

CHIUSURA E RISANAMENTO DI UNA DISCARICA NON CONTROLLATA DI RIFIUTI URBANI A ELENA, BULGARIA

1. Introduzione

Questo caso di studio è elaborato sulla base dei dati del progetto BG16M1OP002-2.010-0035-C01 "Chiusura e risanamento di una discarica a cielo aperto per rifiuti urbani sul territorio del Comune di Elena", finanziato nell'ambito della procedura BG16M1OP002-2.010 "Riabilitazione di discariche aperte per la chiusura, oggetto di una procedura per violazione del diritto comunitario nel caso C-145/14", Asse prioritario 2 "Rifiuti" del Programma operativo "Ambiente 2014-2020", cofinanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale e dal Fondo di Coesione dell'Unione europea. Il costo totale del progetto è di 807.131,30 euro (686.061,60 euro di cofinanziamento dal FESR).

Questo caso studio descrive le attività di chiusura e risanamento realizzate nel periodo 06.05.2020 - 27.10.2021 con l'obiettivo di trasformare la discarica a cielo aperto, capace di danneggiare l'ambiente, il clima e la salute dei cittadini del Comune di Elena, in un bene prezioso per la comunità.

Il caso di studio interpreta i dati del progetto menzionato alla luce del progetto SMARTEnvi e contribuisce ai suoi obiettivi rivelando le buone pratiche a livello nazionale nella riduzione dei rischi per l'ambiente e la salute umana. Si tratta di un buon esempio delle misure e delle azioni intraprese in materia di cambiamento climatico e protezione ambientale nel contesto della politica nazionale di recupero dalla pandemia da COVID 19.

2. Informazioni generali, geologia, e idrogeologia del territorio

2.1. Ubicazione

La discarica a cielo aperto per rifiuti non pericolosi del comune di Elena, in Bulgaria, si trova a 450 m a nord-ovest dei confini di costruzione della città (Figura 1). Questa discarica copre un'area di 23.488 m² all'interno di un appezzamento di terreno № 27190.108.98 ed è

raggiungibile tramite una strada comunale. La discarica a cielo aperto ha smesso di funzionare dal 30 settembre 2016 in base all'ordinanza n. 551 / 30.09.2016 del direttore dell'Ispettorato regionale per l'ambiente e l'acqua (RIEW) - Veliko Tarnovo, a causa della non conformità ai requisiti di legge. La discarica è piena di rifiuti; non è inclusa nei confini della rete Natura 2000 come area protetta, né nei confini di un territorio protetto ai sensi della legge bulgara sulle aree protette (http://eea.government.bg/bg/legislation/biodiversity/zztan_15.pdf).

I rifiuti sono depositati in un'area di 24.221 m². L'area assegnata per la riabilitazione è di 23.488 m² - sufficiente per allocare i rifiuti in modo graduale in conformità con l'ordinanza № 6 e le istruzioni per condurre la riabilitazione tecnica e biologica (MEW, 2013).

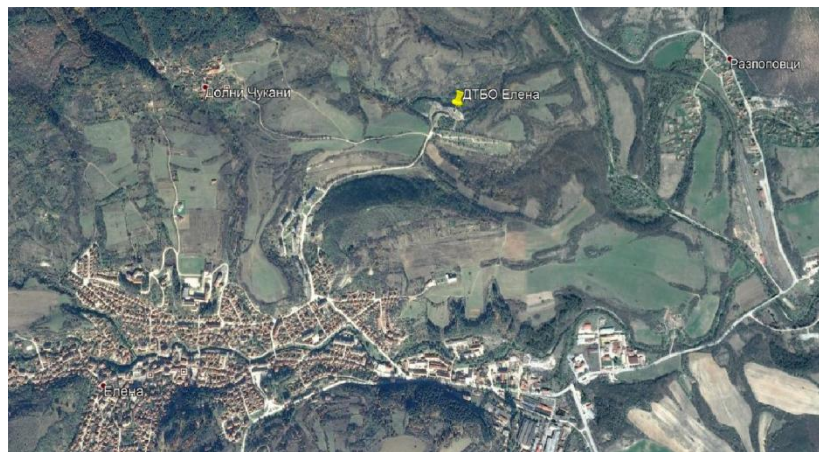


Figura 1. L'ubicazione della discarica a cielo aperto nel territorio del Comune di Elena . Fonte: <http://zop.elena.bg/wp-content-location>

2.2. La situazione prima del risanamento della discarica

La discarica in questione nel Comune di Elena è stata aperta nel secolo scorso. I rifiuti depositati comprendevano rifiuti domestici, quelli industriali non pericolosi e di costruzione. Tuttavia, si trattava di un'area eterogenea, non differenziata e autocompattata. L'area della discarica era segnalata da un cartello ma non aveva alcuna recinzione o portale d'ingresso; l'entrata era inaccessibile e non c'erano elettricità e acqua. Non sono stati eseguiti il controllo e la pesatura dei rifiuti in entrata (per tipo e quantità). Inoltre, la discarica era sprovvista di qualsiasi barriera isolante inferiore, e di attrezzature per la compattazione dei rifiuti depositati. Non c'era alcun controllo del gas di discarica, nè un sistema di raccolta e rimozione delle acque superficiali e del percolato.

