

TIPI DI RIUTILIZZO DEI SITI RISANATI

7.1. Introduzione

Il risanamento delle discariche non controllate è un processo complesso che comprende diversi aspetti, da quelli più tecnici a quelli prettamente biologici. Altrettanto complesso è l'impatto ambientale di queste discariche e gli effetti dannosi che possono verificarsi anche molto tempo dopo la loro chiusura e risanamento. Questi impatti negativi possono essere mitigati e ridotti al minimo attraverso l'implementazione di buona progettazione, ma anche attraverso una cura costante di questi siti riabilitati.

Gli approcci e i mezzi per un'efficiente pratica di post-chiusura richiedono la definizione e l'attuazione di un'adeguata strategia di post-cura che possa ulteriormente minimizzare il potenziale di qualsiasi impatto negativo derivante dalla discarica. Tale strategia deve prevedere la creazione di un piano di riutilizzo dei siti risanati e le relative cure successive già in fase di progettazione e nelle prime fasi operative del processo di risanamento. Questo piano deve considerare tutte le opzioni di riqualificazione del sito risanato e di solito include:

- Il riutilizzo successivo della discarica risanata rispetto all'uso attuale e previsto del territorio nell'area circostante il sito;
- Tutti i requisiti tecnici e operativi che garantiscono una corretta progettazione e posa della copertura finale per adattarsi all'uso successivo previsto, compresi i materiali da applicare;
- L'integrazione nel paesaggio prima e dopo il risanamento;
- Allestimento e conservazione di impianti per lo svolgimento di attività di monitoraggio/controllo ambientale.

Le attività di risanamento delle discariche non controllate comprendono il sistema di copertura finale e la rivegetazione in conformità con i requisiti normativi locali, seguiti dall'installazione e

dall'ulteriore manutenzione o sostituzione dei sistemi di raccolta del gas e del percolato esistenti e dalla demolizione e/o smaltimento di qualsiasi infrastruttura non più necessaria. Queste attività portano a benefici ambientali, di salute pubblica e di gestione, soprattutto ora che le società stanno attuando politiche, misure e azioni di recupero in seguito alla crisi pandemica da COVID19. I principali benefici sono:

- Ridurre la produzione di percolato, la contaminazione delle acque sotterranee e superficiali e del suolo;
- Limitare l'inquinamento atmosferico dovuto alla combustione tossica dei rifiuti, riducendo gli impatti negativi sul clima dovuti al fumo nero e al metano;
- Ridurre al minimo le emissioni odorigene sgradevoli, i parassiti e la diffusione di malattie, compresa le infezioni trasmesse da vettori;
- Ridurre al minimo il rischio di problemi di salute e sicurezza dovuti all'accesso dei raccoglitori di rifiuti (*scavengers*) alle discariche a cielo aperto/ non controllate, minimizzando i costi per la salute pubblica;
- La raccolta e trattamento del gas, soprattutto durante il periodo di maggiore produzione;
- Ridurre al minimo i costi legati alla perdita di acqua potabile e di altre risorse, le svalutazioni dei terreni circostanti e i costi di bonifica;
- Recuperare dei costi con la riqualificazione della discarica risanata.

Quando si pianifica la riqualificazione di una discarica a cielo aperto/ non controllata, si devono considerare diversi fattori importanti come: la posizione del sito, le esigenze della società/comunità locale, l'ambiente circostante in termini di paesaggio e uso del suolo, la natura delle attività di risanamento. Tutti questi fattori stabiliscono i limiti di progettazione e determinano le attività da eseguire e le strutture da installare o costruire nel sito risanato (Grudziecki e Buachoom, 2016).

In questo contesto, devono essere consultate anche le autorità responsabili della pianificazione e della regolamentazione, poiché il riutilizzo del sito risanato deve essere conforme ai piani di sviluppo strategico locali, regionali e nazionali e alle modalità di utilizzo previste per il terreno oggetto di risanamento. Il sito risanato non deve essere isolato; deve reintegrarsi nel suo ambiente topografico ed ecologico e deve essere considerato come un'opzione progettuale

piuttosto che un pezzo di terra isolato e ignorato (Jenkins, 2016).

Tutti i suggerimenti per la riqualificazione della discarica devono essere abbastanza flessibili da garantire la sua sostenibilità, indipendentemente dai cambiamenti nella pianificazione o negli atteggiamenti della società in una prospettiva a lungo termine. Inoltre, se necessario, devono essere previste revisioni periodiche e aggiornamenti delle opportunità di riutilizzo del sito, in modo da garantire coerenza tra le attività di risanamento e il riutilizzo previsto per il sito.

Ultimamente sta emergendo in questo campo un concetto innovativo che non considera la discarica un semplice sito per la raccolta dei rifiuti, ma piuttosto la pianificazione di spazi e strutture desiderabili per la comunità associati al post-utilizzo del sito. Tenere a mente il potenziale riuso è un utile per eseguire le operazioni corrette allineando il profilo finale del sito con l'uso successivo desiderato. Ad esempio, i terreni in pendenza non sono adatti ad essere riqualificati come pubblici parchi e altri spazi verdi (Artuso e Cossu, 2018).

Le destinazioni d'uso più diffuse delle discariche risanate sono quelle ricreative (tra cui impianti sportivi, spazi aperti pubblici, habitat naturali), agricole (coltivazioni, pascoli, recupero energetico) e attività edilizie specializzate (Figura 7.1).

Quando si pianifica il tipo di riqualificazione, si deve tenere a mente che la discarica risanata è un sito contaminato e che gli sviluppi di qualsiasi tipo riguardanti il terreno del sito (e nei suoi dintorni) devono essere valutati dalle autorità competenti nel rispetto e nella protezione dell'ambiente. Inoltre, qualsiasi sviluppo successivo all'utilizzo della discarica deve avvenire dopo un'approfondita valutazione dei rischi dei siti chiusi (ad es., rischi di emissioni di gas, impatto sull'approvvigionamento idrico, ecc.) e la conferma che non rappresentano più un pericolo.



