



Università  
Ca' Foscari  
Venezia

Corso di Laurea Magistrale  
in Scienze Ambientali  
DM 270/04

Tesi di Laurea

# **Quadro impiantistico delle discariche esaurite in Veneto e valutazione della biodegradabilità dei rifiuti ivi conferiti**

**Relatore**

Prof. Paolo Pavan

**Correlatore**

Prof. David Bolzonella

Dott. Luca Paradisi

**Laureando**

Giacomo Reccanello

Matricola 834469

**Anno Accademico**

2016 / 2017



# INDICE

INDICE.....	3
<b>Capitolo Primo .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>Capitolo Secondo .....</b>	<b>15</b>
<b>QUADRO NORMATIVO .....</b>	<b>15</b>
LA NORMATIVA EUROPEA SULLE DISCARICHE .....	15
DISCARICHE ESAURITE .....	18
BIODEGRADABILITÀ .....	21
LA NORMATIVA NAZIONALE SULLE DISCARICHE .....	23
DISCARICHE ESAURITE .....	26
BIODEGRADABILITÀ .....	28
LA NORMATIVA REGIONALE SULLE DISCARICHE .....	33
DISCARICHE ESAURITE .....	35
BIODEGRADABILITÀ .....	35
OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO NORMATIVO .....	37
<b>Capitolo Terzo .....</b>	<b>39</b>
<b>QUADRO TECNICO.....</b>	<b>39</b>
LE DISCARICHE .....	39
LA REALIZZAZIONE E LA STRUTTURA DI UNA DISCARICA.....	39
LE FASI DI VITA DI UNA DISCARICA .....	50
GLI IMPATTI GENERATI DALLE DISCARICHE .....	53
PERCOLATO .....	54
BIOGAS.....	63
FASE DI POST-GESTIONE E CHIUSURA DI UNA DISCARICA .....	72
EVOLUZIONE DEGLI ASPETTI COSTRUTTIVI DI UNA DISCARICA .....	76
EVOLUZIONE DEI CRITERI DI AMMISSIBILITÀ DEI RIFIUTI IN DISCARICA.....	82
EVOLUZIONE PRE – TRATTAMENTI DEI RIFIUTI.....	87
OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO TECNICO .....	89
<b>Capitolo Quarto.....</b>	<b>92</b>
<b>SCOPO DELLA TESI.....</b>	<b>92</b>
<b>Capitolo Quinto .....</b>	<b>95</b>
<b>MATERIALI E METODI .....</b>	<b>95</b>
MATERIALI .....	95
QUADRO IMPIANTISTICO .....	95
ANALISI SPERIMENTALI .....	98
METODI.....	103
QUADRO IMPIANTISTICO .....	103
ANALISI SPERIMENTALI .....	104

<b>Capitolo Sesto .....</b>	<b>124</b>
<b>RISULTATI E DISCUSSIONI .....</b>	<b>124</b>
QUADRO IMPIANTISTICO.....	124
QUADRO REGIONALE .....	126
QUADRO PROVINCIALE .....	133
OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO IMPIANTISTICO .....	147
ANALISI SPERIMENTALI.....	150
ANALISI MERCEOLOGICA .....	152
PRE-TRATTAMENTI DEL CAMPIONE.....	156
RISULTATI DELLE ANALISI SUI CAMPIONI.....	160
OSSERVAZIONI DI SINTESI ANALISI SPERIMENTALI.....	189
<b>Capitolo settimo.....</b>	<b>193</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>193</b>
<b>Capitolo Ottavo .....</b>	<b>199</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>199</b>
RIFERIMENTI NORMATIVI.....	199
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	202

## INTRODUZIONE

La gestione dei rifiuti costituisce una delle più importanti tematiche degli ultimi decenni, come conseguenza di una crescente produzione degli stessi; tale incremento va sicuramente correlato ad un aumento della popolazione mondiale, ad un incremento dei consumi e al progresso economico (la crisi mondiale ha solo in parte intaccato quest'ultimo fattore).

Secondo le stime effettuate dall'Ufficio Statistico della Comunità Europea (EUROSTAT) in Europa, nell'arco di tempo considerato dallo studio, tra il 2004 e il 2014, sono stati prodotti circa 15 miliardi di tonnellate di rifiuti (comprendenti sia quelli urbani, detti di consumo, sia quelli industriali) (Fig.1.1).

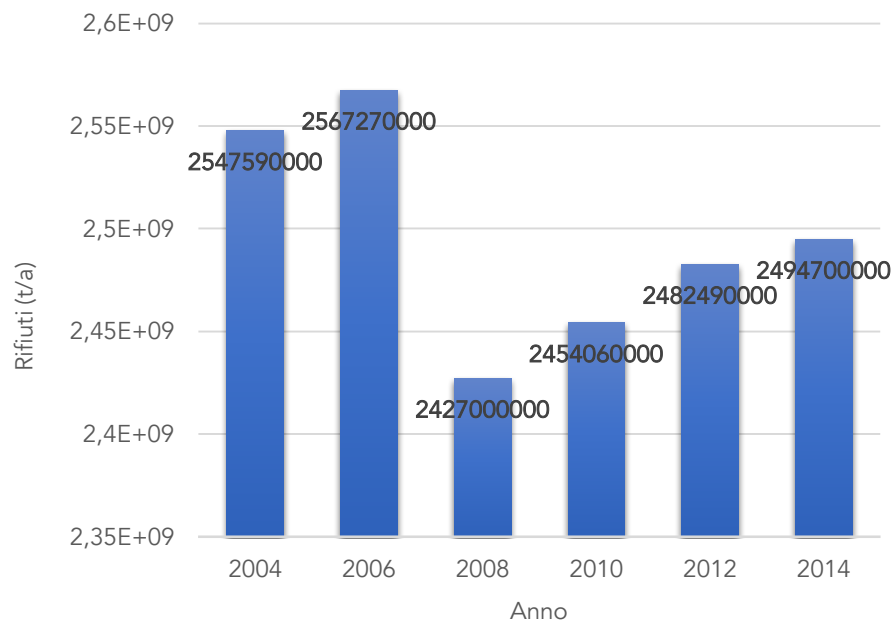


Fig. 1.1: produzione di rifiuti in Europa tra il 2004 e il 2014 (Fonte EUROSTAT)

Dal grafico in Fig. 1.2 si può osservare come, rispetto al 2004, i rifiuti prodotti in Europa nel 2014 siano diminuiti; si può notare come ci sia stata un'evidente flessione tra il 2006 e il 2008, anni coincisi con l'inizio del periodo di crisi economica mondiale; tuttavia, già dal 2008 si può osservare come la produzione sia ogni anno maggiore rispetto al precedente, sebbene non sia ancora paragonabile a quella del biennio 2004 – 2006.

L'indagine considera anche le singole produzioni di rifiuti dei Paesi facenti parte l'Unione Europea nell'arco di tempo tra il 2002 e il 2014: l'elaborazione è presente in Fig. 1.3.

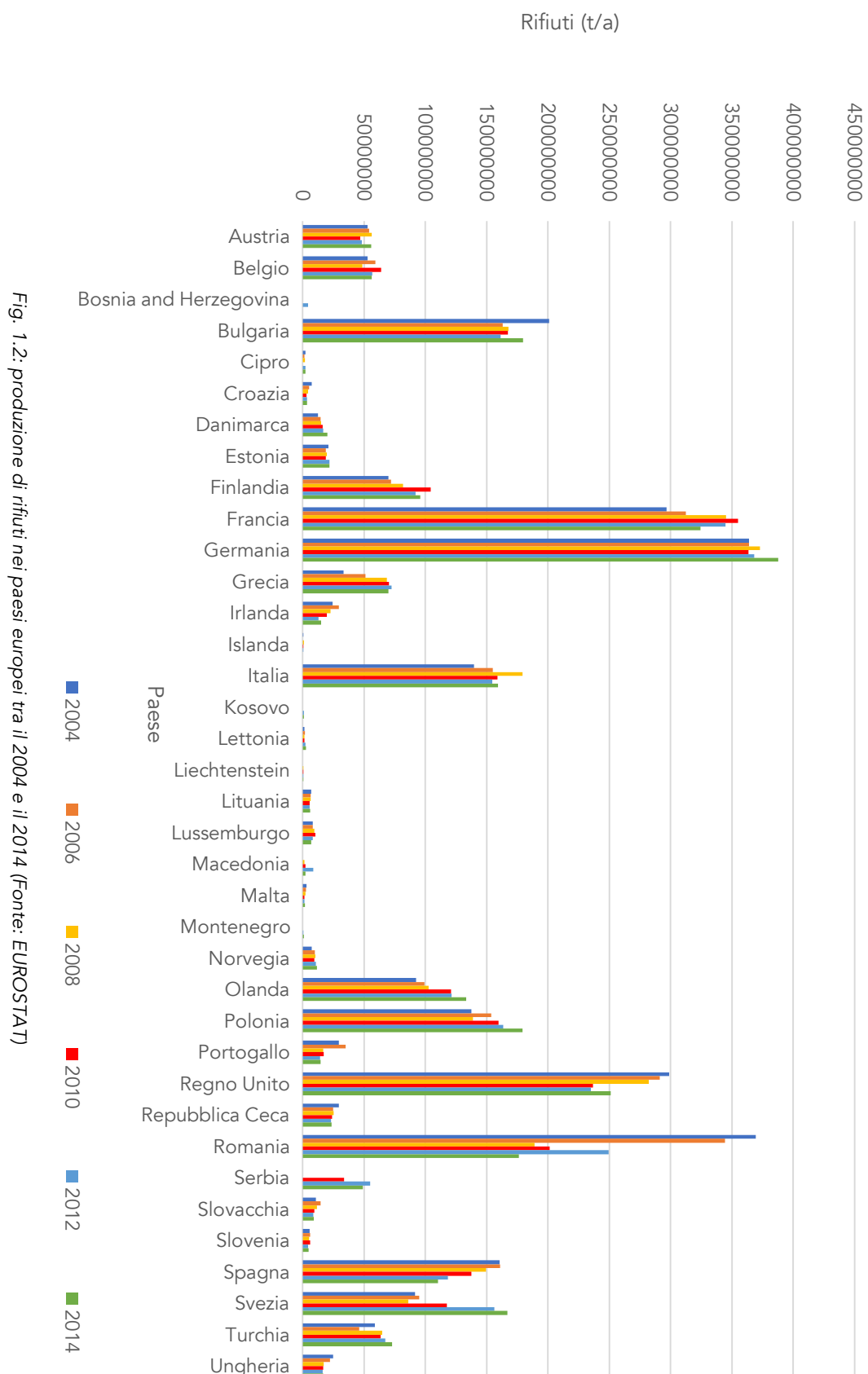


Fig. 1.2: produzione di rifiuti nei paesi europei tra il 2004 e il 2014 (Fonte: EUROSTAT)

In Italia, nello stesso arco di tempo, si è registrata una produzione di 946.250.454 tonnellate di rifiuti (dati EUROSTAT), di cui 188.276.373 tonnellate di rifiuti urbani (dati ISPRA), uno dei valori più elevati tra i Paesi dell'Unione Europea (Fig. 1.3).

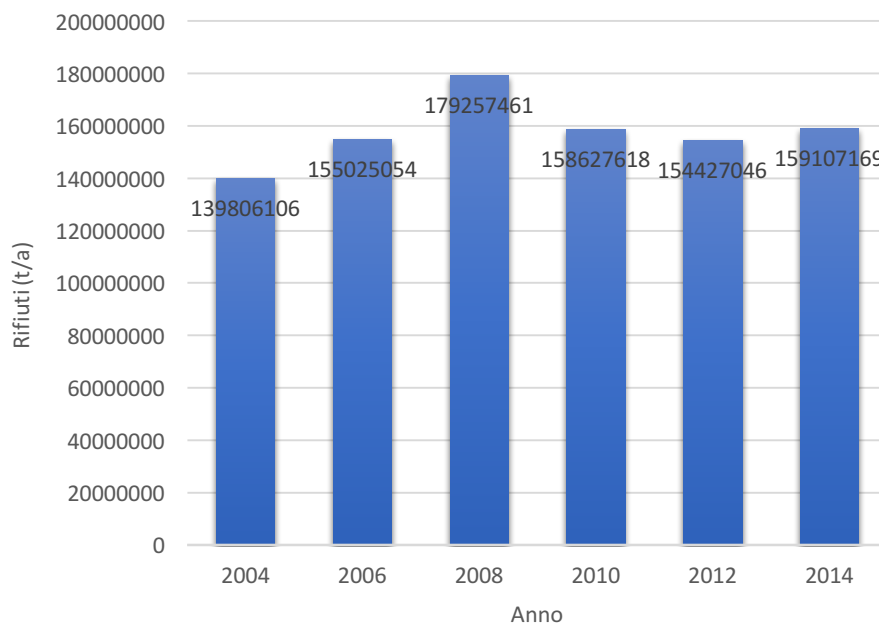


Fig. 1.3: produzione di rifiuti in Italia tra il 2004 e il 2014 (Fonte EUROSTAT)

L'aumento progressivo della produzione di rifiuti nel corso degli ultimi decenni, ha portato tutto il mondo, e quindi anche l'Europa, a cercare soluzioni che potessero permettere di risolvere questo grave problema; quest'azione si traduce con la definizione di linee guida per la gestione dei rifiuti (il cosiddetto *waste management*).

Il *waste management*, infatti, è considerato uno degli obiettivi principali (*Societal Challenges*) di questo secolo secondo l'Unione Europea; lo scopo è quello di rendere l'Europa "una società di riciclaggio che cerca di evitare la produzione di rifiuti e usa i rifiuti come una risorsa" (*Report Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste, 2011*). Diviene quindi di fondamentale importanza una loro gestione conforme a questi principi a livello europeo prima di tutto e, a cascata, a livello nazionale, regionale e locale, affinché l'obiettivo possa essere raggiunto in tempi sempre più brevi.



In tal senso, la strategia delineata dall'Unione Europea, nella gerarchia delle azioni da intraprendere per la gestione dei rifiuti, pone come priorità la prevenzione e la minimizzazione (in termini di quantità e pericolosità), seguita dal recupero di materia ed energia e, solo come ultima azione, lo smaltimento in discarica del cosiddetto "residuale", cioè quella parte di rifiuti che non può essere trattata in alcun modo se non con il conferimento degli stessi in discarica.

Dai dati di EUROSTAT si evince come, a differenza dei "buoni propositi" dell'Unione Europea, in molti Paesi di quest'ultima, soprattutto quelli entrati negli ultimi anni, sia ancora molto diffuso lo smaltimento dei rifiuti in discarica; in alcuni Paesi, lo smaltimento in discarica rappresenta l'"unica" modalità di gestione di rifiuti.

L'analisi di EUROSTAT prende in considerazione anche le percentuali specifiche dei Paesi dell'UE di smaltimento dei rifiuti in discarica (Fig. 1.4).

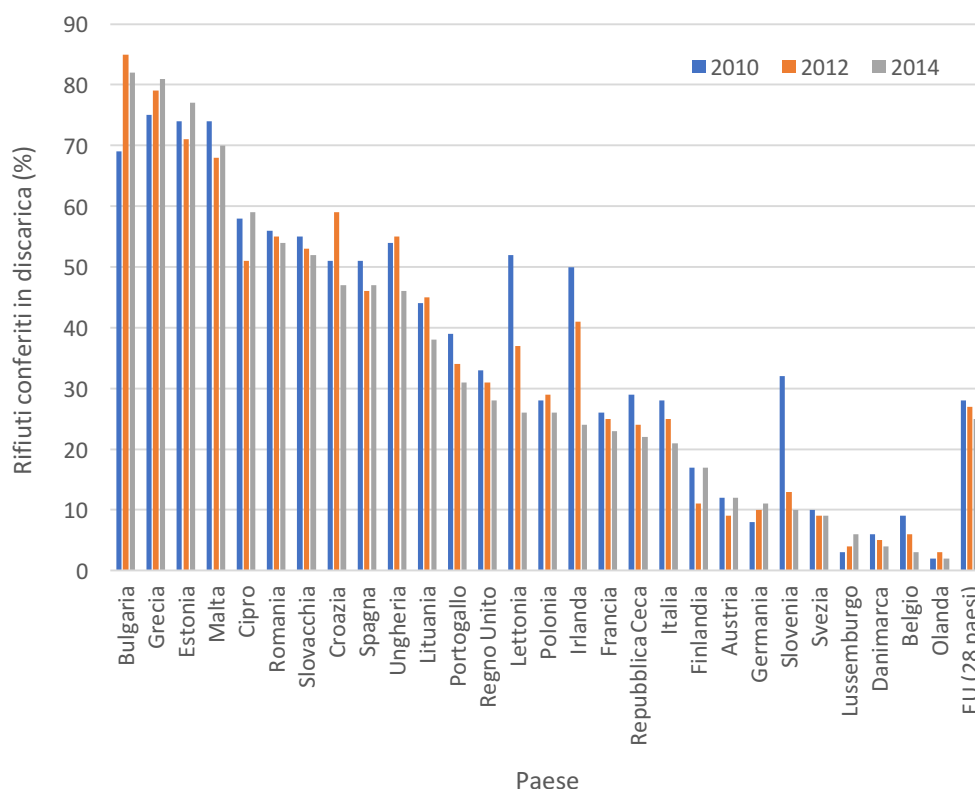


Fig. 1.4: percentuale di rifiuti conferiti in discarica nei Paesi dell'Unione Europea (Fonte EUROSTAT)

Dai grafici si può osservare come lo smaltimento dei rifiuti in discarica rappresenti ancora un'azione molto utilizzata dalla maggior parte degli Stati europei. Paesi come la Bulgaria, l'Estonia, la Grecia e Malta hanno una percentuale di circa l'80%; l'Italia, invece, si trova, nel 2014, intorno al 20%. La percentuale posta come obiettivo dall'Unione Europea (*Report Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste, 2011*) è del 30%. La tendenza a ricorrere a questo tipo di azione è motivata con una maggiore facilità nella gestione dei rifiuti attraverso il conferimento in discarica e con un costo minore rispetto alle altre vie di gestione. Il problema dello smaltimento in discarica è legato ai rifiuti urbani, non differenziati e speciali, soprattutto in tutti quei Paesi in cui la percentuale relativa a questa procedura è particolarmente elevata e, viceversa, è basso il tasso di riciclaggio.

Per quanto riguarda i rifiuti urbani, infatti, in Europa, sempre nel periodo di tempo preso di riferimento (2004 – 2014), sono stati prodotti circa 208.540.000 tonnellate. Ed è proprio questa classe di rifiuti, soprattutto se indifferenziata, e i rifiuti biodegradabili, che determinano i maggiori problemi per un loro corretto smaltimento; essi, infatti, sono estremamente eterogenei e caratterizzati da un elevato contenuto di materia organica biodegradabile: questa frazione e questa caratteristica determina i maggiori impatti ambientali una volta depositi i rifiuti in discarica. La materia organica presente nei rifiuti, infatti, viene degradata dai microorganismi, in quanto rappresenta una fonte di energia e sostentamento, attraverso processi di biodegradazione, producendo due dei maggiori impatti che una discarica può causare, il percolato e il biogas (El-Fadel, Findikakis and Leckie, 1997).

Il percolato, ricco di sostanze organiche disciolte, può rivelarsi un grave pericolo a causa del contenuto di composti facilmente fermentescibili, di un elevato contenuto di acqua e delle condizioni anaerobiche e di acidità che si instaurano al suo interno (*Christensen and Kjeldsen, 2000*); esso rappresenta il veicolo degli inquinanti presenti nei rifiuti conferiti in discarica, soprattutto se dovessero svilupparsi fenomeni di lisciviazione dei metalli, e, qualora esso riuscisse a superare le barriere di contenimento della discarica, può portare alla contaminazione del suolo sottostante e della falda idrica, provocando fenomeni di inquinamento ambientale (*Christensen and Kjeldsen, 2000*).

Anche i biogas prodotti all'interno di una discarica producono consistenti impatti negativi, per il suolo, le risorse idriche e l'atmosfera; circa il 90% del carbonio organico che subisce trasformazioni in discarica viene rilasciato come metano (CH<sub>4</sub>) e diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), con un rapporto di circa 50:50 (Hilger and Humer, 2003); dalla degradazione della materia organica presente nei rifiuti si formano in minor quantità monossido di carbonio (CO) e solfuro idrogeno (H<sub>2</sub>S), sostanze altamente pericolose, grazie a caratteristiche di tossicità e infiammabilità, idrogeno gassoso (H<sub>2</sub>), anch'esso infiammabile ed esplosivo, ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e diversi metalli presenti in traccia. Il biogas quindi può generare miscele ad elevato grado di esplosività, contribuire in modo importante all'effetto serra, ai danni sulla vegetazione, a causa della sua tossicità per le piante (Neumann & Christensen, 1995) e, aspetto non trascurabile, agli odori maleodorante nelle zone circostanti la discarica (Christensen and Kjeldsen, 2000).

Per far sì che gli impatti primari di una discarica possano ridursi notevolmente è fondamentale, prima di tutto, che le discariche vengano realizzate seguendo specifiche disposizioni o linee guida e, successivamente, che vi sia una regolarizzazione dei conferimenti dei rifiuti all'interno di esse; tutto ciò è contenuto all'interno della Direttiva 99/31/CE, denominata "Direttiva Discariche", una delle prime e più rilevanti emanate in materia di rifiuti e discariche, che integra la precedente direttiva, la 75/442/CEE, nella quale per la prima volta si faceva riferimento al termine di rifiuto, indicando le prime modalità di gestione.

L'obiettivo principale della Direttiva 99/31/CE è quello di assicurare norme adeguate in materia di smaltimento dei rifiuti nell'Unione Europea introducendo misure, procedure e requisiti tecnici per le discariche, al fine di evitare e/o ridurre gli effetti negativi sull'ambiente e i rischi per la salute umana.

Tale direttiva, oltre a definire e classificare i tipi di discarica in 3 categorie, quali discarica per rifiuti pericolosi, non pericolosi e inerti, definisce i criteri di ammissibilità dei rifiuti nelle tre categorie sopracitate.

L'importanza della direttiva è legato al suo aspetto innovativo: prima di essa, infatti, non vi erano delle specifiche precise sui tipi e sulle caratteristiche dei rifiuti conferiti in discarica.

Un altro aspetto molto importante che si trova nella Direttiva 99/31/CE è riferito alle disposizioni in materia di realizzazione delle discariche: l'ubicazione, la presenza di un'impermeabilizzazione del fondo, sistemi che garantiscano la raccolta del percolato formatosi e sistemi di captazione del biogas vengono definiti come fattori importanti per la costruzione.

Infine, la "*Direttiva Discariche*" pone particolare attenzione alle modalità relative alle procedure di chiusura e di post-gestione.

Questa direttiva venne recepita in Italia con il famoso D. Lgs. n. 36/2003, il quale rappresenta ancora oggi la normativa quadro di riferimento in materia di discariche a livello nazionale (insieme alle successive integrazioni, quali il DM del 27/12/2010, il DM Ambiente del 29/07/2010 e il DM 24/06/2015). Precedentemente in Italia erano stati emanati diverse normative, come il D.P.R. 915 del 1982 e la Delibera del Comitato Interministeriale del 27 luglio 1984, nelle quali, per la prima volta, venivano definiti criteri relativi alla gestione dei rifiuti in discarica.

Dalla "*Direttiva Discariche*" in poi risulta quindi fondamentale che una discarica venga realizzata in modo tale da impedire il manifestarsi degli impatti negativi potenziali, legati al biogas e al percolato; la normativa vigente, infatti, definisce le BAT, *Best Available Techniques*, per la realizzazione delle discariche, ovvero le migliori tecnologie esistenti per ridurre al massimo l'impatto ambientale.

Le discariche relative agli ultimi 15 anni sono costituite nel rispetto di questa normativa. I problemi, relativi ai potenziali impatti nelle matrici ambientali generati dall'attività di smaltimento dei rifiuti, vanno quindi cercati in tutte quelle discariche realizzate prima della sua emanazione, risultando, di conseguenza, difficili da verificare in termini di qualità dei materiali (soprattutto l'impermeabilizzazione del fondo) o dei sistemi di captazione del gas e raccolta del percolato, utili ad impedirne le fuoriuscite.

Questa difficoltà può rivelarsi ancora più rilevante se, per mancanza di documentazione ufficiale o assenza di un archivio storico, la discarica risulta non esistere o la sua localizzazione non è nota oppure non si conosce la natura dei rifiuti conferitivi all'interno: tutte queste caratteristiche o parti di esse, si riscontrano su quelle discariche che, oramai non più in esercizio poiché non ricevono più nessun rifiuto, sono state chiuse o nelle quali sono in atto le operazioni di post-gestione. Queste prendono il nome di discariche cessate.

Appare evidente come, meno informazioni si hanno su una discarica, maggiore è la pericolosità della stessa per l'ambiente e per l'uomo; non conoscerne la localizzazione, la tipologia, i rifiuti che vi sono conferiti, gli anni di esercizio e il tempo di post-gestione sono aspetti che non possono e non devono essere sottovalutati. Non conoscere il passato delle discariche può avere conseguenze negative nel presente e, se non si interviene, anche sul futuro.

La mancanza di queste informazioni può rivelarsi problematica quando, per esempio, a causa della realizzazione di infrastrutture, si rende necessario un intervento di bonifica dei terreni in cui sorgeva una discarica: questa situazione, infatti, rende necessario rimuovere i rifiuti presenti, generando diversi impatti, quali odori, metano residuo, movimentazione di inquinanti. Altre volte, a causa di fenomeni di inquinamento persistenti in una falda al di sopra della quale era ubicata una discarica si rende necessario riesumare tutti i rifiuti che erano contenuti all'interno: tale operazione prende il nome di *Landfill Mining* ed è molto dispendiosa dal punto di vista economico.

Non conoscere la natura dei rifiuti presenti all'interno di una discarica, le loro caratteristiche e quindi la loro potenziale pericolosità può rendere difficile tutta questa serie di iniziative.

Questo, inoltre, si ripercuote anche sugli aspetti legati alla biodegradabilità dei rifiuti: non potendo stabilire quali rifiuti sono presenti all'interno delle discariche e i loro quantitativi diviene complesso definire quali siano i processi in atto, o si siano sviluppati nel corso degli anni.

