

## CHIUSURA E RISANAMENTO DI UNA DISCARICA NON CONTROLLATA A SARAYKÖY, DISTRETTO DI DENİZLİ

### 1. Scopo e ambito del progetto

Nei Paesi meno sviluppati e in via di sviluppo, i rifiuti solidi vengono smaltiti indiscriminatamente in aree aperte, lontano dai quartieri residenziali. Questo metodo è stato utilizzato per la rimozione dei rifiuti solidi in Turchia per molti anni. Mentre la quantità di rifiuti solidi nelle città è aumentata con la crescente migrazione dalle aree rurali a quelle urbane, le discariche di rifiuti sono rimaste all'interno delle aree di insediamento a causa di un'urbanizzazione non adeguatamente pianificata.

La tutela dell'ambiente, la prevenzione dell'inquinamento ambientale e la gestione dei rifiuti sono regolati secondo la Legge sull'ambiente n. 2872 pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'11.08.1983 e numerata 18132, nel Regolamento sulla gestione dei rifiuti pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 02.04.2015 e numerato 29314 e in altri regolamenti legali pertinenti. In questo contesto, la discarica che ha iniziato a essere utilizzata nel 2007 nel distretto di Sarayköy della provincia di Denizli, dovrebbe essere chiusa. L'obiettivo è riabilitare l'area di stoccaggio incontrollata in conformità con i regolamenti e le condizioni tecniche pertinenti.

### 2. Informazioni generali sulla discarica da risanare

Il distretto turco di Sarayköy dista 20 km dal centro di Denizli e confina con Buldan a nord, Denizli a est, Babadağ a sud, Buharkent e Kuyucak a ovest. La sua superficie è di 470 km<sup>2</sup>. La posizione geografica del distretto di Sarayköy è mostrato nella Figura 1.

La discarica non controllata è stata operativa dal 2007 fino al 2014. L'immagine satellitare della discarica non controllata di Sarayköy è riportata nella Figura 2. Dal 2014, i rifiuti raccolti nel distretto vengono portati alla discarica controllata di Kumkısıık ma fino a quel momento nella discarica non controllata venivano scaricate in media 33,5 tonnellate al giorno di rifiuti.

