

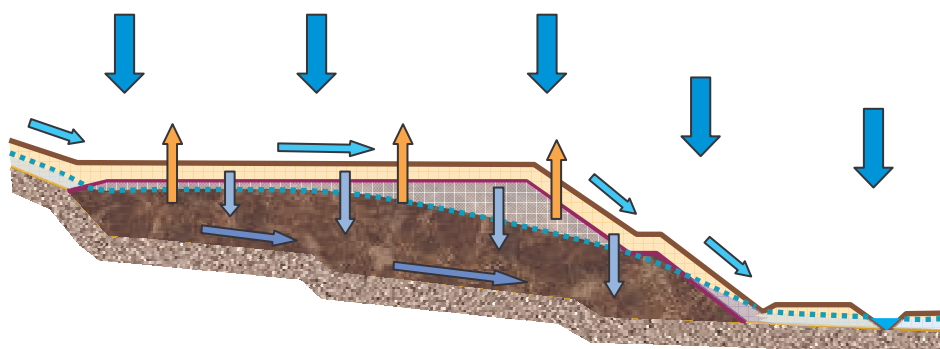


COMUNE DI CESENA

SETTORE AMBIENTE E MOBILITÀ
SERVIZIO AMBIENTE

Progetto di messa in sicurezza permanente dell'ex discarica in località Rio Eremo (Cesena)

Piano di caratterizzazione



RELAZIONE TECNICA

Progettisti:
Dr. Geol. Claudio Turci
Ing. Massimo Moretti

Responsabile del procedimento:
Dr. Ing. Arch. Luciano Bartolini

Collaboratori:
Dott. Andrea Pieri
Geom. Giuliano Gridelli
Sig.ra Nadia Salsi

Maggio 2004

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	STATO ATTUALE ED INTERVENTI EFFETTUATI	2
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
4	INQUADRAMENTO URBANISTICO	3
4.1	Piano Territoriale Paesistico Regionale	3
4.2	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale	3
4.3	Piano Regolatore Generale del Comune di Cesena	3
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO	4
5.1	Caratteristiche geomorfologiche	4
5.2	Caratteristiche geologiche	6
5.3	Stratigrafia del cumulo di rifiuti	7
5.4	Caratteristiche idrogeologiche	9
5.5	Considerazioni sulle condizioni di stabilità del cumulo di rifiuti	16
6	ANALISI CHIMICO-FISICHE	18
6.1	Analisi delle acque	18
6.1.1	Acque sotterranee	18
6.1.2	Acque superficiali	20
6.1.3	Percolati	22
6.2	Analisi dei sedimenti e dei terreni	24
6.3	Analisi del biogas	25
7	MODELLO CONCETTUALE	32
7.1	Rapporti tra acque sotterranee e Rio Cesuola	33
7.2	Migrazione dei contaminanti	33
7.3	Effetti dell'inquinamento sull'ambiente e sulla salute	34

1 INTRODUZIONE

In località Rio Eremo di Cesena è ubicata l'ex discarica comunale controllata di 1^a categoria nella quale sono stati conferiti i rifiuti solidi urbani prodotti nel territorio comunale.

L'inizio della coltivazione della discarica risale al 1960 circa ed è terminata nel 1989, anno in cui iniziò il trasferimento, ad impianti di smaltimento extracomunali, dell'intero quantitativo di rifiuti raccolto nel Comune di Cesena.

Dopo di allora nell'area vennero accettati solamente rifiuti inerti riutilizzabili per la manutenzione dello strato di copertura dell'ex discarica e delle strade interne di servizio.

Da diversi anni anche tale tipo di conferimento è cessato.

Si stima che complessivamente siano stati stoccati definitivamente in discarica 600.000 m³ di rifiuti solidi urbani ed assimilabili, equivalenti a circa 420.000 tonnellate.

L'ex discarica può suddividersi in due sezioni contigue; una più vecchia, la cui coltivazione è iniziata intorno agli anni 60, ed una più recente nella quale lo scarico controllato dei rifiuti ebbe inizio nel 1975.

Il primo atto normativo in materia i rifiuti fu il D.P.R. n. 915/82 ed il primo dispositivo tecnico sulle modalità di costruzione delle discariche fu la delibera del Comitato Interministeriale del 1984, pertanto nel periodo di inizio coltivazione della discarica di Rio Eremo non vi erano indicazioni precise in merito alle metodiche di preparazione ed impermeabilizzazione dei siti di discarica.

Per quanto concerne la messa in sicurezza e la bonifica del sito nel 1987 è stato redatto, ai sensi del DPR n. 915/82, dal Settore Igiene Ambientale del Comune di Cesena un progetto riguardante la sistemazione della rete di captazione e conduzione del percolato, in seguito approvato dalla Giunta Provinciale con delibera Prot. Gen. n. 18079 del 7 luglio 1987.

L'area venne segnalata alla Regione Emilia Romagna ed inserita nell'elenco regionale dei siti da bonificare, di cui alle delibere di Giunta Regionale n. 3637/95 e n. 1120/98.

Nel 1994 il Settore Edilizia Scolastica – Verde Pubblico del Comune di Cesena ha redatto un progetto di recupero dell'area per attività sportivo-ricreative e di verde pubblico attrezzato, che prevedeva nel particolare le seguenti opere:

- realizzazione di un circuito ciclistico protetto con uno sviluppo di circa 2 km, con a fianco ampi spazi pianeggianti per le attività ricreative e del tempo libero;
- realizzazione di un parcheggio esterno all'area della discarica;
- ristrutturazione del vecchio fabbricato colonico ora utilizzato come canile.

La Regione Emilia Romagna, alla luce del D.M. 25 ottobre 1999 n. 471, ha avviato un'attività di aggiornamento e verifica dei siti da bonificare in ciascuna Provincia, al fine di

predisporre una nuova graduatoria degli interventi a cui assegnare dei contributi per lo svolgimento dei lavori di bonifica.

Il Servizio Ambiente, in collaborazione con l'Università degli Studi di Ferrara, ha redatto un progetto preliminare di messa in sicurezza permanente, così come definito dal D.M. 25 ottobre 1999 n. 471, e successivamente, in data 15 gennaio 2002 si è tenuta una Conferenza dei Servizi in occasione della quale gli Enti preposti hanno espresso le proprie valutazioni evidenziando, in particolare, un'insufficiente caratterizzazione del sito e la conseguente necessità di effettuare un piano d'indagini suppletive. Sono state pertanto effettuate le seguenti indagini suppletive:

- Indagini geognostiche, con esecuzione di n. 7 sondaggi a carotaggio continuo e messa in opera di piezometri e di n. 9 prove penetrometriche statiche con prelievo di campioni. Costruzione di sezioni stratigrafiche della discarica e valutazione delle condizioni di stabilità delle scarpate verso il Rio Cesuola;
- Rilievo topografico di dettaglio (in scala 1:500) completo di tutta l'area dell'ex discarica;
- Monitoraggio del percolato, delle acque sotterranee, del suolo, delle acque superficiali e dei sedimenti del Rio Cesuola;
- Campionamento ed analisi del biogas.

2 STATO ATTUALE ED INTERVENTI EFFETTUATI

Con delibera di Giunta Comunale n. 2621 del 30 dicembre 1994 è stato approvato il progetto esecutivo di sistemazione di un primo lotto, pari a circa 4 ha, a Sud della discarica, i cui lavori, che prevedevano la modellazione di parte del corpo della discarica, con la creazione di pendii gradonati, la copertura dei rifiuti con circa 1 m. di terreno, la regimazione idraulica superficiale ed un primo intervento di piantumazione, sono stati eseguiti tra il 1995 ed il 1996. Con la medesima delibera è stato anche approvato un progetto di massima per la realizzazione del parco "Chico Mendes" su una superficie di 18 ettari con la realizzazione di un percorso ciclistico protetto da utilizzare come circuito d'allenamento per ciclisti professionisti e dilettanti, di un parco con ampi spazi arborei, giochi ed attrezzature ricreative in legno, di un parcheggio esterno all'area e la ristrutturazione del vecchio canile per utilizzarlo come uffici e centro ristoro, tali lavori non sono stati realizzati.

Nel corso degli anni A.M.G.A. di Cesena (denominatasi successivamente UNICA SpA ed ora HERA SpA) ha eseguito varie opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque superficiali e del percolato; tali opere sono evidenziate nelle TAVV. 2 e 3 e sono concentrate al piede della discarica con tubi in PVC forati che convogliano i liquidi in una vasca di raccolta da cui una condotta premente li invia verso la fognatura nera pubblica. Da notare come attualmente il percolato della discarica, i liquami del canile ed i liquidi prodotti dalla

stazione di trasferimento dei rifiuti siano mescolati in quanto convogliano tutti nella vasca di raccolta.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'ex discarica comunale di Rio Eremo è ubicata a circa 3 km a Sud dal centro abitato di Cesena (vedi fig. 1).

L'area della discarica è di circa 8 ettari, includendo le zone di servizio (strade e fabbricati) e di rispetto (argini, scarpate e fossati), e si trova nella pendice destra del Rio Cesuola tra la strada Comunale e l'alveo del corso d'acqua.

L'area si trova a quote comprese fra i 70 ed i 116 m s.l.m.

Il sito è localizzabile nella Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna nelle seguenti tavole:

scala 1:10.000 – Sezione n. 255070 “Cesena Ovest” e Sezione n. 255110 “Borello”;

scala 1:5.000 – Elemento n. 255072 “Ponte Abbadesse” ed Elemento n. 255111.

4 INQUADRAMENTO URBANISTICO

L'area dell'ex discarica è classificata dai piani urbanistici come di seguito specificato:

4.1 Piano Territoriale Paesistico Regionale (vedi Allegato 1)

L'area ricade all'interno di un perimetro entro cui realizzare “Progetti di tutela, recupero e valorizzazione” ed un altro perimetro destinato a definire un’ “Area studio”, entrambe le classificazioni sono definite dall'art. 32.

4.2 Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (vedi Allegato 2)

L'area ricade all'interno di un perimetro entro cui realizzare “Progetti di tutela, recupero e valorizzazione” (art. 32) ed è zonizzata in parte come “Zone ricomprese nel limite morfologico” (art. 17) ed in parte come “Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale” (art. 19).

4.3 Piano Regolatore Generale del Comune di Cesena (vedi Allegato 3)

L'area è zonizzata in parte come “Verde pubblico, territoriale e di quartiere” (artt. 55 e 56) ed in parte come “Aree di frana su zone a verde” (art. 74), quest'ultima classificazione è relativa all'area che nella seconda metà degli anni 90 il Comune di Cesena ha sistemato riprofilando i versanti con terrazzamenti e realizzazione di una rete di captazione e smaltimento delle aree meteoriche, pertanto appare quanto meno inesatta tale zonizzazione.

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO

5.1 Caratteristiche geomorfologiche

Dal punto di vista geomorfologico l'area interessata dall'ex discarica di Rio Eremo è inserita nel territorio dell'unità di paesaggio della collina marnoso-arenacea.

Le caratteristiche di tale unità geomorfologica fondamentale dipendono strettamente dalla litologia marnoso-arenacea affiorante nella zona.

In generale, la collina marnoso-arenacea, si caratterizza per una certa forza del rilievo con la predominanza di pendenze superficiali forti e fortissime che diventano moderate o deboli solo nei rilievi più bassi prossimi alla pianura.

Nella plastica del rilievo marnoso-arenaceo le parti sommitali si distinguono dalle pendici laterali.

Le dorsali hanno, infatti, un aspetto abbastanza morbido, sono relativamente poco erte ed a profilo arrotondato.

I fianchi, invece, sono piuttosto ripidi ed articolati a causa delle forti erosioni in profondità, operate dalle acque incanalate.

In casi limite si formano ripide pareti in seguito allo scalzamento al piede di potenti pacchi di strati.

Nell'evoluzione del rilievo assume grande importanza, oltre all'incisione torrentizia, anche l'erosione superficiale, favorita dall'acclività e dal diboscamento, e, quindi, particolarmente intensa nelle pendici più acclivi prive di copertura forestale.

In queste aree collinari le instabilità e la propensione al dissesto sono minori rispetto alle pendici argillose.

Non mancano però frane che riguardano in prevalenza pendici a franapoggio, incise alla base, rocce molto fessurate e masse detritiche con matrice ricca in argilla prodotte dalla degradazione della roccia.

Comuni sono gli scivolamenti traslativi di roccia, gli scivolamenti rotazionali ed i crolli.

I primi due tipi di franamento sono diffusi nel territorio mentre i crolli riguardano di norma il margine esterno di dirupi incisi al piede dalle acque correnti.

In particolare l'ex discarica è stata ricavata nella pendice destra del Rio Cesuola, su di un versante che originariamente aveva una pendenza variabile da debole a moderata.