I rifiuti depositati comprendevano quelli raccolti a seguito della raccolta organizzata dei rifiuti nella città di Elena, oltre a rifiuti consegnati da privati e/o attività produttive della zona, e non era stato effettuato alcun controllo sulla loro non pericolosità.

La discarica a cielo aperto confinava a nord-ovest (circa 150 m) con un canale di scolo con deflusso variabile dopo le piogge. Inoltre, le acque superficiali e le infiltrazioni non erano regimentate in alcun modo e non c'erano dispositivi per la raccolta e il trattamento delle acque piovane. Non esisteva un sistema di raccolta/controllo del gas generato in discarica. (Figura 2).



Figura 2. Panoramica della diiscara a cielo aperto della città di Elena. Fonte:
<http://zop.elena.bg/wp-content-location>

I rischi ambientali legati alla discarica in questione vengono riassunti di seguito:

1. Esalazioni tossiche e fumo dall'autocombustione dei rifiuti
2. Contaminazione del suolo causata dallo sfruttamento prolungato della discarica senza adeguate misure di impermeabilizzazione sul fondo;
3. Inquinamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei dovuti all'infiltrazione dell'acqua nel corpo rifiuti;
4. Diffusione di malattie da parte di animali e del vento;
5. Deterioramento della biodiversità dell'area.

2.3. Caratteristiche geologiche dell'area

Stratigrafia della discarica

La discarica a cielo aperto sorge su una formazione rocciosa risalente al Giurassico inferiore.

Processi e fenomeni fisico-geologici

I processi e i fenomeni di erosione-accumulo, gravitazione e carsismo sono tipici dell'area in cui sorge la discarica in questione.

Questi processi hanno dato origine al moderno rilievo montuoso dell'area, mentre i fenomeni carsici hanno dato origine a forme carsiche per lo più di piccole dimensioni - kari, fessure carsiche, vuoti di varia escavazione. I processi e i fenomeni gravitativi includono schermi, crolli e frane, che non si trovano in prossimità della discarica a cielo aperto.

Sismicità

La pericolosità sismica in Bulgaria, compreso il Comune di Elena, è determinata principalmente dalle fonti sismiche individuate sul territorio del paese. Relativamente più debole è l'influenza delle sorgenti sismiche del Mar di Marmara (Turchia) e di Xanthi (Grecia). I terremoti più forti nei pressi del Comune di Elena sono stati registrati nel periodo gennaio 1908 - marzo 1942 con magnitudo 7,0. Secondo la normativa nazionale bulgara, il territorio della discarica a cielo aperto è classificato in un'area sismica di VII grado sismico e la progettazione di edifici, comunicazioni e altre costruzioni viene effettuata con coefficienti sismici di K_v e $K_h = 0.10$ (Bonchev et al., 1982).

2.4. Situazione idrogeologica

Le condizioni idrogeologiche del Comune di Elena sono determinate dalle acque sotterranee carsiche, staccate in un corpo idrico sotterraneo (a pressione normale) "Karst-water in the Central Balkan", codice BG1G0000TJK045. La falda acquifera è alimentata dalle piogge e dalle acque superficiali provenienti dai versanti montuosi circostanti e drenata sui versanti da sorgenti a portata variabile. Le falde sono caratterizzate da calcari sabbiosi, aluniti e dolomitici, dolomie e carbonati. La portata naturale del corpo idrico sotterraneo è di 10.246 L/s, mentre la capienza d'acqua è di 78 L/s. Lo stato chimico del corpo idrico sotterraneo e delle zone di protezione è scarso, mentre i parametri quantitativi sono buoni.

Sul territorio del Comune di Elena non sono presenti acque minerali. L'acqua di superficie proveniente dalla diga di Yovkovtzi e l'estrazione di acqua dalle falde acquifere sono utilizzate per soddisfare il fabbisogno di acqua potabile e domestica di Elena e degli altri insediamenti del comune oltre che per scopi produttivi, agricoli e di altro tipo. Non ci sono afflussi d'acqua nei

pressi della discarica a cielo aperto.

3. Il processo di risanamento della discarica: interventi tecnici

3.1. Pianificazione verticale, pulizia dei rifiuti domestici fuori dal perimetro della discarica e ripavimentazione

L'indagine geodetica eseguita nel 2017 ha indicato che i rifiuti erano sparsi su un territorio di circa 23,3 kDa. Sono stati raccolti su 23.940 m² (3D) e compattati fino a 23.924 m². Un totale di 1460 m³ di rifiuti è stato ridepositato al di fuori dei confini della discarica a cielo aperto e 57 716 m³ sono stati ridepositati per risistemare i versanti della discarica (Progetto di investimento - ricoltivazione tecnica).

La tecnologia per la posa e la costruzione del corpo della discarica a cielo aperto risanata prevede le seguenti fasi:

1. Movimentazione e ri-compattazione dei rifiuti tramite macchinari bulldozer secondo i livelli previsti dalla gestione dei Rifiuti Solidi Urbani (RSU);
2. Mantenere una deviazione massima dalla superficie in entrambe le direzioni di circa 5cm a una distanza di 50 m;
3. Garantire un'inclinazione dei versanti di 1:2.5 senza deviazione dall'angolo della pendenza;
4. Dopo la posa dei rifiuti, allineare l'area all'altezza del progetto;
5. Posa di uno strato di terreno di 20 cm livellato;
6. Controllo dell'integrità della superficie e eventuali correzioni (se necessario) prima dell'applicazione dello strato isolante impermeabile, non sono consentite deviazioni superiori ai 5 cm per 50 m di lunghezza in entrambe le direzioni.