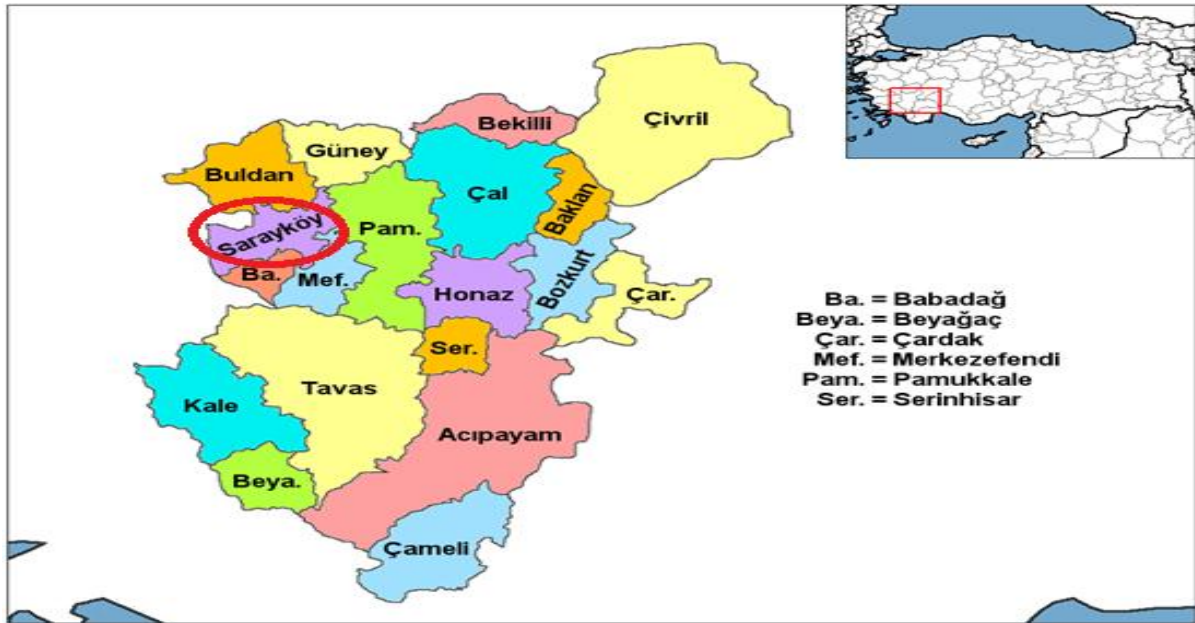


Figura 1. Posizione geografica di Sarayköy e del distretto di Denizli

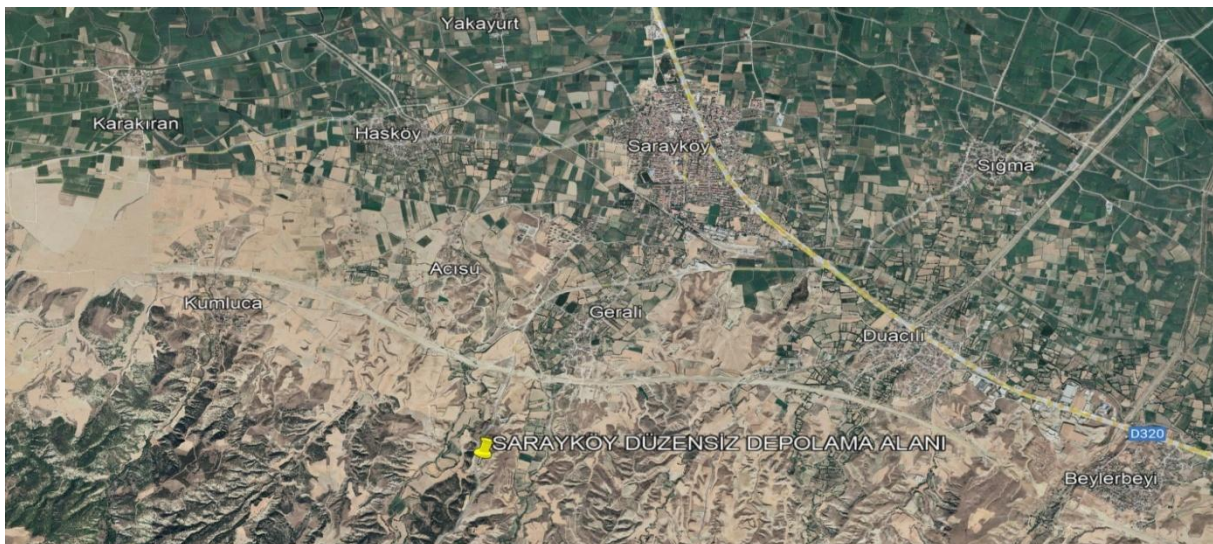


Figura 2. Immagine satellitare dell'area dove sorge la discarica di Sarayköy

### 3. Osservazioni prima del risanamento

Nella discarica in questione, la massa informe di rifiuti occupava circa 2,5 ettari prima che venissero eseguite le attività di risanamento. Inizialmente il gas di discarica formatosi non controllata non può essere completamente rimosso dalla massa di rifiuti, né isolato completamente all'interno della massa. Il fumo denso prodotto dalla combustione attiva e passiva nella discarica colpisce le aree residenziali e l'autostrada adiacente. Le immagini del sito della discarica non controllata prima dell'operazione di risanamento sono mostrate nella Figura 3.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Foto della discarica non controllata prima del risanamento

#### 4. Il rapporto tra popolazione e quantità di rifiuti

##### 4.1. Popolazione

Per quanto riguarda la produzione di rifiuti del distretto di Sarayköy, i dati principali vengono riportati nella Tabella 1. I valori per gli anni precedenti sono stati ottenuti dall'Istituto di statistica turco (TUIK). L'area di stoccaggio, che ha iniziato a essere utilizzata nel 2007, ha servito 32 piccoli centri abitati del distretto di Sarayköy fino alla sua chiusura. Il valore medio della popolazione tra il 2007 e il 2014 è risultato essere di 29.888 abitanti ed è riportato nella Tabella 1.