Verso ovest l'area dell'accumulo è delimitata dall'alveo del Rio Cesuola, talora fiancheggiato da piccoli lembi di alluvioni terrazzate e, per certi tratti, inciso nelle rocce del substrato marnoso-arenaceo.

Per quanto concerne gli aspetti del dissesto si può affermare che nella zona non sono evidenti cenni di franosità in atto.

Tuttavia in passato sono stati segnalati movimenti franosi di modeste dimensioni, riguardanti la coltre di materiale detritico, prevalentemente argilloso-siltoso, derivante dalla alterazione superficiale della formazione marnoso-arenacea.

Nella Fig. 2, stralcio della carta geomorfologia del Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Cesena (Variante 2000), si evidenzia l'esistenza, a est dell'ex discarica, di due aree di frana quiescenti, del tipo appena sopra descritto, che attualmente appaiono stabilizzate.

L'attuale geometria superficiale della zona di discarica è rappresentata nell'elaborato in scala 1:500 (TAV. 1) ed è ricavata da un rilievo topografico di dettaglio eseguito nel 2002.

In pianta l'area si presenta di forma allungata con un perimetro irregolare, sinuoso, in corrispondenza delle anse del corso d'acqua, quasi rettilineo in corrispondenza della strada comunale.

La lunghezza è pari a circa 600 m mentre la larghezza media è di circa 150 m.

La parte sommitale dell'area si presenta con andamento sub-pianeggiante, una sorta di terrazzo morfologico artificiale, la cui larghezza si riduce gradatamente, da circa 90 m a circa 50 m, procedendo verso nord.

Le pendenze medie delle superfici acclivi variano normalmente tra 17° e 26° circa.

Nel settore sud dell'accumulo, i versanti hanno una evidente configurazione a gradoni, dipendente dalla sistemazione effettuata al termine della coltivazione della parte più recente dell'ex discarica.

Verso nord tale gradonatura si perde e le pendici assumono un andamento più irregolare mascherato anche dalla fitta vegetazione che negli anni si è sviluppata.

Nelle Figg. 3, 3.1, 3.2 e 3.3 vengono messe a confronto, in pianta e in sezioni, due cartografie, una relativa ad un rilievo aerofotogrammetrico del 1968, che rappresenta la morfologia del sito antecedente l'accumulo dei rifiuti, ed una ricavata dal rilievo topografico di dettaglio eseguito nel 2002, sopra citato.

Dal loro esame si possono notare le modifiche morfologiche, sia in termini di quote del piano campagna sia in termini di geometria dei versanti, apportate al sito a seguito della coltivazione della discarica.

La zona che appare relativamente meno alterata, in senso morfologico, è quella occupata dalla Stazione di trasferimento rifiuti che non è stata utilizzata come area di discarica.

5.2 Caratteristiche Geologiche

Nella zona dell'ex discarica affiorano rocce sedimentarie di origine marina appartenenti alla Formazione Marnoso-arenacea.

In generale tale formazione è costituita da areniti e peliti torbiditiche e da marne emipelagiche con mutevoli spessori reciproci dei singoli letti.

Nella serie questo dà luogo a variabili rapporti arenaria/pelite (A/P).

Le arenarie sono in prevalenza feldspatiche e litiche, con granulometria media e fine che alla base può talvolta essere grossolana o addirittura microconglomeratica.

La provenienza dei costituenti è in prevalenza alpina e subordinatamente appenninica.

Questa formazione appartiene al Miocene (Burdigaliano superiore-Tortoniano superiore o Messiniano inferiore?) ed è stata suddivisa in membri e litofacies diverse.

Nel territorio in esame affiora la cosiddetta Litofacies prevalentemente arenacea (FMA2), di età tortoniana superiore, composta da torbiditi arenacei e da depositi di flussi gravitativi di alta energia e concentrazione.

Le arenarie sono poco cementate, da fini a grossolane, e sono disposte in letti di vario spessore a volte raggruppati in lenti a media scala di potenza anche superiore a 10 metri.

Il rapporto A/P è sempre maggiore di 1 ed è compreso fra 3/1 e 10/1.

Nella serie s'intercalano corpi sedimentari costituiti da alternanze pelitico arenacei con arenarie gradate medio fini, poco cementate, in letti generalmente da sottili a medi.

La potenza massima di ogni corpo è dell'ordine di 65-70 metri.

Alla sommità della successione compaiono, tra le arenarie prevalenti, strati medi di marne calcaree e torbiditi sottili in sequenze metriche, lenticolari a media scala.

Le arenarie sono da grossolane a fini, poco cementate, con letti pelitici da sottili a spessi, equamente distribuiti.

Irregolarmente, nella serie, si presentano anche grossi banchi argilloso-marnosi e qualche strato sottile di siltite più cementata.

L'andamento locale della formazione è rappresentato da una monoclinale che si immerge con pendenza moderata verso sud-ovest.

L'andamento degli strati non è rilevabile nell'area in esame ma, da dati tratti dalla letteratura, si può ritenere che sul versante interessato dalla discarica gli strati abbiano una giacitura a franapoggio, con direzione NO-SE, e pendenze dell'ordine di 10°.

Nel fondovalle in corrispondenza di alcune anse del Rio Cesuola sono presenti piccoli lembi di depositi alluvionali costituiti prevalentemente da sabbie limoso-argillose ed argille limoso-sabbiose di limitato spessore.

In Fig. 4 viene rappresentato uno stralcio della Carta Geologica, allegata al PRG 2000, che include l'area dell'ex discarica.

In generale la situazione tettonica della collina cesenate è assai complessa, anche in relazione all'intensa neotettonica Pleistocenica che ha contribuito a deformare ulteriormente le strutture presenti.

Lo schema tettonico, visibile in Fig. 5, è caratterizzato da pieghe, pieghe faglie e fronti di sovrascorrimento.

L'area in esame si trova in posizione intermedia a due importanti lineamenti strutturali, con direzione NO-SE, rappresentati dalla grande anticlinale di Collinello, a sud, e le scaglie tettoniche di S. Tommaso a nord.

Nel dettaglio la zona circostante l'ex discarica è caratterizzata dalla presenza di diverse faglie secondarie che si sviluppano prevalentemente in direzione NO-SE e NE-SO (vedi Fig. 4).

5.3 Stratigrafia del cumulo di rifiuti

I rifiuti, che costituiscono il corpo dell'ex discarica, sono stati depositati sul substrato roccioso, sopra descritto, dopo che era stato asportato il suolo che lo ricopriva e dopo aver effettuato, nella parte in affioramento, sbancamenti di entità varia a seconda delle situazioni e dei tempi di esecuzione.

Per determinare la stratificazione esistente all'interno della discarica, lo spessore del corpo dei rifiuti e determinare l'andamento di massima, in profondità, del substrato di appoggio, sono state eseguite diverse indagini geognostiche.

Nella tabella seguente si riporta in sintesi il quadro delle indagini effettuate, rappresentate da sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche (s) e dinamiche (d).

PERIODO	SONDAGGI	PENETROMETRIE	totali
GIUGNO 1987	7	6 (d)	13
DICEMBRE 1991/GENNAIO 1992	7	10 (d)	17
MAGGIO-LUGLIO 2002	7	9 (s)	16
TOTALE	21	25	46

Tutti i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 2002 sono stati attrezzati con la messa in opera di piezometri a tubo aperto.

La documentazione relativa alle indagini suddette è raccolta in apposito allegato (vedi ALL. 11) mentre l'ubicazione delle prove è riportata nella planimetria a scala 1:500 (vedi TAV. 1).

La stratigrafia della discarica, ricostruita sulla base di tutte le indagini disponibili, è, invece, rappresentata in apposite sezioni trasversali (vedi TAVV. 5 - 6 - 7 - 8 - 9).

Da esse è possibile verificare che il cumulo di rifiuti ha un rilevante spessore, con massimi dell'ordine di 20 metri, e si estende fino al fondovalle.

In particolare i nuovi sondaggi e le penetrometrie statiche eseguite lungo il tratturo di fondovalle (P1/02, P2/02, P3/02, P4/02, P5/02, P6/02, P7/02, P8/02, S7/02), inaspettatamente, hanno rinvenuto livelli di rifiuti nel sottosuolo.

Alla luce di tali rinvenimenti il perimetro dell'area occupata dai rifiuti si estende fino a lambire in alcuni punti l'alveo del Rio Cesuola (vedi TAV. 4).

Per tale situazione di potenziale rischio per il corso d'acqua sarà necessario prevedere, in sede progettuale, interventi di asportazione del terreno contaminato, di ricarica dello stesso in condizioni di sicurezza nel corpo della discarica e di ritombamento degli scavi risultanti con terreno incontaminato.

In generale la massa dei rifiuti presenta, frequentemente, sottili intercalazioni argillose che rappresentano i terreni di copertura depositati dopo varie fasi di coltivazione della discarica.

Le prove penetrometriche eseguite nella massa dei rifiuti, hanno mostrato resistenze all'infissione pari a 6 o 7 colpi, solo nel caso di rifiuti particolarmente costipati l'infissione ha richiesto 12 colpi.

La base di appoggio dei rifiuti presenta una debole inclinazione verso valle e sembra caratterizzata, almeno in parte, da salti di pendenza determinati da una gradonatura eseguita preliminarmente sul substrato (vedi sezioni trasversali e TAV. 4).

Il substrato litologico a volte si presenta alterato nella parte più superficiale al contatto con la massa sovrastante di rifiuti.

Dalle prove eseguite su questo terreno, a seconda dei casi, le argille sono risultate normalmente molto compatte (qu tra 2 e 4 Kg/cm²) e le sabbie dense (numero di colpi tra 30 e 50).

Nella sottostante roccia inalterata le prove sono andate "a rifiuto" dopo una penetrazione minima.

5.4 Caratteristiche Idrogeologiche

Nel suo complesso la permeabilità della formazione geologica, in cui è stata ricavata la discarica, è assai ridotta a causa della presenza della componente marnoso-argillosa, diffusa sia come cemento dei banchi sabbiosi sia come strati e livelli intercalati nella serie.

Da prove di assorbimento effettuate in situ nel 1987 nella medesima formazione, in una zona limitrofa alla discarica (vedi Fig. 6), sono stati rilevati coefficienti di permeabilità K compresi fra 1.1×10^{-6} e 7.7×10^{-7} cm/s che denotano una sostanziale impermeabilità del substrato roccioso su cui poggia l'ammasso dei rifiuti.

In base alla classificazione di Casagrande e Fadum (1940), adottata in sede di PRG 2000 anche per questi tipi litologici, la permeabilità può definirsi praticamente nulla ($K < 10^{-6}$ cm/s).

Il livello della falda entro la massa dei rifiuti è stato rilevato utilizzando i sette piezometri messi in opera nei fori di sondaggio a carotaggio continuo eseguiti nel 2002.

Il quadro dei livelli statici della falda misurati fino a gennaio 2004 è compendiato nella seguente tabella.

LIVELLI STATICI DA P.C.													
	2003												2004
pozzi	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC	GEN
S1/02	2.70	3.20	3.50	3.95	4.80	5.40	5.90	6.25	6.10	5.55	5.00	NR	5.05
S2/02	4.45	4.65	4.65	4.75	4.80	4.95	5.45	5.80	5.90	5.75	5.15	NR	4.85
S3/02	secco	2.70	2.75	2.70	3.85	secco	secco	secco	secco	secco	3.20	NR	3.70
S4/02	5.50	6.05	6.15	6.20	6.35	6.30	7.95	8.15	8.25	8.55	8.25	NR	8.35
S5/02	5.12	5.22	5.32	5.32	5.37	5.52	5.52	5.72	5.52	5.67	5.92	NR	6.02
S6/02	NR	8.15	7.90	8.00	7.95	8.10	8.15	8.15	8.20	8.65	8.65	NR	8.75
S7/02	2.45	2.85	2.65	2.55	2.60	2.75	3.00	3.05	3.25	3.25	2.85	NR	2.50
SPIA	1.50	1.85	1.85	1.85	1.90	1.90	1.95	2.00	2.00	2.00	1.90	NR	1.90

Al fine di operare un confronto e stabilire eventuali correlazioni fra gli andamenti dei livelli piezometrici, sono stati definiti i seguenti tre gruppi di dati in base alla posizione idrogeologica dei pozzi rispetto al corpo della discarica:

