



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
E FACOLTA' DI AGRARIA

**Corso di Laurea interfacoltà...
In
Scienze ambientali**

TESI DI LAUREA IN FORMA ELETTRONICA
(<http://etd.adm.unipi.it/ETD-db/ETD-search/search>)
(etd-05072004-203626)

**Modellazione del flusso e del trasporto di inquinanti
provenienti da discarica: il caso de "Le Strillaie"**

Relatore

Chiar.mo Prof. Ing. Riccardo Corsi

Candidato

Letizia Martelli

Anno Accademico 2002-2003

INDICE

PREMESSA E OBIETTIVI

CAPITOLO 1 LA NORMATIVA ITALIANA IN MATERIA DI MESSA IN SICUREZZA, BONIFICA E RIPRISTINO AMBIENTALE DI SITI CONTAMINATI	1
CAPITOLO 2 CASO DI STUDIO: LA DISCARICA DE "LE STRILLAIE"-GROSSETO	8
2.2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA DELLA PIANURA GROSSETANA	8
2.2.1. <i>Considerazioni geologiche</i>	8
2.2.1.1. <i>Considerazioni stratigrafiche</i>	13
2.2.2. <i>Considerazioni sull'utilizzo del suolo</i>	16
2.2.3. <i>Considerazioni idrogeologiche</i>	20
2.2.3.1. <i>Ricostruzione della superficie piezometrica</i>	22
2.3. LA DISCARICA DE "LE STRILLAIE"	30
2.3.1. <i>Sintesi della redazione del progetto di bonifica per la discarica</i>	30
2.3.2. <i>Caratterizzazione dell'area di studio</i>	33
2.3.2.1. <i>Descrizione del sito</i>	33
2.3.2.2. <i>Storia del sito</i>	38
2.3.2.3. <i>Descrizione dell'area circostante</i>	39
2.3.2.4. <i>Descrizione dei corpi idrici superficiali</i>	39
2.3.3. <i>Caratterizzazione geologica e stratigrafica del sito di interesse</i>	40
2.3.4. <i>Caratterizzazione idrogeologica del sito di interesse</i>	42
2.3.5. <i>Sintesi del piano di caratterizzazione e indagini integrative</i>	43
2.3.5.1. <i>Attuazione Piano di Caratterizzazione, come previsto dal DM 471/99 (agosto-settembre 2001)</i>	45
2.3.5.1.1. <i>Analisi chimica delle acque superficiali, di falda e del percolato, Ottobre 2001</i>	46
2.3.5.1.2. <i>Analisi dei terreni, Ottobre 2001</i>	48
2.3.5.2. <i>Indagini Integrative al Piano di Caratterizzazione (febbraio-aprile 2002)</i>	49
2.3.5.3. <i>Monitoraggio della qualit... delle acque di falda e superficiali</i>	51

2.3.5.3.1.	Campagne di misura anno 2002	51
2.3.5.3.2.	Campagne di misura anno 2003 e 2004	53
2.2.5.3.2.1.	Analisi delle acque di falda	54
2.2.3.5.2.2.	Analisi del percolato	55
2.3.6.	<i>Modello concettuale definitivo</i>	58
2.3.6.1.	<i>Ricostruzione stratigrafica</i>	58
2.3.6.2.	<i>Ricostruzione idrogeologica</i>	60
2.3.6.3.	<i>Dinamica del livello acquifero in sabbie</i>	63
2.3.6.4.	<i>Analisi chimiche delle acque</i>	65
CAPITOLO 3 I MODELLI DI FLUSSO E TRASPORTO PER LE ACQUE		
SOTTERRANEE		68
3.1.	COSA SONO I MODELLI	68
3.2.	FASI DI ELABORAZIONE DI UN MODELLO	70
3.2.1.	<i>Fase di caratterizzazione</i>	70
3.2.2.	<i>Fase di verifica e calibrazione</i>	71
3.2.3.	<i>Fase di applicazione</i>	72
3.3.	MODELLI ANALITICI E NUMERICI	73
3.4.	METODI NUMERICI DI RISOLUZIONE	74
3.4.1.	<i>Metodo delle differenze finite (FDM)</i>	74
3.4.2.	<i>Metodo degli elementi finiti (FEM)</i>	77
3.5.	CONSIDERAZIONI SULL'UTILIZZO DI MODELLI NELLO STUDIO DEL FLUSSO E DEL TRASPORTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	79
3.6.	CLASSIFICAZIONE DI MODELLI DI FLUSSO E TRASPORTO NELLO STUDIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	80
3.6.1.	<i>Modflow</i>	80
3.6.2.	<i>Mt3dms</i>	81
3.6.3.	<i>Biomoc</i>	81
3.6.4.	<i>Bioplume III (Versione 1.0)</i>	82
3.6.5.	<i>2d Fatmic (versione 1.0)</i>	83
3.6.6.	<i>Hidrus 2d (Versione 2.0)</i>	83
3.6.7.	<i>Moc3d</i>	84
3.6.8.	<i>Sutra</i>	85