Tabella 1. Dati popolazione di Sarayköy (TUIK)

<b>Anno</b>	<b>Popolazione</b>
2007	30.028
2008	30.310
2009	30.031
2010	29.854
2011	29.842
2012	29.650
2013	29.650
2014	29.739
<b>Totale</b>	<b>239.158</b>



## 4.2. La quantità di rifiuti stimata

Per stimare la quantità di rifiuti presenti nelle discariche si utilizzano due metodi diversi. Il primo metodo consiste nel determinare le quantità di rifiuti degli anni passati con l'aiuto di proiezioni demografiche a ritroso e delle quantità unitarie di rifiuti. Il secondo metodo consiste nel determinare la quantità stimata di rifiuti presenti sul campo attraverso la modellazione 3D utilizzando le mappe ottenute come risultato dell'attuale acquisizione cartografica. Tuttavia, a causa dei fattori che causano la diminuzione del volume dei rifiuti, come il degrado, la combustione nelle discariche, le quantità di rifiuti per il periodo in cui il sito era in funzione sono state calcolate in base alla popolazione.

Per determinare la quantità di rifiuti a ritroso si utilizza la seguente formula.

$$W = N \times f \times w$$

W: Quantità di rifiuti (tonnellate/anno)

N: Popolazione (persone)

w: La quantità di rifiuti prodotti per persona nel tempo t (kg/persona/al giorno)

f: Fattore di conversione tra unità (365 giorni/anno \* 10<sup>-3</sup> ton/kg)

Secondo questa affermazione, la popolazione e la produzione giornaliera di rifiuti giocano un ruolo importante nel determinare la quantità di rifiuti prodotta. La quantità media di rifiuti pro capite (kg/persona-al giorno) è stata ottenuta dai dati annunciati dal TUIK ogni due anni, e la sua media è mostrata nella Tabella 2.

Tabella 2. Quantità media di rifiuti pro capite (TUIK)

Anno	Quantità media di rifiuti prodotti per persona (kg/persona-al giorno)
2008	1,15
2010	1,14
2012	1,12
2014	1,08
<b>Media</b>	<b>1,12</b>

Secondo i valori medi ricavati dalla Tabella 1 e dalla Tabella 2;

N: 239.158 persone

$w(t)$ : 1,12 (kg/persona/giorno)

$W = 239.158 \text{ persone} \times 1,12 \text{ kg/persona/giorno} \times 365 \text{ giorni/anno} \times 10^{-3} \text{ tonnellate/kg}$

$f$ : (365 giorni/anno  $\times$  10<sup>-3</sup> ton/kg)

$W = 97.767,79 \text{ ton/anno}$  (rifiuti totali)

La densità dei rifiuti è di 0,6 tonnellate/m<sup>3</sup>. Quindi, un totale di 162.946 m<sup>3</sup> di rifiuti è stato risanato nella discarica non controllata di Sarayköy.

## **5. Il processo di risanamento della discarica non controllata**

Circa **162.946 m<sup>3</sup>** di rifiuti domestici appartenenti a Sarayköy sono stati stoccati nella discarica non controllata; la sua profondità è di 6,5 m mentre l'area si estende per 2,5 ettari. In quest'area sono stati effettuati il monitoraggio della pendenza e la costruzione di un argine, la creazione di un sistema di copertura superiore, il drenaggio delle acque superficiali e il sistema di gestione dei gas.