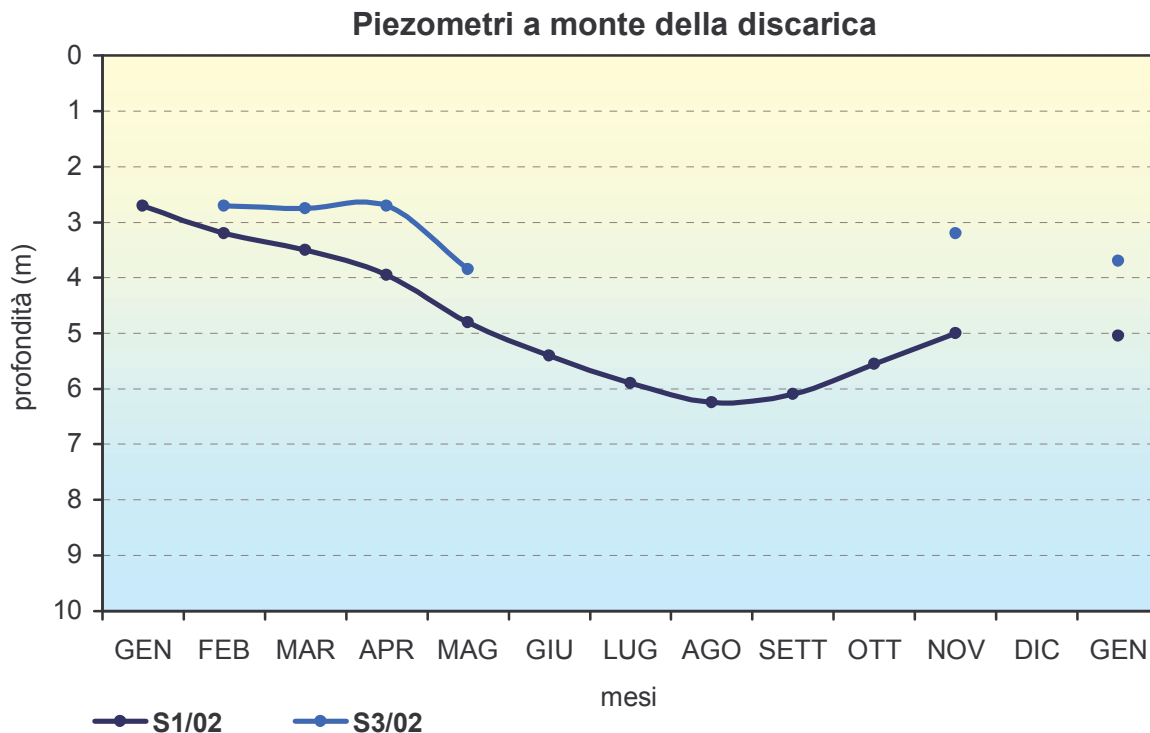
1° gruppo: Piezometri a monte della discarica (S1/02-S3/02).

2° gruppo: Piezometri nel corpo della discarica (S4/02-S5/02-S6/02).

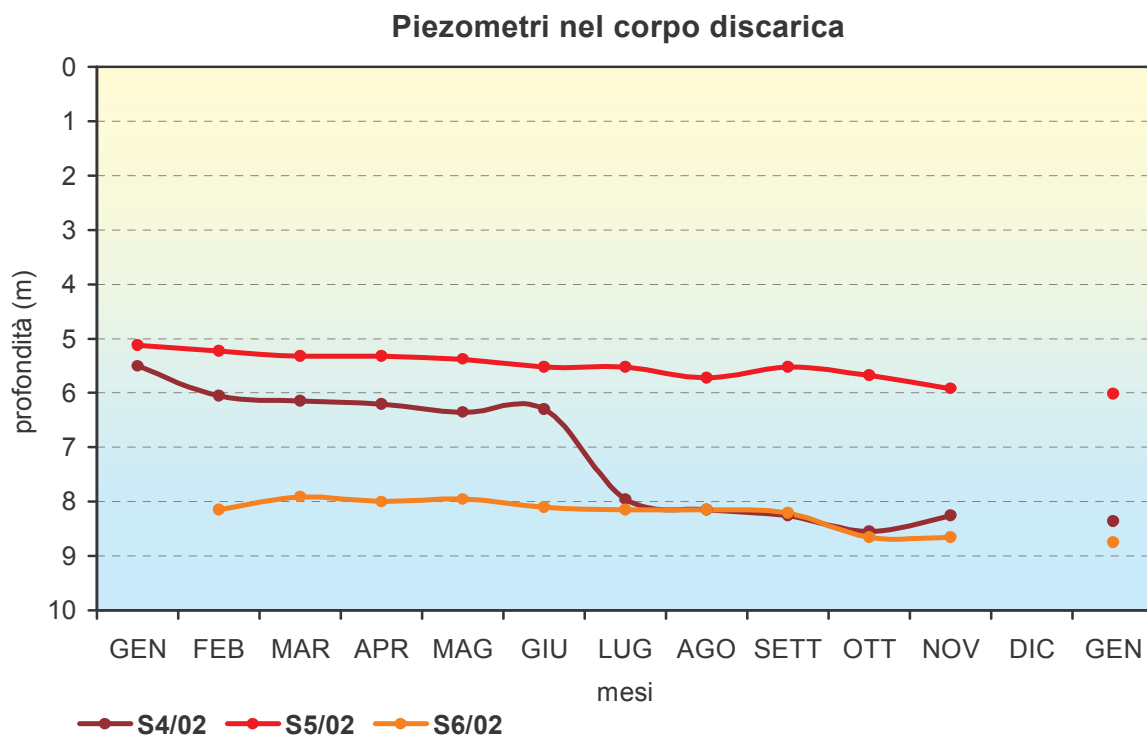
3° gruppo: Piezometri a valle della discarica (S7/02-S2/02-POZZO SPIA).

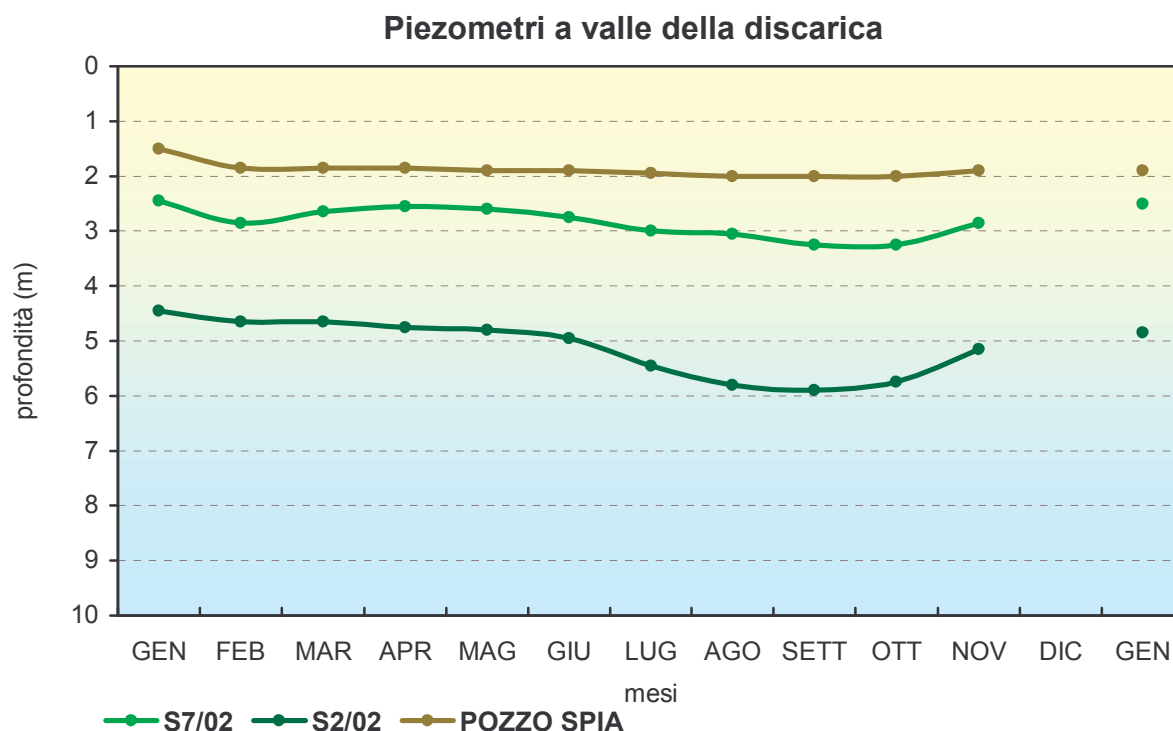
Di seguito si rappresentano graficamente le serie temporali dei corrispondenti livelli piezometrici.

1° gruppo



2° gruppo



3° gruppo

Insieme al livello piezometrico, con la medesima sonda, in contemporanea è stata rilevata anche la temperatura della falda.

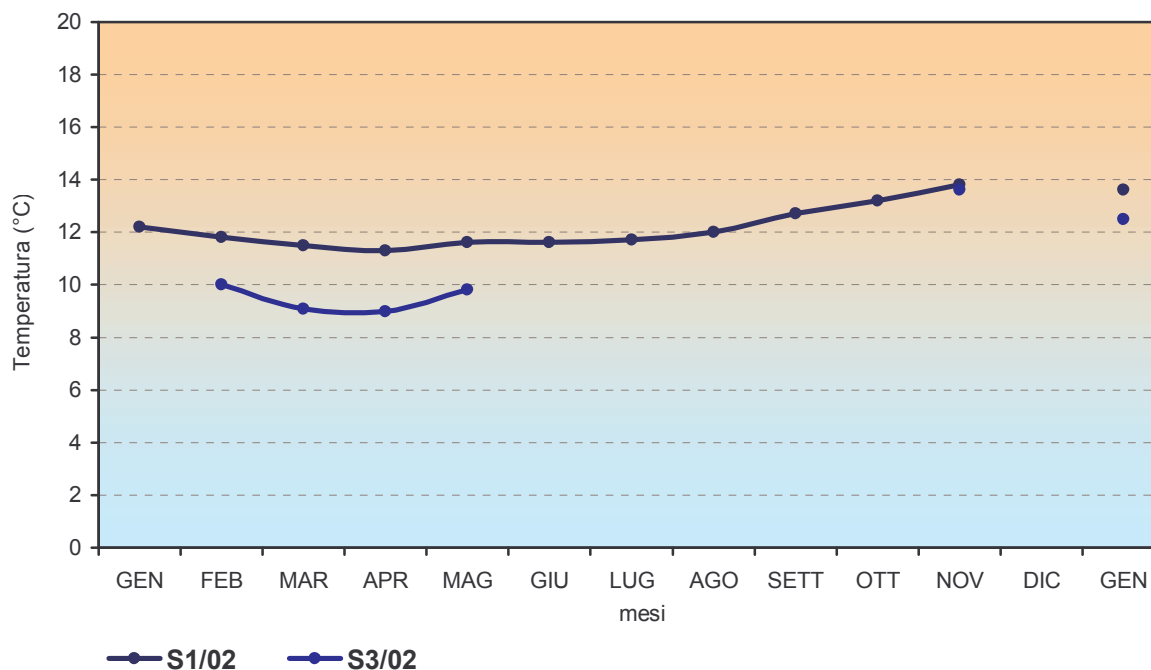
Nella tabella seguente si riporta il quadro complessivo delle temperature rilevate.

TEMPERATURA FALDA (°C)													
	2003												2004
pozzi	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC	GEN
S1/02	12.2	11.8	11.5	11.3	11.6	11.6	11.7	12.0	12.7	13.2	13.8	NR	13.6
S2/02	12.0	11.6	11.0	10.5	10.3	10.5	10.8	11.2	12.2	12.8	13.0	NR	13.1
S3/02	secco	10.0	9.1	9.0	9.8	secco	secco	secco	secco	secco	13.6	NR	12.5
S4/02	15.1	16.5	16.5	16.3	16.2	16.5	16.9	17.0	17.2	17.3	17.3	NR	17.2
S5/02	17.3	16.9	16.7	16.3	16.0	16.2	15.9	16.3	16.8	17.0	16.9	NR	17.7
S6/02	15.3	15.0	15.0	14.9	14.7	14.5	14.5	14.4	14.7	14.7	14.9	NR	15.3
S7/02	11.0	9.5	8.4	8.4	9.4	10.7	12.5	13.5	14.7	14.8	14.4	NR	12.7
SPIA	3.6	3.5	5.1	6.8	9.0	10.3	12.6	14.7	14.1	11.2	10.3	NR	6.4