CAPITOLO 4 IL MODELLO DI FLUSSO: MODFLOW	86
4.1. PERCHÈ MODFLOW	86
4.2. DERIVAZIONE DELLA EQUAZIONE ALLE DIFFERENZE FINITE	88
4.2.1. Equazioni di flusso	88
* la legge di Darcy	88
* l'equazione di continuit...	88
4.2.2. Condizioni iniziali	88
4.2.3. Condizioni al contorno	88
1) Condizione di Dirichlet	89
2) Condizione di Neumann	89
3) Condizione di Cauchy	89
4.2.4. Discretizzazione dell'equazione di flusso	90
4.2.5. L'equazione alle differenze finite	91
4.2.6. Processo iterativo	98
4.2.7. Tipi di celle e simulazione dei confini dell'acquifero	101
4.2.8. Discretizzazione spaziale	106
4.2.8.1. Discretizzazione orizzontale	106
4.2.8.2. Discretizzazione verticale	108
4.2.9. Discretizzazione temporale	110
4.3. ESPRESSIONE DELL'EQUAZIONE FINALE PER LA SOLUZIONE	111
4.3.1. Come si arriva alla soluzione	112
4.4. BILANCIO VOLUMETRICO	113
4.5. DISEGNO DEL PROGRAMMA	118
4.5.1. Programma principale	118
4.5.2. Tipologia dei pacchetti	123
4.6. PACCHETTI PRINCIPALI	125
4.6.1. BAS (Basic Package)	125
4.6.1.1. L'array IBOUND	125
4.6.1.2. Condizioni iniziali	126
4.6.1.3. Discretizzazione del tempo	126
4.6.1.4. Struttura dell'output	126
4.6.2. BCF (Block-centered flow package)	127
4.6.2.1. L'equazione di base della conduttanza	127
4.6.2.2. Dati richiesti dal pacchetto BCF	130

4.6.3.	<i>Pacchetti di risoluzione</i>	131
4.6.3.1.	<i>SIP (Strongly Implicit Procedure)</i>	131
4.6.3.1.1.	Input per il pacchetto SIP	139
4.6.3.2.	<i>SSOR (Slice Successive Overrelaxation Package)</i>	140
CAPITOLO 5 IL MODELLO DI TRASPORTO: MT3DMS		144
5.1.	INTRODUZIONE	144
5.2.	L'EQUAZIONE DI TRASPORTO	146
5.2.1.	<i>Condizioni iniziali</i>	148
5.2.2.	<i>Condizioni al contorno</i>	149
5.2.3.	<i>Discretizzazione spaziale</i>	150
5.2.4.	<i>Discretizzazione temporale</i>	152
5.3.	MECCANISMI DI TRASPORTO DEI SOLUTI	155
5.3.1.	<i>Convezione</i>	155
5.3.2.	<i>Dispersione</i>	157
5.3.3.	<i>Sinks e Sources</i>	159
5.3.4.	<i>Reazioni chimiche</i>	160
5.3.4.1.	<i>Assorbimento lineare di equilibrio</i>	160
5.3.4.2.	<i>Assorbimento lineare di non equilibrio</i>	161
5.3.5.	<i>Decadimento radioattivo o biodegradazione</i>	162
5.4.	TECNICHE DI SOLUZIONE	163
5.4.1.	<i>Il metodo delle differenze finite standard</i>	164
5.4.2.	<i>Il metodo TVD</i>	164
5.4.3.	<i>I metodi Euleriani-Lagrangiani</i>	165
5.4.3.1.	<i>Metodo delle caratteristiche (MOC)</i>	167
5.4.3.2.	<i>Metodo delle caratteristiche modificato (MMOC)</i>	170
5.4.3.3.	<i>Metodo delle caratteristiche ibrido (HMOC)</i>	173
5.5.	BILANCIO DI MASSA	174
5.6.	DISEGNO DEL PROGRAMMA	176
5.6.1.	<i>Programma principale</i>	176
5.7.	PACCHETTI PRINCIPALI	182
5.7.1.	<i>BNT (Basic Transport Package)</i>	182
5.7.1.1.	<i>Discretizzazione del tempo</i>	182
5.7.1.2.	<i>L'array ICBUND</i>	182
5.7.1.3.	<i>Condizioni iniziali</i>	183