A questo va aggiunto che i metodi di definizione della biodegradabilità dei rifiuti non appaiono uguali tra di loro, in merito ai parametri di valutazioni considerati; la normativa europea indica, per determinare la biodegradabilità dei rifiuti, le analisi del COD e TOC, parametri utili a quantificare il contenuto di carbonio totale, senza essere in grado però di definire quanto sia il carbonio putrescibile, il vero responsabile della biodegradazione dei rifiuti, con annesse problematiche ambientali. Anche la normativa Italiana, recependo la normativa europea, utilizza le sole analisi chimiche per determinare le caratteristiche di biodegradabilità, le quali, da sole, non riescono a dare un quadro complessivo. Potrebbe essere utile, definire una serie di parametri, con l'aggiunta di metodologie biologiche, come l'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP), già previsto per alcune categorie di rifiuti (D.M.

27/09/2010 e Linee Guida IPSRA del 2016) e il Potenziale Biochimico di Metanazione (BMP) che, insieme, riescano a definire un quadro conoscitivo completo sulla natura del rifiuto analizzato.

In conclusione, da questa analisi preliminare, emerge come attualmente manchi un censimento europeo di tutte le discariche cessate presenti. A livello nazionale la situazione non è migliore poiché a mancare è una vera e propria bibliografia che definisca e localizzi nel territorio le discariche in post-gestione e cessate. Inoltre sono evidenti le difficoltà burocratiche e amministrative in Italia, con autorizzazioni o documentazioni redatte in tempi diversi e da enti diversi (provincia, comune, enti nazionali, enti locali) e in modi diversi, che non hanno fatto altro che aumentare la difficoltà di comprensione su questo tema.

Per quanto riguarda la biodegradabilità dei rifiuti all'interno di una discarica, affiora come la mancanza di una metodologia unica, che vada a considerare i parametri più importanti, siano essi chimici e/o biologici, possa creare alcune problematiche nelle analisi; è altrettanto importante quindi disporre di tutti gli strumenti utili al fine di determinare la biodegradabilità di un rifiuto all'interno di una discarica.

Il lavoro di tesi quindi si inserisce all'interno di questo contesto, ponendosi due obiettivi principali: definire un quadro impiantistico delle discariche esaurite a livello regionale, attraverso un confronto di archivi regionali, provinciali e comunali, e, attraverso un caso di studio di una discarica cessata in Provincia di Verona in fase di bonifica a causa di problemi di contaminazione della falda, valutare lo stato di biodegradazione dei rifiuti riesumato, testando un set di parametri provenienti da diverse normative, utilizzate a livello europeo, nazionale e regionale.

## **QUADRO NORMATIVO**

### **LA NORMATIVA EUROPEA SULLE DISCARICHE**

Nell'ambito della politica ambientale comunitaria, particolare attenzione è stata riservata alla regolamentazione della gestione dei rifiuti, con lo scopo di ridurre gli impatti negativi sull'ambiente, in modo particolare per quelli legati al deposito dei rifiuti non pretrattati in discarica.

La prima direttiva europea in materia di gestione rifiuti è la 75/442/CEE, la quale si poneva come obiettivo quello di istituire una gestione integrata dei rifiuti all'interno di tutta la Comunità Europea, allo scopo di limitarne la produzione, garantire un elevato grado di protezione alla salute umana e dell'ambiente. Per la prima volta viene proposta una gerarchia di gestione dei rifiuti, la quale poneva in cima la prevenzione nella produzione di rifiuti e, a seguire, il riciclo, ossia il recupero, la trasformazione, l'estrazione dai medesimi di materie prime ed eventualmente energie, nonché ogni altro metodo che consenta il riutilizzo dei rifiuti. In questo contesto, lo smaltimento dei rifiuti mediante il conferimento in discarica, viene considerato come l'ultimo livello di tale gerarchia di gestione; essa, infatti, deve essere considerata solamente per ciò che non è più valorizzabile, il cosiddetto rifiuto residuale.

La successiva direttiva sui rifiuti, la 78/319/CEE, tratta la gestione dei rifiuti tossici e pericolosi, delineando obblighi per gli Stati membri e per gli impianti, i quali devono comportarsi nel miglior modo possibile per ridurre al minimo i rischi per la salute umana e l'ambiente; si introduce per la prima volta una differenziazione tra i rifiuti, e quindi la necessità di caratterizzare i rifiuti pericolosi, definendo zone di deposito diverse rispetto ai rifiuti non pericolosi.

La Direttiva 75/442/CEE e la Direttiva 91/156/CEE sono state abrogate e sostituite dalla Direttiva 2006/12/CE, la quale stabilisce gli obblighi essenziali per la gestione dei rifiuti, in particolare per ciò che riguarda le autorizzazioni allo smaltimento, a seconda delle caratteristiche dei rifiuti e incentiva gli Stati membri ad elaborare piani di gestione dei rifiuti a livello comunitario. Tale direttiva è stata a sua volta abrogata dalla più recente Direttiva 2008/98/CE, la quale si pone come obiettivo quello di chiarire le precedenti direttive, allo scopo di considerare all'interno delle procedure di gestione un approccio che tenga conto dell'intero ciclo di vita (LCA) dei prodotti e dei materiali, non soltanto quindi nella fase in cui essi diventano rifiuti. Tale direttiva definisce come priorità la gestione alternativa dei rifiuti organici conferiti finora nelle discariche, attraverso le operazioni di raccolta differenziata e l'idoneo trattamento, al fine di ridurre i rischi, per le varie matrici ambientali, legati alle emissioni di gas e all'effetto serra, legati allo smaltimento indifferenziato in discarica.

Si denota, nelle varie direttive europee che si sono susseguite negli anni, come, tra le strategie comunitarie, vi sia quella di indicare lo smaltimento in discarica come ultima opzione percorribile, all'interno di un ambiente dove viene garantito il controllo e la sicurezza.

Questo aspetto viene maggiormente esplicitato nella Direttiva 99/31/CE, la "*Direttiva Discariche*", la quale rappresenta la normativa quadro su questo tema all'interno della quale si vanno a delineare le norme tecniche, di gestione e del pre-trattamento dei rifiuti in discarica. Essa infatti si pone come obiettivo quello di "*prevedere, mediante rigidi requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti volti a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente (...), nonché i rischi per la salute umana risultanti dalle discariche di rifiuti, durante l'intero ciclo di vita della discarica*". Per la prima volta, inoltre, compare la definizione di discarica, intesa come un'"*area di smaltimento dei rifiuti adibita al deposito degli stessi sulla o nella terra, compresa la zona interna adibita allo smaltimento dei rifiuti (cioè la discarica in cui lo smaltimento dei rifiuti avviene nel luogo medesimo in cui essi sono stati prodotti e ad opera di chi li ha prodotti) e un'area adibita in modo permanente al deposito di rifiuti*".



All'interno della direttiva, inoltre, vengono definite le tre principali tipologie di discariche: per rifiuti pericolosi, per rifiuti non pericolosi e per rifiuti inerti, a seconda delle caratteristiche dei rifiuti conferiti. Per rispettare questo dettame, sempre all'interno della direttiva, compaiono i criteri di ammissibilità dei rifiuti, i quali permettono, attraverso criteri specifici e/o metodi di prova, di comprendere quali tipi di rifiuti sono ammessi a seconda della tipologia di discarica e quali invece non sono conferibili; per esempio i rifiuti liquidi, i rifiuti esplosivi, corrosivi, ossidanti, altamente infiammabili o infiammabili non possono essere accettati a causa delle loro caratteristiche, così come i rifiuti pericolosi per gli aspetti sanitari (es. quelli provenienti da cliniche, ospedali o istituti veterinari).

Questa nuova normativa l'obbligo che i rifiuti siano sottoposti a trattamento prima dello smaltimento in discarica, soprattutto quelli ad elevato contenuto di sostanza organica; viene stabilito, inoltre, che non risulta un valido pre-trattamento la diluizione e la miscelazione dei rifiuti al fine di renderli conformi alle normative di ammissibilità.

Anche questo aspetto è una completa novità nella legislazione che regola le discariche, poiché vengono presi in considerazione operazioni di trattamento preliminare obbligatorio del materiale da conferire in discarica, sempre con l'obiettivo di ridurre il pericolo legato al biogas e al percolato, soprattutto se prodotto da rifiuti con elevato contenuto di materia organica. Per questa categoria di rifiuti, il pretrattamento gioca un ruolo fondamentale, al fine di ridurre la loro attitudine a fermentare e generare impatti.

Il carattere innovativo della "*Direttiva Discariche*" lo si trova anche nelle precise disposizioni sui requisiti tecnici relativi alle diverse discariche: vengono considerati infatti, aspetti come la localizzazione, la gestione del percolato e del biogas, la protezione del terreno e delle acque (superficiali e sotterranee), la stabilità e il controllo dei rischi provenienti dalla gestione dell'impianto. Per ottenere quindi, da parte dell'autorità competente, l'autorizzazione alla realizzazione di una discarica e, soprattutto, all'esercizio diviene fondamentale che tutti questi requisiti vengano soddisfatti ampiamente.

A completamento delle nuove disposizioni della direttiva, vi sono importanti aggiunte per quanto riguarda le procedure di controllo e sorveglianza nella fase operativa, con l'obbligo di monitorare costantemente

i flussi, in termine di quantità e qualità dei rifiuti in discarica e, novità assoluta, per ciò che concerne le procedure di chiusura e di gestione successiva alla chiusura.

La parte relativa ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica presente nella direttiva 99/31/CEE viene stabilita dalla Decisione 2003/33/CE, la quale è ancora vigente oggi. Essa fissa nuovi criteri e stabilisce le metodologie di analisi per assegnare i rifiuti alle diverse discariche. I parametri individuati dalla normativa per la caratterizzazione di un rifiuto sono applicabili al rifiuto tale e quale o all'eluato, definito come *"la soluzione ottenuta in una prova di eluizione in laboratorio"*, attraverso dei test di cessione, cioè una prova di rilascio di contaminanti, che simula il comportamento in discarica.

Vengono definiti dei parametri e i valori di riferimento, a seconda della natura de rifiuto: nel rifiuto "tale e quale" vengono valutati parametri come il TOC (*Total Organic Carbon*), il DOC (*Dissolved Organic Carbon*), il LOI (*Lost On Ignition*), l'ANC (*Acid Neutralizing Capacity*), il TDS (*Total Dissolved Solids*) il pH, il contenuto di metalli pesanti e di inquinanti organici, mentre, per l'eluato, vengono considerati parametri come il DOC, il TDS e il contenuto di metalli pesanti e inquinanti inorganici.

In generale i parametri da ricercare possono essere distinti in inquinanti inorganici (metalli, anioni), inquinanti organici e parametri correlati con le caratteristiche di biodegradabilità di un rifiuto (TOC, BOD).

Vi sono dei valori limite per ogni parametro da analizzare che permettono di comprendere se un determinato rifiuti è conferibile in una discarica o meno; tali valori variano a seconda della tipologia di discarica e del rifiuto analizzato.

## **DISCARICHE ESAURITE**

La Direttiva 99/31/CEE, vigente tuttora, è molto importante in materia di discariche cessate, poiché, per la prima volta, all'art. 13 e all'Allegato III stabilisce quale siano le procedure per la chiusura e la successiva gestione di un sito esaurito. Prima di questa, nessuna direttiva poneva attenzione sulla post-gestione di una discarica.

La procedura di chiusura, nella maggior parte dei casi, rappresenta la conclusione naturale alla quale una discarica si avvia quando viene raggiunto il volume massimo di rifiuti conferibili al suo interno. Secondo l'art. 9 della "Direttiva Discariche", quando viene rilasciata l'autorizzazione all'esercizio, infatti, deve essere definito, oltre alla tipologia della discarica e ai tipi di rifiuti conferiti all'interno, anche un volume preciso di conferimento che, una volta raggiunto, comporta, salvo proroghe o autorizzazioni particolari, la chiusura del sito.

Quando si raggiunge tale volume massimo, quindi, si procede alla conclusione dei conferimenti dei rifiuti; è quindi il gestore che, secondo l'art. 13, deve gestire questa fase di chiusura.

Il gestore, sempre secondo l'art. 13, può anche decidere di rivalutare le condizioni dell'autorizzazione, e quindi le volumetrie di conferimento nella discarica, diminuendole, e chiudendo anticipatamente un sito.

Solo in alcuni casi, l'autorità competente può avviare una discarica alla chiusura: il motivo determinante può essere riscontrato in un rischio o pericolo per la salute umana o per l'ambiente, a causa di una mala gestione dell'esercizio, di una carenza nella struttura della discarica (rottura dello strato impermeabilizzato, con conseguente rischio di rilascio del percolato nella falda acquifera) o della presenza di rifiuti non conformi ai criteri di ammissibilità o non caratterizzati.

Tutto questo fa sì che, l'autorizzazione alla gestione conferita al gestore da parte dell'autorità competente, venga annullata e che la discarica venga chiusa anticipatamente.

In tutti e tre le casistiche la conferma della chiusura definitiva della discarica spetta all'Autorità Competente, la quale, secondo l'art.13, dopo l'esecuzione di un'ispezione sul posto e dopo aver valutato le relazioni fornite dal gestore o dopo aver effettuato le dovute analisi che constatino la presenza di un vero rischio, definisce la discarica chiusa.

La chiusura di una discarica comporta, di conseguenza, l'impossibilità di conferimento di nuovi rifiuti al suo interno.

Successivamente alla chiusura di una discarica, la Direttiva, all'art. 13 e all'Allegato III, sancisce che deve essere il gestore a prendersi a carico delle operazioni del monitoraggio e del controllo e definendo i tassi (giornalieri,

settimanali, mensili o semestrali) con i quali esso deve effettuare le analisi di controllo.

Le misure di controllo della discarica una volta chiusa, chiamato periodo di post-gestione, sono quindi a carico del gestore, il quale deve monitorare al meglio la situazione, al fine di evitare rischi per la salute umana e rischi per l'ambiente, a causa dei fattori impattanti che continuando a svilupparsi anche dopo la chiusura, quali percolato e biogas, pericolosi per l'atmosfera e le falde poste al di sotto della discarica, qualora il percolato dovesse fuoriuscire dal sito a causa di una rottura dello strato impermeabilizzato posto sul fondo.

Sarà l'autorità competente a vigilare sulla corretta esecuzione, da parte del gestore, delle operazioni di post-gestione e sarà sempre l'autorità competente in materia a definire per quando tempo sarà necessario intervenire con tali operazioni, a seconda di quanto una discarica può comportare rischi.

Questo aspetto, cioè quello delle responsabilità di post-gestione, è fondamentale, poiché per la prima volta, all'art. 13, si identifica nel gestore colui il quale dovrà impegnarsi anche nelle opere di controllo, recupero ambientale, qualora la discarica risultasse impattante nei confronti dell'ambiente, bonifica e riqualifica ambientale, una volta terminato il periodo di post-gestione.

Con l'avvento della nuova normativa sono cambiati significativamente gli aspetti costruttivi e gestionali delle discariche. Quelle costruite precedentemente possedevano sicuramente requisiti inferiori e potenzialmente, nel tempo, possono o hanno generato più impatti. Pertanto, ai fini di una corretta pianificazione ambientale, risulta fondamentale ricostruire il quadro storico dei siti presenti in un territorio (quale ad esempio la Regione Veneto) evidenziando, sulla base delle informazioni rinvenute, le situazioni di maggiore criticità ambientale.

A Livello europeo, quindi, si evince la necessità di regolamentare le procedure di chiusura di una discarica e, conseguenti a questa azione, di post-gestione. Infine, essere a conoscenza della localizzazione delle discariche esaurite potrebbe risultare importante, per future direttive legate alla pianificazione o alla stesura di piani di gestione.

## BIODEGRADABILITÀ

Come anticipato precedentemente, la valutazione della biodegradabilità, soprattutto quella legata alla sostanza organica presente nei rifiuti, risulta molto importante, per essere in grado di ridurre gli impatti generati dalla degradazione di questa frazione.

Dal punto di vista normativo a livello europeo, il concetto e la determinazione della biodegradabilità nei rifiuti da ammettere in una discarica ha subito un'evoluzione storica, che tuttora però non appare conclusa.

Nella Direttiva 75/442/CEE, infatti, si imponeva la promozione delle attività di "prevenzione, riciclaggio e trattamento del rifiuto al fine di ottenere materia ed energia", senza definire però le caratteristiche dei rifiuti e, di conseguenza, le tipologie di trattamento da applicare; nelle successive Direttive, come la 91/156/CEE, pur modificando e migliorando la precedente normativa, non fa nessun riferimento al concetto di biodegradabilità.

Un primo passo verso il concetto di biodegradabilità si ha nel 1996, con la Risoluzione di legge emessa dal Parlamento Europeo, nella quale viene specificata la necessità di seguire un chiaro ordine gerarchico per le attività e i processi connessi al trattamento di rifiuti.

Nella Risoluzione di legge, infatti, "(Il Parlamento) richiede al Consiglio ed alla Commissione (...) di definire una strategia di gestione dei rifiuti appropriata e che sia in conformità con il principio dello sviluppo sostenibile (...) e che rispetti la gerarchia di prevenzione, riutilizzo, riciclaggio, recupero di materiali, recupero di energie e smaltimento in discarica". Le strategie sono quindi improntate nel ridurre al minimo il conferimento in discarica i rifiuti o di garantire delle operazioni alternative o almeno un trattamento preliminare.

Questo obiettivo viene esplicitato maggiormente con la Direttiva 99/31/CEE, la quale stabilisce che vengano avviati in discarica solamente materiali a basso contenuto di carbonio organico e quelli non riciclabili in nessun modo; vengono fissati, all'art. 4 della normativa europea, precisi obiettivi strategici di riduzione della frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica, demandando agli Stati Membri la definizione dei programmi e delle strategie per tale riduzione.

Il rifiuto biodegradabile, definito dall'art. 2 come "qualsiasi rifiuto soggetto a decomposizione aerobica o anaerobica, come altrimenti, rifiuti dei giardini, carta e cartone", da destinarsi in discarica, secondo la "Direttiva Discariche" dovrebbe essere ridotto del 25%, rispetto alla quantità di rifiuto urbano biodegradabile inviato in discarica nel 1995, entro 5 anni dal recepimento della Direttiva, del 50% entro 8 anni e del 65% entro 15 anni.

Le modalità e le azioni da intraprendere per il raggiungimento di questi obiettivi non vengono però individuate, lasciando ampia discrezionalità agli Stati Membri nella scelta dei sistemi da utilizzare.

Gli obiettivi, posti dalla normativa europea, perseguono lo scopo di diminuire gli impatti negativi all'interno delle discariche e di migliorare le condizioni operative generali negli impianti di questo tipo. La Direttiva sulle discariche stabilisce, inoltre, che i rifiuti residuali da collocare in discarica debbano essere comunque adeguatamente pretrattati, allo scopo di ridurre la componente fermentabile di quest'ultimi e, di conseguenza, diminuire la produzione di biogas e percolati ricchi di sostanza organica disciolta, molto pericolosi per la salute umana e l'ambiente.

La Decisione 2003/33/CE, relativa ai criteri e alle procedure per accettare i rifiuti in discarica, completa ciò che già era presente nella Direttiva 99/31/CEE, introducendo dei limiti alla quantità di carbonio organico disciolto (DOC) nell'eluato e di carbonio organico totale (TOC) sul tal quale; all'interno della normativa europea, insieme al DOC e al TOC, non vengono, quindi, definiti altri parametri per la definizione della biodegradabilità dei rifiuti conferiti in discarica.

Già a livello europeo, quindi, risulta attuale la necessità di definire in modo univoco la biodegradabilità e stabilirne i metodi di misura, mediante un set di parametri, tra i quali quelli biologici (IRPD e BMP), che possano accompagnarsi alle analisi di natura chimica (DOC e TOC), per fornire agli Stati Membri dei criteri univoci che permettano di raggiungere gli obiettivi sopracitati, ossia la riduzione della biodegradabilità dei rifiuti avviati in discarica, al fine di ridurre la produzione di biogas e di percolato, in tutto il ciclo di vita di una discarica.

## LA NORMATIVA NAZIONALE SULLE DISCARICHE

A livello nazionale, il D.P.R. 915 del 1982, attuativo di tre direttive comunitarie (DIR 75/442/CEE, DIR 76/403/CEE e DIR 78/319/CEE), è il primo decreto con cui in Italia in tema di rifiuti e di discariche, attraverso il quale vengono definiti i criteri relativi a una loro corretta gestione; vengono infatti stabiliti quali tipologie di rifiuti possono essere smaltiti nelle diverse categorie di discariche.

Questo aspetto è molto importante, poiché rappresenta un primo accenno ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. Il D.P.R. 915 del 1982, inoltre, imponeva una regolamentazione di tutte le fasi di smaltimento dei rifiuti, quali conferimento, raccolta, cernita, trasporto, trattamento, deposito e discarica, senza dare priorità a una fase rispetto a un'altra.

Con la successiva Delibera del Comitato Interministeriale del 27 luglio 1984 si pone maggiore attenzione alle operazioni di recupero di materia e di energia. Vengono definite, inoltre, al punto 4.2 della normativa, le prime classificazioni di discarica:

- Discariche di prima categoria, per i rifiuti solidi urbani, i rifiuti speciali assimilabili a quelli urbani o i fanghi tossici e nocivi.
- Discariche di seconda categoria, di tipo A per i rifiuti inerti, di tipo B per quelli speciali e tossici, di tipo C per quelli speciali infiammabili o comburenti.
- Discariche di terza categoria.

Per tali categorie di discariche vengono definiti dei primi criteri, differenti a seconda della tipologia, volti alla riduzione degli impatti ambientali e sulla salute umana di tale impianti; vengono considerati aspetti come:

- L'ubicazione.
- Le caratteristiche geologiche e geotecniche.
- Lo strato di impermeabilizzazione.
- I sistemi di captazione del percolato e smaltimento biogas.

All'interno della Delibera 27/07/1984, infine, sono presenti alcuni riferimenti ai criteri di ammissibilità per i rifiuti all'interno di queste categorie di discarica; per le discariche 2B e 2C vengono considerati dei limiti di concentrazione per alcuni parametri, indicati all'interno del D.P.R. n. 915/1982, legati soprattutto agli inquinanti organici e inorganici, e, per quanto riguarda l'eluato ottenuto dai test di cessione con acido, indicati sempre all'interno della Delibera nell'Allegato A e B, vengono presi come riferimento i limiti di accettabilità previsti dalla Legge n. 319/1976 "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento".

La gestione dei rifiuti in Italia, però, viene definita con chiarezza dal Decreto Legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997, il "Decreto Ronchi", il quale rappresentava l'attuazione delle direttive europee 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE, dove si evidenzia il ruolo che il deposito in discarica deve assumere all'interno della nuova strategia. Tale decreto, infatti, introduce un ordine gerarchico sulle priorità delle azioni da adottare all'interno di una gestione integrata dei rifiuti: l'assoluta priorità è data dalla prevenzione, seguita dal reimpiego, riciclaggio, recupero e dallo smaltimento dei rifiuti in discarica, solamente in condizioni di sicurezza. Come nella normativa europea, anche in quella nazionale, lo smaltimento costituisce una fase residuale della gestione, alla quale vanno destinati solamente quei rifiuti non più valorizzabili.

Il *Decreto Ronchi* è quindi in linea con gli orientamenti europei, soprattutto per ciò che concerne la necessità di un pretrattamento dei rifiuti prima del loro conferimento in discarica.

Questo decreto ha costituito la normativa di riferimento nazionale in materia di trattamento e smaltimento dei rifiuti fino all'entrata in vigore del Codice dell'Ambiente, il D. Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006, che accorpa e modifica le discipline settoriali in materia di ambiente contenute in molteplici testi normativi, e quindi anche la gestione dei rifiuti.

Per ciò che riguarda la modalità di gestione e di costruzione di una discarica e i criteri di ammissibilità dei rifiuti all'interno, questi vengono ampiamente ridefiniti dal Decreto Legislativo n. 36 del 13 gennaio 2003, il quale recepisce le indicazioni della Direttiva Europea 99/31/CEE, 91/689/CEE e 94/62/CE, dal Decreto del 3 agosto 2005, che abroga il D.M. del 13 marzo 2003, che recepisce a sua volta le disposizioni presenti nell'Allegato II, "Criteri



e *Procedure di Ammissione dei Rifiuti*”, della DIR 99/31/CEE e della Decisione 2003/33/CEE, sostituito dal D.M. del 27 settembre 2010 e dal più recente D.M. del 24 giugno 2015.

Il D. Lgs. 36/03, come aveva fatto precedentemente la DIR 99/31/CEE, introduce la definizione di discarica, una riclassificazione degli impianti di discarica (rifiuti pericolosi, non pericolosi e inerti), nuove disposizioni tecniche volte a stabilire misure, procedure e requisiti tecnici per gli impianti e nuove modalità di gestione atte a ridurre gli effetti negativi sull’ambiente.

Il Decreto impone alle regioni l’elaborazione di un apposito programma per la riduzione del conferimento di rifiuti in discarica, soprattutto di quelli biodegradabili.

Come la direttiva europea, anche quella nazionale definisce criteri di ammissibilità, stabilendo la tipologia di rifiuti che può essere conferita in discarica e quali tipologie non sono accettate.

Un’importante aspetto, anche a livello nazionale, è l’obbligatorietà del pretrattamento dei rifiuti da conferire in discarica; esso deve essere quindi applicato a tutti i rifiuti da immettere in discarica, ad eccezione dei rifiuti inerti o a quei rifiuti che, anche se trattati, non sarebbero in grado di raggiungere criteri tali da ridurre la quantità dei rifiuti stessi o i rischi per la salute dell’uomo e dell’ambiente, o quei rifiuti in cui non risulta indispensabile ai fini dei criteri e limiti fissati dalla normativa stessa.

Nell’allegato I del decreto, vengono definiti i criteri tecnici per la realizzazione di una discarica; questi sono divisi, similmente al DIR 99/31/CEE, a seconda della tipologia di discarica. Ogni tipologia di discarica, quindi, deve soddisfare diversi criteri, legati all’ubicazione, alla protezione delle matrici ambientali, al controllo dell’acqua e alla gestione del percolato, alla protezione del terreno e delle acque, al controllo dei gas, alla copertura finale, ai disturbi e ai rischi vari, alla stabilità, alla protezione fisica degli impianti, diversi a seconda del tipo di discarica da realizzare. Vengono inoltre introdotte delle istruzioni legate ai depositi sotterranei di rifiuti.

Anche nella normativa nazionale, diviene fondamentale soddisfare tutte queste disposizioni, unite a quelle legate ai requisiti tecnici di costruzione di una discarica, affinché possa essere rilasciata l’autorizzazione alla gestione di una discarica.

Infine, ripercorrendo le disposizioni europee, il D. Lgs. n. 36/03, stabilisce le operazioni di gestione operativa di una discarica e, soprattutto, di post-gestione; i dettami della normativa italiana riprendono in questo caso quella europea, aggiungendo nuovi criteri o requisiti, presenti nell'allegato II, *"Piani di gestione operativa, di ripristino ambientale, di gestione post-operativa, di sorveglianza e controllo, finanziario"*.