Nel pacchetto di copertura finale, deve rispettare i requisiti dell'Ordinanza N. 6 del Ministro dell'Ambiente e dell'Acqua bulgaro del 2013 (Ministry of Environment and Water, 2013) e deve comprendere i seguenti elementi:

1. Un Sistema di drenaggio del gas di discarica;
2. Uno strato sigillante;
3. Il Sistema di regimazione delle acque superficiali;
4. Uno strato vegetativo finale.

Il progetto di pianificazione verticale è stato realizzato con il programma AutoCAD Civil 3D. È stato creato un modello digitale 3D del corpo della discarica a cielo aperto risanata. Il modello ha delineato il progetto della discarica dopo lo smaltimento dei rifiuti e prima dell'applicazione degli strati impermeabilizzanti. Nel modello è stato definito anche lo spessore dello strato di terreno livellato (0,20 m), degli strati di impermeabilizzazione e dello strato di terreno compatto (0,75 m) e di quello vegetative finale (humus) di 0,25 m.

Il volume geometrico totale dei rifiuti previsti senza gli strati di terra per la ricoltivazione tecnica era di circa 106.200 m³. La quantità di terra necessaria per lo strato di vegetazione raggiungeva i 22.638 m³, di 16.956 m³ cui per lo strato di coltivazione inferiore spesso 0,75 m e 5.682 m³ e per lo strato di terra di ricoltivazione superiore spesso 0,25 m con un maggiore contenuto di humus (Progetto di investimento - ricoltivazione tecnica).

3.2. Compattazione dei rifiuti

La compattazione dei rifiuti nel corpo della discarica a cielo aperto è stata effettuata dopo la pulizia dei rifiuti all'esterno del perimetro del sito e dopo la pianificazione verticale.

3.3. Drenaggio delle acque superficiali

Poiché le uniche acque di superficie erano quelle piovane, il loro drenaggio è stato organizzato attraverso le seguenti strutture (Progetto di investimento - ricoltivazione tecnica):

1. Ruscellamento nei versanti: sono stati costruiti due canali drenanti (lunghezza totale 335 m) che raccolgono le acque dei versanti e le convogliano in un canale di trasporto di sicurezza. I canali sono stati costruiti con elementi prefabbricati (70/30/100 cm) in calcestruzzo, previo dimensionamento idraulico in base alla conducibilità minima corrispondente alla pendenza minima del percorso dell'acqua. Il canale di trasporto di sicurezza (lunghezza totale 191 m) è stato costruito sul lato est-nord-est della discarica a cielo aperto risanata per convogliare le acque superficiali del versante nella sua parte inferiore, vicino al confine del corpo rifiuti. Il canale è stato costruito con elementi prefabbricati (53/50/200 cm) in calcestruzzo. Inoltre, un terzo canale di drenaggio (lunghezza totale 161 m) è stato costruito per catturare le acque nei canali di scolo precedentemente scavati nel terreno (se disponibili) e parte delle acque nella parte nord-ovest. Accanto al terzo canale è stato costruito un muro di gabbioni (1/1 m; lunghezza totale 161 m) e le acque del canale di sicurezza e del terzo canale sono state convogliate

nel canale scavato nel terreno. Il dimensionamento idraulico, come per i due canali di drenaggio, è stato effettuato rispetto alla conducibilità minima corrispondente alla pendenza minima del percorso dell'acqua.

2. Infiltrazioni nel corpo rifiuti: le infiltrazioni delle acque di ruscellamento superficiali attraverso lo strato di terreno della discarica a cielo aperto risanata sono state bloccate da un sistema di drenaggio che impedisce la loro penetrazione nel corpo della discarica ed evita la distruzione dello strato vegetativo superficiale. Per il drenaggio dell'area della discarica risanata è stata utilizzata una membrana di geocomposito drenante, rivestita bilateralmente con un geotessile non tessuto in polipropilene. La rimozione dell'acqua superficiale infiltrata attraverso lo strato di terreno è stata effettuata per mezzo di tubi fessurati in HDPE (polietilene ad alta densità) a due strati (Ø 160 mm). L'acqua raccolta defluisce per gravità verso il punto più basso della discarica.

3.4. il Sistema di drenaggio del gas di discarica

Emissioni di gas

La decomposizione dei componenti organici dei rifiuti è un processo a lungo termine che continua da decenni nella discarica a cielo aperto della città di Elena. Uno dei prodotti finali della biodegradazione dei rifiuti organici è il gas di discarica. La sua quantità e la sua composizione dipendono da molti fattori come la composizione dei rifiuti, la struttura (rapporto tra la massa organica e inorganica), l'origine (tipo e composizione) della materia organica, il tipo di processi microbiologici (anaerobici o aerobici), le condizioni meteorologiche (temperatura dell'aria, la pressione atmosferica, le precipitazioni che interessano il territorio) e gli strati di rivestimento.