5.7.1.4.	<i>Struttura dell'output</i>	183
5.7.1.5.	<i>Definizione delle componenti di trasporto</i>	184
5.7.2.	<i>GCG (Generalized Conjugate Gradient Solver)</i>	184
CAPITOLO 6 APPLICAZIONE DEI MODELLI DI FLUSSO E		
TRASPORTO AL CASO DI STUDIO: FASE DI CALIBRAZIONE		186
6.1.	TIPOLOGIE DI APPROCCIO PER LA COSTRUZIONE DEL MODELLO	187
6.1.1.	<i>Grid approach</i>	187
6.1.2.	<i>Conceptual model approach</i>	187
6.2.	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO MODFLOW	188
6.2.1.	<i>Modello concettuale</i>	188
6.2.1.1.	<i>Layer coverage</i>	186
6.2.1.2.	<i>Sources e sinks coverage</i>	188
6.2.1.2.1.	Canale San Rocco	188
6.2.1.2.1.	Pozzi emungimento	189
6.2.1.3.	<i>Recharge coverage</i>	193
6.2.1.4.	<i>Pozzi di osservazione</i>	195
6.2.2.	<i>Creazione della griglia</i>	199
6.2.3.	<i>Conversione del Modello Concettuale al modello di flusso Modflow</i>	201
6.2.3.1.	<i>Basic package</i>	201
6.2.3.1.2.	Stress Period (periodi di stress)	201
6.2.3.1.3.	Ibound (condizioni al contorno)	202
6.2.3.1.4.	Starting Heads (altezze iniziali)	202
6.2.3.1.5.	Top elevation e bottom elevation (spessore degli strati)	204
6.2.3.2.	<i>Layer Property Flow package (LPF)</i>	205
6.2.3.2.2.	Tipologia di strati	205
6.2.3.3.	<i>Sources/Sinks package (sorgenti e emungimenti)</i>	206
6.2.3.3.2.	River package	206
6.2.3.3.3.	Recharge package	209
6.2.3.3.4.	Well package	209
6.3.	CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO	209
6.4.	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO MT3DMS	219
6.4.3.	<i>Modello concettuale</i>	219

6.4.3.1.	<i>Sources e sinks coverage: canale San Rocco</i>	220
6.4.3.2.	<i>Pozzi di osservazione per il trasporto</i>	222
6.4.4.	<i>Conversione del Modello Concettuale al modello di trasporto Mt3dms</i>	224
6.4.4.1.	<i>Basic Transport package</i>	224
6.4.4.1.2.	Stress Period	225
6.4.4.1.3.	Definizione delle specie chimiche	225
6.4.4.1.4.	Icbund (condizioni al contorno)	225
6.4.4.1.5.	Starting concentration (concentrazioni iniziali)	225
6.4.4.2.	<i>Source/sink mixing package</i>	226
6.4.4.3.	<i>Advection package</i>	226
6.5.	CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO	228
6.6.	RISULTATI DELLA FASE DI CALIBRAZIONE	236
	CAPITOLO 7 APPLICAZIONE DEI MODELLI DI FLUSSO E	
	TRASPORTO AL CASO DI STUDIO: FASE PREVISIONALE	238
7.1.	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO	239
7.1.1.	<i>Basic package</i>	240
7.1.1.1.	<i>Stress Period (periodi di stress)</i>	240
7.1.1.2.	<i>Starting Heads (altezze iniziali)</i>	242
7.1.2.	<i>Sources/Sinks package (sorgenti ed emungimenti)</i>	242
7.1.2.1.	<i>River package</i>	242
7.1.2.2.	<i>Recharge package (ricarica meteorica)</i>	242
7.2.	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO MT3DMS	243
7.2.1.	<i>Basic Transport package</i>	243
7.2.1.1.	<i>Stress Period</i>	243
7.2.1.1.1.	Icbund e starting concentration (condizioni al contorno e concentrazioni iniziali)	243
7.2.1.2.	<i>Source/sink mixing package</i>	244
7.3.	SIMULAZIONE FINALE	245
	CONCLUSIONI	
	RINGRAZIAMENTI	
	BIBLIOGRAFIA	

ALLEGATO A

ALLEGATO B

ALLEGATO C

ALLEGATO D

ALLEGATO E

ALLEGATO F

ALLEGATO G

ALLEGATO H

ALLEGATO I

ALLEGATO L