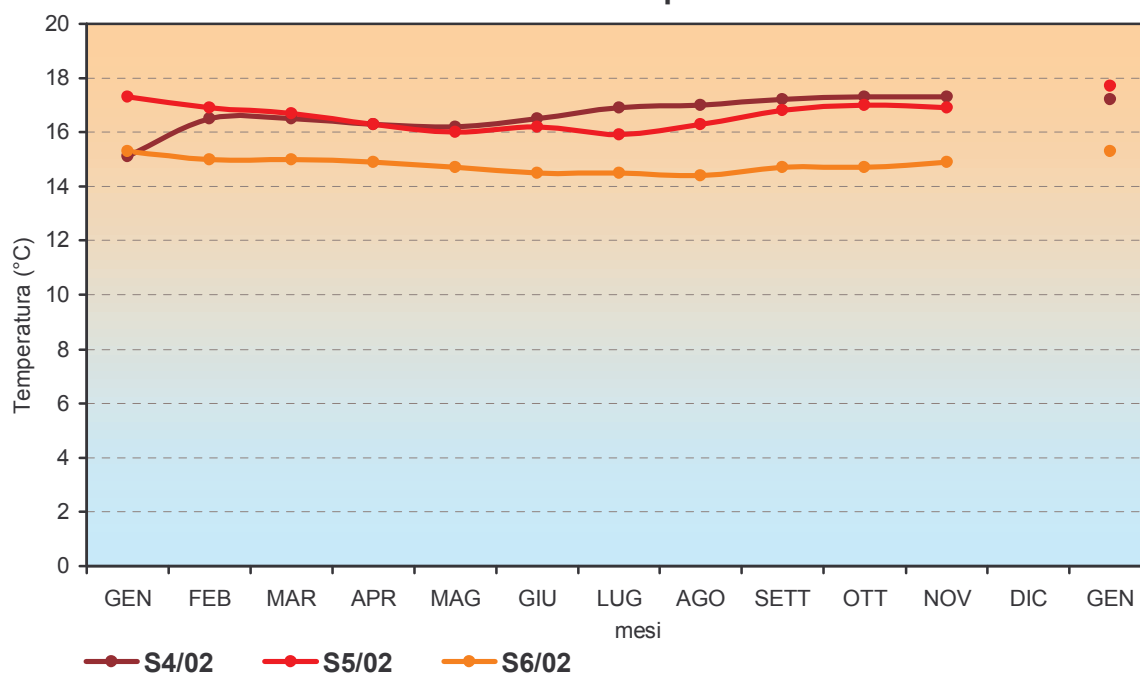
Mantenendo la suddivisione in 3 gruppi sopra indicata, dall'esame dei grafici relativi, di seguito rappresentati, si nota che nei pozzi situati all'esterno del corpo di discarica, l'ampiezza delle escursioni termiche appare, di norma, inversamente proporzionale alla profondità della falda.

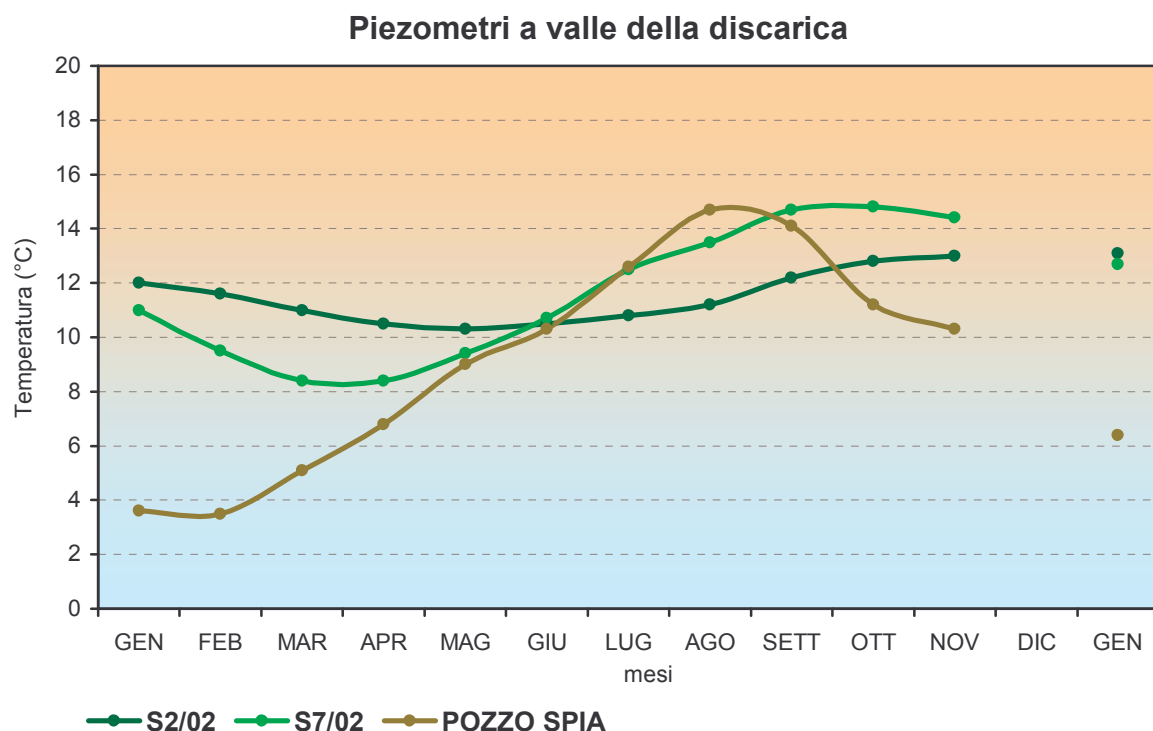
Viceversa nei pozzi collocati all'interno della discarica non sono evidenti variazioni correlabili all'andamento termico stagionale, e le temperature si mantengono costantemente, per tutto l'anno, su valori medi compresi fra 15°C e 17°C.

Piezometri a monte della discarica



Piezometri nel corpo discarica





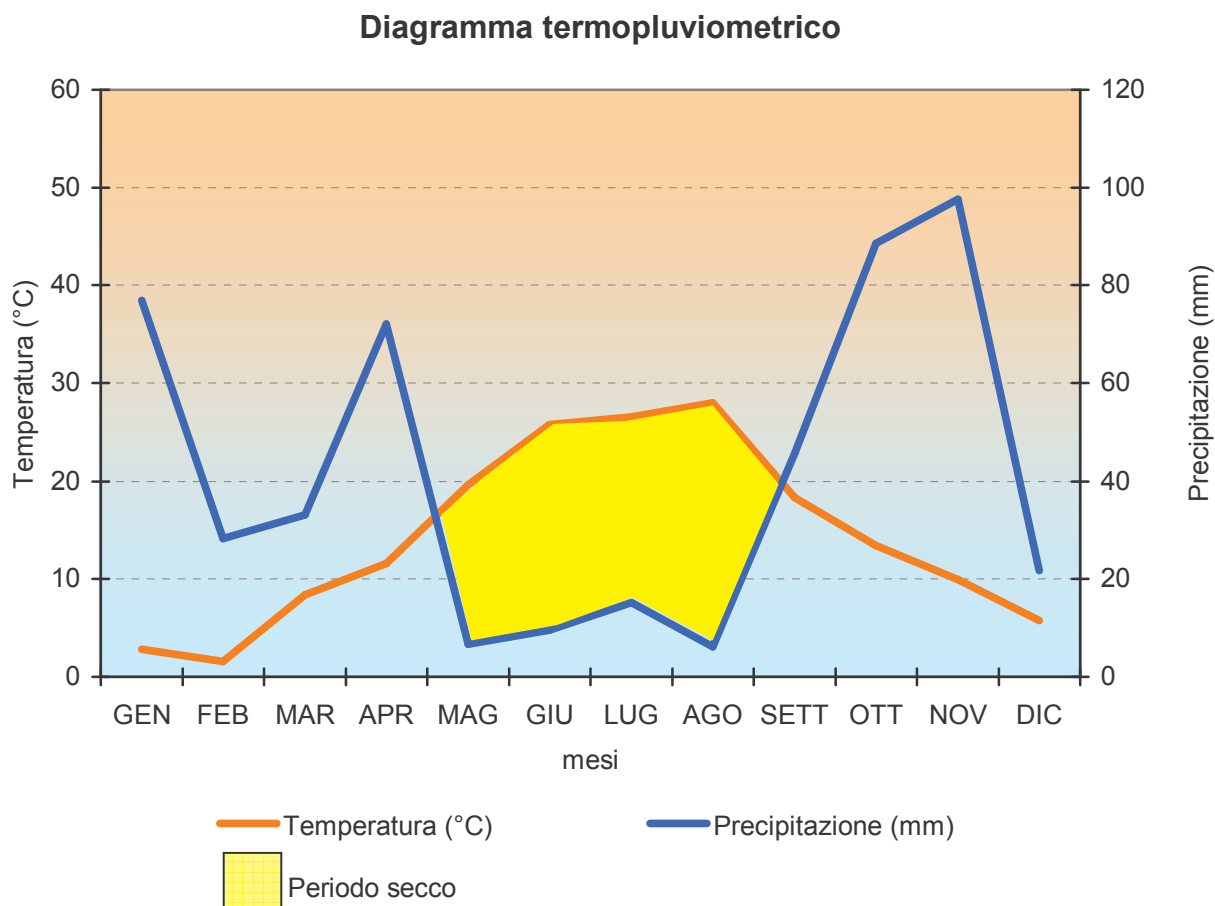
I dati sopra riportati sono stati confrontati con quelli climatici disponibili per l'anno 2003.

Nella tabella seguente, vengono riportate le medie mensili delle precipitazioni e delle temperature ricavate dalle misure effettuate nelle stazioni pluviometriche del Comune di Cesena site in località Martorano, Rio Marano, Aie di Tipano e Borello.

MEDIE MENSILI DELLE PRECIPITAZIONI E DELLE TEMPERATURE – ANNO 2003												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC
P (mm)	76.9	28.3	33.1	72.0	6.7	9.5	15.2	6.1	45.7	88.5	97.6	21.7
T (°C)	2.8	1.6	8.4	11.6	19.6	25.8	26.6	28.1	18.4	13.5	10.0	5.8

Nel diagramma termopluviometrico di Bagnouls e Gaussen seguente, è possibile osservare graficamente l'andamento comparato dei due suddetti elementi fondamentali del clima.

Dal suo esame, fra l'altro, emerge chiaramente la particolare durata e intensità del periodo secco, per l'anno in esame, rappresentata, per convenzione, dalla superficie delimitata dall'intersezione fra la curva pluviometrica e la curva termica, cioè quando si verifica la condizione $P < 2T$.



Si è ritenuto utile rappresentare i dati rilevati dai piezometri anche in un grafico che pone in relazione la profondità con la temperatura della falda (Fig. 7).

In tal modo appare immediata la distinzione fra i piezometri esterni e quelli ubicati all'interno del corpo di discarica.

Da una analisi comparata dei grafici sopra riportati si possono ricavare le seguenti osservazioni.

Innanzitutto emerge una sostanziale correlazione positiva, in termini di andamento temporale, fra i valori dei livelli statici dei piezometri collocati al di fuori del corpo di discarica, sia nella parte a monte sia in quella a valle rispetto all'accumulo.

In condizioni di massimo ravvenamento (mesi autunnali ed invernali) il livello della falda si posiziona a 2-3 metri al di sotto del piano campagna, mentre in condizioni di minimo scende a 5-6 metri.

Analizzando i pozzi più vicini al Rio Cesuola sembra che il corso d'acqua espliciti una certa azione compensatrice sulla falda appiattendone le escursioni di profondità legate alla piovosità.

Ciò si evidenzia, soprattutto, prendendo in considerazione gli andamenti dei livelli nel POZZO SPIA e nel pozzo S7/02 dove le variazioni sono assai limitate, rispettivamente pari a

0.50 e a 0.85 metri, e nel pozzo S2/02, leggermente più lontano dal corso d'acqua, che manifesta una escursione di 1.45 metri.

Viceversa i pozzi più lontani, che non hanno rapporti idraulici diretti con il corso d'acqua, risentono dell'andamento climatico, denunciando notevoli abbassamenti della falda in coincidenza dei mesi estivi con una piovosità minima.

Così nel pozzo S1/02 l'escursione è risultata pari a 3.55 metri, mentre il pozzo S3/02, nei mesi meno piovosi, è risultato addirittura completamente privo di acqua.

Discorso a parte riguarda, invece, i tre pozzi collocati all'interno del corpo di discarica (S4/02, S5/02 e S6/02).

Il loro livello statico appare indipendente dalla piovosità non manifestando oscillazioni significative in rapporto alle variazioni stagionali delle piogge.

In particolare nel caso del pozzo S5/02 la falda è risultata ad una profondità media di circa 5,52 metri dal piano campagna e manifesta un leggero e quasi costante trend di abbassamento passando da una profondità di 5,12 metri nel mese di gennaio 2003 ad una profondità di 6,02 metri nel mese di gennaio 2004.

Nel caso del pozzo S6/02 la falda si attesta ad una profondità media di 8,24 metri da piano campagna ed anche in questo caso si riscontra un trend di abbassamento passando da una profondità di 8,15 metri, nel mese di febbraio 2003, ad una profondità di 8,75 metri, nel mese di gennaio 2004.

Comportamento diverso è, invece, quello manifestato dalla falda intercettata dal pozzo S4/02 che, inizialmente e fino a giugno 2003, si rinviene intorno ai 6 metri sotto il piano campagna, poi, improvvisamente, a partire da luglio è risultata a maggior profondità ossia a poco più di 8 metri dal piano campagna.