Figura 7.1. tipi più comuni di riutilizzo dopo il risanamento di una discarica non controllata/ a cielo aperto

I potenziali utenti finali di un impianto per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) chiuso, dai proprietari ai funzionari del governo locale, fino ai chi si occupa di gestire gli spazi comuni della zona devono considerare le opzioni sopra menzionate. L'uso finale più appropriato del sito risanato deve essere deciso in base all'impatto paesaggistico, alla sostenibilità ambientale e al consenso sociale (Artuso e Cossu, 2018a). I benefici sociali e ambientali derivanti dalle opzioni sopra menzionate sono riassunti nella Figura 7.2. Le discariche risanate possono essere una risorsa per la comunità locale in modi diversi (si vedano le sezioni da 7.2 a 7.4) e possono avere benefici diretti per la società (nuove aree fabbricabili, habitat per la fauna selvatica, scopi commerciali, ecc.).

7.2. Uso ricreativo

Lo sfruttamento dei siti riabilitati ad uso ricreativo rappresenta un'opportunità per la società di migliorare le strutture dedicate al tempo libero della comunità e quindi, indirettamente, di aumentare il valore immobiliare della zona intorno al sito. L'uso ricreativo, infatti, è la scelta più sfruttata per il riutilizzo delle discariche risanate. Soprattutto quando il sito risanato è adiacente ad aree urbane ad alta densità di popolazione, progettare uno spazio ricreativo pubblico che offra zone verdi adatte a percorsi naturali o ad attività sportive all'aperto è un grande vantaggio, poiché promuove il benessere e la salute della società. Inoltre, questo tipo di utilizzo contribuisce al ripristino degli habitat nazionali, alla protezione, l'osservazione e lo studio della fauna selvatica

locale.

Le attività ricreative variano non solo per il loro carattere ma anche per la loro complessità, da semplici spazi aperti a strutture molto articolate. Le variazioni dipendono anche dal paesaggio del sito risanato e dalle esigenze della comunità per quanto riguarda le caratteristiche delle attività. Di conseguenza, un sito risanato può combinare diversi usi ricreativi e per determinare l'uso più pertinente è necessario considerare diverse questioni e trovare il giusto equilibrio tra vantaggi e svantaggi. Di seguito, vengono riportati entrambi i criteri sono presi in considerazione nelle sottosezioni da 2.1 a 2.4



Figura 7.2. Tipologie di riutilizzo delle discariche risanate.

7.2.1. Creazione di habitat e santuari per la tutela della biodiversità

La creazione di habitat naturali e di santuari per la tutela della biodiversità in un sito risanato offre importanti vantaggi rispetto all'inerbimento o all'impianto di monoculture (una pratica standard di coltivazione). Per questo tipo di riutilizzo, devono essere prese in considerazione diverse caratteristiche della vegetazione e del paesaggio per raggiungere con successo gli obiettivi di un sistema di copertura completo, compresa la minimizzazione dell'infiltrazione di liquidi nei rifiuti sottostanti. Inoltre, queste caratteristiche devono adattarsi anche all'obiettivo di fornire ambienti per la fauna selvatica e per le attività ricreative che siano il più possibile simili a quelli naturali.

La selezione della vegetazione deve essere fatta in modo da soddisfare i seguenti requisiti:

- Adattarsi alle condizioni ambientali della zona;
- Essere autoctone e/o resistenti alla siccità;
- Avere un fabbisogno ridotto di falciatura;
- Avere un fabbisogno ridotto di fertilizzante;
- Favorire una facile manutenzione e rimozione di erbe infestanti

Questo approccio non solo contribuisce all'aspetto naturale dell'habitat faunistico, ma consente anche una migliore gestione dei costi operativi per il mantenimento della copertura vegetale (Simmons, 1999).

Prima di iniziare le attività di creazione dell'habitat naturale, è necessario eseguire un'indagine specifica volta a raccogliere informazioni preliminari utili sulle specie vegetali autoctone nell'area risanata e nei suoi dintorni, e sulle condizioni dominanti necessarie per l'habitat naturale. Sulla base dei risultati dell'indagine, la costruzione dell'habitat naturale può essere organizzata attraverso i seguenti approcci (Simmons, 1999):

- Rigenerazione naturale: con pochissimi sforzi e interferenze da parte dell'uomo;
- Creazione di elementi di base dell'habitat naturale (piantumazione, piano paesaggistico generale), seguita da una limitata interferenza umana durante lo sviluppo naturale e per scopi di manutenzione;
- Creazione delle caratteristiche principali dell'habitat naturale e loro mantenimento nel

tempo per adattarsi direttamente ai risultati previsti dall'uomo.

Qualunque sia l'approccio scelto per la creazione dell'habitat naturale, l'obiettivo è la cura dell'integrità delle funzioni del sistema di copertura vegetale, la protezione dell'infrastruttura del sito e la soddisfazione dei desideri degli utenti finali. Si tratta di un problema complesso da risolvere con varie opzioni possibili. Ad esempio, le componenti del sistema di copertura della discarica devono essere progettate in modo da rispettare l'habitat della fauna selvatica. Un'indagine preliminare è molto utile a questo scopo, poiché i dati raccolti possono dare informazioni sulle possibili relazioni negative tra la flora e la fauna locali e l'infrastruttura del sito (ad esempio, la valutazione dei rischi di danni da parte delle specie selvatiche al sistema di copertura e all'infrastruttura).

