

TEA REPORT 22-010
Rev.0

Via Ponte a Piglieri, 8
56122 Pisa

telephone: + 39 050
6396101

telefax: + 39 050
6396110

e-mail: info@tea-group.com
www.tea-group.com

Centro per le Tecnologie Energetiche ed Ambientali



TEASISTEMI
ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGIES



Cert. n. 9175.TEAS
ISO 9001:2008




Cert. n. 9191.TEAS
ISO 14001:2004



Mod. 7.3.02-Rev3

Dr.ssa G. Falcone
Prof. Ing. P. Andreussi

Discarica delle
Strillaie (GR)
Bilancio del percolato,
anno 2022

TEA SISTEMI SPA CENTRO PER LE TECNOLOGIE ENERGETICHE ED AMBIENTALI					
				DOC.N° 22-010 Rev.0	
PROGETTO PROJECT		Strillaie_monitoraggi_2022-159-2022			
DISTRIBUZIONE DISTRIBUTION		Comune di Grosseto			
TITOLO TITLE		Discarica delle Strillaie (GR) Bilancio del percolato, anno 2022			
SOMMARIO ABSTRACT		<p>Il presente documento contiene il bilancio idrologico della discarica delle Strillaie per l'anno 2022, come richiesto dal Piano di Sorveglianza e Controllo redatto ai sensi del D. Lgs. 36/2003 e approvato dalla Provincia di Grosseto.</p> <p>Il bilancio idrologico è stato calcolato sulla base dei dati ricavati dalla stazione meteorologica di Grosseto del Consorzio LaMMA e dei metodi individuati nello 'Studio di fattibilità per la depurazione del percolato della discarica delle Strillaie' (autore: CPR) dell'aprile 2004, come previsto dal Capitolato di gara CIG 8646965540</p>			
PAROLE CHIAVE KEY WORDS		Bilancio idrologico, bilancio del percolato.			
NOTE REMARKS					
3					
2					
1					
0	11/01/2023	Rapporto	G. Falcone	P. Andreussi	Comune di Grosseto
REV. REV.	DATA DATE	DESCRIZIONE DESCRIPTION	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DATI SULLA GESTIONE DELLA DISCARICA.....	5
2.1	SVILUPPO DELLE AREE COLTIVATE.....	5
2.2	IL SISTEMA DI GESTIONE DEL PERCOLATO	13
2.2.1	Ambito B e C.....	13
2.2.2	Ambito A	15
2.2.3	Ambito D.....	15
2.2.4	Ambito E	15
2.2.5	Vasche realizzate in sormonto sui vecchi rifiuti.....	15
2.2.6	Modulo 16.....	16
2.2.7	Depuratore percolato.....	19
3	CALCOLO DEL BILANCIO IDROLOGICO.....	20
3.1	METODI UTILIZZATI	22
3.1.1	Metodo manuale semplificato	22
3.1.2	Modello empirico semplificato.....	23
3.2	APPLICAZIONE E RISULTATI DEL MODELLO MANUALE SEMPLIFICATO	26
3.3	APPLICAZIONE E RISULTATI DEL MODELLO EMPIRICO SEMPLIFICATO	28
4	CONCLUSIONI.....	31

1 PREMESSA

Il presente rapporto contiene il bilancio idrologico della discarica ‘Le Strillaie’ di Grosseto per l’anno 2022, come richiesto dal Piano di Sorveglianza e Controllo ai sensi del D. Lgs. 36/2003.

Il D. Lgs. 36/2003, Allegato 2, punto 5.3 (Piano di Sorveglianza e Controllo – Percolato), riporta infatti: ‘...*deve essere misurata la quantità di percolato prodotto e smaltito, da correlare con i parametri meteorologici per eseguire un bilancio idrico del percolato*’.

Il bilancio è stato calcolato secondo la seguente metodologia:

- a) sono stati utilizzati i seguenti dati meteorologici della stazione di Grosseto del Consorzio LaMMA:
 - precipitazioni medie mensili;
 - temperatura media mensile;
- b) sono stati utilizzati i dati forniti da SIT e ricavati da elaborati progettuali esistenti, riguardo a:
 - estensione della coltivazione e tipologia delle coperture;
 - percolato raccolto;
 - modalità di gestione del percolato.
- c) Per la stima del percolato prodotto, sono state utilizzate le metodologie testate nello ‘studio di fattibilità per la depurazione del percolato della discarica *Le Strillaie*’ redatto dal Consorzio Pisa Ricerche nell’aprile 2004 per conto dell’amministrazione comunale di Grosseto. L’impostazione del bilancio idrologico è descritta di seguito.

2 DATI SULLA GESTIONE DELLA DISCARICA

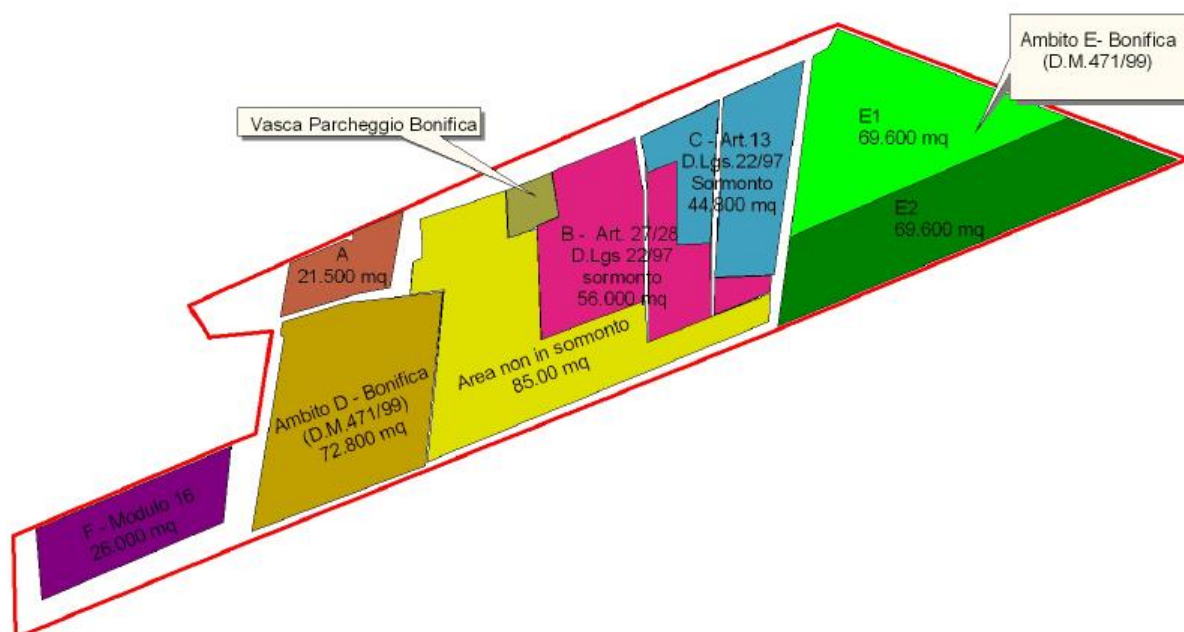
2.1 SVILUPPO DELLE AREE COLTIVATE

Ad oggi la porzione di discarica ‘storicamente’ coltivata è chiusa alla coltivazione per esaurimento dei volumi autorizzati per il sormonto della vecchia discarica.