Una possibile spiegazione di tale anomalia può ritrovarsi prendendo in considerazione le manifestazioni di biogas registrate in occasione dei rilevamenti piezometrici.

Infatti fino a giugno 2003, nel pozzo S4/02, era molto evidente la presenza di gas manifestata da pressione verso l'alto del rivestimento del pozzo, gorgoglio e odore caratteristico, mentre da luglio in poi, dopo aver lasciato una piccola apertura in prossimità del tappo di chiusura in testa pozzo, non sono state più registrate le manifestazioni suddette e la falda è risultata più profonda.

A parte questo caso, in generale si può ritenere che nell'accumulo dei rifiuti la falda non manifesta variazioni stagionali e, nonostante si registri, mediamente, una differenza di profondità di circa 3 metri fra i pozzi S5/02 e S6/02, essa si mantiene costantemente in posizione relativamente alta rispetto al piano campagna.

L'interpretazione dei dati acquisiti porta a descrivere una situazione idrogeologica complessa caratterizzata, probabilmente, dalla presenza, nel corpo di discarica, non di un

corpo acquifero unico, ma di falde sospese dovute all'esistenza di livelletti di terreno argilloso di copertura irregolarmente presenti all'interno della massa di rifiuti.

Verosimilmente tali falde vengono alimentate sia direttamente dall'alto dalle acque di infiltrazione delle piogge sia da monte dalle falde che si creano nella parte più superficiale alterata del substrato.

Nella parte bassa della scarpata, in corrispondenza della porzione più antica di discarica, sono presenti alcuni affioramenti della falda in forma di sorgenti di versante.

In tali settori le venute di percolato attualmente vengono captate da un fosso, che fiancheggia il tratturo di fondo valle, e da lì convogliate alla vasca di accumulo con un'idrovora.

Pur non avendo evidenze di problematiche ambientali esterne alla discarica provocate in passato da tale situazione, appare indispensabile scongiurare possibili eventi di inquinamento realizzando interventi che garantiscano un più elevato margine di sicurezza.

In definitiva, dal quadro sopra descritto, emerge che condizione fondamentale per conseguire la messa in sicurezza definitiva dell'ex discarica è la realizzazione di sistemi di impermeabilizzazione a monte, di drenaggio e di captazione del percolato a valle, atti ad abbattere il più possibile il livello della falda all'interno della massa di rifiuti.

5.5 Considerazioni sulle condizioni di stabilità del cumulo di rifiuti

Per ragioni di semplicità e per l'impossibilità di delimitare in maniera precisa i vari corpi acquiferi presenti all'interno della discarica, nelle verifiche di stabilità, e nel successivo modello concettuale del sito, si assume l'intero accumulo come un'unica massa di rifiuti prevalenti, con una zona non satura e una zona satura.

La definizione delle caratteristiche geotecniche dei cumuli di rifiuti è resa difficile non solo dalla eterogeneità di questi materiali e dalla difficoltà di sottoporli a prove di laboratorio, ma anche dal fatto che tali caratteristiche cambiano col tempo.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi di dati tratti dalla letteratura.

Parametro	Muller (1981)	Turczynski (1990)	
	Rifiuti urbani	Rifiuti urbani freschi	Rifiuti urbani vecchi
Peso di volume (t/m^3)	0,70-1,10	0,40-1,00	0,80-1,20
Angolo d'attrito	25°-35°	38°-40°	17°-23°
Coesione (t/m^2)	0,10-2,00	3,00-5,00	0-1,00

I parametri geotecnici, e in particolare, il peso di volume, sono poi influenzati dalla quantità di terreno contenuta nel cumulo di rifiuti dovuta alle coperture temporanee effettuate durante la coltivazione della discarica.

Nel caso in esame, per tenere conto di una certa percentuale di terreno frammista ai rifiuti, e considerato che si tratta di rifiuti non freschi, si è assunto un peso di volume medio di $1,4 \text{ t/m}^3$.

Il livello della falda è stato assunto leggermente sopra ai massimi misurati nei vari piezometri e quindi dovrebbe rappresentare un livello cautelativo.

Per quanto concerne gli altri due parametri si sono assunti valori intermedi rispetto a quelli indicati in letteratura, ossia:

- angolo d'attrito = 25°
- coesione = $1,5 \text{ t/m}^2$.

Le verifiche di stabilità dei versanti verso il Rio Cesuola, sono state fatte sulle sezioni n. 3 e n. 5 (vedi TAVV. 12 - 13) in quanto ad esse corrispondono le massime pendenze della scarpata.

I coefficienti di sicurezza minimi, ottenuti utilizzando il metodo di Bishop semplificato con i parametri sopra indicati, sono risultati pari a circa 1.

In particolare i valori ottenuti sono:

- $F = 0,997$ nella sezione n. 3
- $F = 1,044$ nella sezione n. 5.

Sulla base di tali valutazioni si può ritenere che la stabilità del cumulo di rifiuti ha margini di sicurezza certamente limitati, che potrebbero ridursi, in futuro, in coincidenza con situazioni di falda particolarmente alta.

Tuttavia si può segnalare che non vi sono movimenti in atto né si hanno evidenze di significativi fenomeni di instabilità nel recente passato.

Per migliorare le condizioni di stabilità è opportuno attuare una serie di misure atte ad un contenimento della falda, che, in generale, potrebbero riassumersi come segue:

- Impermeabilizzazione del corpo di discarica per impedire le infiltrazioni di acque meteoriche e di falda da monte;
- Risagomatura dei piazzali sommitali con adeguate pendenze e fossi di raccolta e smaltimento delle acque tali da evitare ristagni e possibili zone di incipiente infiltrazione;
- Rivegetazione delle scarpate;
- Realizzazione di un sistema di drenaggio (trincee drenate e speroni drenanti) che, alla base della scarpata, permetta una più efficace raccolta del percolato;
- Posizionamento di geogriglia per rinforzo terreni.

6 ANALISI CHIMICO-FISICHE

6.1 Analisi delle acque

Al fine di valutare l'inquinamento indotto dalla discarica sulle acque sotterranee e sulle acque superficiali del Rio Cesuola, a partire dall'epoca di chiusura dell'impianto, sono state effettuate analisi, a cadenza all'incirca annuale, dapprima da parte dell'AUSL di Cesena e poi da parte dell'ARPA.

6.1.1 Acque sotterranee

Presso l'ex discarica è presente un pozzo di controllo le cui caratteristiche costruttive sono riprodotte in Fig. 8.

Il monitoraggio delle acque prelevate da questo pozzo è iniziato nel 1992 ed ha avuto frequenza annuale fino all'anno 2000.

Si è proceduto a paragonare le medie di tutti i parametri rilevati per queste acque dall'inizio del monitoraggio, con gli indicatori di qualità dei corpi idrici sotterranei riportati nelle tabelle 20 (parametri base) e 21 (parametri addizionali) dell'Allegato 1 al D. Lgs.vo 152/99 e successive modifiche "Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale".

Tenuto conto che, con i dati a disposizione, non si rispetta integralmente quanto riportato sul decreto, con particolare riferimento alle misure quantitative ed alla periodicità del campionamento, è evidente che la comparazione ha uno scopo puramente indicativo.

Da tale analisi si evidenzia che, per i parametri chimici, l'acqua del pozzo di controllo può essere classificata in classe quarta (stato scadente) per i parametri di tabella 20.

Zinco, cadmio, rame, cromo totale, arsenico e mercurio hanno valori che si mantengono sempre a livelli molto bassi.

Confrontando tali concentrazioni con i valori riportati nella tabella 21, sopra citata, si evidenzia che le concentrazioni rilevate sono inferiori a tali limiti.

Per il nichel il valore medio risultante dal monitoraggio (0,0192 mg/l) è molto vicino al limite indicato nella tabella 21 (0,020 mg/l).

Per il piombo si evidenziano valori superiori al limite nei campionamenti del 01/06/92 e del 19/03/99.

Si rileva inoltre una discreta carica batterica.

Si sottolinea che in data 14/01/1994 nelle acque del pozzo è stata eseguita anche la ricerca di solventi organici e pesticidi dalla quale è emersa la presenza di organoalogenati (triclorometano, 1-1-1 tricloroetano, tricloroetilene, tetracloroetilene).

Il test di tossicità con *Daphnia magna*, eseguito negli anni 1996, 1997, 1998, 2000 e 2001, ha sempre dato esiti favorevoli.

Nell'Allegato 7 sono riportate tabelle e grafici relativi ad ogni parametro misurato.

Alcuni dei parametri analizzati compaiono nell'Allegato 1 del D.M. n. 471/99.

Confrontando i risultati ottenuti dalle analisi con i corrispondenti valori di concentrazione limite accettabili nelle acque sotterranee riportati nell'allegato normativo suddetto emerge il seguente quadro riassuntivo.

Parametro	Valore massimo (mg/l)	Anno	Valore limite (mg/l)
Ferro	0.220	1997	0.2
Nichel	0.110	1992	0.02
Rame	0.018	1993	1
Manganese	0.700	2000	0.05
Zinco	0.038	1992	3
Solfati	310	2000	250

Ulteriori analisi delle acque sotterranee sono state eseguite nel 2003 su campioni prelevati, da personale tecnico di ARPA, dai piezometri ricavati dai sondaggi perforati nel 2002.

Si rimanda all'Allegato 9 per una completa disamina delle indagini effettuate e dei risultati ottenuti.

Di seguito si riporta un quadro riassuntivo delle concentrazioni misurate per alcuni parametri compresi nell'Allegato 1 del D.M. n. 471/99.

Parametro	Concentrazioni massime misurate nei piezometri (mg/l)			Valore limite (mg/l)
	S1/02	S2/02	S7/02	
Alluminio	0.3	0.18	1.65	0.2
Arsenico	0.008	< 0.02	0.012	0.01
Cadmio	< 0.0005	0.0024	< 0.0005	0.005
Cromo totale	0.029	< 0.005	0.064	0.05
Cromo (VI)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.005
Ferro	0.1	0.065	9.6	0.2
Mercurio	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0001
Nichel	0.018	0.068	0.210	0.02
Piombo	0.055	< 0.005	0.030	0.01
Rame	0.012	0.009	0.034	1
Manganese	0.585	2.3	0.120	0.05
Zinco	0.019	0.02	0.087	3
Solfati	202	504	215	250

Dai risultati suddetti emerge, per alcuni parametri, una contaminazione nelle acque sotterranee in corrispondenza di piezometri collocati al di fuori del corpo di discarica.

I diversi superamenti delle concentrazioni limite riscontrati nel piezometro S7/02 sono verosimilmente attribuibili al rinvenimento, per uno spessore di almeno 3 m, di rifiuti nel sottosuolo indagato dal sondaggio.

6.1.2 Acque superficiali

Il monitoraggio delle acque del Rio Cesuola, il principale corpo idrico superficiale immediatamente a valle della discarica, è iniziato nel 1989.

Il campionamento ha avuto frequenza annuale ed i prelievi sono avvenuti nelle seguenti stazioni lungo il corso d'acqua:

STAZIONE	UBICAZIONE
A	circa 100 m a monte della discarica
B	circa al centro della discarica
C	circa 300 m a valle della discarica

Per una valutazione dei dati relativi al Rio Cesuola si è proceduto a confrontare i valori analitici con gli indicatori di qualità dei corpi idrici superficiali riportati nelle tabelle 7 e 8 dell'Allegato 1 al D.Lgs. 152/99 effettuando, anche se in modo indicativo, la determinazione dello stato ecologico del corso d'acqua.

I parametri analizzati sono costituiti dai macrodescrittori chimici di cui alla tab. 7 del decreto sopra citato, mentre il parametro I.B.E. (Indice Biotico Esteso) non viene analizzato, in quanto non si dispone di dati recenti e continuativi nel tempo.

Nella tabella sottostante sono riportati i dati relativi allo Stato Ecologico ed Ambientale del Rio Cesuola.

STAZIONE	L.I.M.	STATO ECOLOGICO	STATO AMBIENTALE
A	290	CLASSE 2	BUONO
B	210	CLASSE 3	SUFFICIENTE
C	155	CLASSE 3	SUFFICIENTE

L.I.M. = Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori

Pur essendo tale classificazione puramente indicativa, in quanto ottenuta senza la possibilità di rispettare i requisiti dettati dal decreto in termini di frequenza di campionamento, di utilizzo dei dati IBE e delle concentrazioni di inquinanti nel sedimento del corso d'acqua, si riscontra un peggioramento delle caratteristiche di qualità del corso d'acqua a valle della ex discarica.

Nell'Allegato 8 sono riportate tabelle e grafici per i parametri analizzati in passato.

Nel 2002, per integrare i dati sopra citati, con la collaborazione di ARPA, sono stati effettuati ulteriori campionamenti delle acque superficiali del Rio Cesuola.