È noto che la quantità e la composizione del gas di discarica cambiano nel tempo. Durante il periodo iniziale di decomposizione aerobica della materia organica dei rifiuti, il gas è composto da anidride carbonica, ammoniaca e piccole quantità di altre sostanze inquinanti; la quantità di metano è ancora trascurabile. Con l'avvio dei processi anaerobici, la quantità di metano aumenta e la composizione del biogas cambia. In particolare, questo gas è composto da metano (55 %), anidride carbonica (45%) e altre sostanze in concentrazione minore (1%). (Dada e Mbohwa, 2017).

Prima del risanamento della discarica, il gas formatosi durante la decomposizione aerobica e anaerobica dei rifiuti non veniva controllato attraverso un sistema di drenaggio; al contrario, il gas veniva liberato nell'atmosfera. La composizione e la quantità del gas di discarica non sono state mai misurate. Tuttavia, gli esperti consideravano il gas di discarica trascurabile per i seguenti motivi:

1. La composizione dei rifiuti nella discarica a cielo aperto non è stata sottoposta a monitoraggio a lungo termine e quindi la percentuale dei diversi componenti dei rifiuti non pericolosi può essere determinata solo in modo approssimativo. Tuttavia, la quota relativa dei rifiuti non degradabili (principalmente plastica) è la più alta.
2. In generale, l'emissione di gas è più intensa durante i primi 10 anni di funzionamento della discarica; poi si attenua gradualmente. Anche la discarica a cielo aperto della città di Elena non fa eccezione.
3. Nonostante la mancanza di dati, la quantità annua di rifiuti importati nella discarica aperta non era elevata.
4. La discarica a cielo aperto non soddisfaceva le condizioni necessarie per lo svolgimento dei processi di generazione di gas menzionati.
5. La struttura dei rifiuti depositati non è omogenea nel tempo, il che comporta una composizione del biogas non precisa.
6. Anche la tipologia e la composizione della massa organica cambiava nel tempo e a seconda della stagione (maggiore nei mesi estivi e minore in quelli invernali).
7. I processi microbiologici nella discarica a cielo aperto sono spontanei e non soggetti a regolazione esterna.
8. Le precipitazioni e la temperatura dell'aria non possono essere definite con precisione.

Per queste ragioni, la quantità di gas di discarica emessa dalla discarica risanata del comune di Elena è trascurabile, e il suo aumento non è previsto.

La necessità di un Sistema di drenaggio del gas

Seguendo le buone pratiche dello stato dell'arte, un sistema di drenaggio del gas è raccomandato quando la discarica annuale di rifiuti supera le 5.000 tonnellate (Dada e Mbohwa, 2017). I valori dell'area della discarica a cielo aperto del Comune di Elena rientravano in questo intervallo. Pertanto, è stato costruito un sistema di drenaggio del gas, ma il gas di discarica raccolto non viene attualmente utilizzato per l'incenerimento o per la produzione di energia.

La costruzione del Sistema di drenaggio del gas

Per la rimozione del gas dalla parte orizzontale della discarica a cielo aperto risanata, è stato utilizzato un materiale geocomposito drenante. Il geocomposito è applicato sull'intera superficie, ancorato a 1 m, e rappresenta una strato di copertura drenante composta da due strati geotessili e da un nucleo in HDPE a tenuta stagna, le cui caratteristiche tecniche sono conformi agli standard EN ISO. La durata prevista è di 120 anni. Durante la ricoltivazione, viene costruito un pozzo di captazione del gas (tubo fessurato in HDPE, Ø315 + un tubo non fessurato sulla superficie dello strato sigillante superiore), la cui superficie fuori terra è assicurata da un pozzo costituito da un tubo standard in cemento armato (Ø1200), chiuso da una copertura in acciaio (Ø1220/10 mm).

3.5. Struttura dello strato di copertura finale

Lo strato di copertura finale posto in cima alla discarica risanata è composto da:

Il Sistema di drenaggio del gas:

- ✓ Uno strato di drenaggio sulla superficie superiore del corpo rifiuti costituito da un geocomposito drenante (vedi fig. 3.4);
- ✓ Un pozzo di captazione del biogas.

Lo strato isolante :

Lo strato isolante è costituito da una geomembrana bentonitica GSL (Geosynthetic Clay Liner) e fornisce protezione contro le perdite e la diffusione di sostanze nocive. È impermeabile, resistente alla lisciviazione e in grado di trattenere i metalli pesanti. La geomembrana bentonitica è costituita da due strati di geotessile e da bentonite in polvere incapsulata tra di essi. Le caratteristiche qualitative della membrana bentonitica impermeabilizzata dello schermo isolante superiore sono conformi alle norme EN ISO (<https://www.iso.org/standards.html>) e ASTM (<https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications.html>).

Il Sistema di drenaggio delle acque di ruscellamento superficiali:

Il sistema di drenaggio è costituito da un materiale geocomposito composto da due strati di geotessile e da un'anima impermeabilizzata in HDPE.

Lo strato vegetative finale:

Questo strato serve per la coltivazione di specie erbacee e ha uno spessore di 1.0 m. Consiste di due strati:

- ✓ Uno strato di terreno spesso 0.75 m (3 x 25 cm);
- ✓ Uno strato di humus per il rinverdimento spesso 0.25 m.

Il materiale terroso per questi strati viene raccolto da una zona (Faraki) che dista circa 4.2 km dalla discarica risanata di Elena.

