggi e svantaggi della tecnologia ad ozono	50
2.3	Fotossidazione	51
2.3.1	Proprietà dell'ossigeno singoletto	53
2.3.2	Resa quantica di produzione dell'ossigeno singoletto	55
2.3.3	Gli agenti fotosensibilizzanti	56
2.3.4	Sorgenti di luce	60
3	APPLICAZIONI NEL TRATTAMENTO SANITARIO DELLE ACQUE	63
3.1	Introduzione	63

3.2	Applicazione degli ultrasuoni	65
3.2.1	Effetto degli ultrasuoni sugli inquinanti idrofobi	66
3.2.2	Degradazione sonochimica di contaminanti aromatici e cloroaromatici	68
3.3	Applicazioni dell'ozono	69
3.3.1	Permanenza dell'ozono disciolto in diversi tipi di acque	71
3.3.2	L'ozonazione nel trattamento chimico delle acque reflue	72
3.4	Processi di Ossidazione Avanzata	74
3.4.1	Finalità	74
3.4.2	Metodi AOP convenzionali	75
3.5	Effetti sui microrganismi	91
3.5.1	Microrganismi presenti nelle acque reflue	91
3.5.2	Resistenze ai trattamenti di disinfezione	95
3.5.3	Trattamento mediante ultrasuoni	97
3.5.4	Trattamento mediante ozono	101
3.6	Trattamento di disinfezione fotoindotto	103
3.6.1	Fotocatalisi	103
3.6.2	Fotosensibilizzazione tramite ossigeno singoletto	105
4	MATERIALI E METODI	111
4.1	Misure di assorbanza	111
4.1.1	Misure di assorbanza UV ₂₅₄	114
4.1.2	Misure di assorbanza dopo trattamento con ultrasuoni	115
4.2	Misura della dose di ozono prodotta	116
4.3	Misura della concentrazione di ozono disciolto	118
4.4	Parametri chimici	121
4.4.1	COD	121
4.4.2	Fosfato	122
4.4.3	Formaldeide	123
4.4.4	Tensioattivi anionici	124
4.4.5	Sostanza organica e azoto totale	125
4.5	Parametri microbiologici	126
4.5.1	Colture batteriche e ceppi utilizzati	126
4.5.2	Terreni di coltura	127
4.5.3	Misura della carica batterica con metodo di filtrazione a membrane	129

4.5.4	Misura della carica batterica con inoculo su terreno	131
5	ASSETTO DEGLI IMPIANTI	137
5.1	Reattore ad ultrasuoni	139
5.1.1	Componenti	139
5.1.2	Assetto	139
5.2	Generatore di ozono	147
5.2.1	Componenti	147
5.2.2	Assetto	147
5.3	Fotossidazione	153
5.3.1	Componenti	153
5.3.2	Assetto	157
6	PROVE SPERIMENTALI	169
6.1	Scelta dello schema di processo	169
6.1.1	Schema di processo	169
6.2	Descrizione dell'impianto	172
6.2.1	Funzionamento dell'impianto semi-batch	174
6.2.2	Taratura dell'impianto a scala di laboratorio	175
6.3	Sperimentazione	176
6.3.1	Trattamento della componente organica	179
6.3.2	Trattamento dei tensioattivi	189
6.3.3	Trattamento della formaldeide	192
6.3.4	Trattamento del fosforo e dell'azoto	194
6.3.5	Trattamento di disinfezione	197
7	CONCLUSIONI	213
8	BIBLIOGRAFIA	221

FULL TEXT AVAILABLE BY AUTHOR