Anche la coltivazione della porzione della discarica denominata *Modulo 16* (nei precedenti rapporti *Ambito F*) è terminata nel 2007.

L’area ‘storica’ adibita a discarica è suddivisa come descritto in seguito, da est verso ovest (*Figura 2.1a*).

Figura 2.1a: Suddivisione in ambiti della discarica



Ambito “E”: estensione **139.200 m²**; vi sono stoccati rifiuti conferiti in tempi passati (anni '70). L’area, proprietà di terzi, è stata poi ricoperta con una spessa coltre di terreno di riporto argilloso. L’area, in seguito al Piano di Caratterizzazione (D.M.471/99) eseguito dalla TEA-CPR di Pisa nel 2001, è stata inserita nel sito di interesse nazionale da bonificare, insieme all’Ambito D. Dal punto di vista degli interventi di bonifica, l’Ambito E è stato suddiviso in altri due sottoambiti: E1 ed E2, di 69.600 m² ciascuno; nell’area non è presente una rete di raccolta del percolato né una rete di drenaggio delle acque superficiali. Quest’area, pertanto non è stata considerata per il bilancio idrologico della discarica in quanto attualmente la raccolta del percolato non è gestita.

Ambito C - Stoccaggio ex art. 13 D. Lgs. 22/97: situata in 'Ambito C', estensione **44.800 m²**, volume di rifiuti conferiti in sormonto alla vecchia discarica 65.000 m³.

Gli spessori di rifiuti conferiti in sormonto sono di circa 1,5 – 2 m (1 m fuori terra e 1 m in avvallo). Qui è presente una rete di captazione del percolato a lisca di pesce con collettori principali collegati ad un pozzetto di raccolta presente in ogni singolo Modulo. Tale pozzetto è di forma circolare, in HDPE ed ancorato alla scarpata principale. Una volta terminata la coltivazione, le aree interessate sono state ricoperte con coperture provvisorie costituite da terreno di riporto di matrice argillosa con uno spessore di circa 20 cm, in alcune zone lievemente maggiore per dare le giuste pendenze. Nella parte sottostante, coltivata dagli anni '70 fino alla fine febbraio 1999, il percolato è raccolto attraverso un tubo che taglia trasversalmente la discarica e convoglia il liquido verso una vasca di raccolta lungo la strada di accesso (lato Nord) da cui viene effettuato direttamente il prelievo con autocisterne. A questo si aggiungono una serie di pozzi verticali che attraverso delle pompe e condotte in HDPE di vario diametro convogliano il percolato ad un sistema di stoccaggio costituito da una batteria di cisterne in vetroresina (n. 8 x 30 m³/cad) che alimentano l'impianto di trattamento depurativo. La realizzazione delle vasche in sormonto è avvenuta nel rispetto dell'ordinanza del Presidente della Provincia del 2001 (art. 13, D. Lgs. 22/97). Tale ordinanza prevedeva prima uno scavo di 1 m del terreno argilloso che costituiva parte della copertura della vecchia discarica sottostante il sormonto, il cui spessore complessivo, stimato attraverso delle indagini in scavo, varia fra i 2 e i 4 m. Lo scavo di 1 m non ha quindi compromesso l'impermeabilizzazione delle vecchie vasche. Si è poi proceduto all'impermeabilizzazione del fondo secondo il seguente schema:

- 10 cm di inerti all'interno del quale si trova la rete drenaggio del biogas;
- strato di sabbia di circa 5 cm per proteggere telo HDPE soprastante;
- telo in HDPE 2,5 mm;
- strato di sabbia di circa 5 cm per proteggere telo HDPE sottostante;
- drenaggio con 20 cm di ghiaia.

Le pareti sono state impermeabilizzate attraverso un telo in HDPE di 2,5 mm di spessore.

A questo punto sono stati messi in posa i rifiuti con uno spessore massimo di 2 m. Infine è stata realizzata una **copertura provvisoria con 20 cm di argilla**.

La quota iniziale del piano campagna può essere desunta da una sezione delle vasche (profilo A-A) contenuta nella planimetria (All. 11) del 'Progetto per la realizzazione di nuove vasche per il conferimento di flussi selezionati di RU all'interno del perimetro della discarica delle Strillaie' realizzato dall'Ing. Martino ed approvato dalla Conferenza Provinciale dei Rifiuti nella seduta del 23 agosto 2002. In tale sezione, la quota di due strade circostanti le suddette vasche è di circa 4,50 m. Quindi, tenendo conto degli spessori di scavo, delle impermeabilizzazioni e degli spessori di rifiuti conferiti, si arriva ad una quota di circa 6 m.

Attualmente, in base ai rilievi topografici la quota delle vasche in sormonto 'ex art. 13' oscilla fra un massimo di circa 5,90 m ad un minimo di 3,60 m circa. La quota tuttavia è estremamente variabile fra questi due valori, e questo può essere imputato ad assestamenti differenziali dei rifiuti, oltre che alle pendenze imposte per il deflusso delle acque meteoriche.

Considerando che lo spessore totale del capping, come da progetto (D.D. 2178/2003), è di circa 1 m (livello minimo di 50 cm di argilla e 50 cm di terreno vegetale) e che attualmente vi sono già 20-50 cm circa di argilla di copertura, lo spessore rimanente di capping da realizzare è di circa 80-50 cm.

Tuttavia, secondo le normative attualmente vigenti (D. Lgs. 36/2003) la copertura deve essere realizzata mediante una struttura multistrato con spessore di circa 2,50-2,70 m, costituita, dall'alto verso il basso, almeno dai seguenti strati:

- 1) strato superficiale di copertura con spessore di 1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e protegga le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
- 2) strato drenante (ghiaia o inerti) protetto da eventuali intasamenti con spessore 0,5 m in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra le barriere di cui ai successivi punti 3) e 4);
- 3) strato minerale compattato dello spessore di 0,5 m e con conducibilità idraulica di 10^{-8} m/s o di caratteristiche equivalenti, integrato da un rivestimento impermeabile superficiale per gli impianti di discarica di rifiuti pericolosi;
- 4) strato di drenaggio del gas e di rottura capillare, protetto da eventuali intasamenti, con spessore 0,5 m;
- 5) strato di regolarizzazione con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti;

Quindi lo spessore di capping ad oggi mancante è di circa 2 m.