3.6. Controllo delle infiltrazioni del corpo rifiuti

L'ispezione della discarica a cielo aperto ha rivelato che il funzionamento dell'impianto era sospeso; l'area orizzontale era oscurata da uno strato di terreno compattato e c'era uno strato di vegetazione selvatica che formava un manto erboso solido. I cedimenti del corpo della discarica a cielo aperto non presentavano grossi problemi, senza fessure o avvallamenti. Dopo aver sigillato la discarica e aver bloccato le infiltrazioni d'acqua nel corpo rifiuti, le quantità è diminuita drasticamente.

3.7. Le strade interne

Sopra lo strato finale di copertura della discarica sono state costruite delle strade interne per agevolare la coltivazione dello strato vegetativo superficiale.

4. Il piano di rinverdimento

4.1 Gli obiettivi della rinverdimento

Il processo di rinverdimento di qualsiasi terreno danneggiato, comprese le discariche a cielo aperto, comprende un insieme di attività ingegneristiche, migliorative, agricole, forestali, architettoniche e paesaggistiche volte a ripristinare questi terreni in conformità alle condizioni ambientali e paesaggistiche di una zona specifica. I requisiti per la ricoltivazione dei terreni relativi alle aree sanitarie e igieniche includono la scelta di mezzi di conservazione che corrispondano alle condizioni, alla composizione e alle proprietà dei substrati, alle condizioni climatiche e agli indicatori tecnico-economici. In Bulgaria, tutte le attività di ricoltivazione devono essere coordinate con gli esperti responsabili del Ministero dell'Ambiente e delle Acque.

La ricoltivazione biologica della discarica a cielo aperto riabilitata del Comune di Elena viene

eseguita in conformità ai seguenti documenti normativi (MEW, Waste):

1. Ordinanza No. 26 / 2.10.1996 sulla ricoltivazione dei terreni danneggiati, il miglioramento dei terreni poco produttivi, la rimozione e l'utilizzo dello strato di humus;
2. Ordinanza № 6 / 27.08.2013 sulle condizioni e i requisiti per la costruzione e il funzionamento delle discariche e di altre strutture e impianti di smaltimento dei rifiuti;
3. Ordinanza No. 4 / 21.05.2001 sulla portata e il contenuto dei progetti di investimento.

Gli obiettivi della rinverdimento biologico del sito sono:

1. Rafforzare lo strato vegetativo finale della discarica a cielo aperto per rifiuti non pericolosi tecnicamente riabilitata e raggiungere la sua sostenibilità a lungo termine;
2. Il massimo isolamento dei rifiuti ;
3. Reintegrazione della discarica a cielo aperto nel paesaggio circostante;
4. Creazione di un uso economico sostenibile dell'area ricoltivata.

Il piano paesaggistico è stato elaborato sulla base dei documenti forniti dal Comune di Elena e dei dati di riferimento sulle condizioni ambientali e sullo stato economico e demografico dell'area (Piano di sviluppo 2014-2020 del Comune di Elena; Geografia della Bulgaria, 1997). Il progetto prevedeva la profilatura, l'allineamento e la sigillatura dei rifiuti, il posizionamento dello strato isolante e la posa di uno strato vegetativo o di terreno. La ricoltivazione biologica prevedeva l'inerbimento con miscele appropriate di specie erbacee e la piantumazione di specie arbustive. In questo modo, sono state definite delle sottozone a prato e miste prato-arbustive, con la vegetazione arbustiva che ha svolto un ruolo antierosivo e di costruzione del paesaggio (Progetto di investimento - ricoltivazione biologica).

4.2. Le caratteristiche del sito

Il Comune di Elena occupa la parte più meridionale della regione di Veliko Tarnovo, nella zona montuosa dell'area pre-balcanica e balcanica. Il comune è situato su un'area di 671.390 m², a un'altitudine compresa tra 100 e 1.536 m, prevalentemente di 300-600 m e con pendenze di 20-30°.

Il rilievo dell'area è diversificato: da quello tipico montano nella parte meridionale, molto ripido, fortemente intersecato da tagli profondi e torrenti, a quello tipicamente collinare nella parte settentrionale.

Il comune è caratterizzato da una rete insediativa dispersa, con molti piccoli villaggi e quartieri (124) che si stanno spopolando. La popolazione totale del comune è di 8.358 persone (NSI, 2020), di cui circa il 60% vive sul territorio della città di Elena.