Per quanto riguarda i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica molto importanti sono il D.M. del 13 marzo 2003 e il D.M. del 3 agosto 2005, i quali sono stati sostituito dal D.M. del 27 settembre 2010 che, a sua volta, è stato modificato dal D.M. del 24 giugno 2015. Tra queste normative, la più rappresentativa appare il D.M. 3/2005, *"Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"*, il quale introduce tra i parametri per definire se un rifiuto è conferibile in discarica il TOC e il DOC.

All'interno di queste normative, quindi, vengono definiti i tipi di rifiuti conferibili in discarica a seconda della tipologia (discarica per inerti, rifiuti pericolosi, rifiuti non pericolosi e depositi sotterranei). Tali disposizioni, che individuano i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, hanno come finalità esclusiva quella di verificare la conferibilità in discarica del singolo rifiuto previo accertamento delle caratteristiche e della loro rispondenza ai requisiti normativamente fissati, nel rispetto del principio generale, cioè di riduzione degli impatti negativi generati dall'attività dei rifiuti all'interno della discarica.

In questo contesto, divengono fondamentali le operazioni di campionamento e determinazione analitica, quindi TOC e DOC, al fine di ottenere una caratterizzazione quanto più precisa dei rifiuti nella fase preliminare.

## **DISCARICHE ESAURITE**

Nella normativa nazionale gli aspetti legati alle discariche cessate compaiono per la prima volta all'interno della Delibera del Comitato Interministeriale del 27 luglio del 1984: infatti, all'interno dei criteri e delle misure per la realizzazione di una discarica e per il suo esercizio, tale delibera indica che i sistemi di captazione del biogas e di raccolta del percolato dovranno rimanere

in funzione anche dopo la chiusura dell'impianto e che i costi di tale operazione saranno a carico del gestore.

Tali indicazioni vengono chiarite e implementate all'interno della normativa quadro sulle discariche in Italia, il D. Lgs. n. 36 del 13 gennaio 2003, che prevede delle procedure di post-gestione che ne regolasse tale fase.

L'Allegato II del sopracitato decreto, oltre a definire i piani di gestione operativa, infatti, identifica anche quelli di gestione post-operativa e di controllo e sorveglianza. La normativa, così come faceva quella comunitaria, identifica nel gestore l'obbligatorietà a svolgere tutte quelle operazioni, tali da condurre in sicurezza la discarica dalla fase di post-gestione alla fase di chiusura della discarica. Il gestore dovrà porre particolare attenzione, secondo l'art. 4 dell'Allegato II del D. Lgs. 36/2003, a diversi aspetti:

- La manutenzione della zona per mantenerla in buona efficienza.
- La recinzione della zona d'accesso e predisposizione di cancelli per l'ingresso.
- Garantire una rete di raccolta e di smaltimento delle acque meteoriche.
- Definire una viabilità interna ed esterna al sito di discarica.
- Garantire un sistema di drenaggio del percolato.
- La predisposizione di una rete di captazione, adduzione, riutilizzo e combustione del biogas.
- La costruzione di un sistema di impermeabilizzazione sommitale.
- Apporre una copertura vegetale al di sopra del sistema impermeabilizzato, procedendo all'opportuna manutenzione.
- La costruzione di pozzi per il campionamento periodico delle acque sotterranee, per verificare il grado di inquinamento della falda.
- Definire le modalità e la frequenza dell'asportazione del percolato, al fine di garantire il mantenimento dello stesso al livello minimo possibile.

L'Allegato II definisce anche i parametri da misurare e le frequenze di misura delle varie matrici: vengono considerate le acque superficiali di drenaggio, il percolato, l'aria, i gas di discarica, le acque sotterranee, dati meteorologici (precipitazioni, temperatura, direzione venti, evaporazione, umidità

atmosferica) e la topografia dell'area (struttura e composizione della discarica e comportamento d'assestamento del corpo della discarica).

Per la frequenza di campionamento e misurazione si va da quella mensile del percolato o dei biogas prodotti dalla discarica, a quelle giornaliere dei dati meteorologici, fino a quelle semestrali sul comportamento d'assestamento del corpo della discarica.

L'obiettivo dell'Allegato II della normativa quadro a livello nazionale sulle discariche è quello di mantenere il massimo controllo su tutti i possibili effetti di una discarica in fase di post-gestione, per garantire che, quando essa passerà in fase di chiusura, gli impatti siano minimi o pari a zero.

## BIODEGRADABILITÀ

In Italia, così come in Europa, il concetto di biodegradabilità ha subito un'evoluzione nel tempo. Sussistono, anche a livello nazionale, i problemi riscontrati a livello europeo.

I primi riferimenti normativi a livello nazionale sono presenti nel D.P.R. 915/82, il quale, menzionando le problematiche della produzione di rifiuti e la necessità di determinare misure dirette a limitarne la produzione, pone attenzione sull'importanza di determinare i limiti di accessibilità (caratteristiche chimico-fisiche) per i rifiuti e per i prodotti risultanti dal loro trattamento o dalla loro trasformazione. Anche nella successiva Delibera del Comitato Interministeriale del 27 luglio del 1984, la quale, pur affrontando il tema dello smaltimento dei rifiuti anche in discarica e introducendo i primi criteri di ammissibilità dei rifiuti al loro interno, non tratta l'argomento della biodegradabilità.

Un primo accenno al concetto di biodegradabilità la si trova solo all'interno del Decreto Legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997; infatti, il "Decreto Ronchi", definendo il ruolo delle singole operazioni nella gestione dei rifiuti, indicava come prioritaria la diminuzione dello smaltimento in discarica dei rifiuti ancora valorizzabili, invitando al recupero di tutte le frazioni merceologiche possibili, tra cui anche la frazione organica. Il D. Lgs. 22/97 segna, dunque, un notevole cambiamento nella concezione di gestione dei rifiuti.

Successivamente, con il D. Lgs. n. 36/2003, diviene necessario rendere più corretta ed efficace tale gestione, al fine di ottenere la diminuzione dell'avvio in discarica dei rifiuti biodegradabili. Qui appare la prima definizione di rifiuti biodegradabili, intesi come *"qualsiasi rifiuto che per natura subisce processi di decomposizione aerobica o anaerobica, quali, ad esempio, rifiuti da alimenti, rifiuti dei giardini, rifiuti di carta e di cartone"*. La riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica viene attuata dal decreto, attraverso degli obiettivi da raggiungere: entro 5 anni dall'entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 173 Kg\*anno<sup>-1</sup>, entro 8 anni devono essere inferiori a 115 Kg\*anno<sup>-1</sup> mentre entro 15 anni devono essere inferiori a 81 Kg\*anno<sup>-1</sup>.

Il successivo Decreto, quello del 3 agosto 2005, impone limiti ancora più severi alle caratteristiche chimico-fisiche dell'eluato per l'accettabilità dei rifiuti in discarica e, in base al livello di biodegradabilità dei rifiuti in ingresso, prevede tre sottocategorie di discariche di rifiuti non pericolosi:

- Discariche per rifiuti inorganici, a basso contenuto organico o biodegradabile.
- Discariche per rifiuti in gran parte organici, da suddividere in discariche considerate bioreattori con recupero di biogas e discariche per rifiuti organici pretrattati.
- Discariche per rifiuti misti non pericolosi, con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici, con recupero di biogas.

La determinazione dei criteri di ammissibilità per queste sottocategorie è affidata però alle autorità territoriali competenti, generando situazioni in cui vi è un'analisi *"caso per caso, tenendo conto delle caratteristiche dei rifiuti, della valutazione di rischio con riguardo alle emissioni della discarica e dell'idoneità del sito"*.

Sarebbe auspicabile, quindi, una più precisa definizione di contenuto organico anche in relazione alle tipologie di rifiuti ammessi nelle tre classi di discarica, considerando anche che la definizione di "basso o alto" contenuto organico non è correlata al diverso grado di biodegradabilità dei rifiuti da rispettare.

Uno degli aspetti fondamentali, quindi, per più normative europee e nazionali, è quello di definire dei metodi analitici e dei valori di riferimento per i diversi livelli di biodegradabilità

Il D.M. 3/08/2005, allo scopo di definire l'accettabilità dei rifiuti in discarica, prevede l'analisi chimica del TOC sui rifiuti tal quali inerti e solidi non reattivi, mentre l'analisi del DOC sull'eluato dei rifiuti, ottenuto attraverso dei test di cessione; da queste analisi è possibile ottenere come informazioni il quantitativo di carbonio totale (TOC) e la frazione solubile della sostanza organica (DOC), rappresentata appunto dal carbonio organico disciolto, all'interno di un rifiuto, ma non riescono a definirne il suo grado di putrescibilità e biodegradabilità.

Con il successivo D.M. 27/09/2010, a livello nazionale, viene introdotto, come alternativa alla determinazione del DOC e solo per alcune tipologie di rifiuto, l'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRPD); questo parametro, infatti, non è presente all'interno delle Direttive europee.

L'IRPD è anch'esso, come il DOC, un parametro legato alla presenza della sostanza organica ma, differenza del DOC, fornisce delle informazioni sostanzialmente diverse: come detto, il DOC quantifica la frazione solubile della sostanza organica presente in una matrice, mentre l'IRPD prevede una misura indiretta della sostanza organica putrescibile all'interno tramite una misura indiretta del consumo di ossigeno nel corso dell'analisi. L'IRPD, quindi, fornisce un grado della stabilità biologica nella matrice, che risulta legata al rallentamento in condizioni ottimali delle reazioni di biodegradazione della sostanza organica presente.

I valori di DOC dei rifiuti nella normativa italiana vigente, i quali variano tra un minimo di 80 mg/l (con un rapporto liquido/solido pari a 10) a 100 mg/l, sono in linea con quelli definiti dalla normativa europea.

Per quanto riguarda l'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale, nel D.M. del 27 settembre 2010, esso viene posto minore o pari a 1.000 mg O<sub>2</sub>\*Kg SV<sup>-1</sup>\*h<sup>-1</sup> solo per determinate categorie di rifiuti, quelli derivanti dal trattamento biologico:

- Compost fuori specifica (CER 190503).
- Digestato prodotto dal trattamento anaerobico dei rifiuti urbani (CER 190604).

- Digestato prodotto dal trattamento anaerobico di rifiuti di origine animale o vegetale.

Il D.M. 27/09/2010, pur stabilendo la necessità di pretrattare i rifiuti fermentescibili, non definisce i necessari processi di pretrattamento da adottare. Le tipologie di pretrattamento possibili vengono chiarite all'interno della Circolare del Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare del 6 agosto 2013: la tritovagliatura, per esempio, non viene considerata come una metodologia di pretrattamento sufficiente alla stabilizzazione della frazione organica così come la raccolta differenziata spinta, mentre, tecnologie più complesse come la bioessiccazione, la digestione anaerobica previa selezione, il trattamento meccanico biologico e l'incenerimento con recupero di calore e/o energia vengono considerate delle operazioni di pretrattamento valide ai fini del raggiungimento degli obiettivi comunitari e nazionali.

Con la legge del 28 dicembre 2015, n. 221, pubblicata nella G.U. del 18 gennaio 2016, recante "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali", il trattamento dei rifiuti diviene fondamentale prima del loro collocamento in discarica.

Infatti, la legge 221, contenente misure in materia di tutela della natura, dello sviluppo sostenibile, delle valutazioni ambientali, della gestione dei rifiuti e delle bonifiche, delle risorse idriche e della difesa del suolo all'art. 48 detta una disposizione che va a modificare l'art. 7 del D. Lgs. n. 36/2003, secondo la quale *"i rifiuti possono essere collocati in discarica solo dopo trattamento"*.

Il citato articolo, inoltre, affida ad ISPRA il compito di individuare i criteri tecnici da applicare per stabilire quando il trattamento non è necessario. Con il Manuale e Linee Guida 145/2016, *"Criteri tecnici per stabilire quando il trattamento non è necessario ai fini dello smaltimento dei rifiuti in discarica"*, ISPRA definisce dei criteri per comprendere quando un rifiuto può essere conferito in discarica senza pre-trattamento o quando questo è obbligatorio.

Tale Linea Guida di ISPRA è ispirata dagli obiettivi definiti dall'art. 1 e dall'art. 2 del D. Lgs. n. 36/2003, per i quali il trattamento ha lo scopo di

ridurre il volume o la natura pericolosa, di facilitare il trasporto, di agevolare il recupero o di favorire lo smaltimento in condizioni di sicurezza.

Tra i parametri che vengono considerati, al fine di definire se è necessario o meno un pre-trattamento, vi è il TOC: la sua analisi, prevista prima per i soli rifiuti stabili non reattivi, viene estesa ad un gruppo maggiore di rifiuti, soprattutto per i rifiuti a matrice organica non rapidamente biodegradabile, con riferimento del 5%.

Vengono ampliate le categorie di rifiuti da sottoporre anche all'analisi dell'IRDP:

- I rifiuti indifferenziati.
- I rifiuti fangosi o che richiedono un trattamento di disidratazione.
- I rifiuti prodotti da impianti di trattamento dei rifiuti, impianti di trattamento delle acque reflue, nonché dalla potabilizzazione dell'acqua e dalla sua preparazione per usi industriale.
- Rifiuti speciali biodegradabili.

Per tutti questi rifiuti, caratterizzati da un'elevata putrescibilità, i limiti dell'IRDP per il loro conferimento senza pre-trattamento è di 1000 mg O<sub>2</sub>\*Kg SV<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>; qualora un rifiuto superasse questo limite, si renderebbe obbligatorio il suo pre-trattamento, al fine di ridurre la matrice organica putrescibile al suo interno prima del conferimento in discarica.

Infatti, un rifiuto caratterizzato da un'elevata putrescibilità, qualora allocato in discarica, andrebbe incontro a fenomeni degradativi di tipo biologico, con conseguente emissione di gas nocivi e pericolosi e formazione di percolati ad alto contenuto di composti organici.

Secondo le Linee Guida di ISPRA "il trattamento deve essere finalizzato alla riduzione del contenuto della sostanza organica attraverso processi di biostabilizzazione mediante mineralizzazione delle componenti organiche, come nel caso dei processi di tipo aerobico, o alla stabilizzazione del substrato organico attraverso i processi di idrolisi metanogenesi e acidogenesi, come nel caso dei trattamenti di tipo anaerobico" e anche "alla riduzione della pericolosità del rifiuto e a separare le frazioni recuperabili". Da quest'ultima frase si può dedurre che, per ISPRA, la cernita, la triturazione e



la separazione sono operazioni di pre-trattamento idonee a favorire lo smaltimento dei rifiuti in discarica in condizioni di sicurezza.

In conclusione, si può affermare che le Linee Guida di ISPRA, ad ora, risultino il documento più completo presente nella normativa italiana. Esso, infatti, definisce valori di riferimento per i parametri del TOC, del DOC e dell'IRPD, a seconda della categoria di rifiuti, andando ad implementare e le categorie rispetto alle precedenti normative di riferimento.

Questi, però, da soli, non sempre sono in grado di definire con chiarezza assoluta le caratteristiche di biodegradabilità dei rifiuti all'interno di una discarica: si potrebbe aggiungere, a questi, il BMP, il quale potrebbe dare molte informazioni sulla produzione di biogas, derivata dalla degradazione della sostanza organica, in ambiente anaerobico. Il BMP, infatti, viene già utilizzato in altri stati come la Germania, l'Austria e il Regno Unito.

L'incertezza, quindi, che attualmente caratterizza la normativa italiana in tema di biodegradabilità, infatti, favorisce un'interpretazione soggettiva di questo parametro, che porta, come sta succedendo, a stabilire metodi e limiti differenti da Regione a Regione.

Emerge quindi, anche a livello nazionale, la necessità di stabilire, in modo univoco, delle metodiche e dei precisi limiti di riferimento.

## LA NORMATIVA REGIONALE SULLE DISCARICHE

L'attenzione verso una efficace gestione dei rifiuti, attraverso un sistema integrato che, come a livello comunitario e nazionale, miri all'utilizzo della discarica solo in fase residuale, è presente anche a livello regionale.

Con la D.G.R. n. 1379 del 1999, la Regione ha definito quelli che sarebbero stati i primi criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, mentre successivamente con la Legge Regionale n. 3 del 21 gennaio 2000 "*Nuove norme in materia di gestione dei rifiuti*", il Veneto ha adeguato la propria legislazione a quella nazionale: infatti tale Legge recepisce il D. Lgs. 22/97 e le sue successive modifiche in materia di gestione dei rifiuti. La L. 3/2000 individua tutto quell'insieme di obiettivi che discendono dalla norma nazionale, rappresentata dal Decreto Ronchi, e le diverse competenze in capo

alla Regione, alle Provincie e ai Comuni, al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati dalla normativa nazionale, quali la priorità delle operazioni nella gerarchia di gestione dei rifiuti; all'interno, inoltre, vengono individuate le modalità con cui la Regione ha l'obbligo di redigere i piani di gestione, in conformità con il decreto italiano.

La L.R. 3/2000 introduce, per l'ubicazione delle discariche di rifiuti urbani e di rifiuti speciali, dei limiti legati alla vicinanza dei siti dagli edifici destinati ad abitazione; diviene quindi importante la presenza di abitazione all'interno dei fattori per l'ubicazione di una discarica anche a livello regionale, soprattutto per quelle di rifiuti urbani.

Tra gli obiettivi da raggiungere, inoltre, la L. 3/2000, si propone di incentivare il recupero dai rifiuti di materiali riutilizzabili e la progressiva riduzione delle discariche come sistema ordinario di smaltimento.

La normativa 3/2000, infine, istituisce anche l'Osservatorio dei rifiuti e la sede regionale del Catasto, all'interno di ARPA Veneto.

Per quanto riguarda la corretta gestione delle discariche la Regione Veneto ha chiarito alcune lacune riscontrate nel D. Lgs. 36 del 2003 e del D.M. del 13 marzo 2003, grazie alla D.G.R.V. n. 2454 dell'8 agosto 2003, integrata successivamente dalla D.G.R.V. n. 14 del 14 gennaio 2005, riguardante in particolare i piani di adeguamento e il trattamento dei rifiuti prima del loro smaltimento finale. Riprendendo la definizione di trattamento fornita dal D. Lgs. 36/2003 all'art. 7, la delibera regionale precisa che le operazioni di selezione, cernita e compattazione non costituiscono delle vere e proprie operazioni di trattamento, come invece ritenute dal decreto nazionale, ma bensì di pretrattamento.

In linea con il D. Lgs. n. 36/2003, in materia di realizzazione delle nuove discariche, il D.G.R.V. ribadisce che dovranno essere applicate tutte le disposizioni contenute nella normativa nazionale, in merito ai criteri, alle misure e agli accorgimenti di costruzione, al fine di salvaguardare l'uomo e l'ambiente dagli impatti negativi di una discarica.

Inoltre, la D.G.R.V. n. 2454/03 definisce nuovi criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica senza necessità di pretrattamento, a patto che essi rispettino dei determinati criteri di biodegradabilità; infatti, per quando riguarda la frazione di rifiuto urbano, derivante da raccolta differenziata e contenente al

massimo il 15% di rifiuto biodegradabile, essa possa essere smaltita direttamente in discarica senza alcun trattamento preventivo.

La successiva normativa a livello regionale, la D.G.R.V. n. 2254 dell'8 agosto 2008, introduce alcune limitazioni al conferimento dei rifiuti putrescibili all'interno delle discariche.

### **DISCARICHE ESAURITE**

Per quanto riguarda le operazioni di post-gestione e la definitiva chiusura di una discarica, la normativa regionale recepisce, con la D.G.R.V. n. 2454 dell'8 agosto 2003, in toto le indicazioni nazionali presenti nella normativa quadro sulle discariche, il D. Lgs. n. 36/2003.

Secondo la normativa regionale, sarà compito dell'autorità competente in materia, in questo caso raffigurata dalla

Provincia, rilasciare l'autorizzazione alla chiusura di una discarica dopo aver valutato tutte le relazioni presentate dal gestore e dopo aver presentato la dichiarazione di fine lavori di chiusura.

Dopo aver constatato la chiusura della discarica, e quindi la fine del periodo di gestione operativa, inizia quello di post-gestione: anche in questo caso, come dichiarato dalla normativa nazionale, tale periodo è totalmente a carico del gestore, il quale deve assicurarsi di controllare l'evoluzione di tale fase, impegnandosi al recupero ambientale, qualora fosse necessario, alla bonifica o alla riqualifica ambientale.

### **BIODEGRADABILITÀ**

Il concetto di biodegradabilità viene definito in Veneto già a partire dai primi anni 2000: infatti, con la D.G.R. n. 1379 del 1999, la Regione aveva stabilito l'ammissibilità in discarica solo per il rifiuto secco residuo da raccolta differenziata stabilendo, come criterio di verifica, una percentuale in peso della frazione organica rapidamente biodegradabile minore del 10%, riscontrata tramite analisi merceologica.

Con la D.G.R.V. n. 766 del 10 marzo 2000 viene definito, per la prima volta, il grado di stabilità biologica dei rifiuti per l'ingresso in discarica; tale decreto, prevedeva la biostabilizzazione dei rifiuti indifferenziati prima del loro conferimento in discarica. I parametri considerati erano l'Indice di Respirazione Statico, il quale doveva essere minore di  $600 \text{ mg O}_2 \cdot \text{ksSV}^{-1} \text{h}^{-1}$ , e l'umidità, la quale doveva essere compresa tra 30 e 60%. Veniva, inoltre, posta particolare attenzione ai pre-trattamenti di vagliatura e triturazione, al fine di attuare lo smaltimento dei rifiuti in discarica in condizioni di sicurezza.

Successivamente, la D.G.R.V. n. 14 del 14 gennaio 2005 stabiliva invece che la frazione secca derivante da raccolta differenziata dei rifiuti urbani poteva essere smaltita direttamente in discarica senza alcun pretrattamento, solo se caratterizzata da un contenuto di frazione biodegradabile non superiore al 15%.

Il recupero e il trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti sono disciplinati dalla D.G.R.V. n. 766 del 10 marzo 2000, delibera sostituita dalla D.G.R.V. n. 568 del 25 febbraio 2005, la quale stabilisce dei limiti per la stabilizzazione dei rifiuti prima del loro conferimento in discarica: vengono presi in considerazione parametri come l'Indice di Respirazione Potenziale Dinamico, che sostituisce quello statico, il quale deve essere minore di  $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{ksSV}^{-1} \text{h}^{-1}$ , al quale va aggiunta l'umidità, la quale deve essere intorno al 25-30%, in aggiornamento a quanto stabilito in precedenza dalla D.G.R.V. n. 766/03/2000.

Molto importante, a livello regionale, è la D.G.R.V. n. 2254 dell'8 agosto 2008, che introduce la definizione di putrescibilità, intesa come "la tendenza della materia organica a subire reazioni di degradazione biologica con produzione di metaboliti di varia natura e composti a ridotto peso molecolare che si sviluppano in tempi brevi, ossia nella prima parte della biodegradazione, in cui vengono attaccati dagli organismi le sostanze più facilmente biodegradabili".

La D.G.R.V. n. 2254/2008, inoltre, individua l'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRDP) quale parametro di riferimento in Regione del Veneto per la valutazione della putrescibilità dei rifiuti, al fine di accertarne l'accettabilità in discarica, stabilendo che il valore limite dell'IRDP, per definire un rifiuto biologicamente stabile, e di conseguenza "non putrescibile", è pari

a 1.000 mg O<sub>2</sub>\*Kg SV<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, in linea con quanto definito dalla normativa italiana vigente.

Da questa analisi della normativa, appare evidente come la Regione Veneto si sia mossa indipendentemente nella definizione dei parametri utili a stabilire il grado di biodegradazione di un rifiuto da conferire in discarica, e i propri valori limite, anticipando alcuni contenuti recepiti nelle normative nazionali.

Altre Regioni hanno adottato metodiche e valori limite anche molto differenti; tale discordanza tra le diverse amministrazioni regionali non solo conferma la mancanza, a livello nazionale, di un'impostazione omogenea in merito al trattamento biologico dei rifiuti organici, ma rende difficile la valutazione obiettiva del livello di biodegradabilità che caratterizza un rifiuto, rendendo quindi impossibile il confronto tra i risultati ottenuti.

Anche a livello regionale, come in ambito comunitario e nazionale, appare necessario definire con maggior chiarezza e precisione la biodegradabilità e i criteri per una sua univoca determinazione per ciò che concerne i rifiuti collocati in discarica.

## **OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO NORMATIVO**

Dall'analisi dell'evoluzione normativa a livello europeo, nazionale e regionale si può sicuramente osservare come questa si sia protratta a lungo nel tempo, migliorando sicuramente tutti gli aspetti legati alla costruzione di una discarica, definendo i piani operativi e di post-gestione, ma, in alcuni casi, non riuscendo a definire in modo altrettanto chiaro i criteri di ammissibilità delle varie categorie di rifiuti. Queste difficoltà hanno portato a delle discordanze tra Paesi Europei e, come si può vedere in Italia, anche tra le Regioni di uno stesso Paese.

Dal punto di vista costruttivo, per sopperire all'aumentare degli impatti, quali biogas e percolato, generati dalle discariche di più vecchia generazione, nelle varie normative, i criteri costruttivi sono divenuti sempre più ristretti per tutte le tipologie di discariche, siano esse per rifiuti inerti, rifiuti non pericolosi o rifiuti pericolosi: ovviamente, i criteri più ristretti sono stati definiti per le

discariche di rifiuti pericolosi e, a seguire, di rifiuti non pericolosi e, infine, per quelle di rifiuti inerti.

Per quando riguarda i criteri di ammissibilità di una discarica la Direttiva 99/31/CEE, la normativa quadro a livello europeo per le discariche, definisce dei limiti legati ai parametri del TOC e del DOC per determinare quali rifiuti possano essere conferiti in discarica.

Questi due parametri, permettono di quantificare il contenuto di carbonio organico all'interno di una matrice, ma non riescono a definire quanto di questo carbonio sia putrescibile e biodegradabile; come si vedrà nei seguenti capitoli (Capitolo terzo: Quadro Tecnico) la maggior parte degli impatti generati da una discarica sono legati alla degradazione di questa frazione, la quale genera biogas e percolato.

In risposta a questa problematica, in Italia, e in altri Paesi europei, si è deciso di introdurre un parametro che potesse fornire informazioni anche sull'attività biologica di una matrice: questo parametro è stato individuato nell'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRPD). L'IRPD, infatti, permette di quantificare la sostanza organica putrescibile all'interno di un rifiuto.