In questo caso i prelievi sono stati effettuati in due stazioni, una a monte ed una a valle dell'ex discarica.

Confrontando, anche in questo caso, i risultati delle analisi con gli indicatori di qualità dei corpi idrici superficiali riportati nelle tabelle 7 e 8 dell'Allegato 1 al D.Lgs. 152/99 si è ottenuto il seguente stato ecologico del corso d'acqua.

STAZIONE	L.I.M.	STATO ECOLOGICO	STATO AMBIENTALE
~ A	310	CLASSE 2	BUONO
~ C	255	CLASSE 2	BUONO

L.I.M. = Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori

Confrontando questo quadro con quello precedente, pur essendovi un leggero miglioramento del L.I.M., tale da determinare uno stato ambientale "buono" anche a valle dell'ex discarica, il punteggio ottenuto (255) rimane comunque molto vicino a quello relativo ad uno stato ambientale "sufficiente" (235).

Pertanto si può ritenere che le analisi più recenti confermano un peggioramento della qualità delle acque superficiali del Rio Cesuola passando da monte a valle dell'ex discarica.

Si è ritenuto interessante mettere a confronto i risultati ottenuti nel 2002 con il dato medio del periodo di osservazione precedente (dal 1989 al 2000), relativo alle stazioni a monte e a valle dell'ex discarica.

Nella tabella che segue sono rappresentati solo i parametri chimico-fisici analizzati sia negli anni passati sia nel 2002.

Parametro	A monte		A valle	
	Medie	2002	Medie	2002
pH a 20°C	7.99	7.60	7.97	7.60
Conducibilità elettrica specifica a 20°C (µS/cm)	1190	1280	1399	1455
Alcalinità totale (mg/l CaCO ₃)	300	400	377	410
Durezza (mg/l CaCO ₃)	565	620	642	653
BOD ₅ (mg/l O ₂)	3.4	2.5	4.7	4.0
COD (mg/l O ₂)	18	15	18	17
Azoto ammoniacale (mg/l)	0.50	0.42	1.42	2.50
Azoto nitrico (mg/l)	1.09	1.10	1.50	1.60
Azoto totale (mg/l)	1.76	1.80	3.06	4.80
Fosforo totale (mg/l)	0.26	0.43	0.30	0.40
Cloruri (mg/l)	51.5	53.0	83.9	44.3
Solfati (mg/l)	282	286	280	263
Nichel (mg/l)	0.007	< 0.005	0.073	0.006
Rame (mg/l)	0.007	0.032	0.011	0.011
Zinco (mg/l)	0.017	0.017	0.012	0.024

In rosso sono evidenziati i valori superiori ai limiti indicati nell'Allegato 2, Sezione B al D.Lgs. n. 152/99, riguardanti l'idoneità delle acque dolci superficiali alla vita dei pesci.

Da tale punto di vista i risultati del 2002 confermano le indicazioni date dal periodo di osservazione precedente ossia che il parametro fosforo totale risulta in concentrazioni superiori al valore guida sia a monte che a valle, ma più grave appare il superamento del valore limite imperativo per l'azoto ammoniacale a valle dell'ex discarica.

Nel grafico di Fig. 9 i dati della tabella sopra riportata vengono rappresentati in forma di barre cumulative, la cui lunghezza complessiva risulta dalla somma dei valori normalizzati delle concentrazioni relative ai parametri considerati, distinte per anni e per posizione relativa rispetto alla ex discarica.

Ogni barra potrebbe essere vista come "carico cumulativo relativo" di sostanze contenute nelle acque del Rio Cesuola.

Anche con questa rappresentazione appare evidente il cambiamento dello stato di qualità del corso d'acqua che, visti i parametri considerati, può ritenersi peggiorativo.

La tabella completa relativa alle acque superficiali ed ogni altro dettaglio sulla recente campagna di monitoraggio possono essere consultati nella relazione specifica allegata (Allegato 9).

6.1.3 Percolati

Nel periodo dal 1992 al 2000 sono stati effettuati prelievi ed analisi del percolato raccolto nella vasca impermeabilizzata ubicata nella zona del vecchio corpo di discarica.

Essendo una vasca a cielo aperto i valori di concentrazione ottenuti per i vari parametri potrebbero risultare alterati a seguito della diluizione operata dalla pioggia intercettata.

Inoltre altra causa di alterazione è rappresentata dalla miscelazione che avviene nella vasca stessa dove defluiscono anche gli scarichi fognari del canile.

Ciò potrebbe spiegare gli elevati tenori in composti azotati rilevati.

Nell'Allegato 8 si riporta il quadro completo dei risultati ottenuti nei vari anni.

Nel 2002 sono state esaminate le caratteristiche chimiche del percolato prelevato dai piezometri recentemente realizzati nel corpo di discarica (S4/02, S5/02 e S6/02).

I dati, rilevati da ARPA, sono stati utilizzati per valutare lo stato dei processi di degradazione in atto nella discarica.

Per un esame completo dei risultati si rimanda alla relazione specifica dell'Allegato 9.

In sintesi, nei tre piezometri esaminati, i valori dei parametri pH, BOD₅, COD, azoto ammoniacale indicano che la discarica è nella fase metanigena ossia nello stadio finale della decomposizione dei rifiuti in cui gli organismi convertono la sostanza organica in metano e anidride carbonica.

Tale fase ha anche come caratteristica la produzione di energia termica e ciò appare conforme a quanto osservato in merito alle temperature rilevate nei piezometri che, come già detto, sono risultate costanti nelle diverse stagioni e di 3-4°C superiori alle massime misurate nei piezometri esterni al corpo di discarica.

Analogamente a quanto effettuato per le acque sotterranee e superficiali si è ritenuto interessante confrontare i risultati delle analisi sul percolato eseguite nel 2002 con quelle del passato anche per evidenziare eventuali differenze di composizione dovute ai diversi punti di prelievo.

A tal fine, nella tabella seguente, si rappresentano le concentrazioni dei parametri “comuni” cioè analizzati sia negli anni 1992-2000 sia nel 2002.

Parametro	Concentrazioni			
	Piezometri			Vasca
	S4/02	S5/02	S6/02	Medie 1992-2000
pH a 20°C	7.85	7.80	7.60	8.20
Conducibilità elettrica specifica a 20°C (µS/cm)	15020	18880	9470	4684
Alcalinità totale (mg/l CaCO ₃)	5400	6550	4750	1670
Durezza (mg/l CaCO ₃)	5071	2428	4392	639
BOD ₅ (mg/l O ₂)	400	560	290	213
COD (mg/l O ₂)	1340	2720	1035	494
Azoto ammoniacale (mg/l)	775	773	753	220
Azoto nitrico (mg/l)	5.8	10.5	5.2	20.7
Azoto totale (mg/l)	781	791	767	44
Fosforo totale (mg/l)	11.4	9.1	8.2	3.7
Cloruri (mg/l)	2730	3900	1524	782
Solfati (mg/l)	18	41	49	166
Ferro (mg/l)	15.7	12.7	7.5	1.2
Manganese (mg/l)	0.310	0.170	0.300	0.305
Nichel (mg/l)	0.205	0.210	0.070	0.390
Piombo (mg/l)	0.088	0.100	0.013	0.139
Rame (mg/l)	0.041	0.050	0.014	0.024
Zinco (mg/l)	0.280	0.215	0.050	0.103

In azzurro sono evidenziati i valori massimi relativi ad ogni parametro.

L'analisi dei dati porta a pensare ad una effettiva diluizione del percolato contenuto nella vasca rispetto a quello presente nel sottosuolo se si considerano soprattutto i valori di Conducibilità elettrica specifica, Alcalinità totale, Durezza, Cloruri (direttamente legati al contenuto salino della soluzione), COD, Azoto ammoniacale, Azoto totale, relativamente più bassi nel primo (vedi Fig. 10).

Viceversa occorre evidenziare concentrazioni più elevate nel percolato della vasca per i parametri Azoto nitrico, Solfati, Nichel e Piombo che possono far pensare anche a fenomeni di “contaminazioni” da altre fonti.

Anche per questo argomento si rimanda alla relazione dell'Allegato 9 per ogni approfondimento.

6.2 Analisi dei sedimenti e dei terreni

Nel 2002 oltre alle acque superficiali, sotterranee e al percolato, sono stati analizzati anche campioni di sedimenti prelevati nell'alveo del Rio Cesuola e di terreni prelevati dalle carote estratte nei vari sondaggi.

In particolare i sedimenti del Rio Cesuola sono stati prelevati negli stessi punti di campionamento delle acque superficiali, a monte e a valle dell'ex discarica.

Per questa matrice ambientale i risultati analitici non rivelano peggioramenti da monte a valle dell'ex discarica e le concentrazioni dei parametri risultano, in entrambe le posizioni, ampiamente inferiori ai limiti di accettabilità, nel suolo e sottosuolo, indicati nella Tabella 1, dell'Allegato 1 al D.M. n.471/99, riferiti alla specifica destinazione d'uso a verde pubblico, privato e residenziale dei siti da bonificare.

Per quanto concerne, invece, i terreni essi sono stati prelevati dalle carote estratte nei seguenti sondaggi:

- S1/02 n. 1 campione medio
- S2/02 n. 4 campioni di cui 1 medio e 3 in base alla stratigrafia
- S7/02 n. 1 campione medio
- P9/02 n. 1 campione medio

Anche in questi casi le concentrazioni misurate risultano ampiamente inferiori ai limiti di accettabilità, nel suolo e sottosuolo, indicati nella Tabella 1, dell'Allegato 1 al D.M. n.471/99, riferiti alla specifica destinazione d'uso a verde pubblico, privato e residenziale dei siti da bonificare.

Si rimanda all'Allegato n. 9, per ogni dettaglio.

6.3 Analisi del biogas

La quantità di biogas prodotta globalmente da una tonnellata di R.S.U. è funzione sia delle caratteristiche chimiche del rifiuto, in particolare del contenuto di carbonio organico, sia della temperatura cui avviene il processo biologico.

Per quanto riguarda il processo di biogassificazione dei rifiuti urbani si possono elencare varie fasi, le principali sono:

- **Fase aerobica:** avviene subito dopo il deposito dei rifiuti a seguito dell'impiego, da parte dei microrganismi, dell'ossigeno libero.

Questo viene prelevato dall'aria inglobata nella discarica durante la deposizione del rifiuto e dall'acqua meteorica infiltrata nel cumulo dei rifiuti.

Tale fase è normalmente di breve durata essendo legata alla disponibilità di ossigeno.

In questa fase si ha produzione di energia termica (temperature dell'ordine di 50-70°C), di anidride carbonica e di sostanze organiche parzialmente degradate.

- **Fase facoltativa anaerobica:** avviene quando la disponibilità di ossigeno è ridotta al punto in cui non è più possibile un processo aerobico.

Gli organismi presenti, definiti facoltativi, in assenza di ossigeno libero possono utilizzare l'ossigeno "legato".

Caratteristiche di questa fase sono la produzione di anidride carbonica, una minore generazione di energia termica e una notevole produzione di sostanza organica parzialmente degradata, la maggior parte della quale è costituita da acidi organici.

Tale fase può durare alcuni anni.

- **Fase metanigena anaerobica:** è lo stadio finale della decomposizione dei rifiuti, nel quale gli organismi convertono la sostanza organica, parzialmente degradata dagli organismi aerobici facoltativi, in metano (con percentuali intorno al 50% nelle analisi tal quale dell'aria aspirata) ed anidride carbonica (con percentuali intorno al 35% nelle analisi tal quale dell'aria aspirata).

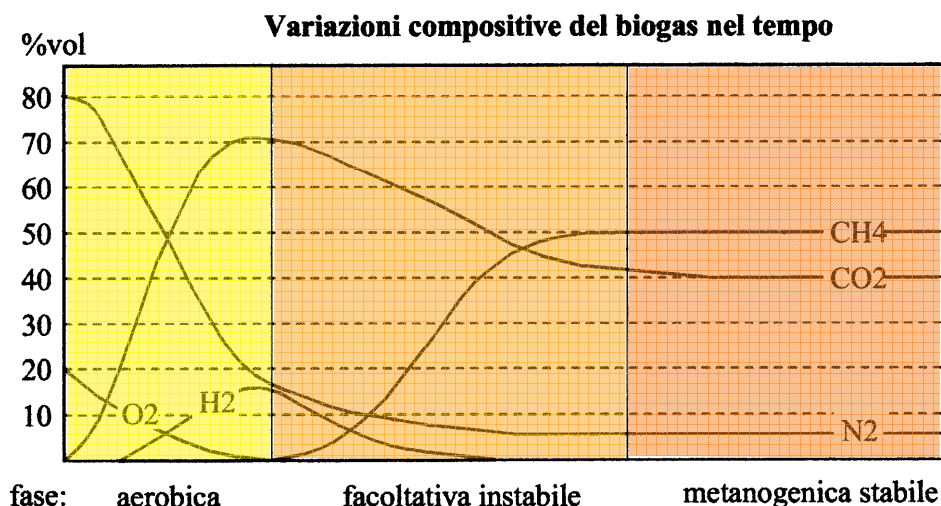
Caratteristiche di questa fase sono sempre la produzione di energia termica, l'utilizzazione di materia organica disciolta, la produzione di metano ed anidride carbonica, nonché l'aumento di pH con valori vicini alla neutralità.