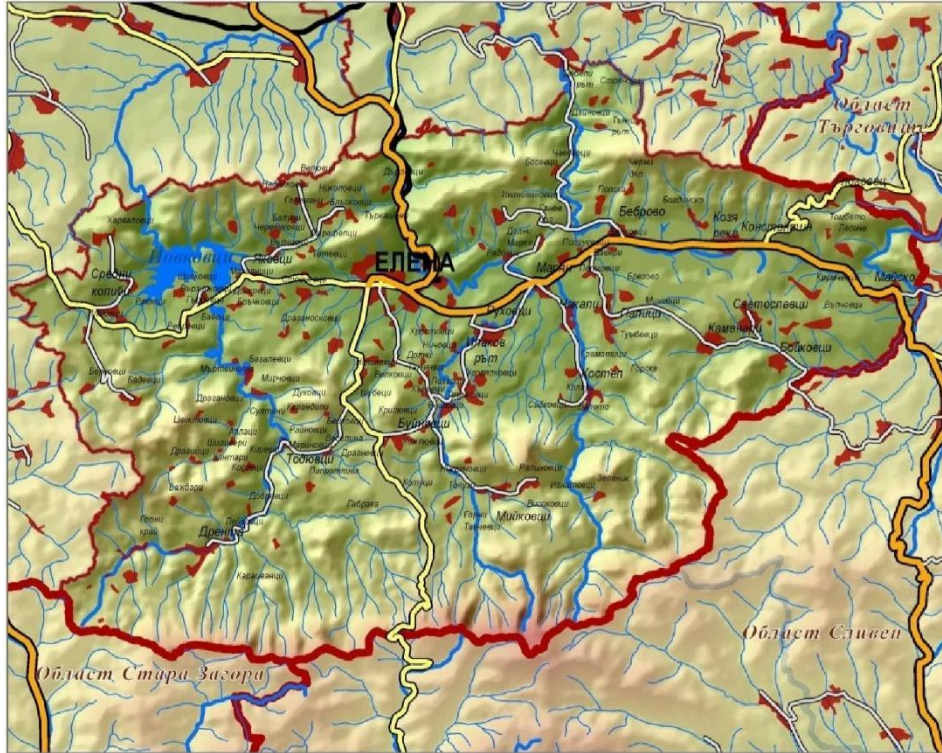


Figura 3. Localizzazione geografica di Elena, Bulgaria. Fonte: Piano di sviluppo della città di Elena 2014-2020. Fonte: <https://www.strategy.bg/StrategicDocuments/View.aspx?lang=bg-BG&Id=1128>

4.3. Condizioni climatiche:

Secondo la zonizzazione climatica della Bulgaria (Velev, St., 1997), il comune di Elena è situato in una zona continentale moderata (pre-balcanica), che comprende quattro aree climatiche.

Queste condizioni climatiche hanno determinato lo sviluppo di una vegetazione ricca e varia.

4.4. Condizioni geologiche, idrogeologiche

Il Comune di Elena è situato sulle pendici settentrionali della parte orientale della Media Stara Planina, formatasi durante il Mesozoico e il Neozoico. Predominano le rocce sedimentarie come arenarie, marne e calcari. In alcuni punti erosi si possono individuare strati calcarei del periodo giurassico. Predominano le marne, mentre la partecipazione di calcari, arenarie e conglomerati è

scarsa (Velev, 1997).

Il territorio del comune rientra nel bacino idrografico del fiume Stara Reka, affluente di destra del fiume Yantra. Parte del territorio comunale ricade nel bacino idrografico del Vesselina, che insieme ai fiumi Bebrowska e Zlatarishka serve oltre il 90% del territorio comunale. Il fiume Veselina si estende nella grande diga "Yovkovtsi", le cui acque sono utilizzate principalmente per l'approvvigionamento idrico urbano. Sul territorio del comune sono state costruite altre otto micro dighe, utilizzate principalmente per l'irrigazione e l'allevamento ittico per la pesca amatoriale.

I fiumi che attraversano il Comune di Elena presentano un buon regime di ossigeno e indicatori che soddisfano i valori limite di soglia (TLV) per l'implementazione del piano di rinverdimento. Come eccezione, sono stati registrati alcuni aumenti dei TLV per le sostanze non disciolte, l'azoto amminico e l'azoto nitrico. Esiste un corpo idrico sotterraneo (BG1G0000TJK045) di acque carsiche nei Balcani centrali, con un buon stato chimico rispetto agli standard di qualità riportati durante l'ultimo monitoraggio. Qui viene organizzato anche il monitoraggio operativo dei nitrati.

4.5 Le caratteristiche del suolo

Le caratteristiche del suolo sul quale sorge il comune di Elena non è molto diversificata (ESDAC). I suoli sono costituiti da černozëm prativi, luvisoli, luvisoli leggeri, leptosoli e cambisoli. I luvisuoli, i leptosuoli e i cambisuoli sono la maggioranza.

4.6 Tipo di vegetazione

Secondo i dati della mappatura forestale della Bulgaria, il territorio di Elena rientra in un'area forestale di Misian , una sottozona della Bulgaria settentrionale che occupa un settore di altitudine compresa tra 400 e 1.500 m. Le specie arbustive sono state utilizzate con successo nella ricoltivazione biologica della discarica a cielo aperto risanata.

4.7. La ricoltivazione biologica: erboricoltura e pinatumazione di arbusti

Erboricoltura

Nel piano paesaggistico, la maggior parte dell'area di discarica risanata (18,311 m²) che è per lo più pianeggiante o con piccole pendenze, è stata inerbita.

Durante questo processo, sono stati rispettati i seguenti requisiti relativi alle specie erbacee:

1. Le specie erbacee dovevano appartenere al tipo rizoma-tubero, in grado di formare un manto erboso uniforme, solido e sostenibile. Le specie erbacee devono essere tolleranti alle condizioni del suolo in termini di umidità e nutrienti e, più precisamente, devono essere resistenti alla siccità;
2. Le specie erbacee dovevano essere poco attraenti per gli animali da pascolo e non devono richiedere frequenti sfalci;
3. Dopo lo sfalcio, le specie erbacee dovevano essere in grado di rinvigorirsi in tempi brevi;
4. Le specie erbacee dovevano essere resistenti alle malattie, rispettose dell'ambiente e adattabili a condizioni estreme;
5. Le specie erbacee dovevano mantenere le loro funzioni paesaggistico-ambientali a lungo.