Ambito B - Area coltivata in sormonto alla vecchia discarica dal 2002, secondo D. D. n. 1278/2002, comprendente parte dell'Ambito 'B': estensione complessiva dell'area interessata dal sormonto di **56.000 m²**, volume di rifiuti conferiti in sormonto pari a circa 91.400 m³. Nella porzione coltivata in sormonto alla vecchia discarica è presente una rete di captazione del percolato a lisca di pesce, con collettori principali collegati ad un pozzetto di raccolta in HDPE per ogni Modulo ancorato alla scarpata principale. Ogni Modulo che compone tale Ambito costituisce un bacino idraulicamente indipendente. Nella parte sottostante (coltivata dagli anni '70 fino alla fine febbraio 1999), il percolato è captato attraverso una tubazione che taglia trasversalmente la discarica e convoglia il liquido verso una vasca di raccolta, lungo la strada di accesso a Nord. A questo si aggiungono una serie di pozzi verticali che attraverso delle pompe e condotte in HDPE di vario diametro convogliano il percolato ad un sistema di stoccaggio costituito da una batteria di cisterne in vetroresina (n. 8 x 30 m³/cad) che alimentano l'impianto di trattamento di depurazione del percolato. Le due parti sono quindi separate ed isolate attraverso una impermeabilizzazione del fondo. È stato inizialmente realizzato uno scavo di 1 m e poi realizzata l'impermeabilizzazione che comprende nell'ordine (**Figura 2.1b**):

- 1) strato di argilla compattata di spessore pari a 20 cm;
- 2) telo TNT (250 g/m²) a protezione dell'impermeabilizzazione;
- 3) telo HDPE con spessore di 2,5 mm;
- 4) sabbia naturale di cava di spessore pari a 30 cm;
- 5) trincee per deposito tubazioni percolato riempite in ghiaia.

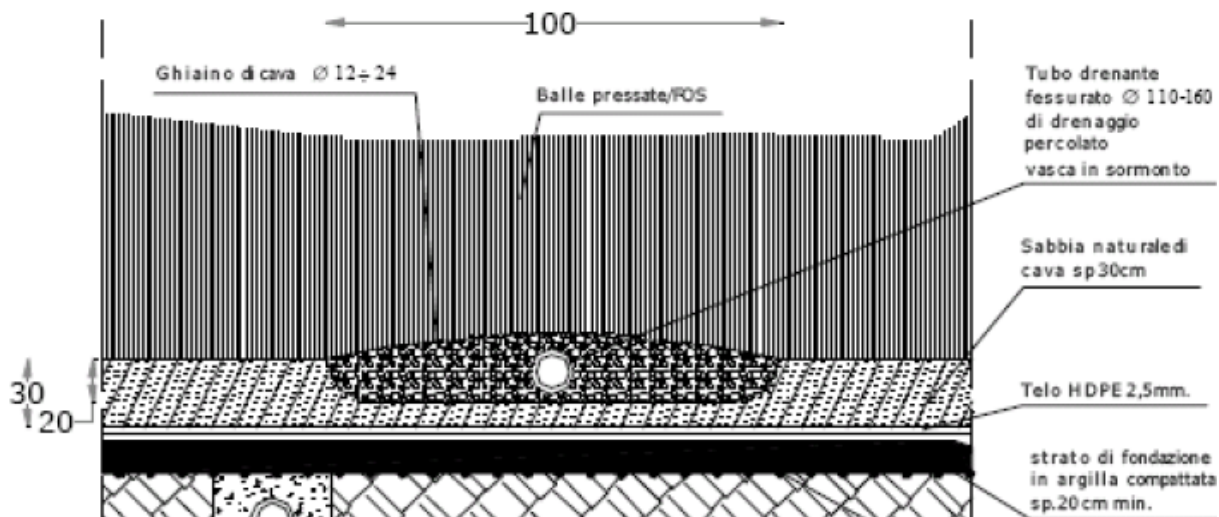
Le pareti sono state impermeabilizzate attraverso un telo in HDPE di 2,5 mm di spessore. Il telo in HDPE è stato elettrosaldato in continuità con il telo esistente depositato sul fondo delle vasche dell'Ambito C – Art. 13 D. Lgs. 22/1997.

Le vasche di stoccaggio in sormonto (Ambiti B e C) sono state delimitate da un argine perimetrale a sezione trapezoidale con base minore di 1 m, altezza di 1 m. Inoltre tali vasche sono state realizzate per moduli successivi della larghezza di 50 m e lunghezza variabile da 50 a 80 m. La coltivazione di questi due ambiti di discarica è avvenuta per moduli successivi, con alcuni moduli dedicati al secco ed altri all'umido, in base alla separazione dei rifiuti tal-quali avvenuta a monte nell'impianto di selezione in due flussi principali:

TEA Sistemi S.p.A.

- flusso a prevalente frazione organica putrescibile;
- flusso a prevalente frazione secca combustibile.

Figura 2.1b: Particolare fondo vasca sormonto



Sono stati realizzati due moduli per volta dei quali uno dedicato al conferimento della frazione umida e uno dedicato al conferimento della frazione secca imballata. Prima del completamento dei due suddetti moduli sono stati predisposti i due moduli successivi la cui utilizzazione è stata quindi contestuale al completamento dei precedenti. A tal proposito, una volta terminata la coltivazione, le aree interessate sono state ricoperte con coperture provvisorie costituite da uno **strato di argilla dello spessore di circa 50 cm**. Tale copertura è il livello di capping al tutt'oggi esistente.

L'area in questione (sormonto B e C), infatti, doveva essere chiusa attraverso un capping ai sensi del D. Lgs. 36/2003 e una successiva rinaturalizzazione, ma tali interventi non sono ad oggi ancora stati realizzati.

Esternamente questi due ambiti in sormonto appaiono dal punto di vista morfologico come delle unità continue rappresentate da una serie di tre collinette allineate e intercalate da due dorsali perpendicolari che le attraversano (**Figura 2.1a**).

Ambito B non interessato alla coltivazione in sormonto: superficie totale circa **85.000 m²**; i rifiuti sono ricoperti da coperture provvisorie costituite da terreno di **riporto argilloso di spessore variabile tra 2 e 3 m circa**, stimato attraverso delle indagini in scavo sulle aree limitrofe, e su cui non sono stati fatti interventi di manutenzione. Il percolato è raccolto attraverso una rete di drenaggio trasversale che convoglia il liquido verso un pozzo di raccolta da cui viene effettuato direttamente il prelievo.

Ambito A: l'estensione della base che costituisce il bacino di raccolta delle acque meteoriche è di **21.500 m²**, chiusa con coperture provvisorie in attesa di lavori di sistemazione definitiva. Tale Ambito è stato coltivato da marzo 1999 ad agosto 2000, dalla Società SLIA su incarico del commissario, ed è più elevato rispetto agli ambiti circostanti (10-11 m s.l.m.). L'impermeabilizzazione delle vasche comprende argilla presente in sito, telo in HDPE (s = 2,5 mm), strato drenante (s = 30 cm). Il percolato viene raccolto attraverso una rete di captazione e raccolta dal fondo separata dal resto della rete della vecchia discarica, e convogliato verso una vasca di raccolta sotterranea situata nei pressi del piazzale di ingresso/accettazione. Il biogas viene captato attraverso dei pozzi verticali e convogliato ad una torcia adiacente alla strada di accesso.

Ambito D: estensione **72.800 m²**, volume di rifiuti conferiti stimata di circa 234.000 m³; quest'area è interessata da un progetto di bonifica ai sensi del D.M. 471/99, di cui una piccola parte è già stata realizzata, mentre il resto è ancora da realizzare. I rifiuti sono ricoperti da coperture provvisorie costituite da terreno di riporto argilloso di spessore variabile e su cui non sono stati fatti interventi di manutenzione. Il percolato è raccolto attraverso una tubazione di drenaggio trasversale che convoglia il liquido verso un pozzo di raccolta da cui viene effettuato direttamente il prelievo. La bonifica va avanti a moduli e consiste in:

- scavo della copertura superficiale esistente;
- asportazione dei rifiuti depositati e stoccaggio nella vasca di parcheggio adiacente all'Ambito B;
- impermeabilizzazione del fondo ai sensi del D.M. 471/99;
- realizzazione della rete di drenaggio del percolato e del biogas;
- messa a dimora dei rifiuti precedentemente rimossi;
- impermeabilizzazione superficiale e capping ai sensi del D.M. 471/99.