Dal punto di vista qualitativo, il biogas è composto da due gas prevalenti: il metano (CH_4) e l'anidride carbonica (CO_2).

Combinati con essi sono spesso presenti l'ossigeno (O_2) e l'azoto (N_2) derivanti soprattutto dall'aria intrappolata negli interstizi dei rifiuti al momento della deposizione.

Più raramente è presente l'idrogeno (H_2) prodotto in limitate quantità e per brevi periodi da particolari processi chimici.

Nel grafico seguente vengono rappresentati, con ampia approssimazione, gli andamenti della produzione, nelle varie fasi, dei principali componenti del biogas.



Nel caso specifico in esame, al fine di analizzare la quantità e la composizione del biogas prodotto dalla discarica, nel 1990 è stato realizzato un pozzo nella zona di più recente coltivazione (vedi TAV. 1).

Successivamente, nel 1991, è stata eseguita una campagna di indagine con analisi del biogas prelevato dalla testa di sonda esistente sul pozzo.

Recentemente è stata eseguita una ulteriore indagine con analisi del biogas prelevato dallo stesso pozzo e da 5 piezometri perforati nel 2002 (S2/02, S4/02, S5/02, S6/02, S7/02).

I campionamenti sono stati eseguiti con attrezzature portatili che hanno permesso di captare il biogas con un sistema di aspirazione “dinamico”.

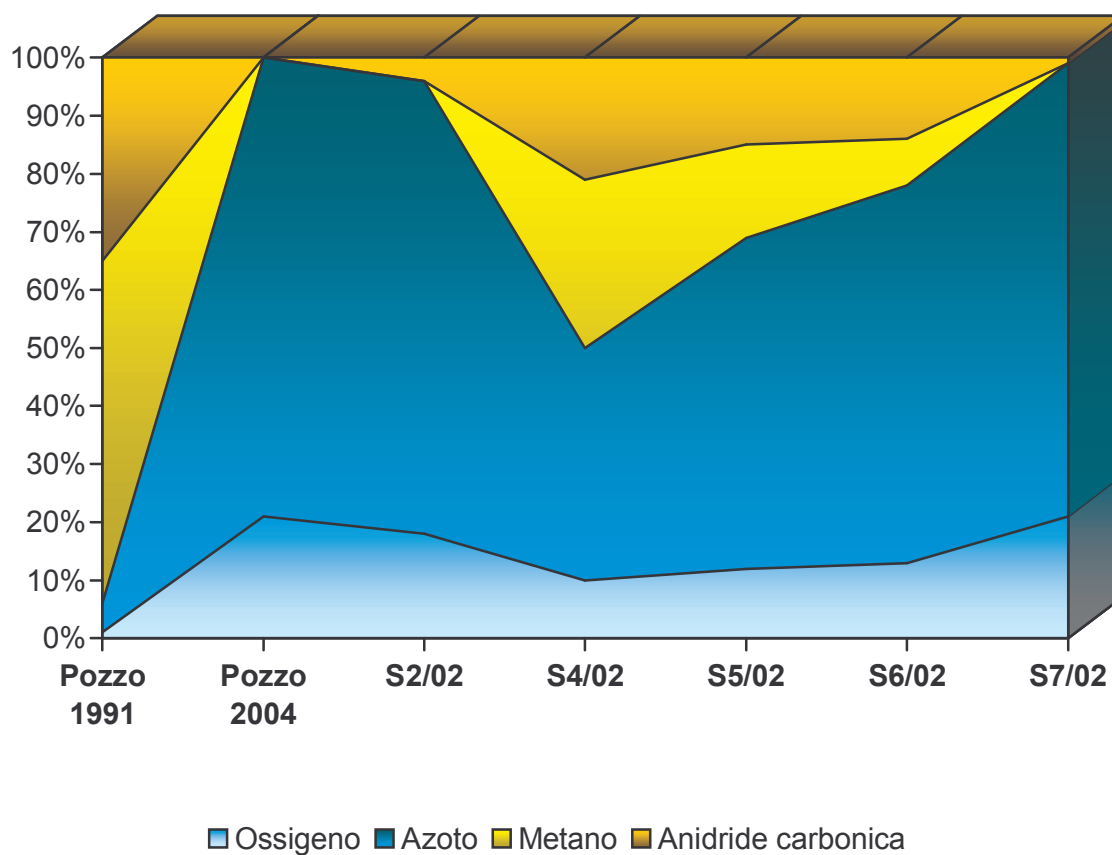
Sui campioni prelevati in campo è poi stata eseguita una gascromatografia al fine di quantificare, in percentuale sul totale, i gas rilevati.

I rapporti di prova completi e riferimenti sui metodi di campionamento ed analisi sono riportati nell’Allegato 10.

Nelle tabelle e grafici seguenti si rappresentano i risultati delle analisi suddette.

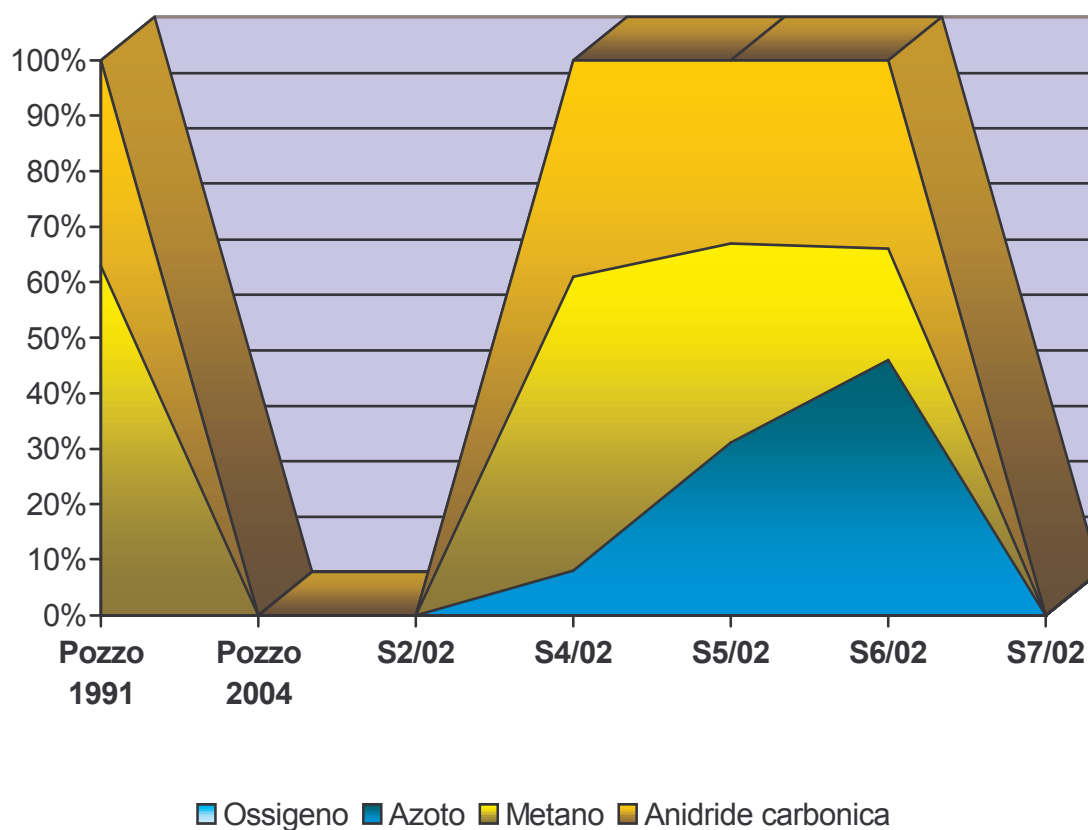
COMPOSIZIONE DEL GAS tal quale							
GAS	Pozzo 1991	Pozzo 2004	S2/02	S4/02	S5/02	S6/02	S7/02
	%						
O ₂	1	21	18	10	12	13	21
N ₂	5	79	78	40	57	65	78
CH ₄	59	0	0	29	16	8	0
CO ₂	35	0	4	21	15	14	1

Composizione gas tal quale



COMPOSIZIONE DEL GAS senza aria							
GAS	Pozzo 1991	Pozzo 2004	S2/02	S4/02	S5/02	S6/02	S7/02
	%						
O ₂	0	0	0	0	0	0	0
N ₂	0	0	0	8	31	46	0
CH ₄	63	0	0	53	36	20	0
CO ₂	37	0	0	39	33	34	0

Composizione gas senza aria



La quantità di biogas prodotta globalmente da una tonnellata di rifiuto solido urbano è funzione delle caratteristiche merceologiche del rifiuto, delle modalità di deposito e copertura degli stessi, delle condizioni climatiche ed idrologiche locali.

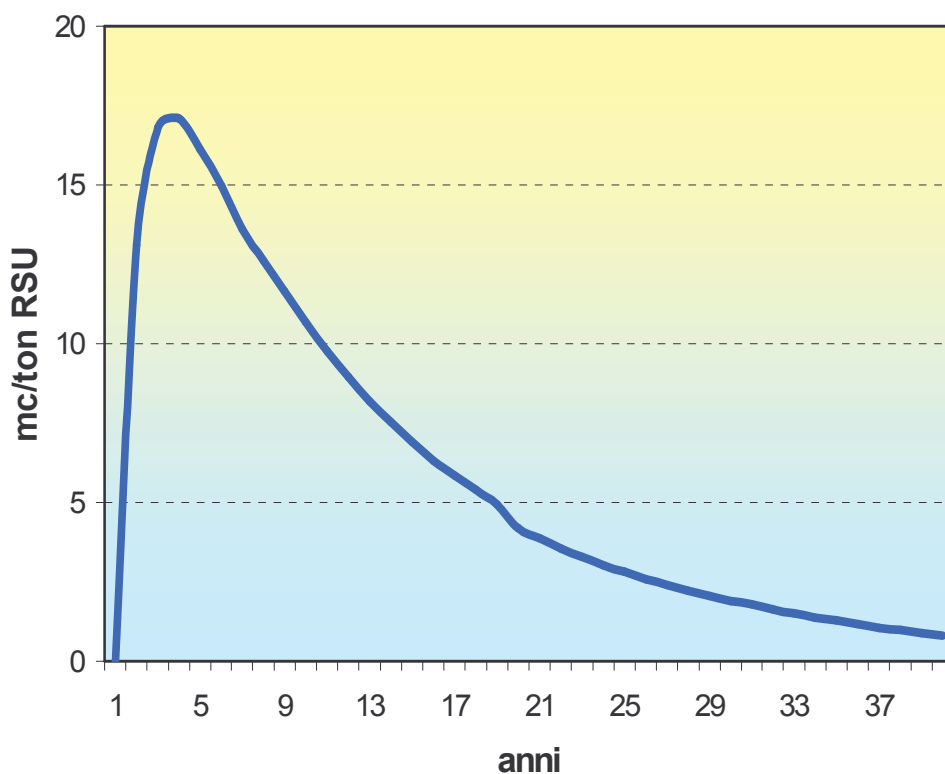
In particolare le reazioni di biodegradazione che generano il biogas sono condizionate dal contenuto di carbonio organico, dall'umidità, dalla temperatura, dalla densità e pezzatura dei rifiuti depositati.

Esistono diversi modelli matematici, di varia complessità, che consentono di simulare i processi di biodegradazione della sostanza organica e forniscono una valutazione della produttività di biogas.

Tutti i modelli richiedono la conoscenza di diversi parametri ed il livello di approssimazione delle risposte fornite dipende dal numero dei fattori che si prendono in considerazione.

Nel caso specifico, non essendo noti i diversi fattori che influenzano la produzione di biogas, è stato applicato un modello molto semplice di tipo biochimico che, in base all'assunzione di una temperatura media operativa di 22°C e di un contenuto di carbonio iniziale di 250 kg per tonnellata di rifiuto, stima una produzione specifica di 250 m³ di gas per ogni tonnellata di rifiuto nell'arco dei primi trenta anni d'attività biologica del deposito.

Graficamente la curva di produzione di biogas riferita ad una singola tonnellata di rifiuto è la seguente.



Per quanto concerne l'andamento della velocità di massificazione, cioè la legge con la quale si distribuisce nel tempo la produzione specifica, nella figura sopra riportata vengono evidenziate due fasi contraddistinte.