Le specie erbacee sono state seminate in autunno per evitare i danni causati dalla siccità dell'inizio della primavera, anche se tratta di un terreno semi-montano con un'elevata umidità naturale. Seguendo questo programma, l'umidità e il calore sono stati sufficienti ai semi per germinare e svilupparsi rapidamente.

La tecnologia per la creazione di prati

Siccome gli strati adibiti al ripristino vegetazionale, così come i terreni adiacenti, erano poveri di sostanza organica, azoto e fosforo, ma con una quantità sufficiente di calcio, sono stati sottoposti a una concimazione completa con azoto, fosforo e potassio. In relazione alle condizioni climatiche e alle precipitazioni della zona, i fertilizzanti azotati sono stati somministrati due volte, dopodiché i prati sono stati annaffiati durante la vegetazione per avere un effetto più duraturo.

Durante il primo anno, si prevedeva di irrigare due volte al mese una quantità d'acqua pari al 30-40 l/m². I fertilizzanti azotati consigliati sono di tipo combinato come forme di ammonio e nitrato con un contenuto di azoto del 33-35% sotto forma di granuli. Dal punto di vista fisiologico, questo concime agisce come un fertilizzante leggermente acido e non modifica la reazione del terreno. La concimazione mirava ad aumentare la resistenza delle piante alle condizioni ambientali sfavorevoli sulla superficie della discarica risanata. La concimazione azotata prevista per la primavera del primo anno era di 100 kg di sostanza pura all'ettaro.

In generale, le graminacee sono tolleranti al fosforo, che stimola un più rapido attecchimento

delle piante e ne favorisce la crescita e lo sviluppo complessivo. Per questo motivo, si consiglia di effettuare in autunno un'unica introduzione di perfosfato triplo con un contenuto di fosforo del 48% in ragione di 100 kg di fosforo (puro) per ettaro per 3 anni, da effettuarsi lungo la posa dell'humus. Infatti, la concimazione con fosforo ha un effetto di mantenimento della concimazione grazie alla sua azione lenta.

Poiché l'area è relativamente ben fornita di substrati contenenti potassio, è necessario in quantità minime. Infatti, l'azoto (N) e il fosforo (P) stimolano un uso più intensivo del potassio nel suolo.

Pertanto, gli standard di concimazione (per sostanza pura) sono stati: 28 kg/ha di nitrato di ammonio (N₁₀₀P₁₀₀K₅₀), 20 kg/ha di perfosfato triplo, e 10 kg/ha di cloruro di potassio -.

Il processo di concimazione è stato organizzato come segue:

1. L'area è stata concimata 3 volte con l'azoto (N): in autunno insieme alla semina delle erbe, con il concimata al fosforo, e a maggio, rispettivamente con 10 e 18 kg/ha. Nei due anni successivi, alla fine di aprile sono stati usati 14 kg/ha e all'inizio di giugno sono stati usati 14 kg/ha;
2. L'area è stata concimata con il fosforo (P) una volta all'anno per i tre anni successivi, sieme alla stesura dello strato di humus e prima della semina (20 kg/ha), e in autunno nei due anni successivi con 20 kg/ha;
3. L'area è stata fertilizzata con il potassio (K) una volta nel primo anno insieme al fosforo, in autunno nei due anni successivi, all'inizio della primavera (10 kg/ha) con la prima introduzione dell'azoto (N).

Prestazioni tecnologiche del processo di inerbimento

Le prestazioni tecnologiche del processo di inerbimento vengono presentate nella Tabella 1:

Tabella 1. Le prestazioni tecnologiche del processo di inerbimento del sito risanato

Anno	Procedura
I (da autunno a autunno)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparazione del letto d'erba - fresatura, allineamento con una pala; 2. Approvvigionamento di fertilizzanti minerali (P, K, e parte di N); 3. Semina del miscuglio di erba; 4. Approvvigionamento del resto dei fertilizzanti- aprile e maggio; 5. Falciatura - due o più volte a seconda della crescita dell'erba; le erbe alte accelerano il flusso dell'acqua e possono causare erosione; 6. Irrigazione - dopo la concimazione e in caso di grave siccità (maggio-settembre).
II e III	<ol style="list-style-type: none"> 1. Concimazione – aprile: 14 kg/da con N e 10 kg/ con K 2. Concimazione – aprile: 14 kg/da con N 3. Concimazione - ottobre (superfosfato) 4. Falciatura – tre volte 5. Irrigazione – dopo la concimazione

Piantumazione degli arbusti

In base ai requisiti dell'Impresa per la Gestione delle Attività di Protezione Ambientale, la ricoltivazione biologica delle discariche non controllate prevede la piantumazione di vegetazione arbustiva nelle zone periferiche e sui versanti per consentire la protezione dall'erosione. Per la discarica a cielo aperto riabilitata del Comune di Elena, un'area di 4.556 m² è la piantumazione prevedeva 11.758 pezzi di arbusti, la maggior parte a foglia caduca e una specie di conifera (*Juniperus sabina* L.). Oltre alla sua funzione antierosiva, questa vegetazione protegge la superficie erbosa da altri danni come il pascolo, lo sfalcio non autorizzato, ecc. Gran parte dei cespugli è spinosa per impedire alle persone e agli animali di danneggiare lo strato vegetativo.