Modulo 16: estensione di **26.000 m²** suddivisi in tre lotti (**Tabella 2.1a**): uno per lo smaltimento del rifiuto umido e due per lo smaltimento del rifiuto secco. La superficie occupata omnicomprensiva è di circa 40.000 m². È l'ultimo Modulo che ha ospitato i rifiuti dal 2004 al 31 dicembre 2007. La profondità media dell'Ambito F è di 1,5 m s.l.m., mentre la sopraelevazione rispetto al piano campagna ha raggiunto la quota sommitale finale massima di 7,70 m. in seguito alla posa, avvenuta tra i mesi di aprile e settembre 2013 del capping di spessore complessivo di 2,70 m (D. Lgs. 36/2003). I lavori per la realizzazione di tale copertura definitiva sono stati avviati con la rimozione della copertura provvisoria messa in posa precedentemente, costituita da una geomembrana sintetica in LDPE posata sopra un cospicuo strato di sabbia.

È presente sia una rete di smaltimento del percolato, composta da un drenaggio e da 3 pozzi di prelievo.

È inoltre presente una rete di smaltimento dei biogas composta da 33 pozzi, 3 sottostazioni e una torcia.

Riassumendo, le caratteristiche del Modulo 16 sono:

Tabella 2.1a: Lotti funzionali costituenti il Modulo 16 (Ambito F); un lotto contiene solo umido mentre gli altri due contengono balle legate e cellofanate.

Lotti funzionali	Quota media fondo vasca (m s.l.m.)	h max finale (m s.l.m.)	h rifiuti conferibili (m s.l.m.)	Superficie fondo vasca (m ²)	Volume rifiuti (m ³)
1	1,5	9,20	5	7500	26865
2	1,5	9,20	5	8500	37480
3	1,5	9,20	5	8000	33025

Tabella 2.1b: Sviluppo della coltivazione della discarica

Ambito/area della discarica	Data inizio coltivazione	Data fine coltivazione	Superficie (m ²)	Tipo di copertura attuale	Note
Discarica recintata (ambiti B, C, D) escluso Ambito A, via d'accesso e scarpata	Non nota (non recente)	Fine febbraio 1999	276.000	Terreno argilloso di riporto di spessore variabile (zone escluse dal sormonto)	Raccolta percolato: 3 tubazioni drenanti sul fondo discarica; coltivazione progressiva da est verso ovest. Regimazione acque meteoriche.
Ambito A	Marzo 1999	Agosto 2000	21.500	Terreno argilloso	Regimazione acque superficiali e rete di raccolta del percolato
Coltivazione ex art. 13 (Ambito C)	Settembre 2000	Settembre 2001	44.800	20 cm terreno di riporto argilloso	Coltivazione in sormonto ex art. 13 D. Lgs. 22/97
Coltivazione in sormonto autorizza. D. D. 1278/02 e segg.	Ottobre 2002	Febbraio 2004	55.700	50 cm argilla	Raccolta percolato attraverso rete di raccolta sul fondo di ogni Modulo
Ambito E, ad est dell'attuale recinzione	Non nota (non recente)	Non nota (non recente)	139.200	Terreno argilloso di riporto	Non è presente regimazione del percolato
Modulo 16	2004	31/12/2007	26.000	Copertura def secondo il D. Lgs. 36/2003	Raccolta percolato attraverso rete di raccolta sul fondo di ogni vasca

TEA Sistemi S.p.A.

2.2 IL SISTEMA DI GESTIONE DEL PERCOLATO

2.2.1 Ambito B e C

Su tali aree sono presenti delle canalizzazioni orizzontali che convogliano il percolato presso tre vasche di raccolta (VR1,VR2,VR3 e pozzi B C D, E, F di **Figura 2.2a**) lungo la strada di accesso (lato Nord). La rete di drenaggio del fondo e raccolta del percolato è costituita da tre tubazioni drenanti che tagliano trasversalmente la discarica; ognuno di questi termina dalla parte nord in un pozzo di raccolta posizionato al termine della scarpata, nei pressi della strada d'accesso, da cui il percolato viene inviato alle cisterne di stoccaggio.

In aggiunta a questi dreni orizzontali, con le successive progettazioni (vasche realizzate in sormonto Ambito B e C – 2002) sono stati realizzati 18 pozzi (**Figura 2.2a**) verticali che attraverso delle pompe e condotte in HDPE di vario diametro convoglieranno il percolato ad un sistema di stoccaggio costituito da una batteria di cisterne in vetroresina (n. 8 x 30 m³/cad) che alimentano l'impianto di trattamento depurativo del percolato; i pozzi sono contrassegnati da numeri rossi, esclusi i pozzi dell'Ambito D.

I pozzi sono stati realizzati con trivellazioni di circa 1000 mm per una profondità pari allo spessore dei rifiuti stoccati. Successivamente è stato posato un tubo in HDPE fessurato di 400 mm di diametro, e all'interno la pompa di sollevamento con le relative tubazioni e le linee elettriche. L'anello rimanente è stato riempito con un'intercapedine di materiale drenante per agevolare la filtrazione del percolato. Sul fondo del pozzo, invece, è stato depositato uno strato di argilla di circa 50 cm compattato ($K < 10^{-7}$ cm/s), per proteggere il terreno sottostante dal contatto con il percolato drenato. Tale rete di captazione verticale del percolato, disposta sul perimetro delle vasche in sormonto, costituisce una sorta di barriera idraulica che assicura il mantenimento di livelli di percolato (battente idraulico) inferiori a 1 m.

Figura 2.2a: Schema dei pozzi rossi per il prelievo del percolato.



2.2.2 Ambito A

Il percolato viene raccolto attraverso una rete di captazione e raccolta dal fondo separata dal resto della rete della vecchia discarica, e convogliato verso una vasca di raccolta sotterranea situata nei pressi del piazzale di ingresso/accettazione, da cui viene prelevato e inviato, tramite una linea separata-dedicata, alle cisterne di stoccaggio del percolato.

2.2.3 Ambito D

Il percolato è raccolto attraverso pozzi di nuova realizzazione (pozzi 15, 15/A, 15/B, 15/C, 16, 17/A, 17/B) i quali sono collegati alla condotta principale esistente, dunque una volta azionati mandano il percolato direttamente alle cisterne di stoccaggio percolato.