7.2.2. Parchi e impianti sportivi

I parchi e gli impianti sportivi hanno la caratteristica comune di essere spazi aperti, il che rappresenta un vantaggio rispetto alle strutture ricreative che prevedono la costruzione di edifici. Ciò è dovuto al fatto che questi spazi aperti non sono minacciati dall'accumulo di gas, una delle preoccupazioni principali dei luoghi chiusi. Per quanto riguarda la gestione delle acque, le attività nelle aree ricreative all'aperto non violano gli standard per la chiusura delle discariche. In particolare, l'acqua di ruscellamento deve essere drenata e la formazione di bacini d'acqua deve essere evitata attraverso un'attenta selezione di condizioni adeguate alla gestione del flusso d'acqua.

In generale, i siti ricreativi aperti non hanno edifici strutturali. Tuttavia, possono essere presenti strutture leggere, come aree per il picnic, sentieri, panchine, siti di osservazione, padiglioni, ecc. Quando lo spazio aperto ricreativo si trova vicino a un'area fortemente urbanizzata, è necessario adottare misure preventive per proteggere il sistema di copertura e le infrastrutture ad esso associate. Queste misure includono di solito la collocazione di cartelli o note per indicare le aree che sono vietate per alcune attività o che dovrebbero essere trattate con particolare attenzione.

Nel caso di attività ricreative che prevedono la partecipazione di molti utenti, saranno necessari edifici più strutturati quindi dovranno essere progettate costruzioni amministrative, magazzini,

servizi igienici, ecc. che possono richiedere, tra l'altro, dei sistemi di illuminazione. È consigliabile che tali strutture siano situate al di fuori dei limiti del sito risanato. Tuttavia, un uso ricreativo efficiente può richiedere il posizionamento di alcuni edifici di costruzione proprio sopra il sito. In questo caso, bisognerà considerare i requisiti per le fondamenta di questi edifici e per i loro elementi ausiliari (panchine, padiglioni, parchi giochi), ovvero una quantità maggiore di terreno e degli stabilizzatori delle fondamenta. È inoltre necessario un adeguato controllo del biogas per evitare possibili esplosioni.

Uno dei riutilizzi più come dei siti risanati è la costruzione dei campi da golf che sebbene richieda un'area relativamente grande (circa 700.000 m², fonte: Golf, 2013), è considerato un buon investimento e un potenziale generatore di profitto (Wallace, 2000). La parte più costosa nella costruzione di un campo da golf su un sito risanato è la grande quantità di terra che deve essere trasferita e posata per creare le condizioni ideali. Per questo motivo, coloro che si occupano di questo tipo di riqualificazione della discarica devono considerare tutte le varianti della costruzione di campi da golf e integrarlo già nella progettazione del processo di risanamento della discarica non controllata.

Nella progettazione di un campo da golf, deve essere implementato un sistema di raccolta per il biogas con la prospettiva di funzionare a lungo. Questo sistema deve adattarsi sia alle caratteristiche tecniche del dispositivo di raccolta del gas sia alle esigenze estetiche del campo da golf.

L'ubicazione prevista del campo da golf deve essere valutata durante la costruzione dell'impianto per assicurare le corrette pendenze della superficie di gioco, importanti per le regole del gioco, ed evitare qualsiasi assestamento differenziale che possa portare a ristagni o a gradazioni superficiali negative che hanno effetto sul quadro complessivo del campo da golf.

Una caratteristica specifica del campo da golf, che lo differenzia dagli altri usi ricreativi, è il requisito di una corretta irrigazione. Tenendo presente che i sistemi di copertura di una discarica mirano a ridurre al minimo l'infiltrazione dell'acqua nel corpo della struttura, la pianificazione, la progettazione e il funzionamento del sistema di irrigazione devono essere di particolare importanza, oltre che sincronizzati con gli obiettivi generali del sito. La stabilità delle linee di irrigazione e l'approvvigionamento idrico ampio e costante sono tra le principali sfide per la

predisposizione di questo sistema. Si dovrebbe anche considerare la possibilità di utilizzare delle acque trattate per questi scopi.

7.2.3. Altri usi ricreativi

Altri usi ricreativi del sito risanato possono includere impianti sportivi come piste per lo sci e lo slittino, circuiti per il pattinaggio su ghiaccio, campi per il tiro con l'arco, piste ciclabili, ecc. Sebbene questi tipi di riutilizzo non siano così comuni come i parchi e i campi da gioco sportivi, dovrebbero essere considerati come un'opzione non tradizionale. È vero che queste attività sportive comportano più rischi, perché sono meno praticate e i progettisti di queste aree ricreative o le autorità competenti possono avere dubbi per la salute degli utenti finali. Tuttavia, se un progetto di questo tipo risponde alle esigenze della società e soddisfa le normative locali, può essere legittimamente realizzato.

7.3. Uso agricolo

7.3.1. Erboricoltura, coltivazioni agricole e pascoli

Esistono diversi usi agricoli adatti al riutilizzo dei siti riabilitati (Kovac e Goodburn, 2010). Tra gli altri, si possono elencare l'inerbimento, il pascolo degli animali, l'impianto e la coltivazione di colture e la selvicoltura.

L'inerbimento è un buon approccio al riuso di tipo agricolo, poiché offre i vantaggi di un'esecuzione e di una manutenzione relativamente semplici. Tuttavia, ci sono diverse caratteristiche importanti delle specie erbacee che devono essere prese in considerazione quando si pianifica un progetto di inerbimento. Per esempio, le specie erbacee devono essere di tipo rizoma-tubero per formare un manto erboso uniforme, denso e sostenibile. È preferibile che siano resistenti alle malattie e alla siccità, tolleranti rispetto alla disponibilità di nutrienti e adattabili a condizioni ambientali estreme. Se le aree erbose non sono destinate al pascolo, le specie erbacee devono essere poco attraenti per gli animali. Ai fini di una facile manutenzione, sono preferibili le specie che non richiedono frequenti sfalci e che possiedono una buona capacità di recupero dopo lo sfalcio (Maiti e Maiti, 2015).