### **5.1. La stabilità dei versanti e la creazione delle barriere**

La stabilità dei versanti e la costruzione delle barriere garantiscono la stabilità dell'area di fondazione in caso di eventuali smottamenti del terreno. Grazie alla pendenza dei versanti, gli strati di copertura finali possono essere installati in modo sicuro. La ripidità dei versanti, soprattutto nella parte settentrionale della discarica dove veniva effettuato lo stoccaggio degli RSU, è stata ridotta di 1/3 **movimentando circa 10.000 m<sup>3</sup> di rifiuti**. La pendenza sulla sommità dell'area è stata regolata al 3% in modo da garantire il drenaggio delle acque di ruscellamento superficiali. Le barriere pensate per circondare il corpo rifiuti sono state progettate con una sezione planare di 4 m, realizzate con del materiale marnoso ottenuto durante gli scavi nell'area. Le barriere sono state compattate in modo da formare uno strato di 30 cm. Le trincee drenanti sono state costruite all'esterno delle barriere. Le foto della discarica non controllata di Sarayköy durante il processo di risanamento sono riportate nella Figura 4.

### **5.2. Lo strato di copertura finale**

Al termine dello studio di risanamento della discarica non controllata di Sarayköy, il sito è stato ricoperto. Gli obiettivi dello strato di copertura finale impermeabilizzato sono:

- Impedire che i rifiuti vengano a contatto con le aree circostanti,

- Bloccare le infiltrazioni di acqua piovana nel corpo rifiuti e minimizzare la quantità di percolato,

- Prevenire l'erosione nell'area di stoccaggio dei rifiuti

- Minimizzare le emissioni di gas serra nell'atmosfera,

- Minimizzare le emissioni che hanno effetti negativi sull'ambiente.

Il pacchetto di copertura finale realizzato nell'ambito del processo di risanamento dell'area della discarica di Buldan comprende i seguenti strati dal basso verso l'alto:

- Strato base di terreno livellato di 50 cm,

- Strato impermeabile minerale (argilla) di 50 cm,

- Strato drenante di 30 cm,

- Strato vegetativo di 50 cm



(a)



(b)

Figura 4. Foto dell'area della discarica durante il processo di risanamento

### **5.3 Strato di base livellato**

Lo strato base è a diretto contatto con il corpo rifiuti e viene steso come prima parte del pacchetto di copertura finale. Questo strato è costituito da materiale terroso altamente permeabile che viene compattato con un rullo vibrante. In genere, il suo spessore è di circa 30 cm.

### **5.4 Strato impermeabile minerale**

Lo strato impermeabile minerale è costituito da materiale argilloso. Lo spessore di questo strato è di 50 cm e il suo coefficiente di impermeabilità è  $k \leq 1 \times 10^{-9}$  m/s. Il materiale argilloso naturale è stato ottenuto dalle cave utilizzate per la discarica di Kumkısıık. In queste cave è disponibile una quantità sufficiente di argilla.

### **5.5 Strato drenante**

Per formare uno strato di drenaggio di 30 cm di spessore è stata utilizzata ghiaia di 16-32 mm di diametro. La ghiaia deve essere priva di calce o avere un livello di calce inferiore al 20%. Per lo strato di drenaggio sono stati utilizzati materiali duri e a grana rotonda, con una permeabilità di  $k = 1 \times 10^{-4}$  m/s.

### **5.6 Strato vegetativo**

Per proteggere tutti gli strati dell'ultima copertura e per eseguire le operazioni di piantagione nell'ultima copertura, si colloca uno strato di terreno nella parte superiore. Lo strato minimo di terreno deve essere di 0,50 m. Questo strato contribuisce a evitare l'erosione e a migliorare la qualità del paesaggio. Per l'impianto della vegetazione si devono scegliere, tra le specie locali,



specie a radice corta e autopropaganti, in grado di crescere in terreni contaminati e in cattive condizioni.