2.2.4 Ambito E

Questo Ambito attualmente non contiene né una rete di raccolta del percolato, né di drenaggio delle acque superficiali. Tale Ambito rientra nel SIN individuato in base al D.M. 471/99 ed è oggetto di un progetto di bonifica. Tale progetto prevede, tra le altre cose, la realizzazione di 4 pozzi duali utilizzati anche per il controllo del livello e il drenaggio del percolato. Ogni pozzo sarà dotato di adeguata pompa di sollevamento e l'intera rete di emungimento sarà collegata ad un impianto di stoccaggio posto nelle immediate vicinanze dell'impianto di depurazione. I pozzi saranno realizzati con trivellazioni di circa 1000 mm per una profondità pari allo spessore dei rifiuti stoccati. Successivamente sarà posato un tubo in HDPE fessurato di 400 mm di diametro, e all'interno la pompa di sollevamento con le relative tubazioni e le linee elettriche. L'anello rimanente sarà riempito con un'intercapedine di materiale drenante per agevolare la filtrazione del percolato. Sul fondo del pozzo, invece, sarà depositato uno strato di argilla di circa 50 cm compattato ($K < 10^{-7}$ cm/s), per proteggere il terreno sottostante dal contatto con il percolato drenato.

2.2.5 Vasche realizzate in sormonto sui vecchi rifiuti

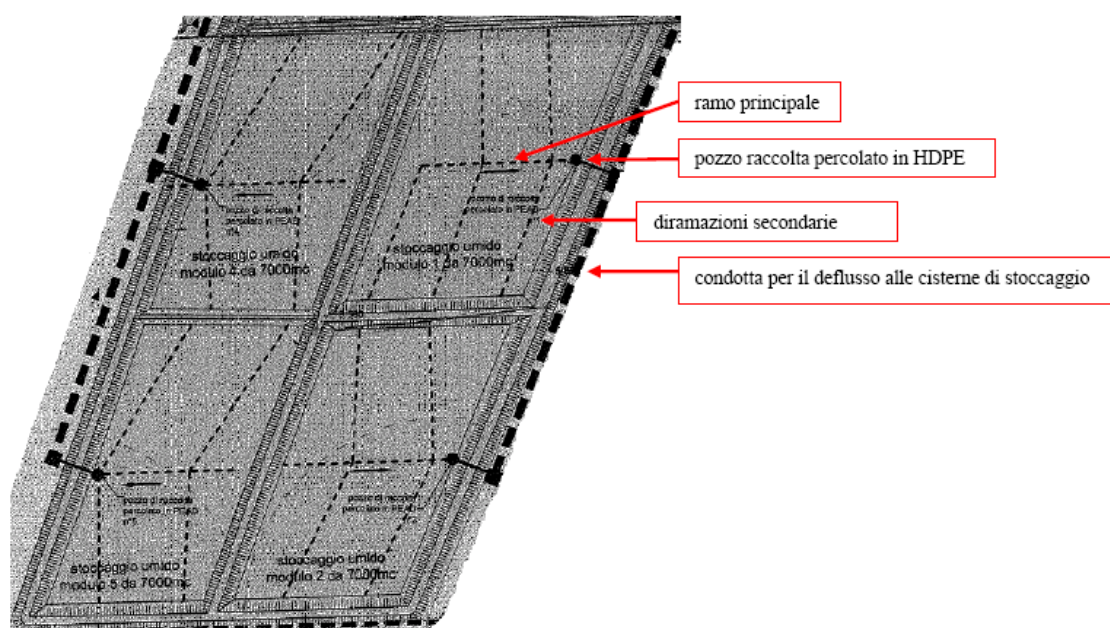
Il percolato viene emunto attraverso una rete drenante in HDPE fessurato, posta sul fondo vasca all'interno del sistema di impermeabilizzazione, a 'lisca di pesce' con ramo principale di diametro 160 mm (PN 16) e diramazioni di diametro 110 mm (**Figura 2.2b**).

Ogni Modulo costituisce un bacino idraulicamente indipendente.

In questo modo il percolato può essere inviato con continuità ai collettori principali, e da questi verso i pozzetti di raccolta del percolato presente in ogni singolo Modulo, evitando la creazione di

livelli sospesi all'interno dell'ammasso dei rifiuti. I pozzetti di raccolta del percolato (**Figura 2.2c**) sono in HDPE (diametro 400 mm e PN4), e sono stati appoggiati e opportunamente ancorati alla scarpata interna del rilevato perimetrale delle vasche, permettendo di collegamento al collettore drenante senza dover attraversare lo strato impermeabile del fondo vasca.

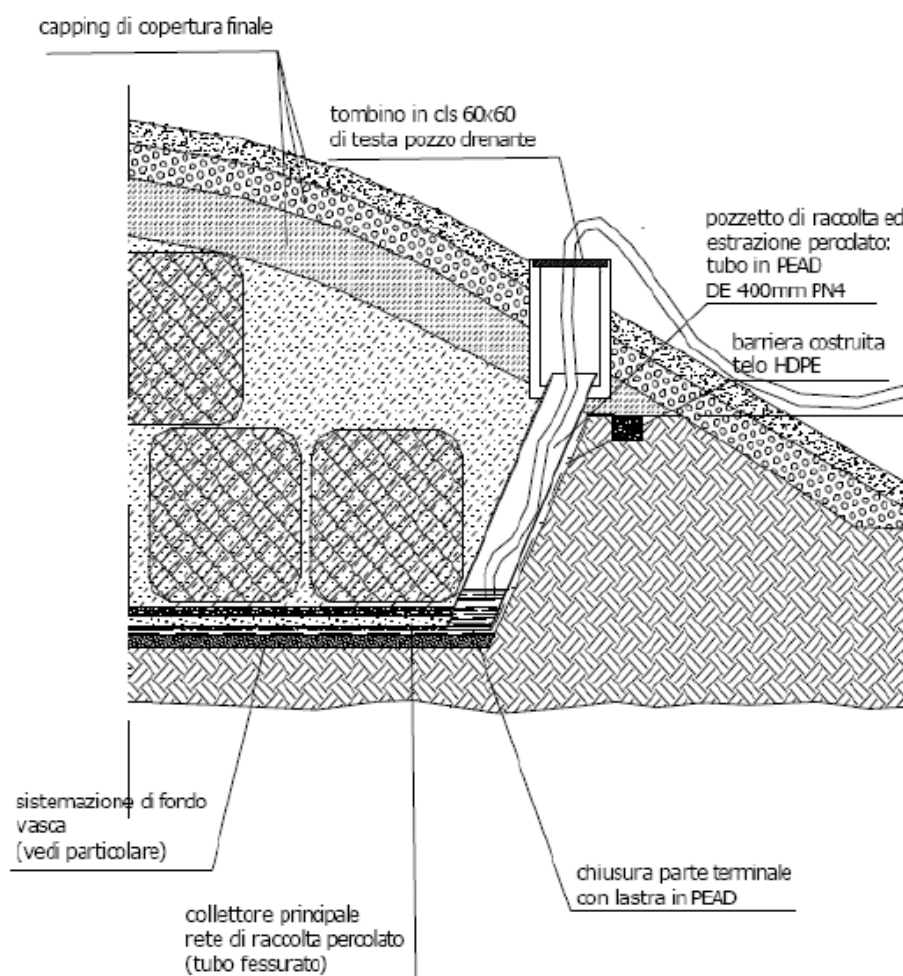
Figura 2.2b: Rappresentazione della rete drenaggio percolato sulle vasche in sormonto alla vecchia discarica realizzate con ordinanze presidenziali (ex. Art. 13 D. Lgs. 22/1997)



2.2.6 Modulo 16

In quest'area il sistema di gestione del percolato è conforme alle prescrizioni di cui al D. Lgs. 36/2003. Il percolato viene raccolto all'interno di ciascuno dei tre lotti ed accumulato fino al livello minimo compatibile con i sistemi di sollevamento e di estrazione, comunque non oltre 0,5 m. La rete di drenaggio (**Figura 2.2d**) è composta da una serie di condotte drenanti secondarie (pendenza 3%) di diametro pari a 160 mm, confluenti in un collettore drenante principale di lunghezza pari a circa 1 ml (pendenza media 1,5%) e diametro di 200 mm. Tali tubazioni sono in HDPE PN 16, con macrofessurazione a 120° e interasse fra le fessure di 30 mm. I collettori principali confluiscono ognuno presso il pozzo di raccolta e prelievo (tipo *slope riser*), in HDPE diametro 400 mm, adagiato e ancorato alla scarpata interna di ognuno dei tre lotti.