La marcatura dei siti di impianto e la messa a dimora vengono effettuate all'inizio della primavera. Per la piantagione sono stati utilizzati solo alberelli standard con un apparato radicale ben sviluppato che sono stati poi trivellati sulla superficie.

Durante il secondo anno, è stata prevista la sostituzione del 20% dei giovani arbusti e l'escavazione di una doppia trincea durante il periodo di vegetazione.

Durante il terzo anno, è stata prevista la sostituzione fino al 10% degli arbusti e la costruzione di

un'unica trincea durante il periodo di vegetazione.

La concimazione degli arbusti è stata integrata con quella dei prati.

La tecnica di piantumazione e coltivazione

Lo schema per la piantumazione e la coltivazione per l'ottimizzazione dello strato vegetativo finale della discarica risanata viene riportato nella Tabella 2.

Tabella 2. Schema per l'ottimizzazione della piantumazione e della coltivazione.

Anno	Procedura
I (da autunno a autunno)	1. Approvvigionamento dei fertilizzanti P e N (in autunno, insieme alle specie erbacee)
	2. Marcatura delle piantine e messa a dimora degli arbusti (in primavera)
	3. Approvvigionamento di fertilizzanti minerali (in primavera, insieme alle specie erbacee)
	4. Creazione di trincee intorno ai giovani arbusti- 3 volte
	5. Approvvigionamento di fertilizzanti minerali (in autunno- P)
II (da autunno a autunno)	6. Sostituzione degli arbusti morti
	7. Concimazione con fertilizzanti minerali (in autunno e primavera)
	8. Creazione delle trincee –due volte durante il periodo vegetativo
III	1. Concimazione (in autunno) con P
	2. Sostituzione degli arbusti morti
	3. Concimazione con fertilizzanti minerali (in primavera)
	4. Creazione delle trincee – una volta durante il periodo vegetativo

5. Conclusioni

L'inaugurazione ufficiale della discarica risanata del Comune di Elena si è tenuta il 27.10.2021 (vedi Fig.4) con la partecipazione del sindaco, dei rappresentanti e della direzione dei lavori della ditta appaltatrice.

Nei prossimi tre anni, il ripristino ambientale vegetativo andrà avanti includendo un complesso di interventi forestali/tecnici, agrochimici e migliorativi. Al termine di queste attività, la

discarica a cielo aperto risanata sarà messa in funzione ai sensi della Legge sullo sviluppo del territorio.

In conclusione, gli interventi di risanamento svolti nella discarica di Elena hanno riguardato:

1. Processi risanamento e bonifica della discarica non controllata;
2. L'implementazione di un piano di ripristino ambientale vegetazionale che continua nel tempo;
3. La diminuzione degli effetti negativi della discarica grazie ad applicazione ingegneristiche mirate a ridurre le emissioni di gas e a controllare il percolato generati nella discarica non controllata;
4. L'introduzione di un sistema di raccolta e trattamento delle acque superficiali e del percolato;
5. Il riutilizzo del sito della discarica risanata come area verde.



Figura 4. Inaugurazione della discarica risanata del comune di Elena.

Bibliografia

Agrolesproekt, 1994. Forestry project of State forestry Elena, <https://dgselena.scdp.bg/za-nas-branch> last accessed 29.01.22

ASTM standards <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications.html> last accessed 29.01.2022

Boncev, E., Bune, V. I., Christoskov, L., Karagjuleva, J., Kostadinov, V., Reisner, G. I., Rizhikova, S., Shebalin, N. V., Sholpo, V. N., Sokerova, D. 1982. A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria. *Geologica Balcanica*, 12, 2, 3-48.

EN ISO <https://www.iso.org/standards.html> last accessed 29.01.2022

ESDAC <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-map-bulgaria> last accessed 29.01.2022

Investment project – technical recultivation <http://zop.elena.bg/wp-content-technical>

Investment project – biological recultivation <http://zop.elena.bg/wp-content-biological>

Mbohwa, C., Dada, O. 2017. Biogas Upgrade to Biomethane from Landfill Wastes: A Review. *Procedia Manufacturing*, 7, 333-338.

Municipality of Elena Development Plan 2014-2020, Operative programme “Administrative Capacity 2007-2013”, May, 2014 <https://www.strategy.bg/StrategicDocuments/View.aspx?lang=bg-BG&Id=1128> last accessed 29.01.2022

Ministry of Environment and Water, Republic of Bulgaria, 2013. Ordinance No 6 <https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/%D0%A3%D0%9E%D0%9E%D0%9F/maredba6.pdf> last accessed 29.01.22

Ministry of Environment and Water; Waste <https://www.moew.government.bg/en/waste/> last accessed 29.01.2022

National Statistical Institute (NSI), Republic of Bulgaria, 2020. <https://www.nsi.bg/nrm/show9.php?sid=1811&ezik=en> last accessed 29.01.2022

Protected Areas Act http://eea.government.bg/bg/legislation/biodiversity/zztan_15.pdf last accessed 29.01.2022

Velev, S. 1997. Climate division. In: Yordanova, M., Donchev, D. (Eds). *Geography of Bulgaria*.

Physical geography. Socio-economic geography. Publishing House of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 127-130 (in Bulgarian with English summary).