### 5.7 La regimazione delle acque superficiali

Il letto asciutto del torrente che scorre parallelamente al campo svolge una funzione di drenaggio naturale delle precipitazioni. La pendenza del 3% data nel livellamento della superficie assicura il flusso delle precipitazioni che cadono in superficie verso questo letto di ruscello secco. All'esterno dell'argine che circonda il sito sono stati creati dei canali trapezoidali di raccolta delle acque piovane per raccogliere le precipitazioni che cadono in questi bacini. In questo modo, le acque di precipitazione che dal letto del torrente si sono dirette verso la massa di rifiuti sono state drenate facendo circolare il sito. I canali aperti a sezione trapezoidale hanno per lo più lo scopo di rimuovere l'acqua diretta alla massa di rifiuti dall'esterno. La sezione trasversale del canale delle acque di superficie è riportata nella Figura 5. Inoltre, il canale di drenaggio è stato coperto con 10 cm di calcestruzzo.

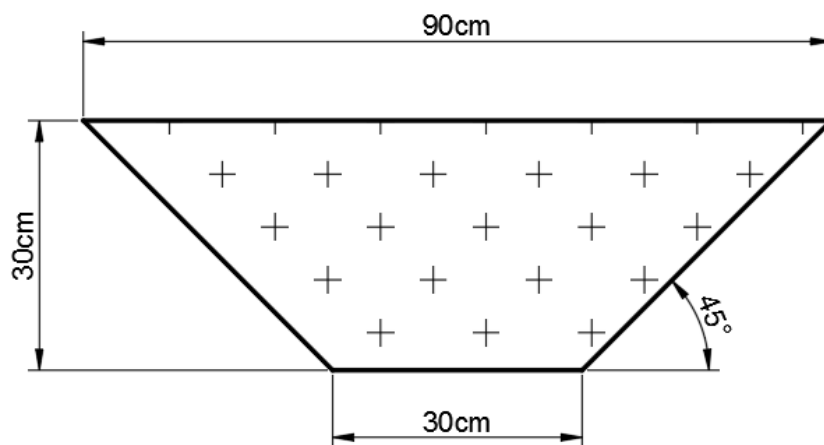


Figure 5. Surface water channel section

### 5.8 Sistema di captazione dei gas di discarica

Nella discarica non controllata verrà utilizzato un sistema verticale di raccolta dei gas di discarica. Il sistema di raccolta del gas consiste in pozzi di raccolta del gas riempiti di materiale ghiaioso posti a intervalli appropriati e tubi perforati collocati all'interno. Il diametro effettivo dei pozzi di raccolta del gas nelle discariche è di circa 50-60 metri. Nella discarica di Sarayköy sono stati realizzati in totale 12 pozzi verticali. I pozzi di raccolta del gas hanno un diametro approssimativo di 800 mm e un'altezza di 9 metri. Nei pozzi di raccolta dei gas è stato utilizzato un tubo in polietilene ad alta densità (HDPE) con un diametro interno di 100 mm, resistente agli effetti corrosivi del percolato. Come materiale filtrante tra la parete del pozzo e il tubo di raccolta, è stata utilizzata ghiaia priva di carbonati con una distribuzione delle particelle di 16/32

mm o 32/64 mm. Questo materiale è dotato di una rete d'acciaio all'esterno. La creazione del camino per il gas è illustrata nella Figura 6.



(a)



(b)

Figura 6. Installazione dei pozzi di captazione del gas

## 5.9 Il piano paesaggistico

L'obiettivo è stato quello di trovare un equilibrio che tenesse conto delle condizioni tecniche, economiche ed estetiche per la riabilitazione della discarica di Buldan. È stato previsto che le piante dell'area non sarebbero state curate se non con una manutenzione periodica. Il piano paesaggistico è stato disegnato di conseguenza.