In Italia, con il D.M. 27/09/2010 viene introdotta l'analisi dell'IRPD per i rifiuti urbani derivanti dal trattamento biologico.

Con le più recenti Linee Guida ISPRA 145/2016, vengono definiti nuovi criteri di TOC per i rifiuti più lentamente fermentescibili e implementando le categorie di rifiuti su cui applicare l'analisi dell'IRPD. L'obiettivo della Linea Guida è quello di ridurre al minimo la frazione più fermentescibile all'interno di una discarica.

Questi parametri, in alcuni casi, non sono in grado di definire con chiarezza assoluta le caratteristiche di biodegradabilità, soprattutto per quei rifiuti all'interno dei quali sono presenti frazioni più difficilmente degradabili.

A queste analisi, quindi, potrebbe essere aggiunto, come già previsto per le normative nazionali di Paesi europei come l'Austria, la Germania e il Regno Unito, il parametro del BMP, il quale permetterebbe di comprendere il comportamento della matrice in un ambiente anaerobico, l'ambiente che si instaura prevalentemente all'interno delle discariche nel corso della loro vita.

## **QUADRO TECNICO**

### **LE DISCARICHE**

#### **LA REALIZZAZIONE E LA STRUTTURA DI UNA DISCARICA**

Per quanto riguarda l'evoluzione delle modalità costruttive della discarica, il filo conduttore nello sviluppo concettuale e tecnologico della discarica è stato la volontà di incrementare il controllo delle emissioni e del rischio ambientale ed igienico sanitario ad esse associato.

La discarica, infatti, costituisce a tutti gli effetti un reattore dove materiali in fase solida (i rifiuti conferiti al suo interno), liquida (l'infiltrazione meteorica che entra in contatto con il cumulo di rifiuti posto nel corpo della discarica) e gassosa (l'aria che eventualmente può penetrare nei primi strati della discarica) reagiscono generando una massa solida, rappresentata dal rifiuto in trasformazione, che costituisce la sorgente primaria del potenziale inquinamento e delle emissioni, che, invece, ne costituiscono la sorgente secondaria: tali emissioni possono essere sia liquide (percolato) sia gassose (biogas).

La necessità di ridurre e mitigare gli impatti ambientali ha comportato l'esigenza di passare da una discarica intesa come deposito incontrollato di rifiuti ad un impianto di smaltimento, caratterizzato da una corretta progettazione, dei sistemi attivi di contenimento e da una gestione nel rispetto delle indicazioni fornite dalle normative europee, nazionali e regionali che si sono susseguite nel tempo.

La realizzazione di una discarica prevede, infatti, alcuni momenti fondamentali:

- La *fase di progetto*, caratterizzata dalla decisione, programmazione e pianificazione, scelta del sito, progettazione definitiva ed esecutiva.
- La *fase di costruzione*, caratterizzata dalla costruzione iniziale della discarica.
- La *fase di gestione operativa*, nella quale la discarica è attiva e riceve rifiuti.
- La *fase della gestione post-operativa*, caratterizzata dal monitoraggio e dal controllo e dal raggiungimento di un impatto sostenibile.
- La *fase di chiusura*, nella quale, dopo aver verificato la cessazione degli impatti o la diminuzione di essi, la discarica viene coperta, attraverso una copertura finale, al fine di isolarla dal resto dell'ambiente circostante. In questa fase rimangono attivi i sistemi di captazione del biogas e del percolato.

La fase di progetto è quella che definisce *"l'opera nel suo complesso nell'ambito di un piano di intervento che contribuisca al disegno del territorio, vedendo la discarica non come una destinazione d'uso ma come uno strumento per costruire destinazioni d'uso"* (CTD, 1997). Tale fase deve essere articolata su tre livelli di successivi approfondimenti tecnici:

- Progetto preliminare.
- Progetto definito.
- Progetto esecutivo.

Tra gli aspetti più importanti nella fase di progetto preliminare vi è sicuramente la scelta del sito, il quale non può interessare aree abitate e aree particolarmente sensibili dal punto di vista ambientale. Aspetti che vengono considerati per la definizione di un modello di rappresentazione del paesaggio ambientale sono presenti nella seguente tabella (Tab. 3.1).



Tab. 3.1: elementi considerati per definire un modello rappresentativo del sito

<b>Topografia e orografia</b>	<b>Idrogeologia</b>	<b>Pedologia</b>
Geologia e litologia	Uso del suolo, soprattutto legato agli aspetti agro – forestali, infrastrutturali e insediativi	Occupazioni di area infrastrutturale e sistemi insediativi
Percezione dello spazio	Meteoclima	Idrologia superficiale
Flora, vegetazione reale e potenziale	Fauna e comunità animali	Geografia storica
Stato della pianificazione	Situazione vincolistica	Linee di intervento (tipologia di discarica e del rifiuto)

(Fonte: CTD, 1997)

Dalla tabella si può osservare come siano molti gli aspetti che devono essere considerati in un progetto di realizzazione di una discarica; è fondamentale riuscire a definire un modello quanto più rappresentativo possibile della situazione nella zona, prestando attenzione ad ogni elemento.

Successivamente, è necessaria una caratterizzazione tecnica per definire il progetto definitivo di una discarica, la quale comprende:

- Rilievo piano – altimetrico, il quale deve fornire un idoneo supporto cartografico planoaltimetrico per la caratterizzazione del sito e la successiva progettazione della discarica.
- Ricostruzione delle precedenti attività antropiche, che permette di valutare l'eventuale stato di compromissione del suolo e del sottosuolo.
- Indagine naturalistica ed agroforestale, allo scopo di individuare le caratteristiche del sito precedenti l'attività della discarica, con particolare riferimento agli elementi esistenti di pregio.
- Indagini meteorologiche e sulla qualità dell'aria, finalizzata alla definizione dei parametri meteorologici utili per la localizzazione e la progettazione della discarica.

- Ricostruzione della struttura geologica, che si pone come obiettivo quello di descrivere la natura, l'assetto e le caratteristiche dei terreni e delle rocce destinati ad interagire con la discarica.
- Individuazione dei processi geomorfologici in atto e/o potenziali, che permette di acquisire elementi utili per valutare le condizioni di stabilità dell'area.
- Esame pedologico dei suoli, il quale è finalizzato alla conoscenza della loro potenzialità d'uso; questo è utile ai fini di valutare sia l'impatto della discarica sull'ambiente naturale sia il progetto di recupero ambientale dopo la fase di esercizio.
- Studio idrologico e dell'idrografia superficiale, allo scopo di definire la rete idrica, superficiale e sotterranea, che si sviluppa nelle zone circostanti alla zona. Vengono inoltre acquisiti in questa fase, i parametri quantitativi utili ai fini progettuali, in relazione alla necessità di tutelare i corpi idrici dall'inquinamento, di realizzare un sistema di impermeabilizzazione quanto più efficace e di caratterizzare della qualità chimico-fisica dell'acqua allo stato iniziale.
- Analisi preliminare delle proprietà meccaniche dei terreni e delle rocce, al fine di valutare le condizioni di stabilità dell'area comprendente la discarica.

La caratterizzazione tecnica ha, quindi, come scopo quello di fornire lo stato di fatto del sito, evidenziando anche il grado di compromissione iniziale, guidare successive indagini specialistiche e costituire un riferimento per la progettazione di un piano di monitoraggio.

Se il responso delle analisi tecniche, che deve essere autorizzato dalle Autorità Competenti, è positivo, è possibile procedere al progetto esecutivo, il quale da inizio alla realizzazione vera e propria della discarica, che rappresenta la fase di costruzione.

In figura 3.1 viene rappresentata la struttura completo di una discarica controllata.

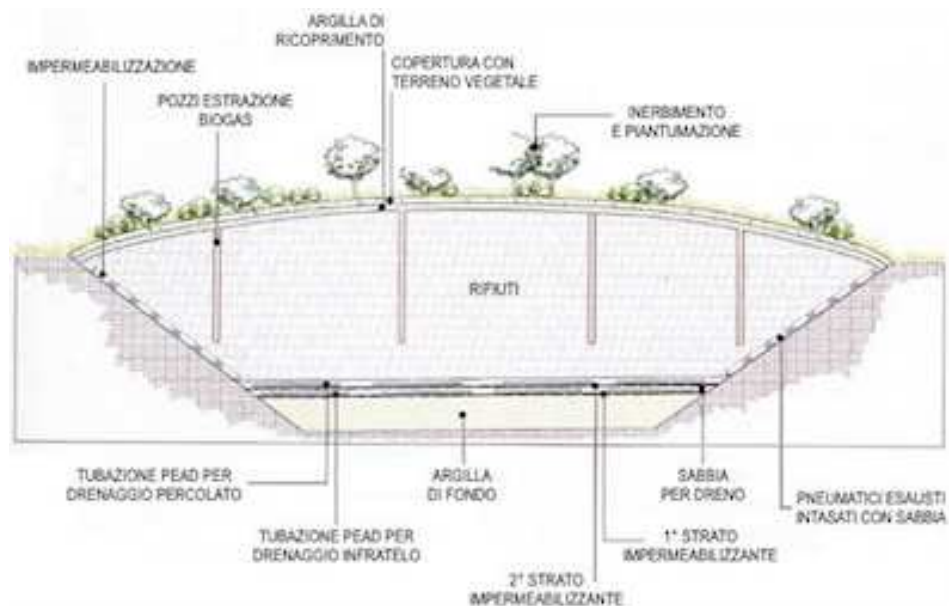


Fig. 3.1: composizione di una discarica controllata

Le discariche controllate sono costituite da un sistema di barriere di base, deputate ad isolare l'impianto di smaltimento dall'ambiente circostante e limitare i flussi di contaminazione nel terreno circostante. Tale sistema è costituito dalla combinazione delle seguenti componenti, le cui proprietà dimensionali variano a seconda della tipologia di discarica da realizzare:

- Barriera geologica.
- Impermeabilizzazione.
- Sistema di drenaggio e di raccolta del percolato e di captazione del biogas.

La barriera geologica può essere formata dal suolo presente nell'area adibita alla realizzazione della discarica, qualora questa sia costituita da materiale di idoneo spessore e bassa permeabilità (es. argilla); essa ha come scopo quello di contenere ed attenuare il percolato generato all'interno della discarica, prevenendo rischi di inquinamento per le falde e il suolo.

L'efficacia di una barriera geologica è valutata in funzione sia dello spessore sia della conducibilità idraulica, che deve garantire un elevato grado di impermeabilizzazione, e della qualità del terreno.

Al di sopra della barriera geologica viene applicato uno strato impermeabilizzato costituito da materiale minerale, il cui utilizzo garantisce una minore conducibilità idraulica. Tale barriera deve, quindi, possedere delle determinate caratteristiche, le quali sono definite dalla normativa (la più recente è rappresentata dal D. Lgs. N.36/2003).

Allo strato minerale è accoppiata una geomembrana, di natura sintetica, che funge da ulteriore isolamento della discarica dall'ambiente circostante; essa viene applicata anche nelle pareti e deve possedere caratteristiche meccaniche e di compatibilità chimica con il percolato, in modo tale da non essere rovinata nel caso di una produzione di percolato acido. L'obiettivo di questa accoppiata è quello di garantire la funzionalità di isolamento nel tempo, quindi ben oltre il periodo di esercizio, ma anche nella fase di post-gestione e di chiusura.

Al di sopra della geomembrana, in modo da evitare potenziali rischi di rottura, va posto a sua volta uno strato protettivo, costituito da materiali fini naturali (sabbia o simili) o sintetici (geotessili e/o geocompositi) o altri materiali idonei, evitando però materiali granulari o spigolosi che potrebbero danneggiarla o romperla.

Nella seguente figura (Fig. 3.2) viene rappresentata la composizione degli strati del fondo di una discarica controllata.

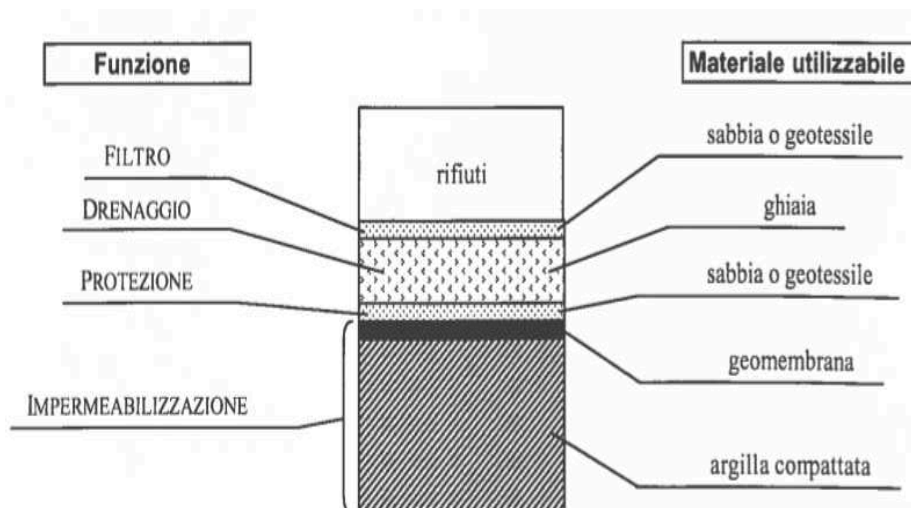


Fig. 3.2: strati e funzioni di una discarica (Fonte: Pasqualini & Savelli, 2003)

Agli strati impermeabilizzanti di base va aggiunto il sistema di drenaggio e raccolta del percolato, il quale deve impedire fuoriuscite del liquido dal corpo della discarica, contribuendo al mantenendo di elevati standard di isolamento. Questi sistemi vanno concepiti e realizzati con adeguate pendenze in modo da favorire il più veloce transito del percolato verso le tubazioni di convogliamento e di raccolta; il loro scopo è, infatti, quello di minimizzare la formazione di accumuli di percolato all'interno del cumulo dei rifiuti.

Il percolato viene raccolto all'interno di pozzi, in modo da essere successivamente allontanato con l'ausilio di pompe.

Successivamente alla costruzione inizia la fase operativa, nella quale la discarica è attiva e riceve rifiuti. In questa fase il gestore dell'impianto ha importanti responsabilità, dal rispetto dell'ambiente alla sicurezza dell'impianto e del personale.

Vengono definiti diversi piani di gestione (Tab. 3.2), i quali hanno il compito di mantenere, nel corso della fase operativa, un elevato standard di qualità e sicurezza all'interno dell'impianto.

Tab. 3.2: piani di gestione di una discarica

Tipo di Piano	Obiettivi
Piano di sicurezza	Definire un piano di sicurezza relativo alle attività di approntamento, di esercizio e di post-esercizio
Piano di conferimento	Gli automezzi devono essere provvisti di sistemi atti ad evitare dispersione eolica, perdite accidentali o il percolamento dei liquami
Piano di accettazione	Verificare la pesatura, le tipologie di rifiuti conferiti e della documentazione di accompagnamento
Piano di coltivazione e colmatazione	Definire le tecniche per il deposito dei rifiuti, indicando spessore degli strati e l'ampiezza dei sottobacini di coltivazione; indicare i materiali adibiti alla copertura giornaliera del cumulo di rifiuti
Piano di gestione naturalistica e paesaggistica	Monitorare dal punto di vista biologico le componenti ambientali, salvaguardare gli elementi esistenti di pregio e provvedere all'inserimento paesaggistico dell'impianto
Piano di transito, scarico e uscita	Riferito agli automezzi, allo scopo di individuare i luoghi di transito, di scarico giornaliero, di uscita e di pulizia degli automezzi.
Piano di controllo di efficienza e funzionalità delle reti	Prevedere controlli regolari sull'efficienza e funzionalità dell'impianto di estrazione del percolato e di captazione del biogas

(Fonte: CTD, 1997)

Tra i più importanti obiettivi vi sono quelli soprattutto legati alla mitigazione degli impatti ambientali generati dalla fase di esercizio di una discarica; in quest'ottica è fondamentale controllare costantemente i sistemi di captazione

del percolato e del biogas, e coprire giornalmente il cumulo di rifiuti freschi con idoneo materiale, in modo tale che impatti fastidiosi, come l'odore, non si sviluppino nelle zone circostanti.

La fase di post-gestione e di successiva chiusura, inizia quando la discarica raggiunge il limite di conferimento dei rifiuti previsto dall'autorizzazione. Il cumulo dei rifiuti viene ricoperto, attraverso una copertura finale, allo scopo di separarli dall'ambiente superficiale, limitare l'infiltrazione dell'acqua meteorica e controllare il rilascio del biogas. La realizzazione della copertura finale deve essere preceduta da un'analisi degli assestamenti di una discarica verificatisi nel tempo e deve considerare i seguenti aspetti:

- Variazioni delle condizioni meteo climatiche.
- Penetrazione di radici e di animali.
- Problemi di stabilità delle scarpate della copertura.
- Traffico veicolare sulle strade che attraversano la copertura.
- Erosione ad opera del vento e dell'acqua di ruscellamento.

Gli elementi costruttivi della copertura devono assolvere a diverse funzioni di isolamento e protezione e possono essere costituiti da:

- Accoppiamento di una impermeabilizzazione minerale compattata con una geomembrana (obbligatoria solo per le discariche di rifiuti pericolosi).
- Accoppiamento di un geocomposito bentonico con una geomembrana.

La geomembrana deve possedere, come per lo strato sul fondo, delle caratteristiche che la rendano stabile chimicamente e di difficile deterioramento.

Allo strato minerale e alla geomembrana va accompagnato uno strato drenante, il quale deve assolvere a diverse funzioni:

- Ridurre il carico d'acqua sull'impermeabilizzazione sottostante.

- Ridurre la pressione interstiziale nella copertura, migliorandone la stabilità.

Un altro aspetto molto importante riguarda la pendenza dello strato drenante, la quale deve essere tale da consentire un agevole allontanamento dell'acqua meteorica.

Infine, lo strato più esterno della copertura definitiva deve essere costituito da materiale di caratteristiche compatibili con la destinazione d'uso finale della discarica. Tra i più usati vi è lo strato di copertura vegetale.

Da un punto di vista costruttivo, la figura 3.3, descrive tutti gli strati di una discarica controllata, compresi quelli di copertura finale.

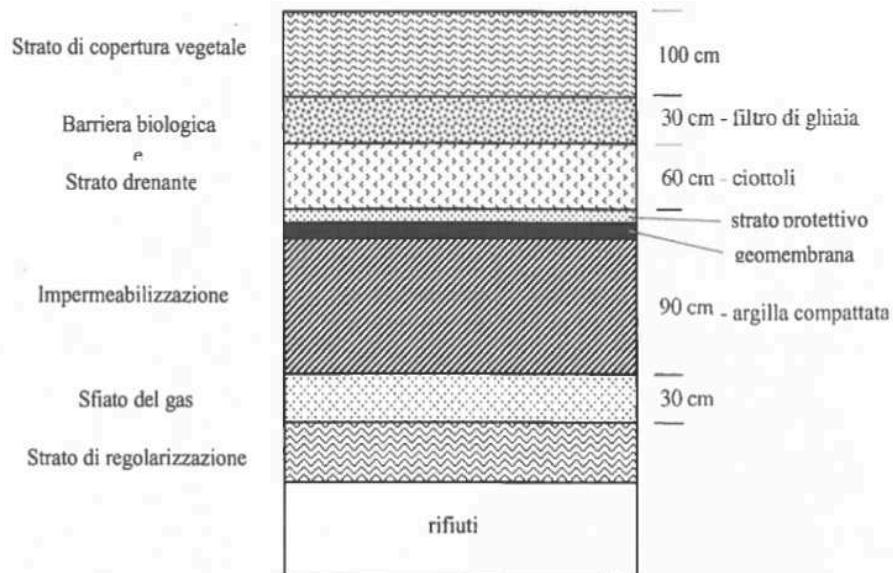


Fig. 3.3: sistema di copertura completo (Fonte: Pasqualini & Savelli, 2003)

La fase di dismissione dell'impianto o di post-gestione rappresenta una fase di gestione che richiede un controllo ed un monitoraggio periodico atto a garantire, con gli eventuali interventi correttivi, l'efficienza delle opere costruite, quali i drenaggi, il trattamento del percolato, l'estrazione e smaltimento del biogas, i sistemi di chiusura e le strutture della ricombinazione ambientale, per tutto il tempo necessario a raggiungere un livello di impatto ambientale sostenibile.



Le principali attività del post-esercizio devono riguardare i seguenti aspetti:

- Misurazione degli assestamenti del corpo della discarica e successivo ripristino, al fine di garantire un idoneo allontanamento delle acque meteoriche.
- Determinazione del potere inquinante dei rifiuti. Nel caso di bonifica a causa del verificarsi di fenomeni di inquinamento collegato al cumulo di rifiuti della discarica è fondamentale caratterizzare la massa, in modo da comprendere i motivi del fenomeno e intervenire con adeguate opere di mitigazione.
- Estrazione e trattamento del percolato.
- Captazione e trattamento del biogas.
- Determinazione delle molestie olfattive, monitorando la qualità dell'aria a monte e a valle del sito.
- Manutenzione ordinaria e straordinaria di tutte le opere funzionali e impiantistiche della discarica, compresa la manutenzione del verde e dell'eventuale sistemazione e destinazione finale.

Questa fase, la quale precede la fase di chiusura definitiva di una discarica, che si verifica quando è comprovata la cessazione degli impatti e dei fenomeni di inquinamento da delle analisi periodiche, per la normativa vigente è definita in 30 anni e tali costi, all'interno del piano finanziario, devono essere previsti dal gestore.

Capita a volte, in determinate circostanze, legate all'ambiente in cui è ubicata la discarica o dalla tipologia di rifiuti conferiti all'interno, soprattutto indifferenziati, non trattati e con un elevato contenuto di materia organica, che questa fase possa interessare un arco temporale di moltissimi anni, anche un centinaio a volte (*Heyer & Stegmann, 1997*). Appare evidente, però, che periodi così lunghi possono risultare fuori da una ragionevole possibilità di controllo tecnico, legale, amministrativo ed economico.

Per tale motivo, a livello comunitario e nazionale, attraverso le varie Direttive e Decreti, i moderni concetti di discarica, legati anche al pre-trattamento dei rifiuti, sono tesi a ridurre il periodo di impatto, legato

soprattutto al percolato e al biogas, con relative responsabilità e costi di post-chiusura, al tempo di una generazione.

### LE FASI DI VITA DI UNA DISCARICA

Una discarica nel corso del tempo attraversa diverse fasi, caratterizzate da una serie complessa di reazioni chimiche e biologiche, generate dalla degradazione dei rifiuti conferiti.

Generalmente si identificano almeno quattro fasi di decomposizione delle sostanze all'interno di una discarica (*Christensen & Kjeldsen, 1995*):

- Una fase aerobica.
- Una fase di acidogenesi anaerobica.
- Una fase metanigena iniziale.
- Una fase metanigena stabile.

A queste fasi va aggiunta un'ulteriore fase aerobica o umica (*Bozkurt et al., 2000*).

Nel seguente grafico (Fig. 3.4) viene descritto l'andamento delle concentrazioni di diversi parametri all'interno del corpo della discarica a seconda della fase considerata.

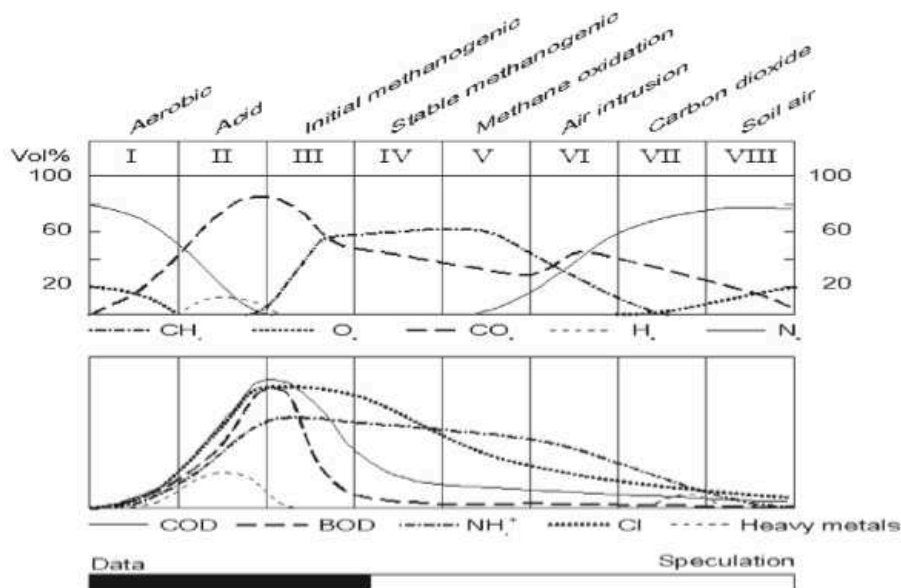


Fig. 3.4: le fasi di una discarica (Fonte: Farquhar & Rovers, 1973)

La sostanza organica presente nei rifiuti, infatti, subisce un processo di degradazione, che in un primo momento avviene prevalentemente ad opera dei batteri aerobi, in funzione del limitato contenuto di ossigeno; in questa fase i composti organici vengono trasformati, a seconda della loro composizione e delle loro caratteristiche di biodegradabilità, in composti più semplici, con conseguente produzione di  $CO_2$  e un aumento della temperatura. In questa fase, inoltre, i valori di COD, BOD,  $NH_4^+$  iniziano ad aumentare, dovuto ai processi di degradazione delle macromolecole. La durata della fase di degradazione aerobica è limitata, in quanto l'ossigeno viene rapidamente utilizzato dai batteri ed esaurito e la sua diffusività in profondità nei cumuli di rifiuti è piuttosto lenta (Andreottola & Cannas, 1992).

Il consumo di ossigeno all'interno della discarica favorisce lo sviluppo dei batteri anaerobi, i quali, in queste condizioni, convertono il substrato biodegradabile in composti più semplici, che saranno a loro volta utilizzati dai batteri metanigeni per la produzione di metano (Barlaz et al, 1990; Pohland e Harper, 1986; Bookter e Ham, 1982). Queste condizioni portano ad una produzione di acidi in discarica, evidenziata da una diminuzione repentina del pH del percolato. In questa fase il COD e BOD raggiungono il loro valore massimo, la concentrazione di  $CO_2$  rimane elevata, così come quella dell' $NH_4^+$ , per effetto della degradazione anaerobica in atto.

La fase successiva, quella metanigena, avviene quando cominciano a prodursi quantità misurabili di metano; l'inizio di questa fase è associata al pH del rifiuto, divenuto sufficientemente neutro da non inibire i batteri metanogeni. Durante questa fase gli acidi accumulati vengono convertiti in metano e in anidride carbonica dai batteri, aumentando la velocità di produzione del metano (*Christensen e Kjeldsen, 1989; Barlaz et al., 1989*) e la diminuzione de valori di COD e BOD.