Per il pascolo, le specie vegetali devono essere a crescita rapida e attraenti per gli animali (vedi “Grazing former landfills- Casi di studio sul pascolo tradizionale” <https://www.legacygrazing.org.uk/case-studies/landfills>).

Per quanto riguarda la selvicoltura, di solito è prevista la piantumazione di arbusti e alberi nelle zone periferiche e sui versanti dell'ex discarica, per favorire la protezione contro l'erosione e proteggere la prateria da altri danni, come lo sfalcio illegale, il pascolo o l'interferenza delle persone. (Moffat and McNeill, 1994).

7.3.2. Raccomandazione per l'uso agricolo

Esistono due aspetti importanti da considerare quando si opta per il riutilizzo agricolo di una discarica risanata:

- La potenziale contaminazione della catena alimentare attraverso fonti alimentari da parte dei prodotti ed emissioni della discarica;
- Il mantenimento dell'integrità degli strati di copertura dai danni dovuti alle attività agricole.

Per evitare tali situazioni, è necessario rispettare le buone pratiche di erboricoltura, coltivazioni agricole e pascolo. I siti riqualificati e mantenuti in modo efficiente non devono consentire la contaminazione della flora e alla fauna presenti sulla superficie del sito. Anche le manutenzioni dell'impianto di raccolta e trattamento del biogas e del sistema di regimazione delle acque di ruscellamento superficiali sono molto importanti. L'interferenza con il sistema di copertura e l'infrastruttura del sito potrebbe causare danni e dipende in larga misura dallo spessore dello strato di terreno superficiale. Questo strato di terreno deve essere sufficientemente profondo da consentire il corretto attecchimento delle piante, mantenendo l'apparato radicale lontano dagli elementi critici degli strati di copertura e dai rifiuti sottostanti. Lo stesso vale per le macchine agricole e/o gli animali selvatici. Per questo motivo le infrastrutture del sito devono essere adeguatamente posizionate nel sottosuolo e, se situate in superficie, adeguatamente segnalate.

L'uso di siti riabilitati per scopi agricoli non è una pratica comune ovunque. In alcuni paesi le normative nazionali non trattano specificamente l'uso del sito chiuso per tali scopi, sebbene la manutenzione del sistema di copertura e il controllo delle acque meteoriche siano attivi. Ci sono

casi in cui l'uso agricolo è fortemente vietato. Infine, le normative di altri paesi si occupano di applicazioni agricole in termini di pascolo di animali, coltivazioni, e selvicoltura con la condizione di tenere conto di alcuni importanti aspetti di carattere sia tecnico che agro-migliorativo. La maggior parte di esse sono elencate nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1. Aspetti di carattere tecnico e agro-migliorativo della riqualificazione agricola.

Aspetto	Descrizione
Agro-migliorativo	Le colture da utilizzare per l'impianto
	Bisogno maggiore di terreno in termini di spessore, capacità di sostegno rispetto alle radici delle piante
	Profondità dell'aratura
	Tassi di applicazione della semina
	Tasso di fertilizzazione
	Tempi di sviluppo delle coltivazioni agricole
	Misure di prevenzione dell'erosione
	Gestione del terreno
	Pianificazione della rotazione delle colture
	Pianificazione del pascolo degli animali
Approvvigionamento idrico per l'irrigazione	
Tecnico	Attrezzatura necessaria
	Strutture per lo stoccaggio e la loro ubicazione
	Cambiamenti previsti per la riqualificazione del sito rispetto alle condizioni attuali

7.3.3. Riqualificazione orientata al recupero di materiali e di energia

I siti risanati possono essere utilizzati come impianti di generazione di energia. Esistono tre tipi

principali di energia rinnovabile che possono essere sfruttati: la conversione del gas di discarica in elettricità, l'energia solare e quella eolica (Figura 7.3). Il riutilizzo dei siti a fini energetici può essere combinato con altri usi (ad esempio, uso ricreativo) oppure essere l'unico presente. In questo secondo caso, i rischi per i potenziali utenti finali delle attività sono minori, poiché solo il personale autorizzato ha accesso al sito.

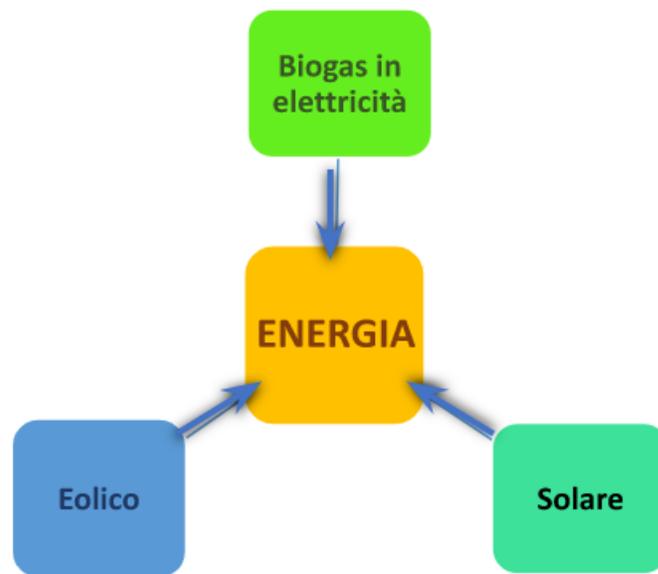


Figura 7.3. Tipi di energia rinnovabile associati al riutilizzo dei siti risanati.

La principale fonte di energia in discarica è il gas metano. Esso viene convertito in elettricità una volta superato il rischio di esplosione conferito dal metano stesso. Anche i pannelli solari e/o le turbine eoliche possono essere utilizzati come fonte energetica. La produzione di energia porta importanti vantaggi al sito risanato e alla comunità locale, come la copertura del fabbisogno di energia elettrica (in parte o interamente) e l'equiparazione con le fonti energetiche non rinnovabili, l'aumento della motivazione per la raccolta del gas. Si tratta di elementi che contribuiscono a loro volta alla protezione dell'ambiente attraverso la riduzione dei gas serra (GHG) e delle emissioni nocive.