Nella pianificazione:

- L'area è considerata un blocco unico
- Nell'area del progetto sono state scelte alcune piante e un sistema per facilitare l'esecuzione del lavoro da parte dell'operatore.
- È stato realizzato un progetto che consente di apportare modifiche e aggiunte nel tempo.
- I materiali utilizzati sono facilmente reperibili e applicabili e sono stati scelti in linea con le caratteristiche regionali.
- Anche il clima e le caratteristiche del suolo della regione sono stati presi in considerazione come fattori importanti nella selezione delle piante.

Lo stato finale della discarica aperta di Sarayköy dopo i lavori di riabilitazione è mostrato nella Figura 7.



Figure 7. Discarica di Sarayköy dopo il processo di risanamento

### **5.10 Attività di manutenzione e monitoraggio dopo la chiusura**

Le discariche non controllate esistenti devono essere risanate e chiuse in modo da avere il minor impatto possibile sull'ambiente. La manutenzione delle discariche non controllate risanate sarà effettuata in conformità con le raccomandazioni elencate nella "Guida al risanamento delle discariche aperte" del 12 dicembre 2009 così come indicato nella Tabella 3. Nella discarica

risanata, si prevede che i lavori di manutenzione e controllo continuino per 30 anni dopo il processo di risanamento.

Tabella 3. Periodi di manutenzione e controllo della discarica non controllata riabilitata

Componente	Frequenza dei controlli	Rischi
Strato di copertura	Una volta all'anno e dopo forti piogge	Erosione, abrasione sulla superficie del terreno
Sistema di drenaggio delle acque superficiali	Quattro volte all'anno e dopo forti piogge	Accumulo di terra nello strato di drenaggio superficiale, controllo delle trincee drenanti
Gas di discarica	Regolare	Odore, rottura dei pozzi del gas, del sistema di compressione e/o delle toce di combustione
Flora	Quattro volte all'anno	Livello di vitalità
Acque sotterranee	Due volte all'anno	Inquinamento delle acque sotterranee

## 6. Calcolo dei costi

Per il risanamento della discarica di Sarayköy sono stati effettuati diversi studi ingegneristici. L'analisi dei costi dei suddetti studi ingegneristici è riportata nella Tabella 4. Come si evince dalla tabella, per la riabilitazione dell'area della discarica di Sarayköy sono stati spesi complessivamente **175.613,5 euro**.

Tabella 4. Analisi dei costi del processo di risanamento

Tabella dei costi di risanamento				
Intervento	Unità	Quantità	Prezzo per unità (Euro)	Totale (Euro)
Macchinari per lo scavo, il trasporto, la posa e la compattazione dei rifiuti nella discarica di Buldan	m <sup>3</sup>	25.000	0,95	23853,57
Per il sito: Lavori di riempimento (materiale di scavo)	m <sup>3</sup>	3.280	0,73	2413,14
Costruzione delle strade interne	m <sup>2</sup>	2.867	4,46	12788,87
Sistema di copertura finale: Fornitura e posa di materiale argilloso naturale	m <sup>3</sup>	12.500	5,29	66205,36
Sistema di copertura finale: Fornitura e	m <sup>3</sup>	7.884,56	3,575	28187,3

posa di materiale ghiaioso				
Sistema di copertura finale: posa dello strato finale vegetativo	m <sup>3</sup>	12.500	1,825	27375
Costruzione delle trincee drenanti delle acque superficiali (0,3x0,3x0,9)	m	700	10,76	7537,5
Costruzione di un pozzo di captazione con sonda in HDPE (H=9m Ø 1000 mm)	piece	8	192,85	1542,85
Tappeto erboso	da	25	219,18	5479,55
Irrigazione delle area verde	ar	250	0,92	230,35
<b>Totale</b>				<b>175.613,5</b>

Grazie a questi interventi riabilitativi, gli effetti ambientali negativi della discarica non controllata di Buldan sono stati ridotti al minimo. Il rischio di compressione ed esplosione del gas è stato eliminato, la stabilità della struttura è stata assicurata e la formazione di percolato a causa delle infiltrazioni delle acque piovane è stata minimizzata.