Infine, nella fase metanigena stabile, la velocità di produzione di metano raggiungerà il suo massimo, per poi diminuire nelle restanti fasi.

Le fasi di decomposizione dei rifiuti all'interno di una discarica, e di conseguenze le velocità e le produzioni di percolato e biogas, sono fortemente dipendenti dalle condizioni ambientali: uno dei fattori che maggiormente influenza questi processi è il contenuto di umidità dei rifiuti (*Barlaz et al. 1990; Christensen et al., 1992*). Queste quattro fasi sono caratteristiche di discariche nelle quali la decomposizione avviene in un ordine di 20-30 anni, nelle quali si verificano situazioni atte a favorire lo sviluppo di questi processi che portano alla totale decomposizione dei rifiuti e a produzioni di biogas non più rilevanti.

Le fasi descritte possono avvenire all'interno delle discariche, se la decomposizione viene aumentata mediante operazioni di insufflazione di aria, in un periodo di appena 5 – 10 anni. Nelle altre discariche, in cui non sono applicati trattamenti di questo tipo, diviene fondamentale che il cumulo di rifiuti possieda un'umidità tale da favorire questi processi nell'arco di 20-50 anni.

In altre discariche, caratterizzate da una scarsa umidità dei rifiuti e da climi particolari (es. climi aridi) la fase acida e/o la fase metanigena stabile possono dilatarsi notevolmente; per valutare le proprietà a lungo termine di queste tipologie di discarica è fondamentale osservare l'andamento oltre il tempo in cui la produzione di biogas risulta significativa. In quest'ottica, si evidenzia lo sviluppo di altre fasi successive alla metanogena stabile:

- Ossidazione del metano.
- Intrusione dell'aria
- Produzione di diossido di carbonio.
- Infiltrazione d'aria nel suolo.

Nella fase di ossidazione del metano il tasso di produzione del gas continua a diminuire; poiché il metano diminuisce costantemente, l'aria inizia a penetrare attraverso la copertura della discarica, soprattutto se questa non è sufficientemente prestazionale da garantire l'isolamento, e, di conseguenza, nella massa di rifiuti, provocando l'ossidazione di questo strato superficiale. Questo processo porta alla produzione di CO<sub>2</sub> e dell'azoto e dell'ossigeno, il quale però viene consumato repentinamente. L'intrusione dell'aria porta alla degradazione dei materiali organici residui e delle specie inorganiche sepolte nella discarica. La conseguenza di questa degradazione è la produzione di biossido di carbonio; questa fase è stata anche chiamata fase umica (*Bozkurt et al., 1999*).

Dall'analisi delle fasi che si sviluppano nel corso di vita di una discarica appare evidente come la degradazione dei rifiuti inneschi una serie di reazioni chimiche e biologiche che portano alla produzione di biogas e percolato; tutte queste reazioni si possono sviluppare nell'arco di 30 anni, in condizioni ambientali standard, portando alla completa stabilità del cumulo di rifiuti.

In alcuni casi, però, se dovessero verificarsi delle situazioni particolari, legate al clima o alla natura dei rifiuti all'interno delle discariche, la degradazione può continuare anche per un periodo di tempo molto maggiore dei 30 anni indicati.

Un aumento di tale periodo, di conseguenza, può aumentare la produzione e il propagarsi degli impatti di una discarica nell'ambiente.

## **GLI IMPATTI GENERATI DALLE DISCARICHE**

I processi che si sviluppano all'interno delle discariche, generati appunto dalla degradazione dei rifiuti all'interno, producono, come conseguenze, percolato e biogas. Nei seguenti paragrafi verranno illustrate le fasi in cui vengono generati, la loro composizione e i possibili impatti che possono manifestare per la salute dell'uomo e per l'ambiente.



all'interno della discarica e il loro grado di compattazione; la produzione è generalmente maggiore quando i rifiuti sono meno compattati, in quanto la compattazione riduce la velocità d'infiltrazione delle acque meteoriche.

Si può ricavare una formula del bilancio di produzione di percolato in una discarica:

$$L = P - R - EV$$

Dove:

- L = produzione di percolato.
- P = precipitazioni meteoriche.
- R = ruscellamento superficiale.
- EV = evapotraspirazione.

Il bilancio idrologico rappresenta il fattore quantitativo di produzione del percolato; esso viene prodotto dalla combinazione dei processi chimici, fisici e microbiologici che si sviluppano all'interno della discarica e che causano il trasferimento di composti inquinanti dai rifiuti alla fase liquida, rappresentata dall'acqua percolante, caratterizzando la composizione del percolato (*Christensen & Kjeldsen, 1989*).

### **Composizione**

Dal punto di vista qualitativo, la composizione del percolato può essere descritta da alcuni parametri, quali il COD, il BOD, il rapporto COD/BOD, il pH, la percentuale di solidi sospesi, il TKN e il contenuto di metalli pesanti. Un percolato all'interno di una discarica di rifiuti urbani può avere una composizione molto simile a quella presente nella tabella seguente (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: composizione tipica di un percolato prodotto da una discarica di rifiuti urbani

Parametro		Range di concentrazione
pH		4,5 – 9
Solidi Totali		2000 – 60000
Sostanze organiche (mg/L)	TOC	30 – 29000
	BOD	20 – 57000
	COD	140 – 152000
	Rapporto BOD/COD	0,02 – 0,80
	Azoto organico	14 - 2500
Macroelementi inorganici (mg/L)	Fosforo totale	0,1 – 23
	Cloruro	150 – 4500
	Solfato	8 – 7750
	Bicarbonato di idrogeno	610 – 7320
	Sodio	70 – 7700
	Potassio	50 – 3700
	Ammonio	50 – 2200
	Calcio	10 – 7200
	Magnesio	30 – 15000
	Ferro	3 – 5500
	Manganese	0,03 – 1400
	Silicio	4 – 70
Metalli pesanti (mg/L)	Arsenico	0,01 – 1
	Cadmio	0,0001 – 0,4
	Cromo	0,02 – 0,4
	Cobalto	0,005 – 1,5
	Rame	0,005 – 10
	Piombo	0,001 – 5
	Mercurio	0,00005 – 0,16
	Nickel	0,015 – 13
	Zinco	0,03 - 1000

(Fonte: Kjeldsen et al.,2010)



Dalla tabella 3.3 si può osservare come il liquido da discarica, costituito da una soluzione acquosa alimentata dall'acqua piovana, sia costituito principalmente da tre gruppi principali di composti, ai quali ne va aggiunto un quarto, anche se presente in concentrazioni molto basse (*Christensen et al., 1994*):

- Sostanza organica disciolta.
- Componenti inorganici.
- Tracce di metalli pesanti.
- Composti organici xenobiotici, generati da rifiuti di origine domestica o industriale.

La sostanza organica disciolta considera tutti quei composti di origine organica presenti all'interno del percolato; essa copre una varietà di sostanze, dai piccoli acidi volatili ai composti fulvici.

Valori elevati di TOC e COD possono descrivere percolati particolarmente ricchi di carbonio; questi parametri, però, quantificano la presenza sia di composti organici sia inorganici; per esempio, il ferro, il solfato e il manganese possono contribuire fino ad un terzo al valore di COD, pur essendo composti inorganici (*Kylefors et al., 1999*), così come il cloruro. Inoltre questi parametri non danno molte informazioni sul contenuto e sul grado di biodegradabilità e putrescibilità delle sostanze al suo interno.

Bisogna sempre considerare che i valori dei componenti possono variare di molto anche rispetto al tipo di discarica e al grado di stabilizzazione raggiunto.

La materia organica disciolta, inoltre, può influenzare la composizione del percolato in relazione ad altri costituenti grazie all'elevata proprietà complessante che possiede, soprattutto dei metalli.

Un percolato con basso rapporto COD/BOD è costituito da basse concentrazioni di acidi grassi volatili e quantità relativamente più elevate di composti umici e fulvici.

Per quanto riguarda la concentrazione dei macrocomponenti inorganici nel percolato, anche in questo caso, dipende dal grado di stabilizzazione raggiunto dalla discarica. Tra i componenti più presenti all'interno di un

percolato da discarica vi sono il magnesio, il solfato, il sodio, il calcio, il ferro e il cloruro.

Per quanto riguarda i metalli, la loro concentrazione nel percolato è abbastanza bassa.

All'interno dei percolati possono essere presenti anche composti xenobiotici (XOC), derivati soprattutto da rifiuti urbani o industriali; questo è spiegato da criteri di ammissione che, una volta, non erano rigidi e che quindi possono aver portato al conferimento di rifiuti pericolosi all'interno di discariche per urbani. Per questo motivo, non è difficile trovare concentrazioni maggiori di questi composti nelle discariche più vecchie, rispetto a quelle di nuova generazione.

I XOC più frequenti e con le concentrazioni maggiori, sono gli idrocarburi monoaromatici, come benzene, toluene, etilbenzene e xileni, e idrocarburi alogenati, come il tetraclorobenzene e il triclorobenzene. In tabella 3.4 vengono rappresentate le classi di composti xenobiotici più presenti nel percolato, con i relativi range di concentrazione.

Tab. 3.4: concentrazione dei composti XOC nel percolato

<b>Composti</b>	<b>Concentrazioni (µg/L)</b>
Idrocarburi aromatici	6 - 20000
Idrocarburi alogenati	27 - 13000
Fenoli	450 - 36000
Alchilfenoli	7 - 10
Pesticidi	62 - 240
Ftalati	23 - 15300
Solfonati aromatici	2900 - 3600
Fosfonati	16 - 360
Altri composti	160 - 12000

(Fonte: Kjeldsen et al.,2010)

Le concentrazioni dei componenti del percolato può variare di molto nel corso delle fasi di vita di una discarica, soprattutto tra la fase acida e quelle metanogene, poiché sono quelle che si protraggono per più tempo.

Nella seguente tabella (Tab. 3.5) vengono descritte le variazioni di alcuni parametri all'interno del percolato tra le due fasi.

Tab. 3.5: variazione della composizione del percolato tra la fase acida e metanigena

Parametri	Fase Acida	Face Metanogena
pH	4.5 – 7.5	7.5 – 9
BOD (mg/L)	4000 - 40000	20 - 550
COD (mg/L)	6000 – 60000	500 – 4500
Rapporto BOD/COD	0.58	0.06
Solfato (mg/L)	70 – 1750	10 – 420
Calcio (mg/L)	10 – 2500	20 – 600
Magnesio (mg/L)	50 – 1150	40 – 350
Ferro (mg/L)	20 – 2100	3 – 280
Manganese (mg/L)	0.3 – 65	0.03 – 45
Ammoniaca (mg/L)		740
Cloruro (mg/L)		2120
Potassio (mg/L)		1085
Sodio (mg/L)		1340
Fosforo totale (mg/L)		6
Cadmio (mg/L)		0.005
Cromo (mg/L)		0.28
Cobalto (mg/L)		0.05
Rame (mg/L)		0.065
Piombo (mg/L)		0.09
Nickel (mg/L)		0.17
Zinco (mg/L)	0,1 - 120	0,03 – 4

(Fonte: Ehrig, 1983)

La tabella 3.5 descrive la variazione di concentrazioni di alcuni elementi all'interno del percolato nel corso della fase acida e della successiva fase metanogena iniziale e stabile. Si può osservare che le concentrazioni della maggior parte dei componenti più importanti di un percolato, tendono a variare a seconda della fase di vita di una discarica.

Nella fase acida, caratterizzata da un pH tra 4,5 e 7,5, il percolato può raggiungere elevati valori di BOD (4000 – 20000 mg/L) e COD (6000 – 60000 mg/L): i costituenti maggiori del BOD, in questa fase, sono gli acidi volatili, mentre in minor parte vi sono i composti ad alto peso molecolare e in tracce può presentare anche ammine e alcoli volatili. Il rapporto BOD/COD, in questa fase si attesta intorno a 0,6, poiché vi è un'elevata presenza di acidi grassi volatili.

Nella fase metanogena le concentrazioni di COD e BOD iniziano a diminuire, del 120% per il primo e del 700% per il secondo, così come il rapporto BOD/COD che, nella maggior parte dei percolati in questa fase, è inferiore a 0,1.

Il pH, invece, aumenta, raggiungendo valori tra 7,5 e 9, poiché gli acidi presenti vengono consumati; questo spiega anche il rapporto BOD/COD basso.

Per quanto riguarda il contenuto di metalli pesanti, a causa della variazione non significativa che si verifica tra le due fasi analizzate, le loro concentrazioni sono ritenute pressoché costanti.

Nella tabella si può osservare anche l'andamento dei macrocomponenti inorganici: la concentrazione dei cationi di calcio, magnesio, ferro e manganese è più bassa nella fase metanogena rispetto a quella acida, a causa sia del pH più elevato (7,5 – 9), che aumenta il verificarsi del fenomeno di precipitazione, sia del basso contenuto di materia organica disciolta, che, se presente in abbondanza, può formare complessi con i vari cationi.

Anche le concentrazioni di solfato, rispetto alla fase acida, sono più basse nella fase metanogena, a causa della riduzione microbica del solfato a solfuro.

Alcuni composti invece subiscono variazioni poco significative e la differenza di concentrazione tra una fase e l'altra non è rilevabile; per questo motivo si considera una media della quantità tra le fasi: questo è il caso del cloruro, del sodio e del potassio, per i quali i fenomeni di complessazione e di precipitazione sono minori rispetto agli altri componenti inorganici.

Infine, per quanto riguarda l'ammoniaca, si può notare come non ci sia un decremento considerevole nel tempo: essa, infatti, viene liberata dai rifiuti principalmente dalla decomposizione delle proteine; l'unico meccanismo grazie al quale la concentrazione di ammoniaca può diminuire è

rappresentato dalla lisciviazione, poiché non esiste nessun meccanismo per il suo degrado in condizioni metanogene (Roinson, 1996; Burton & Watson-Craik, 1998).

Si può quindi ritenere che le caratteristiche del percolato dipendano sicuramente sia dalla fase della discarica, ma anche dalle tipologie di rifiuti presenti all'interno; un contenuto maggiore di sostanza organica, quindi, creerà maggiori problematiche rispetto ad un'altra frazione, in quanto la degradazione produrrà percolati dalle caratteristiche più impattanti se rilasciato nell'ambiente circostante la discarica.

Diviene quindi fondamentale intervenire sia da un punto di vista quantitativo, sia qualitativo: è necessario diminuire la produzione di percolato nel corso delle fasi di una discarica e far sì che il percolato prodotto abbia caratteristiche inquinanti e di potenziali impatti minori. Per far ciò diviene importante:

- Controllare i conferimenti dei rifiuti in discarica, in modo tale da abbattere il contenuto organico.
- Definire dei pre-trattamenti dei rifiuti validi, allo scopo di diminuire il loro grado di putrescibilità prima dell'ammissione in discarica.
- Monitorare tutte quelle fasi che una discarica attraversa nel corso della sua vita, per evitare tutti gli impatti del percolato.

### ***Impatti***

I maggiori impatti ambientali del percolato di discarica sono legati principalmente all'inquinamento delle acque sotterranee e, di conseguenza, anche di quelle superficiali.

Il rischio di inquinamento delle acque sotterranee è l'impatto ambientale più gravoso del percolato; l'impatto si manifesta quando il percolato prodotto fuoriesce dalla discarica, a causa di un sistema di impermeabilizzazione non efficiente, che non riesce a mantenere la discarica in una condizione di totale isolamento rispetto all'ambiente circostante.

Una rottura della geomembrana sul fondo o una barriera minerale con scarse caratteristiche di impermeabilizzazione, possono provocare la dispersione del percolato nell'ambiente circostante.

Quando il percolato non viene trattenuto dai sistemi di impermeabilizzazione, inizia a penetrare in profondità, fino a raggiungere la falda sotterranea; qui si andrà a disperdere all'interno dell'acqua, provocando l'aumento delle concentrazioni di tutti quei composti altamente inquinanti contenuti, ad esempio gli XOC, che possono provocare gravi fenomeni di inquinamento, creando seri problemi all'uso idropotabile delle falde.

Attraverso il naturale ciclo dell'acqua, infine, legati a fenomeni di ricarica idrica dei corpi idrici in falda o della vicinanza di questi al sito della discarica, questi composti possono essere presenti anche nei corsi d'acqua superficiali; i principali effetti potenziali di un rilascio di questi composti nelle acque superficiali è legato soprattutto ad un generale inquinamento del corpo idrico, successivamente all'esaurimento dell'ossigeno, con conseguente cambiamento nella fauna e nella flora.

Alla luce di ciò, comprendere la composizione del percolato, grazie alla caratterizzazione dei rifiuti, appare fondamentale per riuscire a elaborare delle proiezioni sugli impatti a medio/lungo termine delle discariche; infatti, anche quando una discarica smette di accettare rifiuti, si esaurisce ed entra in fase di post-gestione, ciò che è al suo interno continuerà a decomporsi.

Nel definire la stabilità a lungo termine di una discarica occorre considerare che l'integrità della copertura superficiale possa diminuire e la quantità di percolato, che viene alimentato dalle precipitazioni, possa effettivamente aumentare anche dopo molto tempo e fuoriuscire dall'ambiente di discarica a causa della scarsa efficienza dello strato impermeabilizzato nel fondo, raggiungendo la falda sotterranea. Inoltre si deve considerare un sistema di raccolta non efficiente o, come avviene in certe discariche, totalmente assente.

Questi fattori, che si verificano molto di frequente, soprattutto nelle discariche esaurite, non fanno altro che aumentare il rilascio del percolato e di tutti i composti inquinanti e tossici presenti al suo interno nel tempo, con un aumento del rischio per l'uomo e per l'ambiente.

Alla luce di questo, diviene fondamentale riuscire a controllare i rifiuti in ingresso di una discarica, definendone le caratteristiche e le potenziali fonti

di pericolo, prevedendone, di conseguenza, un opportuno trattamento e introducendo progressivamente una nuova concezione costruttiva e gestionale della discarica, ossia la discarica sostenibile.

## **BIOGAS**

### **Genesi**

Oltre al percolato, un altro impatto generato dallo smaltimento dei rifiuti in discarica è rappresentato dal biogas; la sua dispersione non controllata in atmosfera, infatti, rappresenta uno dei problemi gestionali più rilevanti all'interno di una discarica, a causa del contributo del biogas alla produzione di emissioni locali e a scala globale.

Il metano, infatti, è riconosciuto come uno dei gas che contribuisce maggiormente all'effetto serra e il contributo delle discariche sul metano emesso globalmente è stimato nell'ordine del 22% (US-EPA, 2001), mentre a livello locale i problemi possono essere legati all'emissione di odori, di sostanze pericolose e al possibile danneggiamento dei terreni agricoli adiacenti al sito della discarica.

Escludendo le discariche in cui sono smaltiti i rifiuti inerti, si può ritenere che la produzione di biogas, così come avviene per il percolato, si verifichi all'interno di tutte le discariche che smaltiscono rifiuti con un significativo contenuto di sostanza organica, nel corso delle varie fasi che si susseguono. I processi chimici e biologici che si sviluppano nel corso della degradazione dei rifiuti, infatti, portano alla decomposizione, soprattutto anaerobica, della sostanza organica e delle proteine presenti all'interno dei rifiuti smaltiti che vengono inizialmente trasformati in zuccheri, poi principalmente in acido acetico e, infine, in metano e diossido di carbonio. Questi gas e altri, vengono prodotti in quantità variabili a seconda della tipologia di rifiuto e della fase della discarica.

Nella seguente grafico (Fig. 3.6) viene illustrata l'evoluzione della composizione tipica del biogas nel corso delle fasi di una discarica.

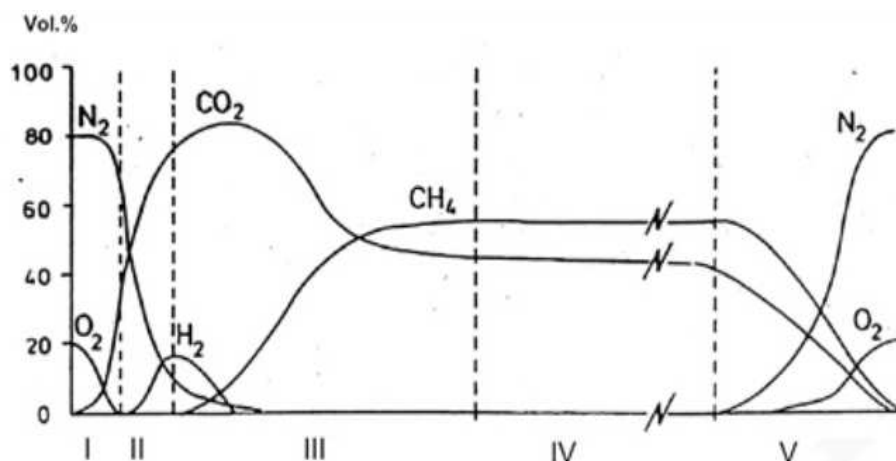


Fig. 3.6: variazione della composizione chimica del biogas nel tempo (Fonte: Cossu, 2007)

Nella prima fase, quella aerobica, il principale gas prodotto è la  $\text{CO}_2$ , come conseguenza della degradazione delle sostanze organiche ad opera dell'attività aerobica microbica; il contenuto di azoto, inizialmente molto elevato, inizia a diminuire verso la fine di questa fase; anche l'ossigeno, consumato dai batteri per la degradazione, diminuisce notevolmente.

La fase di acidogenesi anaerobica, invece, è caratterizzata dall'insorgenza di condizioni anaerobiche, dovute al completo consumo dell'ossigeno all'interno del cumulo dei rifiuti. In questa fase si verificano fenomeni di idrolisi ed acetogenesi che portano ad una elevata produzione di  $\text{CO}_2$  e, in misura minore, di idrogeno ( $\text{H}_2$ ), i quali continuano ad eliminare l'azoto presente nell'ambiente.

La terza fase, quella metanigena iniziale, è caratterizzata da un periodo di attività anaerobica transitoria, durante la quale viene avviata la metanogenesi, che gradualmente raggiunge un equilibrio con i fenomeni di idrolisi e acetogenesi. In queste condizioni, i batteri metanogeni trovano le migliori condizioni per operare: essi infatti, utilizzano diversi substrati prodotti dall'idrolisi, quali idrogeno e anidride carbonica, per produrre metano gassoso.

In questa fase, quindi, comincia la generazione di  $\text{CH}_4$ , associata ad una riduzione della  $\text{CO}_2$ , prodotta precedentemente nelle due fasi.

La fase che porta ad una maggiore produzione di biogas è quella metanigena stabile, nella quale, inoltre, la produzione raggiunge condizioni di quasi stazionarietà e la sua composizione rimane costante. In questa fase,



infatti, la degradazione in ambiente anaerobico da parte dei batteri metanogeni della materia organica presente all'interno dei cumuli di rifiuti, porta allo sviluppo di questo mix di sostanze gassose, formato prevalentemente da CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, all'interno del quale sono presenti anche in tracce molte altre sostanze, spesso inquinanti, come gli idrocarburi aromatici e gli alogenuri alifatici (Rettenberger & Stegmann, 1995).

Nella quinta fase, quella umica, a causa dell'infiltrazione dell'aria nelle zone superficiale della discarica, si verifica un aumento della concentrazione dell'ossigeno e un aumento del contenuto di azoto, come risultato della degradazione limitata dei materiali da parte dei microorganismi.

### **Composizione**

Dal punto di vista quantitativo, si può riassumere la composizione tipica del biogas di discarica nella seguente tabella (Tab. 3.6).

Tab. 3.6: composizione tipica del biogas da discarica

<b>Componenti</b>	<b>Valore tipico (% v/v)</b>
Metano	63.8
Diossido di carbonio	33.6
Ossigeno	0.16
Azoto	2.4
Idrogeno	0.05
Vapore acqueo	1.8

(Fonte: *Guidance on the management of landfill gas*, 2004)

Il biogas da discarica può contenere un'elevata varietà di altri componenti in tracce, soprattutto composti organici alogenati o idrocarburo aromatici.

La durata delle varie fasi e la composizione del biogas in termini di qualità e quantità all'interno del cumulo di rifiuto posti in discarica dipende da diversi fattori:

- Le condizioni della discarica.
- Differenze nella composizione dei rifiuti.
- Età dei rifiuti.
- Caratteristiche idrauliche del sito.
- Condizioni climatiche.

Per quanto riguarda le condizioni della discarica si fa riferimento allo schema progettuale della discarica e alla presenza o assenza di una buona copertura e alla composizione del rifiuto: la produzione di biogas quindi tenderà ad aumentare se la copertura finale della discarica sarà poco efficiente

Un altro fattore molto importante è la composizione dei rifiuti depositato all'interno della discarica, la quale influisce sia sul tasso di produzione sia sulla composizione del biogas generato. La frazione dei rifiuti che, nelle condizioni che si generano in discarica, può subire un degrado microbico con conseguente produzione di biogas è quella putrescibile: all'aumentare della componente organica putrescibile dei rifiuti, quindi, aumenterà anche la generazione di biogas. Di conseguenza, le discariche per rifiuti urbani sono le discariche che, potenzialmente, possono portare alle maggiori produzioni di biogas.

Per ciò che concerne le condizioni climatiche, la quantità di precipitazioni atmosferiche e la temperatura ambientali possono portare ad un aumento della produzione di biogas, in quanto un fattore importante per lo sviluppo delle reazioni di biodegradazione all'interno del cumulo rifiuti è l'umidità, la quale varia a seconda del clima.

### ***Impatti***

I problemi per l'uomo e per l'ambiente collegati al biogas sono soprattutto legati alle caratteristiche pericolose e nocive dei suoi componenti. Tra le principali caratteristiche dei componenti che caratterizzano il biogas vi sono:

- La solubilità.
- L'infiammabilità e l'esplosività.

- L'asfissia.
- La tossicità.
- La corrosività.
- L'odore.
- L'ecotossicità
- L'effetto serra.
- L'inquinamento fotochimico.

Il biogas contiene una serie di componenti, tra cui il metano e il diossido di carbonio, che possono sciogliersi all'interno dei corpi idrici; questi composti solubili o parzialmente solubili sono presenti all'interno del biogas in diverse concentrazioni e, se dispersi all'interno dell'acqua, possono essere trasportati dal suo corso, aumentandone quindi il raggio inquinante. Fattori che possono influenzare la solubilità di questi composti sono la temperatura, la pressione parziale del gas e le interazioni chimiche tra il composto (il soluto) e il mezzo acquoso (il solvente).