Figura 2.2c: Sistema di captazione del percolato vasche in sormonto

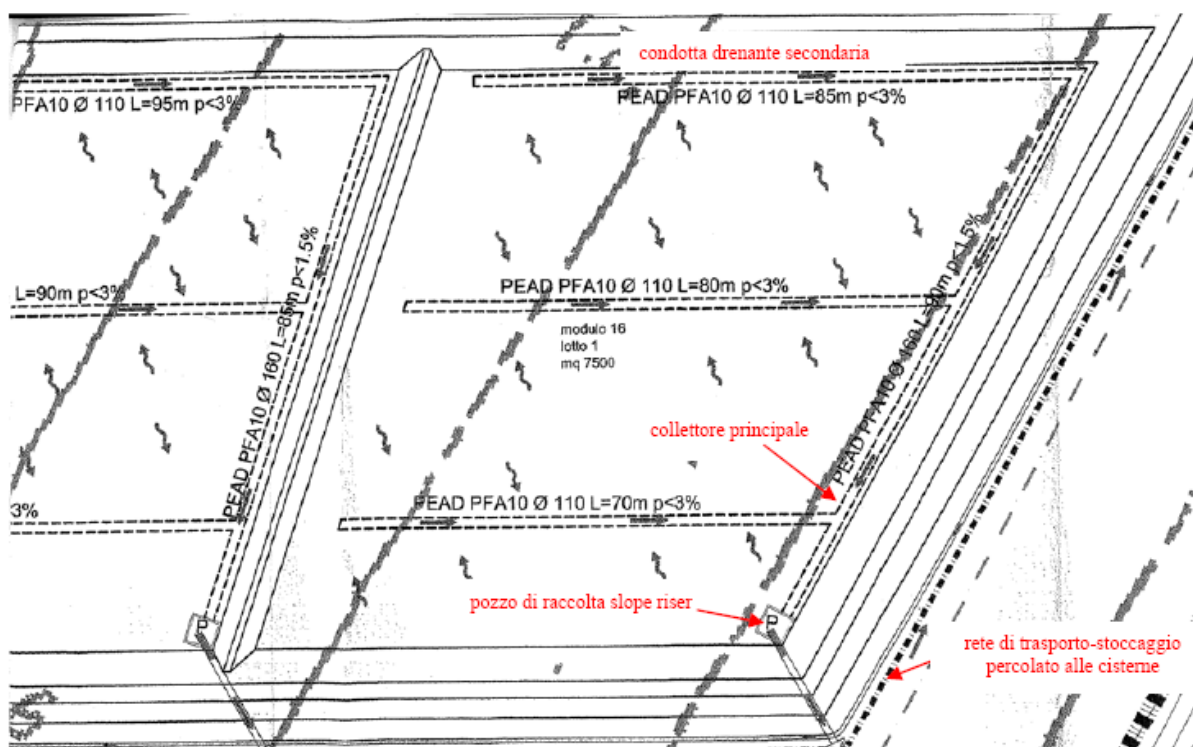


Il percolato raccolto attualmente viene pompato verso la batteria di cisterne in vetroresina (n. 8 x 30 m³/cad) tramite delle pompe immerse e attraverso un'apposita condotta; 4 delle 8 cisterne sono dedicate esclusivamente alla raccolta del percolato del Modulo 16, dunque 120 m³ di stoccaggio dedicati al Modulo 16.

Nelle rimanenti altre 4 cisterne viene raccolto il percolato proveniente dalla porzione di discarica coltivata in sormonto alla vecchia discarica e la porzione di discarica "vecchia" non interessata dal sormonto (il resto della discarica).

La società S.I.T. S.r.l. si occupa della gestione del percolato.

Figura 2.2d: Rete drenaggio del percolato nei 3 lotti del Modulo 16



2.2.7 Depuratore percolato

La depurazione del percolato viene garantita dal depuratore del percolato in grado di trattare circa 110 m³ al giorno, con una percentuale di recupero del 75%.

Il permeato, accuratamente certificato che i valori analitici siano compresi in Tabella 3 (D. Lgs. 152/06), viene scaricato nel fosso Squartapaglia, mentre per quanto riguarda il concentrato, limitatamente a quello prodotto dalla depurazione del percolato proveniente dal modulo 16 viene reimpresso nello stesso tramite due pozzi. Il concentrato prodotto dalla depurazione del percolato proveniente dalla depurazione del percolato proveniente dagli ambiti vecchi viene smaltito esternamente.

Il quantitativo complessivo di percolato trattato in sito è pari a 36175mc. Il dato è stato comunicato dall'amministrazione comunale a TEA Sistemi.

Tabella 2.2a: Percolato raccolto – 2022

Totale/anno	SIT S.p.A.
	Percolato raccolto (m³)
2022	36175 + 0 smaltiti fuori

3 CALCOLO DEL BILANCIO IDROLOGICO

L'espressione analitica del bilancio idrologico di un impianto di interrimento controllato può essere espressa nella seguente forma:

$$L = P + RC + R^* + If \pm K - R - ET - L^* - DL - DU - W$$

dove:

L = percolato drenato dalla rete di collettamento;

P = afflussi meteorici;

RC = ricircolo del percolato;

R* = ruscellamento da aree esterne alla discarica;

If = eventuale infiltrazione dalla falda idrica;

K = produzione o consumo idrico dovuto alle reazioni biochimiche di degradazione aerobica ed anaerobica della sostanza organica contenuta nei rifiuti;

R = ruscellamento dalla superficie della discarica;

ET = evapotraspirazione;

L* = perdite di percolato dal fondo della discarica;

DL = drenaggio laterale del capping;

DU = variazione del contenuto idrico dei rifiuti;

W = acqua meteorica drenata dalla rete di collettamento.

Sulla dinamica di formazione del percolato influiscono essenzialmente i seguenti fattori:

- 1) condizioni meteorologiche, ed in particolare le disponibilità idriche (piovosità, acqua di ritenzione dei fanghi, ricircolo del percolato, irrigazione della superficie di copertura, presenza di falde);
- 2) caratteristiche della superficie di copertura (caratteristiche pedologiche e vegetazionali, configurazione topografica del sito, presenza o meno di uno strato di sigillatura dei rifiuti);
- 3) caratteristiche dei rifiuti (massa volumica, imballaggio dei rifiuti, tasso di umidità del rifiuto stoccato, pezzatura).

TEA Sistemi S.p.A.