Le considerazioni principali sull'implementazione di queste tecnologie nei siti risanati sono discusse in dettaglio qui di seguito.

Bonifica del gas di discarica

Il metano e l'anidride carbonica sono i principali costituenti del gas che viene estratto e raccolto attraverso un impianto di captazione della discarica. Il suo utilizzo può essere indirizzato verso due opzioni: la combustione diretta o l'utilizzo per la produzione di energia elettrica. In una seconda opzione, il gas grezzo può essere trasformato in combustibile per produrre elettricità attraverso poche fasi di lavorazione. Una terza opzione è quella di pulire il gas per aumentare il contenuto energetico per altre applicazioni utili. Alcune di queste tecnologie di recupero energetico e le loro caratteristiche sono elencate nella Tabella 7.2.

Tabella 7.2. Tecnologie di bonifica del gas di discarica
(Fonte: https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_ibpgcomplete.pdf)

Tecnologia	Caratteristiche
Turbine	<ul style="list-style-type: none">– Funziona anche con basse concentrazioni di gas di discarica– Resistente ai danni– Efficienza elettrica: 40-80%– Poco economico: richiede un'elevata quantità di gas
Motore a combustione interna	<ul style="list-style-type: none">– Recupero energetico tradizionale, efficienza moderata
Motore a combustione esterna	<ul style="list-style-type: none">– Mescola combustibile e aria per facilitare la combustione– non è necessario un pre-trattamento del gas grazie all'elevata resistenza alle impurità– Efficienza energetica: 30%
Motore a ciclo combinato	<ul style="list-style-type: none">– Utilizza il gas e turbine a vapore– Le turbine a gas producono calore per generare vapore

	<ul style="list-style-type: none"> - Funziona a larga scala
Combinazione di calore e energia	<ul style="list-style-type: none"> - Genera energia termica ed elettricità dal vapore/acqua calda - Può recuperare il calore perso dalle turbine e dal motore aumentando l'efficienza
Microturbine (piccole turbine di combustione)	<ul style="list-style-type: none"> - Funziona con flussi di gas ridotti e con basse concentrazioni di gas - Il gas necessita di pre-trattamento per rimuovere la condensa e le impurità - Efficienza energetica: 20-30%
Turbine a vapore (Boiler)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizzo diretto del gas di scarica - Genera vapore attraverso la combustione per alimentare le turbine - Metodo meno utilizzato
Cella a combustibile	<ul style="list-style-type: none"> - Combina due flussi (gas e aria) che entrano nelle due celle per produrre elettroni che vengono poi trasferiti a un accettore di ossigeno atmosferico - L'efficienza energetica dipende dalla qualità del gas: alte concentrazioni di metano e basse quantità di impurità

L'efficienza energetica dell'utilizzo del gas è influenzata da molti fattori. Tra i più importanti vi sono le dimensioni del sito, il tipo e l'età dei rifiuti, l'efficacia dell'impianto di captazione e la tecnologia utilizzata per trasformare il gas in energia. La quantità di gas prodotto è spesso il fattore cruciale che determina l'economia del processo di convergenza e influenza, ad esempio, i

prezzi dell'elettricità e, indirettamente, le condizioni ambientali.

La conversione del gas in energia inizia solitamente durante il funzionamento del sito, ma può continuare per anni dopo la sua chiusura. Pertanto, il valore patrimoniale dei sistemi gas-energia può essere incrementato attraverso una buona pianificazione delle tecnologie che aumentano il tasso di raccolta del gas durante i forti periodi di accumulo lungo le attività di raccolta dei rifiuti. La pianificazione dell'impianto di captazione nell'ottica di ulteriori usi benefici del sito garantirà un migliore utilizzo del sito come bene pubblico.

Energia solare

Il riutilizzo dei siti come luogo per la realizzazione di progetti di energia solare è un'iniziativa relativamente nuova. L'interesse per questo tipo di guadagno energetico è in aumento negli ultimi tempi, poiché i costi degli impianti solari stanno progressivamente diminuendo (Millbrandt et al., 2013). In genere, i siti riabilitati comprendono ampie aree di spazio aperto che sono molto adatte al posizionamento di impianti solari. Inoltre, questi siti sono fondamentalmente dotati di infrastrutture per la distribuzione dell'elettricità che facilitano il processo complessivo di generazione e trasmissione dell'elettricità.

Il sistema solare funziona secondo il principio della conversione dell'energia solare (immagazzinata dai pannelli solari) in elettricità riutilizzabile. Esistono due tipi principali di tecnologie per l'energia solare:

- Il fotovoltaico (*Photovoltaic* o PV): vengono applicati semiconduttori che generano carica elettrica attraverso l'effetto fotovoltaico. Si tratta della tecnologia solare più utilizzata oggi.
- Il solare a concentrazione (*Concentered solar power* o CSP): uno specchio a parabola concentra i raggi del Sole in un unico punto detto “fuoco” generando alte temperature.

Per realizzare una produzione efficiente di energia solare in siti risanati, è necessario considerare diversi fattori:

- La quantità di energia solare disponibile nell'area. Ciò significa che si deve considerare la radiazione solare media annua su base giornaliera. A tal fine, le mappe della radiazione solare devono essere analizzate per un periodo di circa 10 anni, in modo da avere dati

ragionevoli per l'efficacia dei costi di installazione dell'impianto.

- **Motivazione economica e politica.** In questo caso, devono essere discussi i rapporti con i fornitori di energia elettrica a livello locale. Un altro argomento di discussione è la logistica del sito per la trasmissione dell'energia generata e la sicurezza del sito.