Un altro impatto è dato dall'infiammabilità ed esplosività del metano e degli altri componenti presenti nel biogas, i quali, migrando e mescolandosi con l'aria, possono provocare la formazione di atmosfere altamente esplosive. Inoltre, essi possono aumentare il pericolo di incendi e di esplosioni anche all'interno del corpo della discarica: fattori costruttivi come una discontinuità del sistema di impermeabilizzazione della discarica o un sistema di captazione del biogas non ottimale, aumentano il possibile rischio di incendi, con conseguente impatto negativo sull'ambiente circostante e sulla popolazione presente nelle zone circostanti.

La potenzialità esplosiva del biogas può essere anche causa di instabilità del corpo di discarica, originando frane e modifiche strutturali alla geologia del territorio sopra il quale è posta la discarica; gli assestamenti dei rifiuti causano delle fessure sulle sommità della discarica, dove non è difficile che si vengano a creare delle miscele tra combustibile (il biogas in esalazione) e l'aria che, se innescate, possono generare un'esplosione con energia proporzionale alla dimensione e profondità della fessura. L'esplosione può causare il distacco di una parte della parete e generare una frana.

L'accumulo di gas da discarica negli spazi chiusi può rappresentare un rischio diretto per l'uomo a causa dell'asfissia che si può generare; in situazioni

estreme in alcuni punti delle discariche può verificarsi una riduzione significativa dell'ossigeno, al di sotto della soglia del 18%, a causa della presenza di elevate concentrazioni di CO<sub>2</sub>. Gli effetti fisiologici derivati dalla respirazione in ambienti con basso tenore di ossigeno sono elencati nella tabella 3.7.

Tab. 3.7: effetti fisiologici della carenza di ossigeno

<b>Concentrazione di ossigeno (%)</b>	<b>Effetti</b>
18	Saturazione del sangue adeguata per riposare, camminare e lavorare
17	Aumento della respirazione e leggera compromissione del giudizio
16	Primi segni di anossia, vertigini, ronzio nelle orecchie
12 – 16	Aumento della respirazione, coordinazione muscolare compromessa
10 – 14	Sconvolgimento emozionale, stanchezza anormale sull'esercizio fisico
6 – 10	Nausea, vomito, incoscienza
< 6	Convulsioni, morte

(Fonte: *Guidance on the management of landfill gas, 2004*)

Alcuni dei costituenti del biogas, inoltre, come l'anidride carbonica o altri presenti in tracce, possono avere effetti tossici per l'uomo, se presenti in concentrazioni sufficientemente elevate. La tabella 3.8 contiene informazioni sugli effetti fisiologici dati dall'esposizione all'anidride carbonica.

Tab. 3.8: effetti fisiologici dell'esposizione all'anidride carbonica

Concentrazione di anidride carbonica (%)	Effetti
0.03	Nessuno
0.5	Respirazione leggermente più profonda
2.0	Ventilazione polmonare aumentata del 50%.
3.0	Ventilazione polmonare raddoppiata, mal di testa
5 – 10	Aumento di tre volte della respirazione polmonare
10 – 15	Ansia intollerabile, mal di testa, collasso
25	Morte

(Fonte: *Guidance on the management of landfill gas, 2004*)

Tutti i componenti in traccia, invece, non rappresentano solitamente pericolo per la salute umana, proprio per il fatto di essere presenti in concentrazioni molto basse.

Un altro pericolo legato alle caratteristiche dei componenti del biogas è la corrosività; alcuni elementi del gas da discarica o dei suoi derivati, come il solfuro di idrogeno, hanno un potenziale corrosivo, il quale deve essere considerato nella fase di progettazione di un sistema di captazione e trattamento appropriato. La corrosione accelera l'usura degli impianti e delle attrezzature, riducendo la loro efficacia nella misura e del biogas prodotto nel tempo.

Un altro impatto per l'uomo, derivato dai componenti in traccia presenti nel biogas, è l'odore emanato; le specie maleodoranti possono avere soglie olfattive molto basse, e quindi essere rilevate dall'olfatto umano anche a basse concentrazioni, generando una situazione sgradevole, soprattutto se protratta e duratura nel tempo. Tra i composti responsabili dell'odore vi sono (Christensen & Kjeldsen, 1999):

- L'idrogeno solfato.
- Acidi carbossilici (es. acido butanoico).
- Aldeidi (es. acetaldeide).
- Disolfuro di carbonio.
- Mercaptani.

Le missioni di gas non controllate, in determinate condizioni meteorologiche, come il vento o l'inversione termica, possono dare origine ad odori che si estendono anche a diversi chilometri dal sito di ubicazione della discarica.

Gli odori di una discarica possono essere anche legati ai processi di fermentazione legati alla componente organica dei rifiuti. Ne deriva, quindi, che il biogas, oltre che ad essere una fonte primaria degli odori presenti in una discarica, ne può anche diventare anche il "vettore": infatti, all'interno di una discarica, con carenze nel sistema di captazione, può capitare che i flussi di biogas generati dagli strati più profondi dei rifiuti, risalendo verso gli strati superficiali, incontrino i gas generati dalla degradazione dei rifiuti più freschi, trascinandoli verso l'atmosfera, incrementano la percepibilità di tali odori provenienti dalla discarica. Appare fondamentale, quindi, che il sistema di captazione del biogas all'interno di una discarica sia efficiente e non permetta il verificarsi di questo fenomeno.

Uno dei principali impatti negativi del biogas da discarica è rappresentato dalle emissioni in atmosfera: componenti di cui è ricco il biogas, come il metano e l'anidride carbonica, sono tra le maggiori cause dell'effetto serra. Sia l'anidride carbonica che il metano, infatti, sono dei gas serra (GHG: *GreenHouse Gas*) presenti in atmosfera: la CO<sub>2</sub> è uno dei principali e più presenti mentre il metano, pur presente in atmosfera in concentrazioni molto inferiori rispetto alla CO<sub>2</sub>, possiede un potenziale di riscaldamento ben 23 volte superiore (*Baird, 1995*).

Il CH<sub>4</sub> è responsabile dell'incremento del 18% dell'effetto serra e, tra le principali fonti di emissione di metano nell'atmosfera, ci sono i processi di decomposizione dei rifiuti solidi urbani nelle discariche.

Il gas da discarica può contenere anche i fluoroclorocarburanti (CFC) e altri idrocarburi che contribuiscono al riscaldamento globale (*DETR Climate change: draft UK programme, 2000*). Inoltre, la combustione del gas di discarica può portare ad emissioni di ossido di azoto, che possiede un

potenziale di riscaldamento globale di circa 300 volte superiore a quello dell'anidride carbonica.

Nella tabella 3.9 vengono riassunti i potenziali di riscaldamento dei componenti del biogas o di quelli prodotti dalla sua combustione.

Tab. 3.9: potenziali di riscaldamento globale componenti biogas

<b>Composto</b>	<b>Potenziale di riscaldamento globale</b>
Anidride carbonica	1
Metano	21
Cloroformio	4
Ossido d'azoto	310
Diclorometano	9
CFC	600 - 14000

(Fonte: *Guidance on the management of landfill gas, 2004*)

L'azione di captazione e combustione controllata del biogas in discarica può evitare la diffusione diretta di tali gas in atmosfera.

Altri impatti del biogas possono essere relativi alla fitotossicità, cioè la tossicità nei confronti delle piante; è possibile, infatti, che i componenti in tracce presenti nel gas da discarica vengano assorbiti dalle piante, attraverso le loro radici e l'apparato fogliare (*Neumann & Christensen, 1995*).

Infine, gli idrocarburi presenti nel biogas possono produrre radicali altamente reattivi quando vengono esposti alle radiazioni ultraviolette presenti nella luce solare.

Dall'analisi degli impatti si può constatare quando pericoloso per la salute dell'uomo e per l'ambiente possa essere il biogas, e tutti i componenti al suo interno, in mancanza di sistemi di captazione adeguati all'interno della discarica, o in mancanza totale di essi.

Molto spesso però, queste situazioni si verificano, soprattutto nelle discariche più vecchie, oggi in post-gestione e chiuse, dove l'emissione del biogas si è verificata senza un adeguato sistema di mitigazione.

## FASE DI POST-GESTIONE E CHIUSURA DI UNA DISCARICA

Al termine del periodo di esercizio attivo di una discarica inizia quello che viene definito il periodo di post-gestione, il quale rappresenta un passaggio fondamentale prima di ritenere una discarica esaurita.

Questo periodo, secondo la normativa europea 99/31/CE, recepita in Italia con D. Lgs. 36/03, prevede un controllo e un monitoraggio della discarica, allo scopo di rilevare e osservare lo sviluppo degli impatti generati in questa fase; infatti, anche se all'interno della discarica non vengono più conferiti dei rifiuti, quelli presenti continuano a sviluppare dei processi di natura chimica, biologica e fisica, soprattutto di decomposizione, seguendo la successione di fasi (aerobica, anaerobica, metanogena) descritta nei precedenti paragrafi: tali processi, quindi, possono continuare a portare alla formazione di notevoli quantità di biogas e di percolato, generando quindi elevati danni a lungo termine.

Il biogas, infatti, può essere prodotto per molto tempo anche grazie alla penetrazione dell'aria in profondità, sfrattando le inserzioni tra i cumuli dei rifiuti, se questi non sono ben coperti, portando alla riattivazione di processi aerobici, oppure considerando che molti organismi metanogeni possono trovare nei rifiuti condizioni favorevoli, quali situazioni anaerobiche e presenza di materia organica, che porta ad un'elevata produzione di biogas per molto tempo.

Il percolato invece, essendo di natura liquida, può essere continuamente prodotto dalle piogge meteoriche che possono anch'esse penetrare all'interno della massa dei rifiuti, in assenza di una copertura efficiente o deteriorata dal tempo, andando quindi a produrre nuovo liquido inquinante, che può provocare contaminazione alla falda sotterranea.

Il periodo di post-gestione, a carico del gestore della discarica, dovrebbe avere una durata tale da consentire la minimizzazione di tali impatti per l'uomo e per l'ambiente e, in termini di anni, è molto difficile da quantificare, poiché dipende molto dalle tipologie di discarica e dalle caratteristiche dei rifiuti conferiti all'interno. La normativa, però, individua nel periodo di 30 anni il periodo dentro il quale sono obbligatorie le azioni di monitoraggio e controllo degli impatti; è possibile però, per alcuni casi, che



tale periodo possa risultare insufficiente affinché si raggiunga la stabilità della discarica.

Qui di seguito, in Tab. 3.10 vengono presentati i valori di alcuni parametri riscontrati all'interno di discariche a diversi anni di post-gestione (*Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan & Moilin, 2008*).

Tab. 3.10: variazione dei parametri nelle discariche in post-gestione (Fonte: Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan & Moilin, 2008)

Età discarica	Paese	Parametri			
		pH	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	BOD/COD
1 – 10 anni	Canada	5.8	13800	9600	0.7
	Cina	7.0 – 8.3	17000	7300	0.43
	Grecia	6.2	70900	26800	0.38
	Italia	8.2	10540	2300	0.22
	Italia	8	19000	4000	0.20
	Sud Corea	7.3	24400	10800	0.44
	Turchia	5.6 – 7.0	35000 - 50000	21000 - 25000	0.5 – 0.6
10 – 20 anni	Cina	7.6	5800	430	0.07
	Hong Kong	8.22	7439	1436	0.19
	Germania	7.3	3180	1060	0.33
	Grecia	7.9	5350	1050	0.20
	Italia	8.35	5050	1270	0.25
	Italia	8	3840	1200	0.31
	Polonia	8	1180	331	0.28
+ 20 anni	Brasile	8.2	3460	150	0.04
	Estonia	11.5	2170	800	0.37
	Finlandia	7.1 – 7.6	340 - 920	84	0.09 – 0.25
	Francia	7.5	500	7.1	0.01
	Sud Corea	8.57	1409	62	8.57

Alla luce dei potenziali impatti generati da una discarica nel corso delle sue fasi di vita, e quindi sia nel corso della fase operativa sia in quella di post-gestione, diviene fondamentale che le sorgenti vengano costantemente monitorate.

Qualora si verificassero situazioni di grave pericolo per l'ambiente a causa di fuoriuscite di percolato o biogas sarà necessario intervenire con opere di bonifica, tra le quali la più efficiente è rappresentata dalla *Landfill Mining*, una tecnologia di bonifica che consiste nell'escavazione dei rifiuti depositati e nel loro successivo trattamento al fine di selezionare le diverse componenti, destinate ad essere successivamente gestite in modo differenziato. Tale tecnologia però risulta molto costosa sia da un punto di vista economico sia del tempo, poiché la riesumazione di una discarica intera necessita di risorse di cui il gestore non sempre dispone. Questi interventi sono da ritenersi come un'ultima spiaggia, in caso di manifestazione di impatti negativi nel corso della fase di post-gestione.

Gli impatti, però, non sono altro che i figli della gestione della discarica: più una discarica, infatti, è stata realizzata con le tecnologie e i criteri della normativa e successivamente monitorata e controllata nel corso della sua fase di vita, meno impatti si genereranno nella sua fase di post-gestione. La normativa comunitaria e quella nazionale di conseguenza, si sono mosse in questo senso, con l'obiettivo di ridurre gli impatti nel corso di tutte le fasi di vita di una discarica, dalla realizzazione all'esercizio e soprattutto nella fase di post-gestione, al fine di arrivare nel più breve tempo possibile alla definizione di discarica esaurita.

Vi sono alcune importanti operazioni da effettuare allo scopo di mitigare gli impatti di una discarica: una di queste è l'applicazione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, presenti nelle varie normative di settore, con conseguente caratterizzazione dei rifiuti in ingresso; la normativa, infatti, definisce limiti per determinati parametri, che sono da rispettare sia per evitare impatti nel presente sia nel futuro. Una seconda via di intervento è rappresentata dall'applicazione dei trattamenti, tra cui quelli meccanici – biologici, i quali consentono di abbattere la sostanza organica, al fine di soddisfare i requisiti di ingresso dei rifiuti in discarica. Infine, una terza via, è

costituita dalla realizzazione delle discariche secondo i dettami della normativa, per ciò che riguarda gli aspetti costruttivi.

Nelle discariche italiane più recenti, cioè quelle post D. Lgs. 36/03, vengono applicate tutte queste disposizioni, che vanno dalla costruzione delle discariche con il rispetto di tutti i requisiti strutturali, fino al rispetto dei criteri di ammissione dei rifiuti, per passare dal pre-trattamento meccanico e biologico di tutti i rifiuti, prima del collocamento. Queste prescrizioni hanno portato ad un notevole miglioramento nel corso degli ultimi anni dal punto di vista degli impatti causati dall'esercizio e post-esercizio di una discarica.

Il problema va ricercato, però, in tutte quelle discariche realizzate prima della normativa vigente, nelle quali una o più disposizioni di questo tipo non sono state applicate, o addirittura nessuna di queste. Si può, infatti, passare da discariche nelle quali sono stati conferiti rifiuti non pretrattati meccanicamente o biologicamente, ad altre in cui i rifiuti non sono stati caratterizzati o, nel peggiore dei casi, ad altre ancora nelle quali i criteri costruttivi non sono stati minimamente rispettati, le quali non presentano ne sistemi di raccolta del percolato, ne sistemi di captazione del biogas o un fondo impermeabilizzato.

Buona parte o tutte queste caratteristiche sono riscontrabili in quelle discariche, in esercizio intorno agli anni 80/90, le quali sono passate per una fase di post-gestione non pienamente controllata e monitorata, e che oggi sono totalmente esaurite; all'interno di queste, tutti gli impatti si sono manifestati senza nessuna opera di mitigazione e sono stati semplicemente abbattuti dal tempo, causando ciononostante un elevato impatto ambientale. Di queste discariche, inoltre, molto spesso, non si sa nulla, neppure la localizzazione precisa, rendendo ancora più difficile la ricostruzione storica di ciò che è successo nel tempo.

## **EVOLUZIONE DEGLI ASPETTI COSTRUTTIVI DI UNA DISCARICA**

Dal punto di vista realizzativo di una discarica, nel corso dei decenni, vi sono stati dei notevoli cambiamenti dei criteri e delle disposizioni costruttive fissati dalle normative; infatti, la successione nel tempo delle direttive a livello

comunitario e delle norme nazionali, hanno portato ad un miglioramento generale relativo a questo aspetto.

Prendendo in considerazione la situazione italiana, viene presentato nella seguente tabella, l'evoluzione, dalla Deliberazione del 27/07/1984 fino al Decreto Legislativo n.36/2003, il quale rappresenta la normativa quadro in materia di discarica, tuttora vigente in Italia, relativa ai principali aspetti tecnici legati alla realizzazione di una discarica e alla sua gestione post-operativa.

Tab. 3.11: evoluzione criteri costruttivi delle discariche nella normativa italiana (Fonte: DCI 27/07/1984 & D. Lgs. n.36/2003)

Parametri		DCI 27/17/1984						D. Lgs. n.36/03					
		Inerti		Non pericolosi		Pericolosi		Inerti		Non pericolosi		Pericolosi	
		Richiesto	Caratteristiche	Richiesto	Caratteristiche	Richiesto	Caratteristiche	Richiesto	Caratteristiche	Richiesto	Caratteristiche	Richiesto	Caratteristiche
Rivestimento di fondo	Geobarriera (strato minerale impermeabile)	NO	-	SI	10 <sup>-6</sup> cm/s Spessore ≥ 1m	SI	10 <sup>-7</sup> cm/s Spessore ≥ 2m	SI	10 <sup>-7</sup> cm/s Spessore ≥ 1m	SI	10 <sup>-9</sup> cm/s Spessore ≥ 1m	SI	10 <sup>-7</sup> cm/s Spessore ≥ 5m
	Geomembrana (strato artificiale)	NO	-	NO	-	SI	-	NO	-	SI	Spessore ≥ 0,5m	SI	Spessore ≥ 0,5m
	Sistema raccolta e rimozione percolato	NO	-	NO	-	SI	-	SI	-	SI	-	SI	-
	Sistema captazione biogas	NO	-	SI	-	SI	-	NO	-	SI	-	SI	-
Copertura finale	Geobarriera (strato minerale impermeabile)	NO	-	SI	-	SI	-	SI	Spessore ≥ 0,5m	SI	10 <sup>-8</sup> cm/s Spessore ≥ 0,5m	SI	10 <sup>-8</sup> cm/s Spessore ≥ 0,5m
	Geomembrana (strato artificiale)	NO	-	NO	-	NO	-	SI	-	NO	-	SI	-
	Sistema raccolta e rimozione percolato	NO	-	NO	-	NO	-	SI	-	SI	-	SI	-
	Sistema captazione biogas	NO	-	NO	-	NO	-	NO	-	SI	-	SI	-
	Strato drenante	NO	-	NO	-	NO	-	SI	Spessore ≥ 0,5m	SI	Spessore ≥ 0,5m	SI	Spessore ≥ 0,5m
	Terreno di copertura	NO	-	SI	Spessore ≥ 1m	SI	Spessore ≥ 1m	SI	Spessore ≥ 1m	SI	Spessore ≥ 1m	SI	Spessore ≥ 1m

Dalla tabella 3.11 si può sicuramente osservare che vi è stata sicuramente un'evoluzione volta al miglioramento delle prestazioni della discarica da un punto di vista della sicurezza ambientale e delle matrici ambientali.

Per quanto riguarda l'ubicazione, nelle prime normative in materia di discariche, non vi erano grandi impedimenti geografici e geologici per la scelta del sito; per le discariche di rifiuti di inerti non vi nessuna indicazione nella scelta del sito di ubicazione, mentre per le quelle di rifiuti pericolosi e non pericolosi si pone attenzione alla distanza dai centri abitati e alle caratteristiche geologiche del territorio (zone vicine all'alveo di fiumi, zone sismiche, aree vulcaniche, zone in corrispondenza di doline, zone sottoposte a vincoli idrogeologici).

Nei criteri di ubicazione del D. Lgs. n.36/2003, invece, pone particolare attenzione alla localizzazione delle discariche, soprattutto per ciò che concerne sia la distanza dai centri abitati sia le caratteristiche geologiche della zona sia le caratteristiche agricole e storiche dell'area. Tutto ciò rappresenta delle limitazioni atte a salvaguardare l'uomo e l'ambiente, nel rispetto della normativa.

Nelle prime normative, soprattutto il DCI del 27 luglio 1985, relative agli aspetti tecnici di una discarica non erano presenti moltissimi obblighi strutturali, sia per quanto riguarda il fondo sia per la copertura finale di una discarica; infatti, nelle discariche di rifiuti inerti e nelle discariche di rifiuti non pericolosi, la maggior parte costituiti da rifiuti urbani, non era richiesto nessun tipo di intervento particolare. Per quelle di inerti nessun intervento era obbligatorio, mentre per quelle di rifiuti urbani risultava facoltativo costruire una discarica sopra uno strato impermeabilizzato con determinate caratteristiche di conducibilità idraulica ( $10^{-6}$  cm/s) e dello spessore maggiore di 1 metro, mentre, per la copertura, era richiesto solamente un rivestimento di terreno, dallo spessore maggiore di un metro. Nessun tipo di sistema per la captazione del biogas o drenaggio e raccolta del percolato era richiesto per le discariche di inerti, data la natura dei rifiuti in esse stoccati.

Nelle discariche di rifiuti urbani invece, risultava obbligatorio il sistema di captazione del biogas, mentre non lo era il sistema di drenaggio e cattura del percolato, il quale restava facoltativo. Per gli aspetti legati alla copertura finale, anche per questa classe di discarica, non erano previsti molti accorgimenti; era infatti richiesta una copertura con un materiale

impermeabilizzante, di solito argilla di spessore adeguato, per evitare ulteriori infiltrazioni di acque meteoriche nel corpo della discarica e limitare la produzione di nuovo percolato, ma anche in questo caso non vi sono particolari criteri di conducibilità idraulica. Al di sopra, infine, doveva essere posto un secondo strato di terreno vegetale dello spessore maggiore di 100 cm, atto a favorire la riqualificazione paesaggistica della zona.

Per le discariche di rifiuti pericolosi, invece, la normativa prevedeva qualche obbligo in più per la realizzazione sia del fondo che della copertura finale: Prima di tutto veniva richiesto uno strato minerale impermeabile, il quale doveva possedere delle buone caratteristiche di conducibilità idraulica ( $K \leq 10^{-7}$ ), dello spessore maggiore di 2 metri, al quale andava aggiunto, nel fondo e nelle pareti, uno strato di materiale artificiale resistente alle eventuali azioni aggressive dei rifiuti depositati; le caratteristiche di questo strato dovevano essere tali da impedire la fuoriuscita del percolato.

Sempre per le discariche di questa classe, sul fondo, erano richiesti, dalla normativa pre D. Lgs. n.36/2003, sistemi di captazione del biogas e sistemi di raccolta del percolato e, eventualmente, un impianto di trattamento dello stesso.

Per quanto concerne la copertura finale delle discariche di rifiuti pericolosi, era richiesto, anche in questo caso, uno strato di materiale impermeabilizzante, senza però definire determinati criteri, ma dallo spessore opportuno atto ad impedire fenomeni di infiltrazioni delle acque di precipitazione all'interno della discarica.

Al di sopra di questo strato, doveva esserne posto un secondo di terreno naturale, di spessore non inferiore ai 100 cm. Non si faceva nessun riferimento a sistemi di abbattimento degli impatti generati dal percolato o dal biogas in superficie.

Dall'analisi dei primi criteri costruttivi per le varie classi di discarica, si può notare come sia presente una prima volontà di ridurre gli impatti generati nel corso dell'esercizio di un impianto di questo tipo, con più attenzione sulle caratteristiche del fondo, mentre, per ciò che riguarda gli aspetti di post-gestione, soprattutto quelli legati alla copertura finale, non vi è particolare attenzione.

Nel corso dei decenni sono state aggiunte diverse soluzioni tecniche, dettate dal crescente impatto generato dai rifiuti conferiti in discarica e dalla



volontà di ridurre l'inquinamento e aumentare il grado di protezione delle acque, sia superficiali sia profonde, del suolo circostante la discarica e dell'aria nel corso della fase di esercizio e anche nella fase di post-gestione.

Tutte queste novità sono state raggruppate nel D. Lgs. n. 36/2003, il quale, in Italia, rappresenta la normativa quadro sulle discariche; essa ha portato all'aggiunta di diversi criteri tecnici, divenuti obbligatori per la realizzazione delle discariche.

Prendendo in considerazione le discariche di rifiuti inerti, si può facilmente notare come siano aumentate tutte le disposizioni relative a questa classe, sia per ciò che concerne il fondo sia la copertura finale, quando inizia il periodo di post-gestione.

Diviene obbligatorio sul fondo uno strato minerale impermeabilizzante con delle elevate caratteristiche di impermeabilità ( $K \leq 10^{-7}$ ), il quale deve avere uno spessore minimo di un metro; se necessaria, qualora la geobarriera non dovesse soddisfare le condizioni di impermeabilità, essa può essere completata da un sistema barriera artificiale, per garantire gli standard della normativa. Lo strato di minerale impermeabile e la geomembrana vengono richieste anche nella copertura finale della discarica: in entrambe non sono presenti delle precise specifiche tecniche, ma un'efficienza tale da permettere l'isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno, la minimizzazione delle infiltrazioni delle acque e dei fenomeni di erosione, la riduzione al minimo della necessità di manutenzione e una buona resistenza agli assestamenti della discarica. Per lo strato minerale, viene richiesto uno spessore minimo di 0,5 metri.

In aggiunta a questi strati, la normativa, per le discariche di rifiuti inerti, prevede uno strato drenante, con spessore maggiore o uguale a 0,5 metri, e uno di terreno superficiale, con spessore maggiore di 1 metro, che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali.

Per le discariche di questa classe, la normativa richiede sistemi di captazione del biogas sia sul fondo che in superficie, mentre sistemi di raccolta e drenaggio del percolato non sono obbligatori, pur sottolineando che un'efficiente raccolta del percolato deve essere garantita, ove sia ritenuto necessario.

Tali disposizioni sono aumentate in modo ancora più significativo per le altre classi di discariche. Per le discariche di rifiuti pericolosi e non pericolosi,

infatti, viene imposto uno strato impermeabilizzato sul fondo e sulle pareti, dello spessore maggiore di 5 metri per le prime di un metro per le seconde, che garantisca un'elevata conducibilità idraulica, al quale va aggiunto uno strato di geomembrana artificiale, dello spessore maggiore di 0,5 metri, avente caratteristiche di resistenza alle sollecitazioni chimiche e meccaniche presenti all'interno del copro della discarica; la diminuzione del coefficiente di conducibilità idraulica e l'aggiunta di uno strato di geomembrana, quindi, sono legati ad una volontà di creare una sorta di barriera di confinamento tra la discarica e il suolo, con l'obiettivo di isolare la discarica e minimizzare gli impatti negativi.