Una prima fase in cui la velocità di massificazione cresce rapidamente fino al valore massimo dopo pochi anni dalla deposizione del rifiuto.

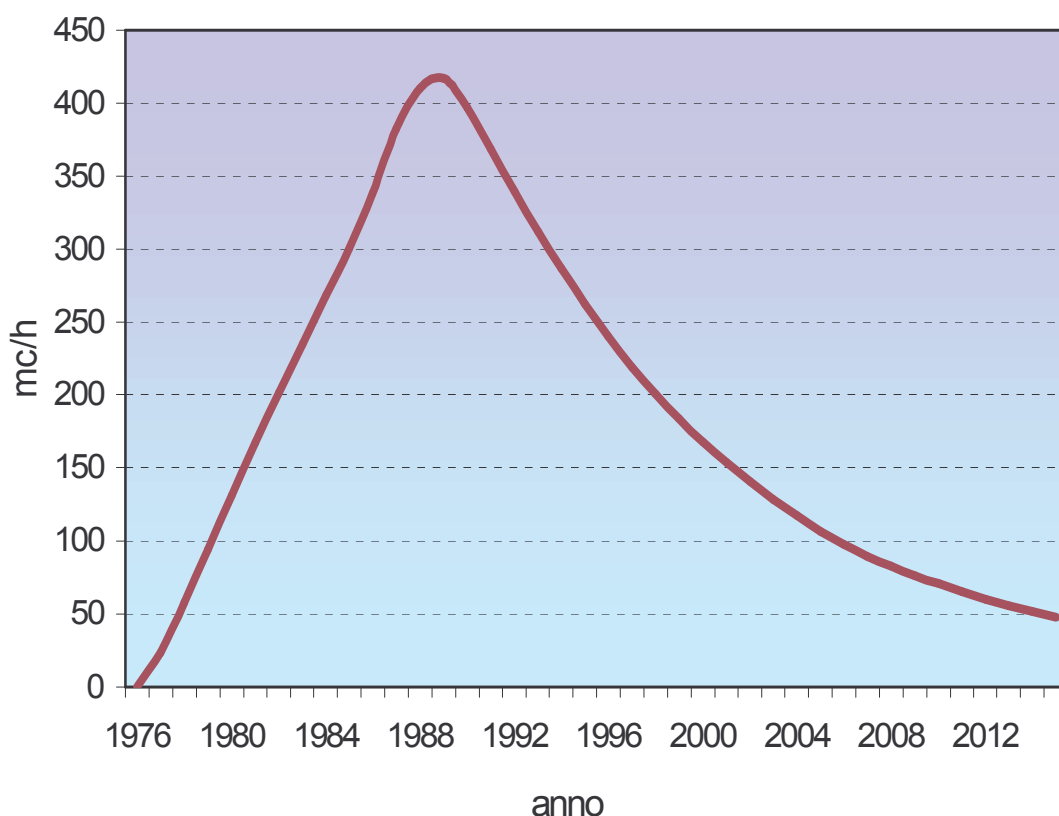
Questo è correlabile alla più veloce decomposizione del materiale più facilmente biodegradabile.

Successivamente la velocità diminuisce e si è in presenza di una proporzionalità diretta tra velocità di massificazione e carbonio gassificabile residuo.

Una volta individuata la quantità di biogas prodotta anno per anno da una tonnellata di rifiuto, nota la quantità di rifiuti e la cronologia di deposizione, è possibile ricavare la distribuzione teorica nel tempo della produzione globale della discarica.

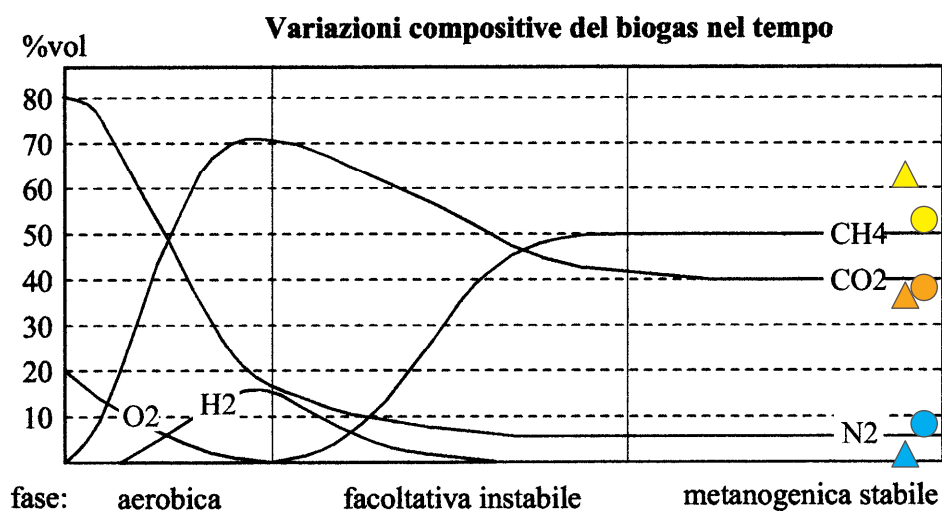
Conoscendo il quantitativo di rifiuti conferiti alla discarica nell'*i*-esimo anno di vita della stessa e conoscendo la produzione unitaria di biogas dell'*i*-esimo anno dal momento del generico deposito, è possibile ricavare la produzione globale in funzione del tempo applicando il principio di sovrapposizione degli effetti.

Si riporta di seguito l'elaborazione grafica della curva di produzione teorica.



In base ai dati ottenuti dalle campagne di indagine effettuate, si può ritenere che, nell'ex discarica di Rio Eremo, a circa trenta anni dalla chiusura dell'impianto, il processo di biodegradazione dei rifiuti sia nello stadio finale.

Tale ipotesi appare confermata dal grafico seguente dove, sulla base del diagramma delle variazioni compositive del biogas nel tempo, viene rappresentata la composizione del biogas prelevato dalla discarica.



GAS	Pozzo 1991 (%)	S4/02 (%)
CO ₂	▲	●
CH ₄	▲	●
N ₂	▲	●

7 MODELLO CONCETTUALE

Con il termine modello concettuale si intende la rappresentazione teorica di un sistema ambientale e dei processi chimici, fisici e biologici, che specificano le tipologie di coinvolgimento dei cosiddetti fattori rilevanti rappresentati da:

- sorgente di contaminazione
- vie di trasporto
- recettori

Il modello concettuale di un sito contaminato prevede, quindi, l'individuazione di:

- sorgenti di contaminazione e concentrazione delle sostanze contaminanti
- percorsi di migrazione delle sostanze contaminanti
- vie di esposizione dei recettori

Il modello concettuale è uno strumento che permette di acquisire informazioni necessarie per definire lo stato d'inquinamento, svolgere un'analisi di rischio ed individuare le migliori tecnologie di bonifica.

Nel caso in esame, caratterizzato dalla presenza di una notevole massa di rifiuti nel sottosuolo, che produce percolato e biogas, e di un sistema precario di raccolta di tali prodotti di degradazione dei rifiuti, definire il Modello Concettuale vuol dire essenzialmente:

- Stabilire i rapporti tra le acque sotterranee (percolato) ed il Rio Cesuola;
- Valutare la migrazione verso valle dei contaminanti;
- Analizzare gli effetti dell'inquinamento sull'ambiente e sulla salute.

Il modello concettuale di riferimento dell'ex discarica di Rio Eremo è stato definito sulla base delle sezioni geologiche trasversali allegate.

Da esse è scaturita una prima schematizzazione rappresentata in Fig. 11.

Per una definizione più completa del modello si ritenuto utile costruire anche la sezione longitudinale AA', la cui traccia è visibile nella Fig. 3.

Pur essendo meno dettagliata delle sezioni geologiche sopra citate, quest'ultima è importante per rappresentare la posizione del cumulo dei rifiuti rispetto all'asse vallivo del Rio Cesuola ed alla zona occupata dalla Stazione di trasferimento rifiuti che appare come una sorta di contrafforte litologicamente costituito dalla stessa Formazione Marnoso-arenacea presente come substrato della discarica (vedi Fig. 12).

Quest'ultima zona, costituita da litotipi con permeabilità praticamente nulla ($K < 10^{-6}$), può ritenersi una barriera che ostacola o impedisce la migrazione della falda verso Nord.

Da tale sezione è derivata la schematizzazione di Fig. 13.

La Fig. 14 è, invece, una rappresentazione in pianta del modello concettuale, finalizzata ad evidenziare i rapporti idraulici fra il cumulo di rifiuti e tutti i corpi idrici superficiali che lo delimitano.

Dal modello così definito le possibilità di interazioni del sito con gli elementi territoriali rilevanti, appaiono relativamente limitate.

Il rischio principale è rappresentato dalla potenziale contaminazione delle acque superficiali del Rio Cesuola ad opera del percolato, in particolare sul lato ovest dell'ex-discarica.

7.1 Rapporti tra acque sotterranee e Rio Cesuola

La principale fonte di alimentazione della falda contenuta nel cumulo dei rifiuti è rappresentata dall'aliquota di acqua meteorica che si infiltra nel sottosuolo.

Un contributo, anche se si ritiene subordinato al primo, può essere dato dalle acque di falda libere presenti a monte della discarica che spostandosi verso valle per gravità possono intercettare il cumulo di rifiuti.

Nelle TAVV. 10 e 11 sono ulteriormente schematizzati i rapporti fra le acque provenienti dal corpo della discarica ed il Rio Cesuola.

Esse rappresentano, con un maggior dettaglio, il modello concettuale del sito per la zona nuova e la zona vecchia della discarica.

Nella sezione relativa alla parte nuova (TAV. 10) è raffigurato il sistema di raccolta delle acque superficiali meteoriche, costituito da una rete di fossetti, presenti nei gradoni, collegati da tubi in PVC che convogliano tali acque nel Rio Cesuola.

In entrambe le sezioni è rappresentato, al piede della scarpata della discarica, il fosso che intercetta la falda e convoglia gran parte del percolato, tramite tubazione in PVC, in una vasca di raccolta, dalla quale un collettore premente invia il liquido nella fognatura nera di Via Cesuola.

7.2 Migrazione dei contaminanti

Gli inquinanti sono riconducibili essenzialmente al percolato ed al biogas prodotti dal corpo dei rifiuti.

Il biogas fuoriesce dal corpo della discarica principalmente dal pozzo e dai piezometri denominati S4/02, S5/02 e S6/02.

In virtù del gradiente idraulico esistente l'acqua sotterranea defluisce dal corpo della discarica verso il Rio Cesuola.

Il percolato che fuoriesce dall'accumulo di rifiuti viene intercettato dal fosso esistente al piede della scarpata, convogliato con tubazione in PVC in una vasca di raccolta e da qui smaltito verso l'impianto di depurazione comunale.

Si ritiene che il percolato abbia poche possibilità di contatto con il Rio Cesuola, tuttavia, specialmente nella parte vecchia della discarica, sinora non oggetto di sistemazioni, per la precarietà dei sistemi di captazione presenti, il rischio di possibili contaminazioni delle acque superficiali appare abbastanza elevato.

Viceversa non vi sono elementi tali da ritenere possibili connessioni dirette fra la falda presente nel corpo di discarica, che appare come un sistema idrogeologicamente relativamente chiuso, ed altre falde acquifere presenti a nord del sito, nel fondovalle.

7.3 Effetti dell'inquinamento sull'ambiente e sulla salute

Possibili rischi per la salute e per l'ambiente possono essere connessi con l'emissione di biogas e con l'inquinamento provocato dal percolato.

Per quanto concerne l'emissione di biogas, i risultati della recente campagna di monitoraggio, testimoniano una presenza dello stesso in quantità irrilevanti e tali da ritenere improbabili rischi per la salute.

Il percolato può, invece, costituire un problema ambientale rilevante anche se l'assenza di elementi territoriali sensibili nelle vicinanze, quali fabbricati abitati, falde freatiche collegate a quella presente nel corpo dei rifiuti e di pozzi, induce a ritenere che l'impatto è unicamente rappresentato dal potenziale inquinamento delle acque superficiali del Rio Cesuola.

A questo proposito occorre sottolineare che non vi è utilizzo per scopi idropotabili né delle acque superficiali del Rio Cesuola né delle acque prelevate da pozzi ubicati nel fondovalle che attingono da falde freatiche collegate al corso d'acqua, essendovi una rete acquedottistica che distribuisce a tutte le utenze della vallata acque di diversa provenienza.

Pertanto considerata l'ubicazione del sito dismesso, posto a circa 2.5 Km dall'abitato di Ponte Abbadesse, a 4 Km dal centro urbano di Cesena e profondamente incastonato nella valle del Rio Cesuola, non vi sono elementi tali da far presupporre che possa esercitare significativi influssi negativi sulla salute pubblica.