Nella maggior parte dei casi l'equazione precedente si semplifica nella forma:

$$L = P + RC - R - ET - DL - DU$$

in quanto, almeno nelle discariche realizzate sulla base di moderni criteri di progettazione, sono da considerarsi nulli gli apporti da acque di falda e il ruscellamento superficiale da zone esterne alla discarica, come anche le perdite dalla superficie di fondo della stessa. Inoltre si possono trascurare l'acqua prodotta durante la fase di biostabilizzazione del rifiuto e quella consumata dalle reazioni anaerobiche.

Nel caso di discariche in cui non sono disponibili informazioni dettagliate riguardo alle caratteristiche del capping, o per discariche in cui non sono ancora state posate le coperture definitive, e trascurando la variazione di umidità del rifiuto, che può essere irrilevante nel lungo periodo (passo temporale annuale), la formula del bilancio idrologico si può ulteriormente semplificare in:

$$L = P + RC - R - ET$$

in cui quindi restano da calcolare i termini relativi al ruscellamento superficiale e all'evapotraspirazione.

Solitamente il percolato prodotto, depositato sul fondo della discarica per gravità, viene drenato in apposite tubazioni e pompato in cisterne di stoccaggio provvisorio, prima di essere inviato allo smaltimento. Il sistema di raccolta del percolato deve essere particolarmente efficiente, in quanto un ristagno del percolato sul fondo della discarica può provocare:

- la diminuzione della stabilità dell'ammasso di rifiuti e la formazione di superfici di scivolamento, in grado di causare smottamenti di frazioni anche considerevoli;
- l'aumento del carico idrostatico di percolato sulla copertura di fondo con la formazione di un battente idrico che regola la potenziale fuoriuscita di liquame e la conseguente immissione nel sottosuolo;
- il peggioramento delle caratteristiche qualitative del percolato che si carica maggiormente di sostanze inquinanti contenute nei rifiuti per effetto di un tempo di contatto più lungo.

3.1 METODI UTILIZZATI

Per il calcolo del percolato prodotto, sono state utilizzate le metodologie testate nello ‘studio di fattibilità per la depurazione del percolato della discarica Le Strillaie’ redatto dal Consorzio Pisa Ricerche nell’aprile 2004 per conto dell’amministrazione comunale di Grosseto. Le metodologie scelte sono il *Metodo manuale semplificato* e il *Modello empirico semplificato*.

3.1.1 Metodo manuale semplificato

Il metodo di tipo ‘manuale’ si basa su equazioni teoriche ed empiriche, scegliendo le formule più adatte al caso specifico in relazione ai dati a disposizione. I parametri da stimare sono quelli del bilancio idrologico per una discarica, così come è stato presentato nell’equazione riportata nel Paragrafo 3.

In particolare si analizza la stima dell’evapotraspirazione.

Evapotraspirazione

I fenomeni di evaporazione intervengono nel ciclo idrologico dal momento in cui le precipitazioni raggiungono la superficie del suolo. La quantità d'acqua evaporata prima di questo istante non rientra nei calcoli idrologici, dato che le altezze di precipitazione si misurano al suolo. Con il termine evaporazione si intende il fenomeno fisico attraverso il quale l'acqua si trasforma in vapore. La traspirazione è il fenomeno biologico per cui l'acqua è assorbita dalle radici delle piante e quindi emessa dalle foglie sotto forma di vapore. Infine, con il termine evapotraspirazione si intende la somma dei due processi. In genere si parla di evaporazione durante la fase di gestione della discarica, in cui il suolo non è inerbito, e di evapotraspirazione per le aree inerbite e eventualmente piantumate.

Con il termine *evapotraspirazione* si intende il valore limite, dato dall'altezza d'acqua effettivamente evaporata quando la quantità d'acqua disponibile è almeno uguale a quella che può essere trasformata in vapore dal complesso dei fattori atmosferici e dalla vegetazione. Ovviamente l'evapotraspirazione reale sarà inferiore o uguale a quella potenziale.

La stima dell’*evapotraspirazione potenziale* non è sempre possibile, poiché molte relazioni proposte in letteratura richiedono informazioni sull’intensità della radiazione solare, sull’umidità relativa (es. formula di Penmann). In mancanza di questi dati si possono utilizzare delle formule più semplici (es. formula di Thornthwaite), con il rischio di introdurre errori rilevanti nel calcolo.

Il passo successivo alla stima dell'evapotraspirazione potenziale prevede il calcolo dell'evaporazione reale a partire dalla capacità di campo della copertura superficiale.

Per climi mediterranei, in cui il terreno non è saturo per la maggior parte dell'anno e per discariche ancora in gestione, in cui si hanno comunque diversi tipi di coperture e in cui l'inerbimento è ancora parziale, l'uso della *formula di Turc* per il calcolo del termine di evapotraspirazione reale si rivela il più pratico, anche se è necessario tenere presente il margine di errore che si può introdurre a causa delle eccessive semplificazioni.

L'evapotraspirazione reale viene espressa secondo la formula:

$$ET_r = \frac{P_a}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P_a}{L}\right)^2}}$$

dove:

P_a = altezza di precipitazione annua (mm/anno);

L = potere evaporante dell'atmosfera = $300 + 25 T_a + 0,05 T_a^3$;

T_a = temperatura media annua (°C).

3.1.2 Modello empirico semplificato

Il ricercatore T. Gisbert, di SITA France, ha messo a punto un modello semplificato per la stima del bilancio idrologico, particolarmente utile in condizioni in cui i dati a disposizione siano scarsi. Il modello è implementato attraverso un semplice foglio elettronico di facile applicazione (Gisbert, 2003).

Il modello calcola su base annuale la produzione di percolato come differenza fra l'acqua che riesce ad infiltrarsi nel corpo della discarica e quella che si perde dal fondo, tramite formule semplificate basate su coefficienti derivati da studi sul campo.

I coefficienti moltiplicativi utilizzati nelle formule per stimare l'acqua infiltrata dalle precipitazioni sono ricavati dall'analisi di dati reali di precipitazioni e produzione di percolato. Il modello si basa sulle seguenti assunzioni semplificative:

- caratteristiche ‘standard’ del rifiuto, considerato prevalentemente urbano e non giovane (almeno di 1 anno di vita);
- clima temperato;
- non considera il ricircolo di percolato;
- non considera la quantità di percolato inizialmente presente, ovvero si assume che questa non vari nel tempo (percolato prodotto = percolato raccolto);
- passo temporale della stima: annuale.

Nonostante le limitazioni appena poste e i pochi dati d’ingresso richiesti, questo strumento produce delle buone stime. Il modello porta a grandi errori solo in caso di bassa produzione di percolato ($V < 500 \text{ m}^3/\text{anno}$) e a sovrastime nel caso in cui le assunzioni di applicabilità non siano rispettate.

Secondo questo modello il percolato prodotto nel mese i -esimo è stato calcolato con la seguente formula:

$$Li = Ii - L*i$$

dove:

Li = percolato drenato dalla rete di collettamento;

Ii = infiltrazione nel corpo della discarica;

L*i = perdite di percolato dal fondo della discarica.