Questo aspetto è presente anche nelle indicazioni tecniche inerenti alla copertura finale delle discariche; viene infatti richiesto un strato minerale impermeabile, dello spessore di 0,5 metri, con uno specifico coefficiente idraulico ( $10^{-9}$ ), al fine di garantire l'isolamento della discarica dall'ambiente circostante. Al di sopra di questo strato è obbligatorio per le discariche di rifiuti pericolosi un'ulteriore strato di geomembrana, mentre, per quelle di rifiuti non pericolose, è a discrezione del gestore. Deve essere presente invece, uno strato drenante, dello spessore maggiore di 0,5 metri e uno strato superficiale di copertura vegetale, con spessore maggiore o uguale a 1 metro.

Pe ciò che concerne i sistemi di captazione di biogas e di raccolta e drenaggio del percolato, questi sono richiesti su entrambe le classi di discariche, sia sul fondo che sulla copertura finali.

Dal confronto sui criteri tecnici per la realizzazione di una discarica, è evidente come, nel corso degli anni, siano aumentati gli accorgimenti necessari sia sul fondo che sulla superficie e le misure per la salvaguardia delle matrici ambientali, derivati dall'esercizio prima e dalla post-gestione dopo di una discarica, di qualsiasi tipologia essa sia.

## **EVOLUZIONE DEI CRITERI DI AMMISSIBILITÀ DEI RIFIUTI IN DISCARICA**

Nel corso dei decenni e con il susseguirsi di varie normative europee, recepite a livello nazionale, anche i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica sono

stati modificati e aggiornati, allo scopo di evitare l'accumulo di rifiuti potenzialmente nocivi all'interno.

Una delle prime normative nazionali che introduceva dei limiti di concentrazione all'interno dei rifiuti è rappresentata dalla Deliberazione del 27/07/1984; tale normativa regolamentava il deposito di rifiuti inerti, non pericolosi e pericolosi nelle varie classi di discarica, individuando dei parametri da considerare per la scelta dell'impianto.

Venivano considerati, infatti, la presenza di metalli pesanti, di inquinanti organici e inquinanti inorganici come discriminanti per la caratterizzazione di un rifiuto "tal quale": un rifiuto che contenesse queste sostanze doveva essere conferito all'intero di una discarica per rifiuti pericolosi; non venivano indicati però dei limiti di concentrazione precisi.

Nella Deliberazione si prendeva in considerazione anche la composizione dell'eluato, ottenuto dai test di cessione (test utilizzati per simulare il comportamento dei rifiuti da smaltire all'interno di una discarica per effetto dell'eluizione delle acque meteoriche) sul rifiuto, che doveva essere conforme a determinati limiti di accettabilità per il conferimento. I limiti considerati erano quelli relativi alla Legge del 10 maggio 1976 n.319 "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" (Tab. 3.12). Non vi erano, quindi, nella Deliberazione 27/07/1984, specifici limiti di concentrazione per l'eluato dei rifiuti di discarica, ma si consideravano i limiti delle acque.

Tab. 3.12: concentrazioni limite per le acque

Parametro	Eluato
BOD (mg/L)	40
COD (mg/L)	160

(Fonte: legge 10/05/1976 n.319)

Dalla tabella 3.12 si può osservare che i parametri presi in considerazione per le acque, e di conseguenza per l'eluato, sono relativi al pH, che deve attestarsi su un range tra il 5.5 e il 9.5, al BOD, che deve avere una concentrazione limite di 40 mg/L, al COD, con limite a 160 mg/L, alla presenza di metalli, con limiti di concentrazioni diverse a seconda del tipo di metallo preso in

considerazione, al colore e all'odore, oltre che al contenuto di coliformi e streptococchi, ad evidenziare come questi limiti siano concepiti per delle acque e non per l'eluato di un rifiuto da discarica.

Nelle prime normative, quindi, i criteri di ammissibilità definiti non erano molto restrittivi, consentendo a diverse tipologie di rifiuti, anche contenenti sostanze pericolose al loro interno, di essere collocati all'interno di discariche, le quali, ricordiamo, non erano realizzate in modo tale da mantenere isolato il cumulo dall'ambiente circostante. Questo non fece altro che aumentare il rischio di generazione di impatti, derivati dall'azione del percolato e del biogas.

Come è avvenuto per gli aspetti costruttivi di una discarica, nel corso dei decenni successivi, si è verificata un'evoluzione anche dal punto di vista dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica; divenne sempre più importante, al fine di ridurre al minimo gli impatti derivati dai rifiuti collocati all'interno nelle varie fasi di vita di una discarica, caratterizzare sempre di più il materiale.

Si sono susseguite diverse normative a livello nazionale inerenti tali criteri, dal D. Lgs. n.36 del 13 gennaio 2003, al Decreto del 3 agosto 2005, al D.M. del 27 settembre 2010, fino al D.M. del 24 giugno 2015.

Tra tutti questi, quello che ha introdotto le maggiori novità in termini di parametri e limiti è stato il D. Lgs. n.36/2003, aggiornato successivamente dal D.M. 27/09/2010. Quest'ultimo, infatti, fissa determinati requisiti dei rifiuti a seconda della classe di discarica in cui questi devono essere conferiti; si definiscono quindi limiti di concentrazione sull'eluato, derivato dal test di cessione, per le discariche di rifiuti inerti, pericolosi e non pericolosi.

Tab. 3.13: limiti di concentrazione dell'eluato in discarica

Parametro	Discariche inerti	Discariche non pericolosi		Discariche pericolosi
		Rifiuti stabili non reattivi	Altri rifiuti	
DOC (mg/L)	50	80	100	100
TDS (mg/L)	400	6000	10000	10000
TOC		< 5%		<6%

(Fonte: D. Lgs. n.36/2003)

Per quanto riguarda le discariche di rifiuti inerti vengono considerati limiti legati al DOC (50 mg/L) e sul TDS, Total Dissolved Solid (400 mg/L). All'interno di queste discariche è, inoltre, vietato il conferimento di rifiuti contenenti PCB, in concentrazione superiore a 1 mg/kg, diossine e furani, in concentrazione superiore a 0,0001 mg/kg.

Vengono, infine, definiti limiti di accettabilità per i composti organici, attraverso la quantificazione del TOC (30.000 mg/Kg); tale parametro si riferisce alle sostanze organiche chimicamente attive, in grado di interferire con l'ambiente, generando impatti negativi.

Per le discariche di rifiuti non pericolosi, la normativa, individua diverse categorie di rifiuti per le quali non è obbligatoria una caratterizzazione chimica: per le categorie come i rifiuti urbani classificati come non pericolosi, rifiuti con una concentrazione di sostanza secca non inferiore al 25% e i rifiuti stabili non reattivi non è prevista una caratterizzazione chimica, a patto che vengano rispettati determinati limiti sui parametri dell'eluato, ottenuto dal test di cessione.

Dalla tabella si può notare che la classe dei rifiuti stabili, per essere smaltiti all'interno di queste discariche senza caratterizzazione chimica, non deve superare limiti ben definiti sul DOC (80 mg/L) e sul TDS (6.000 mg/L); questi valori sono più restrittivi rispetto a quelli applicati agli altri rifiuti non pericolosi caratterizzati chimicamente.

Per i rifiuti stabili e non reattivi, inoltre, sono presenti ulteriori restrizioni: il carbonio organico totale (TOC) non deve essere superiore del 5%, il pH non deve essere inferiore a 6 e la concentrazione di sostanza secca non deve essere inferiore al 25%.

Inoltre, questa tipologia di rifiuti, non deve essere smaltita in aree destinate ai rifiuti non pericolosi biodegradabili.

Per tutte le altre tipologie di rifiuti non pericolosi, escludendo quelli sopracitati, valgono valori sull'eluato di DOC e TDS diversi, rispettivamente per il primo di 100 mg/L mentre per il secondo di 10.000 mg/L. A questi parametri, va aggiunta la caratterizzazione chimica.

Per quanto riguarda i limiti di concentrazione da rispettare legati ai PCB (10 mg/Kg), diossine o furani (0,002 mg/Kg) e inquinanti organici persistenti, questi sono da applicare a tutte le categorie di rifiuti non pericolosi da conferire all'interno di queste discariche.

Infine, il D.M. 27/09/2010 definisce i limiti di concentrazione per l'eluato dei rifiuti da conferire all'interno delle discariche pericolose, sottoposti a test di cessione.

Dalla tabella si può anche osservare come i valori di DOC e il TDS siano gli stessi definiti anche per i rifiuti non pericolosi. A cambiare sono i valori relativi TOC, il quale deve essere inferiore al 6%, il contenuto di PCB (50 mg/L), di furani e di diossine (0,01 mg/L); infine, per questa classe di rifiuti, la percentuale di sostanza secca sul totale non deve essere inferiore al 25%.

Dall'analisi dei criteri per l'ammissibilità dei rifiuti si può notare come, recependo quanto stabilito dalle normative europee, in Italia vengono utilizzati come parametri di riferimento il TOC e il DOC, le concentrazioni di composti inquinanti organici e inorganici, seguiti dalla caratterizzazione analitica.

A questi si aggiungono delle indicazioni legate alla percentuale di sostanza secca, che deve essere, nella maggior parte dei casi, maggiore del 25%.

Con il D.M. del 27 settembre 2011, invece, viene introdotto il parametro dell'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale per tutti quei rifiuti urbani derivanti da trattamento biologico; questo parametro va ad accompagnarsi sia al TOC sia al DOC, in modo tale da fornire informazioni legati all'attività biologica dei rifiuti.

Affinché un rifiuto possa essere ammesso in discarica il suo valore di IRDP deve essere minore o pari di  $1000 \text{ O}_2 \cdot \text{Kg SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

L'introduzione di questo parametro è fondamentale, poiché prima di questo non vi era nessuna analisi che permetteva di quantificare la sostanza organica putrescibile all'interno di un rifiuto. Infatti, il TOC e il DOC sono due parametri che riescono a definire il quantitativo di carbonio organico, ma non riescono a fornire informazioni su quanto di questo è biodegradabile.

Successivamente, l'IRDP, con il Manuale e Linee Guide ISPRA 145/2016, "*Criteria tecnici per stabilire quando il trattamento non è necessario ai fini dello smaltimento dei rifiuti in discarica*", le categorie di rifiuti per cui diviene obbligatoria l'analisi dell'IRDP vengono implementate.

## EVOLUZIONE PRE – TRATTAMENTI DEI RIFIUTI

Nel corso degli anni, oltre ai miglioramenti sugli aspetti costruttivi e sui criteri di ammissibilità, si è verificata un'evoluzione normativa relativa ai pre-trattamenti dei rifiuti, come conseguenza del sempre maggiore impatto generato da questi all'interno delle discariche e dalla volontà dell'autorità competente di ridurre l'inquinamento nel corso di tutte le fasi di vita di una discarica.

I pre - trattamento in discarica sono legati ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, poiché la loro applicazione in combinata può portare ad una sostanziale diminuzione dei rifiuti ad alto contenuto di sostanza putrescibile e biodegradabile all'interno della discarica, con conseguente diminuzione della produzione di percolato e biogas.

Le tecniche di pre-trattamento si possono dividere in due importanti tipologie:

- Tecniche meccaniche.
- Tecniche biologiche.

Queste tecniche possono essere utilizzati in combinazione tra di loro, allo scopo di aumentare l'efficienza del pre-trattamento; esse vengono applicate

per il trattamento dei rifiuti che non possono essere recuperati, la frazione residuale, prima del loro conferimento in discarica

In seguito ai pre-trattamenti di questo tipo il volume dei cumuli di rifiuti all'interno della discarica e loro emissioni, in termini di biogas e percolato, possono essere significativamente ridotti. In generale, i vantaggi legati alle tecniche di pre - trattamento sono:

- La riduzione del volume necessario in discarica, a seguito del recupero e riciclaggio di materiali riutilizzabili e della degradazione della sostanza organica all'interno delle discariche.
- Riduzione delle emissioni di biogas e percolato, a seguito della stabilizzazione dei rifiuti.
- Significativa riduzione dell'intasamento nella rete di raccolta del percolato.
- Rimozione di materiali indesiderati e potenzialmente inquinanti.
- Riduzione degli odori.

I trattamenti meccanici vengono applicati molto spesso ai rifiuti prima di quelli biologici; essi hanno diversi obiettivi:

- Riduzione delle componenti di disturbo.
- Separazione dei contaminanti e dei materiali riutilizzabili.
- Separazione del materiale in diverse frazioni, tra le quali una ad alta biodegradabilità biologica.
- Riduzione della pezzatura dei rifiuti per migliorare le condizioni in discarica.
- Preparare i rifiuti al successivo trattamento biologico.

I pre - trattamenti biologici, invece, hanno come scopo la riduzione del conferimento di rifiuti ad elevato contenuto di sostanza organica putrescibile e biodegradabile all'interno della discarica, in modo tale da diminuire la produzione di percolato e biogas. Essi possono essere:

- Aerobici.
- Anaerobici.



Durante questi processi, siano essi in condizioni aerobiche o anaerobiche, la frazione organica viene degradata, in modo da diminuirne di molto la frazione all'interno di rifiuti da conferire in discarica.

In generale, quindi, lo smaltimento in discarica dei rifiuti pre – trattati da luogo ad emissioni molto contenute; inoltre, le caratteristiche della discarica sono notevolmente migliorate, data la maggior compatibilità dei rifiuti e l'assenza dei fenomeni di assestamento; a seguito del pre-trattamento si realizza un risparmio di volume del cumulo dei rifiuti del 60% (*Heerenklage & Stegmann, 1995*).

Questi aspetti vanno sicuramente considerati, soprattutto, nel caso delle discariche in post-gestione: infatti, le emissioni di biogas e percolato continuano per un periodo di tempo imprevedibile dopo la chiusura della discarica.

Il pre – trattamento dei rifiuti, quindi, può portare alla riduzione degli impatti generati da una discarica nel corso delle sue fasi di vita.

Questi divennero obbligatori in Italia con il D. Lgs. n. 36/2003, nel quale venivano indicati i pre – trattamenti indispensabili per permettere lo smaltimento dei rifiuti in condizioni di sicurezza all'interno di una discarica.

Con le Linee Guida ISPRA, si evidenziano come pre – trattamenti meccanici migliori, al fine di ottenere la riduzione dei potenziali impatti generati dai rifiuti, quelli di triturazione, vagliatura o selezione.

## OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO TECNICO

Il quadro tecnico ha posto particolare attenzione sulle fasi di vita di una discarica, dalla sua progettazione, alla sua realizzazione, alla sua fase di gestione operativa e a quella di post-gestione.

Ogni singola fase è caratterizzata da importanti aspetti, i quali vengono definiti dalle normative di riferimento, soprattutto, per quanto riguarda l'Italia, il D. Lgs. n. 36/2003, la direttiva quadro sulle discariche.

La realizzazione di una discarica, quindi, deve garantire un elevato grado di efficienza nel corso di tutte le sue fasi di vita, soprattutto in quella della gestione operativa ma anche in quella di post-gestione.

Infatti, gli impatti prodotti da una discarica, quali il biogas e il percolato, sono legata alla degradazione della sostanza organica putrescibile all'interno del cumulo di rifiuti, che può avvenire anche per molti anni dopo la chiusura di una discarica; infatti, nel corso delle varie fasi di vita di una discarica, i rifiuti subiscono delle trasformazioni, con produzione di percolato e di biogas, di diversa composizione, a seconda delle tipologie di rifiuti suo all'interno.

L'aumento o la diminuzione dei potenziali impatti sono legati:

- Agli aspetti costruttivi di una discarica.
- Ai criteri di ammissibilità dei rifiuti.
- Ai pre – trattamenti che un rifiuto può subire.

Nel corso degli anni si è verificata un'evoluzione normativa di tutti e tre questi fattori, allo scopo di diminuire il più possibile gli impatti di una discarica.

Per quanto riguarda gli aspetti costruttivi, è fondamentale che il sito di discarica rimanga isolato da ciò che lo circonda: una rottura degli strati impermeabilizzanti potrebbe causare la fuoriuscita del percolato, con conseguente inquinamento della falda; è fondamentale che anche i sistemi di captazione del biogas siano efficienti per tutta la fase di gestione e post-gestione, al fine di impedire la fuoriuscita in atmosfera.

Molto importanti sono anche i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, i quali definiscono le caratteristiche che devono possedere i rifiuti per essere conferiti o meno all'interno; nel corso dei decenni anche questi criteri hanno subito un'evoluzione, divenendo più ristretti e allargandosi a più categorie di rifiuti.

Alle analisi del TOC e del DOC, utili a quantificare il carbonio organico all'interno di una matrice, è stato aggiunto, in Italia, con il D.M. 27/09/2010 anche l'IRDP, il quale riesce a dare importanti informazioni sul grado di putrescibilità del carbonio organico.

Con le Linee Guida ISPRA, l'IRDP è stato allargato a più categorie di rifiuti, allo scopo di aumentare il controllo su ciò che viene conferito all'interno di una discarica e diminuire la percentuale di frazione organica a veloce e lenta putrescibilità, poiché è questa a creare maggiori problemi.

Per diminuire questa frazione, dal D. Lgs. n. 36/2003, diviene fondamentale il pre-trattamento meccanico – biologico dei rifiuti in ingresso,

allo scopo di diminuire la frazione organica putrescibile e permettere lo smaltimento dei rifiuti in condizioni di sicurezza all'interno di una discarica.

## **SCOPO DELLA TESI**

Questo lavoro di tesi si è svolto in collaborazione con l'Agenda Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (A.R.P.A.V.) - Dipartimento di Treviso – Osservatorio Rifiuti e Compostaggio e con l'Università di Verona – Dipartimento di Biotecnologie.

Il lavoro svolto nell'ambito della tesi si inserisce all'interno di un contesto in cui la normativa europea e nazionale pone sempre più interesse ad una gestione oculata dei rifiuti, privilegiando e incentivando operazioni che vanno dal recupero al riutilizzo, cercando quindi di diminuire al minimo i conferimenti dei rifiuti in discarica.

Appare evidente però, come questa tipologia di smaltimento sia ancora ampiamente utilizzata all'interno della Comunità Europea dove, in alcuni Paesi, è la più utilizzata.

Per questo, nel corso dei decenni, sono state emanate diverse Direttive a livello europeo, recepite successivamente a livello nazionale, in cui si definivano tutti gli aspetti più importanti legati allo smaltimento dei rifiuti in discarica.

Tali direttive, normavano gli aspetti legati alla progettazione, costruzione, gestione operativa, criteri di ammissibilità dei rifiuti e fase di post-gestione; tutti questi aspetti variavano a seconda delle tipologie di discarica.

Uno dei motivi trainanti di queste direttive è legata alla volontà di ridurre gli impatti generati dalle discariche nel corso della loro vita, generati da tutti quei processi che si sviluppano al loro interno, collegati alla degradazione della sostanza organica putrescibile dei rifiuti.

Nel corso dei decenni, quindi, si è verificato un miglioramento complessivo dei criteri costruttivi di una discarica e dei criteri di ammissibilità dei rifiuti, in modo tale da ridurre il più possibile la frazione organica fermentescibile e garantire l'isolamento del corpo della discarica dall'ambiente circostante, in modo da controllare gli impatti generati.

Il problema quindi, va ricercato in tutte quelle discariche realizzate prima delle normative di riferimento in materia; in Italia è rappresentata dal D. Lgs. n. 36/2003 e dalle successive normative legate ai criteri di ammissibilità dei rifiuti, il D.M. 27/09/2010 e le più attuali Linee Guida di ISPRA del 2016.

Tali discariche, realizzati con criteri costruttivi e di ammissione dei rifiuti definiti dalle più datate normative (in Italia rappresentata dalla Delibera 27/07/1984) sono quelle che hanno sicuramente causato la maggior produzione di biogas e percolato incontrollato, provocando, di conseguenza, fenomeni di inquinamento diffusi nelle zone circostanti al sito.

Di queste discariche, che prendono il nome di esaurite, molto spesso non si hanno molte informazioni e, ricostruire un quadro rispetto alla loro ubicazione, è complesso.

Conoscere l'ubicazione di queste ex discariche potrebbe rivelarsi fondamentale per comprendere o dare una spiegazione a diversi fenomeni di inquinamento e quindi definire piani di bonifica.

Nel corrente lavoro di tesi, quindi, tra i principali obiettivi vi è quello di ricostruire un quadro, quanto più preciso, della situazione all'interno della Regione Veneto sulla presenza delle discariche esaurite, in termini di numero e tipologia.

Nella prima stima si cercherà di definire il numero di discariche esaurite presenti all'interno del territorio regionale, i comuni all'interno dei quali questi siti erano in attività e le categorie di discariche e, di conseguenza, di rifiuti che erano smaltiti al loro interno.

Definire le tipologie di rifiuti smaltiti è fondamentale, per riuscire a comprendere quali impatti possano essersi sviluppati nelle zone limitrofe al sito della discarica, soprattutto a causa della degradazione della sostanza organica putrescibile.

Dal quadro normativo e tecnico, oltre all'importanza di realizzare un censimento delle discariche esaurite all'interno del territorio, emergono delle carenze legate alla definizione di un set di parametri che riescano a definire, oltre al contenuto di carbonio organico all'interno di una matrice, anche il grado di putrescibilità di questa frazione, proprio perché è questa a causare l'insorgenza degli impatti.

Attraverso lo studio di biodegradabilità di un campione di rifiuto riesumato da una discarica esaurita all'interno della Provincia di Verona, è

stato possibile analizzare una serie di parametri chimico – fisici – biologici, cercando di definire quali di questi possono essere i più utili a dare un'idea complessiva della pericolosità dei rifiuti, se collocati in discarica.

Inoltre, verrà valutato il peso di diversi pre – trattamenti meccanici, i quali vagliatura e triturazione, che possono subire i rifiuti nella preparazione alle analisi.

Riassumendo, il lavoro di tesi si pone come obiettivi:

- Fornire una prima stima del quadro territoriale nella Regione Veneto delle discariche estinte.
- Caratterizzare un rifiuto riesumato da una discarica esaurita in Provincia di Verona, al fine di valutarne il grado maturità, in relazione alla gestione del sito.
- Valutare in modo critico il set di parametri scelti per la valutazione della biodegradabilità e dei pre – trattamenti necessari a preparare per l'analisi un campione di rifiuto, in questo caso costituito da un rifiuto riesumato indifferenziato.

## **MATERIALI E METODI**

### **MATERIALI**

Il lavoro di tesi è costituito da una parte di ricerca all'interno dei vari archivi di documentazioni regionali, provinciali e comunali relativi alle discariche esaurite o in post-gestione, con inserimento delle informazioni ricavate all'interno del Sistema Informativo Regionale per il monitoraggio Ambientale del Veneto (SIRAV) e da una parte sperimentale, costituita dalla caratterizzazione di un rifiuto riesumato da una discarica esaurita ubicata in Provincia di Verona.

La ricostruzione storica sulle discariche esaurite e una parte delle analisi sperimentali sono state effettuate presso il Dipartimento di Treviso di ARPAV – Osservatorio Rifiuti e Compostaggio, mentre una seconda serie di analisi sperimentali sono state eseguite presso l'Università di Verona – Dipartimento di Biotecnologie.

### **QUADRO IMPIANTISTICO**

#### ***SIRAV***

Per la definizione del quadro impiantistico delle discariche esaurite all'interno della Regione Veneto si è ricorso a:

- Varie documentazioni a livello regionale, provinciale e comunali relativi alle discariche cessate.
- Il SIRAV (Sistema Informativo Regionale per il monitoraggio Ambientale del Veneto).

Il SIRAV nacque per rispondere al dettato normativo della precedente Legge Merli (Legge n. 319, del 10 maggio 1976), in materia di scarichi di acque reflue, che prevedeva a livello regionale l'implementazione di "catasti degli scarichi". Successivamente, dopo la nascita di ARPAV (1997), nel Veneto, si è reso necessario un archivio che comprendesse non solo gli scarichi/depuratori, ma tutte le Fonti di Pressioni (FPA).

La nascita del SIRAV rientra in un progressivo avanzamento dell'informatica, in parallelo alla sparizione della documentazione cartacea; la direzione è quella della Posta Elettronica Certificata (PEC), della firma digitale. Infatti, nel SIRAV, vengono inseriti dati provenienti da PEC, le quali rappresentano il documento in versione originale, con firma digitale appunto.

All'interno del SIRAV vengono inseriti i Catasti delle Fonti di Pressione Ambientale (FPA); SIRAV quindi rappresenta un archivio informativo/informativo ufficiale delle FPA presenti nel Veneto, condiviso in più enti: la Regione e la Provincia, le quali alimentano i dati relativi alle FPA nel territorio.

Il SIRAV può essere considerato, oltre che come un'anagrafica unica delle imprese/ditte che esercitano attività produttive, anche come un database georeferenziano nel quale sono localizzati i siti e i singoli punti di campionamento.

I catasti delle Fonti di Pressione sono la parte sicuramente più interattiva del SIRAV, poiché mettono in collegamento processi operativi svolti da ARPAV (come i controlli eseguiti dal personale tecnico-ispettivo dei Dipartimenti Provinciali), dalle Province (istruttorie per le autorizzazioni ambientali) e dalle Regioni (procedure di AIA o VIA).

Il SIRAV può essere considerato come un grande archivio digitale, organizzato secondo i seguenti criteri guida:

- Utilizzo di specifiche concordate con tutti i soggetti coinvolti (Regione, Province, ARPAV).
- Struttura dinamica, la quale consente variazioni all'interno dell'archivio, con possibili adeguamenti normativi in corso d'uso.
- Codifica di tutti i dati di interesse amministrativo e ambientale relativi alle FPA, che così vengono rese confrontabili ed elaborabili da qualsiasi ente o personale autorizzato.



I catasti delle FPA sono definiti come un grande insieme di dati utili, nel quale ogni ente e il personale autorizzato ha la possibilità di introdurre dati, informazioni e documentazioni riguardanti le Fonti di Pressione, e dal quale è possibile, in modo diretto o tramite elaborazioni statistiche semplici o complesse, trarre informazioni di carattere normativo, ambientale e amministrativo, a molteplici livelli.

La funzione del SIRAV è quella di catalogare e classificare gli impianti, i quali generano FPA, per gruppi/tipologie omogenee, al fine di poter codificare le informazioni tecniche minime necessarie per la trasmissione dei dati agli Enti nazionali, con lo scopo di ottenere una banca dati degli impianti attivi omogenea ed aggiornata a livello regionale, in base alle disposizioni di legge, consentendo di effettuare periodiche elaborazioni statistiche sul numero di impianti autorizzati, sulle potenzialità, sui codici CER trattati dagli impianti.