Per determinare se un progetto solare è fattibile o meno, occorre tenere conto di una serie di fattori (EPA/600/R-14/349).

- **Ubicazione dell'impianto:** l'approccio costruttivo di un impianto solare dipende dalla sua collocazione sul sito - in cima a una discarica o installata nel terreno. Nel primo caso, la costruzione deve tenere conto dell'integrità del sistema di copertura e degli altri elementi di sigillatura della discarica. Nel secondo caso, gli scavi nel sistema di copertura e il posizionamento delle strutture di supporto dell'impianto energetico devono essere eseguiti con le dovute precauzioni per mantenere intatto lo strato di copertura, evitando di interferire con ACCS sistemi di regimazione delle acque meteoriche. In generale, il paesaggio pianeggiante è preferito all'approccio di montaggio. Il posizionamento dei pannelli solari sulla superficie piana del sito, in direzione sud, è una buona opzione dal punto di vista economico, poiché ogni sforzo di costruzione aggiuntivo può potenzialmente aumentare i costi e creare ulteriori problemi di manutenzione con i sistemi di gestione delle acque meteoriche.
- **Esposizione solare:** aree fortemente soleggiate.
- **Sicurezza del sito:** i pannelli solari devono essere installati in una zona sicura, riparata da qualsiasi danno fisico (es.lancio delle pietre).
- **Logistica energetica:** deve esserci un collegamento alla rete elettrica, una strada di accesso e strati di copertura sufficientemente spessi da ospitare le linee elettriche. Inoltre, una società elettrica per agevolare costi e gestire gli orari di fornitura.
- **Motivazione finanziaria ed economica:** questi sistemi di energetici consentono sia visibilità che flessibilità nel controllo dei costi di manodopera. Entrambe le caratteristiche sono importanti ai fini del marketing. Le persone saranno motivate a pagare di più per l'energia solare attraverso crediti d'imposta, sovvenzioni o incentivi.
- **Politiche legate alla fornitura di energia:** incentivi di politica energetica per il solare, ad esempio un requisito di 2 o più percentuali di energia di origine solare.

7.4. Uso edile

La costruzione di edifici come pratica di riqualificazione delle discariche risanate è stata anticipata nella sezione 7.2. In generale, si tratta di costruzioni leggere assemblate secondo il principio modulare che sono anche facilmente trasportabili. Le grandi strutture permanenti sono un'altra opzione per il riutilizzo dei siti risanati, anche se non rappresentano l'opzione migliore. La preoccupazione principale è la resistenza delle fondamenta degli edifici e la migrazione del gas.

Questo tipo di riutilizzo delle discariche è meno popolare rispetto al loro sfruttamento ricreativo, a causa delle grandi sfide che devono essere superate per garantire sia le prestazioni adeguate delle strutture sia il rispetto delle norme ambientali. Gli ostacoli da considerare sono legati a questioni normative, progettuali, economiche e di sicurezza.

In alcuni Paesi esistono normative che stabiliscono i requisiti specifici per la costruzione di edifici sulle aree risanate. Ci sono tre questioni principali da considerare:

- Assicurare l'integrità del sistema di copertura finale della discarica;
- Il monitoraggio del gas di discarica;
- La costruzione delle fondamenta e l'assestamento dell'edificio.

7.4.1. Strutture che mantengono l'integrità del sistema di copertura finale della discarica

Il sistema di copertura finale dei siti risanati è il fattore principale che tutti i tipi di riutilizzo devono tenere in considerazione. La sua integrità dipende dall'infiltrazione di umidità, dal controllo dei gas e dai sistemi di drenaggio delle acque meteoriche.

Durante il processo di costruzione, le fondamenta dell'edificio vengono posizionate direttamente sulla superficie del sito, minacciando i componenti del sistema di copertura finale. Non è consentita la penetrazione o il deterioramento dei penultimi strati del sistema di copertura. Le sollecitazioni fisiche alla copertura e ai sistemi di drenaggio devono essere ridotte al minimo.

Per evitare tali sollecitazioni e mitigare le conseguenze negative, è necessario che uno strato aggiuntivo di terreno venga steso sulla sommità della copertura finale evitando di interferire con il sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

7.4.2. Il monitoraggio del gas di discarica

La composizione chimica e le proprietà fisiche del gas lo rendono esplosivo e potenzialmente pericoloso. Pertanto, gli edifici posizionati nei siti risanati devono essere progettati, costruiti e mantenuti in modo da prendere in considerazione tutte le misure precauzionali relative alla loro interferenza con gli impianti di captazione del gas di discarica e ai suoi possibili effetti esplosivi o tossici. I requisiti obbligatori comprendono:

- Ventilazione dei gas. Una misura ampiamente praticata in questo ambito è la predisposizione di uno strato di ventilazione tra la soletta dell'edificio e il sottofondo. Il più delle volte è composto da una geomembrana ricoperta da uno strato permeabile e da un sistema di tubi fessurati la cui estremità si trova all'esterno dell'edificio. Questi strati di drenaggio del gas aiutano a evitarne l'intrusione attraverso le fondamenta dell'edificio. Un'eventuale fuga del gas viene ulteriormente evitata tramite una copertura sigillante.
- Monitoraggio del gas. Anche l'attività di monitoraggio costante o ricorrente degli edifici costruiti sui siti risanati è fondamentale. Di solito, i sensori di metano sono collocati all'interno o al di sotto (nel sistema di ventilazione delle fondazioni) degli edifici. Questi sensori indicano una soglia specifica di livelli di metano (circa il 25% del limite inferiore di esplosività) e lanciano un allarme. Lo stesso approccio viene utilizzato per altri gas pericolosi, come l'idrogeno solforato. Come ulteriore precauzione, possono essere raccolti campioni di gas a determinati intervalli di tempo per valutare la composizione chimica attraverso analisi di laboratorio.