L’infiltrazione di acque meteoriche nella discarica, al netto delle perdite per ruscellamento superficiale e per evapotraspirazione, è stata calcolata per il mese i -esimo come la somma delle acque che si infiltra per ogni tipologia di superfici presenti:

$$Ii = \sum Ij = Pi \cdot \sum (Cj \cdot Sj)$$

dove:

Cj = coefficiente di infiltrazione netta per la superficie di tipo j -esimo (empirico);

Sj = estensione della superficie di tipo j -esimo;

Pi = afflussi meteorici nel mese i -esimo.

3.2 APPLICAZIONE E RISULTATI DEL MODELLO MANUALE SEMPLIFICATO

La quantità di percolato prodotto è stata stimata utilizzando l'equazione di bilancio idrologico semplificata:

$$L = P_e + RC - R - ET$$

Il termine relativo alle precipitazioni efficaci (P_e), è stato valutato sulla base di:

- i dati registrati nell'anno 2022 dalla stazione meteorologica di Grosseto del LaMMA (*Tabella 3.2a*);
- l'estensione delle superfici in uso utilizzate al fine del calcolo del bilancio idrologico riportati in *Tabella 3.2b*.
-

Tabella 3.2a: Dati meteorologici utilizzati

Dati meteorologici Grosseto - 2022			
Mese	Temp minima (°C)	Temp massima (°C)	Pioggia (mm)
Gennaio	4.5	13.2	26.8
Febbraio	5.1	15.3	24.2
Marzo	5.3	15.7	23.4
Aprile	8.1	18.8	31.8
Maggio	14.3	25.9	31.6
Giugno	19.5	31.3	2.2
Luglio	21.3	34	1.6
Agosto	21.4	33	10.8
Settembre	16.8	27.2	224.8
Ottobre	14.4	24.8	1.6
Novembre	9.5	18.2	106
Dicembre	8.7	15.5	136
Totale anno 2022			620.8

TEA Sistemi S.p.A.



Tabella 3.2b: Estensione dei vari ambiti utilizzati per l'applicazione del modello manuale semplificato

Dati	Ambito C	Ambito B sormonto	Ambito A	Ambito B non in sormonto	Ambito D	Modulo 16	Totale
Superficie considerata (m²)	44.800	56.000	21.500	85.000	72.800	26.000	306.100

TEA Sistemi S.p.A.

Il termine **R**, relativo al ruscellamento, è da considerarsi trascurabile nelle condizioni del sito in esame, in quanto la quasi totalità della discarica ha pendenze nulle e sulle coperture non vi sono canalizzazioni superficiali che convogliano le acque meteoriche.

Il termine di evapotraspirazione è stato calcolato utilizzando la formula di Turc.

$$ET_r = \frac{P_a}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P_a}{L}\right)^2}}$$

Dai calcoli effettuati sono stati ricavati i risultati riportati in **Tabella 3.4c**.

In conclusione il volume di percolato prodotto dalla discarica nel 2022 risulta essere pari a circa **22000 m³**.

Tabella 3.2c: Risultati ottenuti col modello manuale semplificato

Precipitazione totale (mm/anno)	L - Potere evaporante dell'atmosfera (mm)	Temperatura media annua (°C)	Superficie in uso (m²)	Volume di pioggia (m³)	Evapotraspirazione (m³)	Percolato prodotto (m³/anno)
620.8	1010.8	17.5	306.100	190027	168146	21881

3.3 APPLICAZIONE E RISULTATI DEL MODELLO EMPIRICO SEMPLIFICATO

La quantità di percolato prodotta è stata stimata utilizzando il modello empirico semplificato proposto da Gisbert.

Come riportato dettagliatamente nel paragrafo 3.1.2 è stata calcolata la seguente formula:

$$Li = Ii - L*i$$

in cui:

$$Ii = \sum Ij = Pi \cdot \sum (Cj \cdot Sj)$$

Sono state considerate tre tipologie di coperture, ad ognuna delle quali corrisponde un diverso coefficiente di infiltrazione delle acque meteoriche:

- 1) nessuna copertura (**Cj = 0,6**);
- 2) copertura con 20 cm di terreno di riporto argilloso (**Cj = 0,28**);

3) copertura con 50 cm di terreno argilloso ($C_j = 0,2$).

La perdita del percolato dal fondo vasca dei lotti di coltivazione è funzione delle caratteristiche costruttive e del carico idraulico, dato dall'altezza del percolato rispetto alla base delle vasche.

Per il calcolo della perdita dal fondo è stata applicata la seguente formula:

$$L \cdot i = I_i \cdot C^*$$

dove C^* è il coefficiente di perdita dal fondo che è stato stimato da Gisbert per diverse altezze e tipologie di fondo.

La struttura del fondo vasca dei lotti di coltivazione è costituita da geomembrane ed argilla; il coefficiente C^* proposto è $0,0025 \text{ m}^3/\text{anno}$, corrispondente ad una perdita di 2,5 litri di percolato per 1 m^2 di fondo all'anno.

La suddivisione in aree omogenee della discarica e i coefficienti empirici utilizzati per le varie tipologie di superficie sono riportati in **Tabella 3.3a**. Come specificato nel Paragrafo 1, le informazioni sulla coltivazione della discarica (estensione delle superfici e tipologie di coperture) sono state ricavate da elaborati progettuali precedenti o sono state fornite dal gestore.

Tabella 3.3a: Dati utilizzati per l'applicazione del modello empirico semplificato

Dati	u.m.	Ambito C sormonto	Ambito B sormonto	Ambito A	Ambito B non in sormonto	Ambito D	Modulo 16
Tipo di copertura		20 cm argilla	20 cm argilla	20 cm argilla	2 ÷ 3 m argilla	D. M. 471/1999	D. Lgs. 36/2003
Area copertura (Sj)	m^2	44.800	56.000	21.500	85.000	72.800	26.000
Coefficiente copertura (Cj)	m^3/m^2	0,28	0,28	0,28	0,2	0,28	0,2
Coefficiente fondo	m^3/m^2	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
Area fondo	m^2	45.000	56.000	21.500	102.200	72.800	26.000

Dai calcoli effettuati sono stati ricavati i risultati riportati nella **Tabella 3.3b**.

Tabella 3.3b: Risultati ottenuti col modello empirico semplificato

Precipitazione iesima media (mm/mese)	Superficie totale (m²)	Infiltrazione (m³/anno)	Perdita dal fondo (m³/anno)	Superficie del fondo (m²)	Percolato (m³/anno)
51.7	306.100	47695	119.24	323.500	47576

In conclusione con il metodo di Gisbert si stima una produzione di percolato per l'anno 2022 pari a circa **47.000 m³**.

4 CONCLUSIONI

I metodi scelti in questo studio per il calcolo del percolato prodotto sono stati già testati in precedenti studi e hanno sempre fornito stime affidabili della produzione di percolato (**Tabella 5a**). Tutti i dati relativi alle superfici in uso e agli spessori delle coperture sono stati forniti da SIT Spa.

Da gennaio 2011 è in funzione presso il sito un impianto di trattamento del percolato che annualmente tratta circa 34.000m³ di liquami.

Si ricorda che la stima della produzione del percolato prodotto comprende anche il modulo 16.

I due metodi di stima di produzione del percolato portano per l'anno 2022 le seguenti due valutazioni: **21.881 m³** (modello manuale) e circa **47.576 m³** (modello empirico semplificato).

Il percolato trattato in sito è pari a **36.175 m³**.