7.4.3. I requisiti per la costruzione delle fondamenta e l'assestamento degli edifici

La costruzione di edifici nei siti risanati deve essere eseguita nel rispetto delle tecniche ingegneristiche e costruttive previste per terreni di fondazione di qualità inferiore. I rifiuti compressi sottostanti fanno parte dei materiali di questo tipo, poiché non hanno la stessa resistenza del terreno.

Nella fase di progettazione delle fondazioni di un edificio, occorre tenere conto di due aspetti importanti (Sharma and Anirban 2007). Questi parametri sono:

- La capacità portante della superficie del sito. Questo parametro tecnico tiene conto della

capacità della fondazione dell'edificio di sostenere i carichi che gravano sulla superficie del terreno attraverso una struttura. Si tratta di una valutazione a breve termine della capacità di sostenere il peso di un edificio. La capacità portante deve essere calcolata durante la progettazione della costruzione, sulla base dei dati relativi al terreno sovrastante. In alcuni casi può essere necessario uno strato di terreno aggiuntivo.

- Il potenziale di assestamento a lungo termine del sito. In una prospettiva a lungo termine, il sito risanato subisce una diminuzione del volume e dell'altezza dei rifiuti, con conseguente assestamento della superficie. Ciò è dovuto ai cambiamenti dei rifiuti nel corso del tempo.

Il processo di assestamento è multiforme. Le ragioni possono essere di:

- Tipo fisico e meccanico – l'orientamento e il movimento delle particelle nei vuoti o il collasso degli spazi vuoti;
- Tipo chimico – ossidazione, penetrazione di liquidi che dissolvono le sostanze solubili e portano alla formazione di percolato;
- Tipo biologico – la decomposizione della materia organica a vari ritmi a seconda della temperatura, della presenza di substrato organico e dell'umidità.

Il processo di assestamento comprende due fasi, una primaria e una secondaria. Quella primaria, nota anche come assestamento iniziale, copre i primi mesi dopo la deposizione dei rifiuti. Durante questa fase si verifica un assestamento dovuto a processi fisici e meccanici. L'insediamento secondario è dovuto al decadimento biochimico e fisico-chimico che avviene in periodi di tempo più lunghi, a carico relativamente costante dopo la fine della fase primaria. Logicamente, più vecchio è il sito, minori sono i problemi di assestamento.

Esistono varie tecniche che aiutano a prevedere l'assestamento a lungo termine. Per evitare problemi di assestamento dopo la costruzione, in fase di progettazione, è necessario preparare una mappa degli assestamenti previsti e un piano di monitoraggio per migliorare i piani operativi e di manutenzione. I possibili problemi associati agli assestamenti a lungo termine sono legati, tra l'altro, all'inclinazione del sistema di supporto degli edifici, al ristagno dell'acqua, alle rotture delle linee di utenza. Le decisioni tecniche che possono prevenire l'insorgere di tali problemi comprendono una progettazione specifica che tenga conto degli assestamenti, l'uso di materiali

appropriati per le fondazioni degli edifici, connessioni flessibili nelle utenze, rafforzamento/stabilizzazione del terreno.

7.5. Le sfide della riqualificazione delle discariche risanate

La valutazione dell'efficienza della riqualificazione dei siti risanati come patrimonio della comunità implica alcune sfide nel raggiungimento degli obiettivi desiderati e impone l'attuazione di misure correttive o preventive. L'elenco delle sfide più comunemente incontrate e le loro caratteristiche vengono presentate nella Tabella 7.3.

Tabella 7.3. Sfide del riutilizzo delle discariche risanate.

Sfida	Caratteristiche
Preservazione dell'integrità dello strato di copertura finale	Le discariche risanate possiedono un sistema di copertura appositamente progettato. Questo sistema richiede attività di manutenzione a intervalli regolari, con l'obiettivo di controllare, individuare e riparare eventuali danni. Questa manutenzione è importante anche per la gestione della generazione di percolato, della migrazione dei gas e dell'esposizione dei materiali di scarto. Inoltre, anche un utilizzo successivo vantaggioso può causare danni al sistema di copertura. Per questo motivo, il monitoraggio e la manutenzione del sistema di copertura sono obbligatori per tutti gli usi successivi dei siti risanati.
Monitoraggio del gas di discarica	La migrazione di gas dal sito deve essere mantenuta a livelli minimi. A tal fine, il sito deve essere dotato di un sistema attivo di captazione e controllo dei gas o almeno di un sistema passivo di drenaggio. Il corretto funzionamento di questi sistemi previene esplosioni, poiché non consente l'accumulo di gas in luoghi angusti o all'interno degli edifici. Il potenziale accumulo di gas è particolarmente preoccupante per le strutture posizionate sulla sommità di un sito risanato.

Gestione del percolato	<p>I sistemi di raccolta, trattamento e recupero energetico del gas di scarica devono funzionare fino a quando le quantità di gas non raggiungono livelli molto bassi. Questo vale per tutti i casi, indipendentemente dall'utilizzo finale del gas.</p> <p>Il percolato si forma quando l'acqua e i rifiuti entrano in stretto contatto. Questo liquido rappresenta un rischio per la salute umana oltre che un serio problema ambientale, pertanto deve essere raccolto e rimosso dal sito durante il suo funzionamento e dopo la chiusura. Le attività relative alla raccolta, alla rimozione e al successivo trattamento sono a carico dell'impianto di gestione del percolato che deve essere monitorato e mantenuto per prevenire qualsiasi contaminazione nell'ambiente.</p>
Monitoraggio e prevenzione della contaminazione delle acque superficiali e sotterranee	<p>Le acque sotterranee devono essere monitorate regolarmente, poiché il rilascio accidentale di sostanze chimiche dannose può comportare effetti avversi. A tal fine, le risorse idriche sotterranee del sito devono essere accessibili attraverso pozzi d'ispezione da cui si possono prelevare campioni per le analisi chimiche.</p> <p>Anche la qualità delle acque di superficie deve essere monitorata e controllata, perché contaminabile dalla fuoriuscita di percolato. Inoltre, anche i danni causati da un controllo improprio delle acque meteoriche e dell'erosione e dal sistema di copertura contribuiscono a danneggiare le risorse idriche.</p>
Regimazione delle acque meteoriche / prevenzione dell'erosione	<p>Le acque meteoriche devono essere reindirizzate verso le trincee drenanti delle acque superficiali che prevengono danni al sistema di copertura. Per questo motivo, è necessario preparare e seguire piani di controllo delle acque meteoriche e dell'erosione. Le attività di controllo devono essere incluse in tutti gli usi e le riconfigurazioni pianificate per il sito risanato.</p>

Assestamento e stabilità dell'edificio	<p>A seguito della compattazione e della decomposizione dei rifiuti nella discarica, si possono verificare assestamenti degli strati di copertura del sito. L'assestamento può avere un impatto negativo sulle fondamenta degli edifici o di altre strutture, può compromettere i collegamenti delle utenze e danneggiare gli strati di copertura, favorendo una situazione di instabilità. Per evitare che ciò accada, è necessario adottare approcci progettuali che tengano conto dei possibili impatti nocivi degli assestamenti sugli usi del sito e sulla vita umana.</p> <p>L'utilizzo del sito a fini edilizi rappresenta una sfida, poiché gli edifici costruiti sulla sommità del sito chiuso devono essere progettati in modo da resistere agli assestamenti (e alle perdite di gas) ed evitare interferenze con il sistema di copertura finale della discarica.</p>
Infrastrutture e costruzioni	<p>I siti risanati possiedono infrastrutture complesse organizzate prima, durante e dopo il posizionamento dei rifiuti. Questi componenti sono importanti per il funzionamento dell'impianto e qualsiasi interferenza nel loro funzionamento può minacciare la capacità operativa del sito. L'efficacia del controllo delle infrastrutture garantisce la corretta gestione delle sfide sopra elencate e il successo del funzionamento del sito.</p>
Garanzia per la salute pubblica	<p>L'impatto diretto (minimizzazione della contaminazione del suolo e delle risorse idriche) e indiretto (minimizzazione della diffusione di malattie e controllo dei parassiti) delle discariche risanate sul piano socio-economico è parte integrante della politica di recupero COVID-19 a livello europeo. Oggi, la pandemia globale di COVID-19 ha reso necessario riconsiderare le pratiche e gli approcci di gestione dei rifiuti solidi e dello smaltimento in discarica (Das et al., 2021).</p>

Bibliografia

Artuso, A., Cossu, E., He, L., She, Q., 2020. Rehabilitation of landfills. new functions and new shapes for the landfill of Guiyang, China. *Detritus* 11, 57-67 <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13971>.

Artuso, A., Cossu, E., 2018. Afteruse of Landfills. Methodological approach, project requisites and relationship with the surrounding area. *Ri-Vista*, 16(1), 102-117. <https://doi.org/10.13128/RV-22973>.

Artuso, A., Cossu, E., 2018. Reclamation and architectural requalification of an old landfill using in situ aeration, phytotreatment of leachate and energy crops. *Ri-Vista*, 16(1), 134-145. <https://doi.org/10.13128/RV-22992>.

Das, E.K., Islam, M.D., Billah, M.M., Sarker, A. 2021. COVID-19 and municipal solid waste (MSW) management: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 28993–29008.

EPA/600/R-14/349. Closed Waste Sites as Community Assets: A Guide for Municipalities, Landfill Owners, and Regulators.

Golf, H., 2013. Developing Golf Courses on Sanitary Landfills. <http://hurdzangolf.com/>.

Grazing former landfills. Legacy Grazing case studies <https://www.legacygrazing.org.uk/case-studies/landfills> Accessed 24 January, 2022

Grudziecki, J., Buachoom, P., 2016. The landscape architect's guide to the world of solid waste. PhD. Thesis. https://stud.epsilon.slu.se/9728/1/grudziecki_j_buachoom_p_161006.pdf Accessed 29 January, 2022.

Jenkins, K., 2016. Installation provides new vision for landfill architecture, by Matt Hayes in Cornell Chronicle. <https://news.cornell.edu/stories/2016/02/installation-provides-new-vision-landfill-architecture> Accessed 29 January, 2022.

Kovac, M., Goodburn, W., 2010. Agricultural issues for landfill developments. *Rural development guidelines*. Primefact 1065

Maiti, S. K., Maity, D., 2015. Ecological restoration of waste dumps by topsoil blanketing, coir-matting and seeding with grass–legume mixture. *Ecological Engineering*, 77, 74-84.

Millbrandt, A.R., Heimiller, D.M., Perry, A.D., Field, C.B. 2013. Renewable energy potential on marginal lands in the United States. *Renew Sustain Energ Review* 29, 473-481.

Moffat, Andy J; McNeill, John D. 1994. Reclaiming disturbed land for forestry. Bulletin 110. HMSO, London.

Sharma, H. D., and Anirban, D. 2007. Municipal Solid Waste Landfill Settlement: Postclosure Perspectives. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133, 619-629.

Simmons, E., 1999. Restoration of Landfill Sites for Ecological Diversity. *Waste Management and Research*. 17, 511-519.

U.S. Environmental Protection Agency 2012. International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_ibpgcomplete.pdf Accessed 29 January, 2022.

Wallace, R. B., 2000. Landfill redevelopment: Beneficial use and aftercare. URS Corporation, Seattle, Washington.

Yun, T.S., Lee, J.S., Lee, S.C., Kim, Y.J., Yoon, H.K. 2011. Geotechnical issues related to renewable energy. *KSCE Journal of Civil Engineering* 15, 4, 635-642.