Il criterio di classificazione degli impianti è quello di associare ad una determinata unità locale, l'impianto preso in considerazione, un numero "il più ridotto possibile" di linee tale da descrivere in maniera esaustiva i processi di trattamento ivi adottati; il filo conduttore della classificazione è quindi del tipo "dal generale al particolare", ossia partendo da un'informazione generale più sintetica (tipologia di impianto), a cui saranno associati i dati fondamentali quali la potenzialità di trattamento e stoccaggio, si passa ad elencare le informazioni sempre più specifiche (operazioni, codici CER); questo focus permette una identificazione dei vari impianti, e la possibilità di effettuare statistiche su di essi.

Una volta individuate le diverse attività svolte nell'impianto, vengono definite le varie linee di trattamento, ciascuna delle quali viene contraddistinta:

- Dalla tipologia dell'impianto (stoccaggio, selezione e recupero, trattamento, depuratori, incenerimento, discarica).
- Dal dettaglio impiantistico, il quale rappresenta un'etichetta, costituita da una voce generica, "Categoria", nella quale viene definita con più precisione l'azione svolta (es. deposito permanente), e una voce di dettaglio, "Attività", nella quale viene specificata l'azione svolta (es. deposito permanente di rifiuti inerti). Al dettaglio dell'impianto

vengono associate ulteriori caratteristiche, attraverso il focus "dal generale al particolare" (approccio "top-down"), come:

- La potenzialità di trattamento della linea in t (m<sup>3</sup>)/ anno e/o in t (m<sup>3</sup>)/giorno.
- La capacità istantanea di stoccaggio in t o m<sup>3</sup>.
- I codici CER dei rifiuti trattati e, se possibili, le quantità di tali rifiuti.

Tale archivio è condiviso con tutte le amministrazioni provinciali, responsabili dell'aggiornamento dei Catasti, unitamente al Dipartimento Provinciale di ARPAV.

## **ANALISI SPERIMENTALI**

### ***Pre-trattamento dei campioni***

Per il pre-trattamento meccanico dei campioni è stato utilizzato:

- Trituratore.
- Trituratore Retsch – Cutting Mills SM 2000.
- Trituratore Retsch – Rotor Mills ZM 200.
- Setacci con maglia a 2mm e 20mm.

### ***Umidità Totale, Solidi Totali e pH***

Per la caratterizzazione di base dei campioni sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Bilancia tecnica da laboratorio, Mettler PM 6000, campo di misura da 0,1 g a 6000 g.
- Bilancia Avery Berkel, HL 122, campo di misura da 0,4 Kg a 60 Kg.

- Stufa a circolazione d'aria forzata, Memmert ULE800, campo di misura da +10° C a +200° C.
- Agitatore rotativo a 40 rpm.
- pHmetro, Radiometer PHM85, completo di elettrodo a vetro combinato, GK2401C.

### ***Indice di Respirazione Dinamico Potenziale***

Per l'IRDP è stato utilizzato:

- Respirometro dinamico Costech 3021 della ditta Costech International.

### ***Ceneri e solidi volatili***

Per la quantificazione delle ceneri e dei solidi volatili sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Muffola, Cecchinato tipo ZA, campo utilizzato da +25°C a +1100°C.
- Stufa a circolazione d'aria forzata, Memmert ULE800, campo di misura da +10°C a +200°C.
- Crogioli di porcellana.
- Essicatore contenente gel di silice.

### ***TEC***

Per la determinazione del carbonio organico estraibile (TEC) sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Bagno termoregolabile con agitatore a scosse Julabo SW-21C.
- Bilancia tecnica da laboratorio, Mettler PM 6000, campo di misura da 0,1 g a 6000 g.
- Titolatore automatico Crison.

- Materiale comune da laboratorio.
- Reagenti:
  - o Soluzione estraente (44,6 g di sodio pirofosfato, 4 g di sodio idrato gocce e portato a volume su matraccio da 1000 mL).
  - o Azoto gassoso.
  - o Acido solforico concentrato,  $H_2SO_4$  al 96%.
  - o Soluzione concentrata di bicromato di potassio,  $K_2Cr_2O_7$  (0,2N).
  - o Soluzione concentrata di solfato ferroso,  $FeSO_4$  (0,4N).
  - o Difenilammina al 1%.
  - o Acqua demineralizzata.

### **HA-FA**

Per la determinazione del carbonio umico è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Bagno termoregolabile con agitatore a scosse Julabo SW-21C.
- Bilancia tecnica da laboratorio, Mettler PM 6000, campo di misura da 0,1 g a 6000 g.
- Titolatore automatico Crison.
- Materiale comune da laboratorio.
- Reagenti:
  - o Soluzione estraente (44,6 g di sodio pirofosfato, 4 g di sodio idrato gocce e portato a volume su matraccio da 1000 mL).
  - o Azoto gassoso.
  - o Acido solforico concentrato,  $H_2SO_4$  al 99%.
  - o Soluzione concentrata di bicromato di potassio,  $K_2Cr_2O_7$  (0,2N).
  - o Soluzione concentrata di solfato ferroso,  $FeSO_4$  (0,4N).

- Difenilammina al 1%.
- Resina di polivinilpolipirrolidone (PVPP).
- Acido solforico,  $H_2SO_4$  al 50%.
- Acido solforico,  $H_2SO_4$  (0,005M).
- Acqua demineralizzata.

## **TOC**

Per la determinazione del TOC sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Materiale comune da laboratorio.
- Bilancia tecnica da laboratorio, Mettler PM 6000, campo di misura da 0,1 g a 6000 g.
- Stufa a circolazione d'aria forzata, Memmert ULE800, campo di misura da +10°C a +200°C.
- Reagenti:
  - Carbonato di calcio,  $CaCO_3$ .
  - Carbonato di sodio,  $Na_2CO_3$ .
  - Acido etilendiamminatetraacetato di tetrasodio,  $Na_4EDTA \cdot 4H_2O$ .
  - Sodio salicilato,  $C_7H_5O_3Na$ .
  - Ossido di alluminio,  $Al_2O_3$ .

## **COD**

Per le analisi del COD sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Bilancia Analitica Sartorius BL 605.
- Milestone General ETHOS One.
- Normale attrezzatura da laboratorio (buretta, becker, vetro da orologio).

- Reagenti:
  - Solfato di mercurio (II)  $\text{HgSO}_4$ , in cristalli.
  - Solfato d'argento  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , in cristalli.
  - Soluzione concentrata di bicromato di potassio,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (0,25N).
  - Acido solforico concentrato,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 99%.
  - Soluzione di 1,10-fenantrolina-solfato di ferro (II) (ferroina).
  - Soluzione concentrata di solfato d'ammonio e ferro (II) esaidrato,  $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (FAS).

### **TKN e $P_{\text{TOT}}$**

Per le analisi TKN e  $P_{\text{TOT}}$  sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Bilancia Analitica Sartorius BL 605.
- Milestone General ETHOS One.
- Distillatore UDK 129 Kjeldahl della VELP Scientifica.
- Filtri da 0,4  $\mu$ .
- Varie strumentazioni da laboratorio (becker da 50ml, matracci da 50ml, 25ml, 250ml, vetro da orologio, provettone da 42\*300mm, beuta da 250ml)
- Pinza di estrazione provettoni dal distillatore.
- Spettrofotometro Visible Models V-1200 della Shanghai Mapada Instruments Co..
- Reagenti:
  - Acido solforico concentrato,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 99%.
  - Persolfato di potassio,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ .
  - Acido borico,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .
  - Reattivo di Nessler.
  - Fenolftaleina,  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ .
  - Eptamolibdato di Ammonio,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .
  - Acido solforico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2.5 M.

- Acido ascorbico,  $C_6H_8O_6$ .
- Potassio antimonio tartrato,  $C_8H_{10}K_2O_{15}Sb_2$ .

### ***BMP, SGP e CH<sub>4</sub>***

Per la determinazione del BMP, SGP e CH<sub>4</sub> sono state utilizzate le seguenti strumentazioni:

- Bottiglie di vetro da 500 ml.
- Inoculo (costituito da fango primario) prelevato dal Depuratore di Verona, sito in via Bartolomeo Avesani (Vr).
- Attrezzatura per chiusura bottiglie e misurazione biogas giornaliera.
- Camera calda Angelantoni Industrie S.p.A..
- Biogas 5000 – Geotech.

## **METODI**

### **QUADRO IMPIANTISTICO**

Per l'inquadramento impiantistico delle discariche esaurite nella Regione Veneto è stato utilizzato il SIRAV; inoltre sono stati consultati archivi a livello regionale, comunale e provinciale.

Grazie a SIRAV è stato possibile ottenere una prima indicazione sulle discariche attive nella Regione Veneto e su una parte, le più recenti, delle discariche esaurite.

Per ottenere le restanti informazioni sono stati consultati una serie di archivi, regionali, provinciale e comunali e di diversi enti.

Attraverso poi dei fogli informatici Excel sono state effettuate delle valutazioni statistiche sulle discariche esaurite all'interno del territorio regionale, come:

- Discariche attive e esaurite a livello Regionale e a livello Provinciale.
- Tipologie di discariche esaurite presenti all'interno della Regione Veneto e in ogni Provincia.
- Discariche estinte e in post-gestione presenti in Regione e nelle varie Provincie.
- Comuni con almeno una discarica esaurita al loro interno.
- Comuni con più discariche al loro interno.

### **ANALISI SPERIMENTALI**

I campioni di rifiuti riesumati dalla discarica esaurita in Provincia di Verona sono stati caratterizzati attraverso analisi chimico-fisico-biologiche. Le metodiche utilizzate per tali determinazioni sono descritte nei seguenti paragrafi.

Queste analisi sono state eseguite in parte all'interno del laboratorio di respirometria dell'Osservatorio Regionale per i Rifiuti e il Compostaggio del Dipartimento A.R.P.A.V. di Treviso, in parte nei laboratori del Dipartimento di Biotecnologie Ambientali, presso l'Università degli Studi di Verona.

#### ***Determinazione dell'umidità totale e solidi totali***

La determinazione dell'umidità totale di un campione, ossia l'acqua totale in esso contenuta, viene calcolata per differenza di peso, dopo aver essiccato il campione in stufa a 105°C.

La procedura prevede di utilizzare una bilancia tecnica per pesare, inizialmente, una vaschetta di alluminio di cui si annota il valore (tara, T); la bilancia viene successivamente azzerata e all'interno della vaschetta si introduce un quantitativo di campione che varia da 200g a 400g a seconda della tipologia di campione: questo valore rappresenta il peso del campione umido,  $P_u$ ). la vaschetta contenente il campione viene portata in stufa a 105°C per 24 ore. Trascorso questo lasso di tempo il campione, che è stato



successivamente lasciato raffreddare a temperatura ambiente per 10-15 minuti, viene pesato nuovamente, annotando il peso del campione essiccato,  $P_s$ .

Il calcolo dell'umidità totale si ottiene attraverso la sostituzione dei valori individuati con le pesate nella seguente formula matematica:

$$U\% = \frac{P_U - (P_S - T) \times 100}{P_U}$$

Dove:

- $U\%$  = umidità totale espressa in percentuale.
- $P_u$  = peso del campione umido espresso in grammi.
- $P_s$  = peso del campione secco sommato alla tara espresso in grammi.
- $T$  = tara della vaschetta in alluminio in grammi.

Essendo la misura dei solidi totali una percentuale, la differenza tra 100 e il valore delle umidità ottenuto dalla precedente formula matematica, permette di determinare il contenuto di solidi totali all'interno dei campioni:

$$TS (\%) = 100 - U(\%)$$

Dove:

- $TS$  = percentuale di solidi totali.
- $U$  = umidità del campione.

### ***Determinazione del pH***

La procedura che permette di calcolare il pH dei campioni in esame prevede un pre-trattamento di vagliatura del rifiuto da analizzare, mediante setaccio da 2 mm. Da ciò che viene ottenuto, quindi un campione dalla pezzatura minore di 20 mm di diametro, vengono prelevati e pesati 20 g di campione all'interno di un becker da 20 mL. Successivamente si aggiungono 200 mL di

acqua demineralizzata, in modo da poter calcolare il pH su un campione estratto in rapporto 1:10.

Il becker contenente il campione, l'acqua demineralizzata e un'ancoretta magnetica vengono posti al di sopra di un agitatore meccanico per 15 minuti circa; si lascia a riposo per 30 minuti e si filtra la soluzione con filtri veloci e pieghevoli.

La determinazione del pH sul campione estratto dai filtri avviene attraverso l'utilizzo di un pHmetro, precedentemente tarato con le soluzioni certificate a pH = 7,02 e pH = 9,21.

L'elettrodo viene quindi immerso nella soluzione estratta, contenente il campione di rifiuto, agitando fino a stabilizzazione, comunque non oltre i due minuti.

### ***Determinazione delle ceneri e dei solidi volatili***

La procedura permette la determinazione della parte minerale e della sostanza organica totale del campione in esame. Il campione, dopo essere stato essiccato in stufa a 105°C, viene posto in un crogiolo di porcellana preventivamente trattato in muffola per 10 minuti alla temperatura di 650°C. Il crogiolo, ancora vuoto, viene quindi pesato (T), in modo da avere la misura della tara, e successivamente viene inserito al suo interno il campione da esaminare (P). Il campione viene incenerito su fiamma fino alla scomparsa dei fumi e, successivamente portato all'interno del forno a muffola e lasciato alla temperatura indicata per 24 ore.

Trascorso questo periodo di tempo, si estrae il crogiolo contenente il campione, lo si lascia raffreddare in un essiccatore contenente gel di silice, e lo si pesa (P1). Infine, attraverso la seguente formula matematica, si possono ottenere i valori relativi alle ceneri dei campioni:

$$Ceneri (\%ss) = \frac{(P1 - T) \times 100}{P}$$

Dove:

- P1 = peso del crogiolo contenente il campione incenerito, espresso in grammi.
- T = tare del crogiolo, in grammi.
- P = peso del campione sottoposto alla procedura, espresso in grammi.

Essendo la misura dei Solidi Volatili una percentuale, la differenza tra 100 e il valore delle ceneri ottenuto dalla precedente formula matematica, permette di determinare il contenuto di solidi volatili all'interno dei campioni:

$$\text{Solidi Volatili (\%ss)} = 100 - \text{Ceneri (\%ss)}$$

### **Determinazione dell'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRPD)**

L'Indice di Respirazione Dinamico viene determinato quantificando il consumo orario di ossigeno della biomassa mediante l'utilizzo di un respirometro a flusso d'aria continuo.

L'analisi viene effettuata su un campione previa standardizzazione dei principali parametri chimico – fisici, allo scopo di garantire le condizioni ottimali per la crescita e l'attività di microorganismi aerobi. In questo modo è possibile determinare la massima attività potenziale di degradazione della sostanza organica, la quale viene definita attraverso l'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale (IRPD) e che si misura in  $\text{mg O}_2 \cdot \text{KgSV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . La procedura segue il metodo UNI 11184.

Si inizia standardizzando il parametro dell'umidità totale del campione, portandolo al  $50 \pm 2$  di umidità. Il quantitativo di acqua da aggiungere al campione (J) per raggiungere tale valore, si determina nel seguente modo:

$$X = J \times P_{t.q.} \times P_i^{-1}$$

$$P_{St} = P_{t.q.} + X$$

Dove:

- $J$  = acqua da aggiungere a  $P_i$  per raggiungere la condizione di 50% di umidità (g).
- $X$  = acqua da aggiungere a  $P_{t.q.}$  per raggiungere la condizione di 50% di umidità (g).
- $P_{t.q.}$  = peso del campione t.q. da prelevare per preparare il campione standardizzato (g).
- $P_i$  = peso iniziale del campione t.q. (g).
- $P_{St}$  = per del campione ( $P_{t.q.} + X$ ) (g).

In seguito alla determinazione di  $X$ , potrà essere effettuata l'umidificazione del campione in modo da standardizzare l'umidità per la successiva determinazione dell'IRPD.

Il campione deve essere umidificato aggiungendo progressivamente la quantità d'acqua calcolata ( $X$ ); è necessario mescolare opportunamente in modo da distribuire l'acqua in tutto il campione evitando la formazione di aggregati.

Il campione così standardizzato ( $P_{St}$ ) viene lasciato a riposo per almeno un'ora; successivamente, vengono prelevate 3 aliquote di campione per determinare l'umidità corretta ed avere il valore che verrà poi utilizzato per i calcoli relativi all'IRPD. Il valore di umidità corretta ( $U_{cvr}$ ) si ottiene dalla media delle tre aliquote prelevate.

Il restante campione standardizzato viene inserito nel cestello interno del reattore del respirometro, precedentemente posizionato su una bilancia in modo da determinare con precisione il peso del quantitativo di campione inserito al suo interno ( $P_{IRD}$  in Kg), evitando il compattamento e la formazione di aggregati.

Il campione inserito nel respirometro deve presentare una densità apparente minore di  $0.65 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  e, qualora il valore riscontrato non rientrasse nell'intervallo indicato, deve essere effettuata una standardizzazione della densità apparente, attraverso l'utilizzo di agenti strutturanti biologicamente inerti o "bulking agent".

Una volta standardizzati tutti i parametri di processo per il calcolo dell'IRPD, il cestello contenente il campione viene posizionato all'interno del reattore, il quale viene chiuso con il coperchio, con l'aiuto di 8 viti d'acciaio.

Prima di partire con le analisi, si opera la verifica della strumentazione attraverso la seguente procedura:

- Si effettua la taratura della sonda per la misura dell'ossigeno (la sonda viene prelevata dalla cella e lasciata all'aria, tarandola come descritto nel manuale d'istruzioni della sonda).
- Si posiziona la sonda della temperatura, attraverso il foro posto sul coperchio del reattore, all'interno dello stesso in modo che il sensore si trovi ad una profondità pari a circa la metà dell'altezza del reattore.
- Si verifica la corretta chiusura del reattore allo scopo di impedire il verificarsi di perdite fra il punto di ingresso e quello di uscita dell'aria dal reattore, attraverso una prova di tenuta della strumentazione.

Effettuati questi passaggi, si inserisce la sonda tarata per la misura dell'ossigeno all'interno della cella degli elettrodi e si imposta il sistema di acquisizione dati in modo da rilevare i parametri di temperatura, di ossigeno e di portata d'aria per un periodo di almeno 4 giorni. Il flusso d'aria viene impostato inizialmente in relazione al tipo di matrice in analisi, ma può essere adeguato anche ad analisi iniziata, nel caso in cui i valori di concentrazione dell'ossigeno nell'aria esausta dovessero scendere al di sotto di certi livelli (14% v/v o 140 mL/L).

L'andamento tipico della curva dell'Indice di Respirazione Dinamico è caratterizzata da una fase di latenza, la cui durata è influenzata dalle caratteristiche della biomassa in esame; questa, infatti, può protrarsi per diversi giorni. Al termine del periodo di latenza, se le condizioni chimico-fisiche all'interno del campione sono favorevoli allo sviluppo e alla crescita della flora microbica, l'andamento della curva di IRD, in concomitanza con la moltiplicazione dei microorganismi, diviene di tipo sperimentale.

Con la progressiva diminuzione dei composti facilmente biodegradabili presenti nella matrice, si presenta un rallentamento nell'attività di degradazione microbica che produce uno stato pressoché stazionario in cui i fattori di moltiplicazione e morte degli organismi sono in equilibrio tra di loro.

L'ultima fase della curva dell'IRD è caratterizzata da una progressiva diminuzione dei valori di IRD, evidenziando l'attenuarsi dei fenomeni degradativi a causa dell'ulteriore riduzione del substrato facilmente biodegradabile.

Il campione viene tenuto in osservazione nel respirometro per un periodo di tempo compreso tra 1 e 4 giorni, a seconda della reattività e dell'attività degradativa all'interno del campione. Se al termine dei 4 giorni la curva di analisi presenta ancora un andamento costante o crescente, si prolunga l'analisi fino a quando non si evince dai dati o dal grafico un andamento decrescente.

La massa dell'ossigeno consumato dall'attività batterica dei microorganismi presenti nella biomassa si determina per differenza di concentrazione di ossigeno tra l'aria in ingresso al reattore e l'aria esausta in uscita dal respirometro e viene calcolata come la media degli indici di respirometrici orari ( $IRD_h$ ) relativi alle 24 ore consecutive durante le quali la respirazione è stata più elevata.

Il valore finale di IRD si calcola mediante la procedura riportata qui di seguito:

- Individuazione del valore di  $IRD_h$  massimo raggiunto nel corso della prova.
- Individuazione dei 23 valori consecutivi di  $IRD_h$  più elevati nell'intorno dell' $IRD_h$  massimo.
- Calcolo della media dei 24 valori di  $IRD_h$  individuati.

$$IRD_h = Q \times (O_{2i} - O_{2f}) \times V_g^{-1} \times 31.98 \times SV^{-1}$$

$$IRD = \frac{\sum_{t_c=0}^{24} IRD_h}{24}$$

Dove:

- $IRD_h$  = Indice di Respirazione Dinamico orario (calcolato ogni ora) ( $mg\ O_2 \cdot KgSV^{-1} \cdot h^{-1}$ ).
- $Q$  = flusso d'aria ( $L \cdot h^{-1}$ ).
- $O_{2i}$  = concentrazione di ossigeno in ingresso al respirometro ( $mL \cdot L^{-1}$ ).

- $O_{2f}$  = concentrazione dell'ossigeno in uscita dal respirometro ( $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ ).
- $V_g$  = volume occupato da una mole di gas (assumendo il valore standard per la temperatura  $T_1 = 273.15^\circ\text{K}$  e per la pressione  $P_1 = 1$  atm pari a  $V_{g1} = 22.4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; il valore di  $V_g$  ( $V_{g2}$ ) alla temperatura  $T_2$  viene calcolato con la seguente espressione:  $V_{g2} = (V_{g1} \cdot T_2 / T_1)$ , sempre espresso in gradi Kelvin per quanto concerne la temperatura).
- $P_{\text{IRD}}$  = peso del campione standardizzato (Kg).

### ***Determinazione del TEC***

La procedura per determinare il carbonio organico estraibile prevede di porre una quantità di campione condizionato a  $35^\circ\text{C}$  tra 0,95 g e 1.05 g in una bottiglia Pyrex con tappo a vite; per queste analisi, su questo specifico campione di rifiuti è stato pesato dai 2 ai 4 g, in modo da ottenere dei risultati significativi.

Successivamente si deve aggiungere 50 mL di soluzione estraente ed insufflare azoto per circa 1 minuto. La bottiglia viene tappata ermeticamente e riposta all'interno di un bagno termostato per circa 24 ore; la soluzione poi viene raffreddata, filtrata e insufflata con azoto per circa un minuto e richiusa ermeticamente.

Si procede poi con l'ossidazione dell'estratto: si preleva 10 mL di estratto (per queste analisi sono stati estratti circa 40 mL di campione) e lo si trasferisce in una beuta a collo smerigliato; si aggiungono 20 mL esatti di bicromato di potassio e 26 mL di acido solforico al 96% agitando manualmente. Scaldare il contenuto con l'utilizzo di piastre riscaldanti, fino al raggiungimento dell'ebollizione, che deve essere mantenuta per 10 minuti. Al termine, portare a volume di 200 mL e raffreddare il contenuto su una vasca di acqua corrente.

Successivamente trasferire il tutto su un matraccio da 250 mL e portare a volume con acqua demineralizzata. Preparare parallelamente sia un bianco, all'interno del quale inserire tutti i reagenti e, al posto dell'estratto, la soluzione estraente sia una prova in bianco a freddo, introducendo all'interno di un matraccio da 250 mL, 10 mL di soluzione estraente, 20 mL di bicromato

di potassio, 26 mL di acido solforico al 96% e portare a volume con acqua deionizzata, dopo aver raffreddato il tutto.

Infine si procede con la titolazione: vengono prelevati 25 mL di soluzione dai matracci e trasferito su una beuta, alla quale va aggiunto circa 1 mL di difenilammina, usato come indicatore del viraggio. Per la titolazione si utilizza la soluzione di solfato ferroso, fino a viraggio dell'indicatore da blu a verde. Si annota il valore per tutti i campioni, compresi il bianco e il bianco a freddo e, attraverso una formula matematica, si risale al TEC:

$$N = \frac{4}{B_f}$$

Dove:

- N = normalità della soluzione FeSO<sub>4</sub>.
- B<sub>f</sub> = mL di soluzione FeSO<sub>4</sub> impiegati per la prova in bianco a freddo.

$$TEC (\%ss) = \frac{(B_c - C) \times N \times 1500}{P \times (100 - U_r)}$$

Dove:

- B<sub>c</sub> = mL di FeSO<sub>4</sub> impiegati per la prova in bianco a caldo.
- C = mL di FeSO<sub>4</sub> impiegato per il campione.
- P = peso del campione, espresso in grammi.
- U<sub>r</sub> = umidità residua, espressa in grammi.
- N = normalità della soluzione FeSO<sub>4</sub>.

L'incertezza della misura è del ± 10%, mentre il limite di rilevabilità è del 3%.

### **Determinazione degli HA-FA**

La procedura per la determinazione del quantitativo di acidi umici e fulvidi prevede di porre una quantità di campione condizionato a 35° C tra 0,95 e 1.05 g in una bottiglia Pyrex con tappo a vite; per queste analisi, su questo



specifico campione di rifiuti è stato pesato dai 2 ai 4 g, in modo da ottenere dei risultati significativi.

Successivamente si deve aggiungere 50 mL di soluzione estraente ed insufflare azoto per circa 1 minuto. La bottiglia viene tappata ermeticamente e riposta all'interno di un bagno termostato per circa 24 ore; la soluzione poi viene raffreddata, filtrata e insufflata con azoto per circa un minuto e richiusa ermeticamente.

Si procede con la preparazione della colonna: si utilizza una siringa in plastica da 10 mL, alla quale viene eliminato l'ago e inserito un rubinetto munito di tappo. Sul fondo della siringa si dispone uno strato di circa 1 cm di lana di vetro pressata, in modo tale da non far fuoriuscire la resina che viene fatta colare insieme alla soluzione acida al di sopra e lasciata sedimentare per circa 30 minuti. La resina depositata dovrà essere almeno di 3 cm di spessore. Successivamente bisogna aprire il rubinetto, in modo da eliminare la soluzione acida, facendo attenzione a non far andare a secco la resina.

Si preleva poi circa 25 mL di estratto, lo si trasferisce su una provetta da centrifuga e si aggiunge 0.5 di  $H_2SO_4$  al 50%: l'acidificazione provoca la precipitazione degli acidi umici (HA). Si centrifuga per circa 15' a 3000/3500 Rpm (*Revolution per Minute*). Successivamente si versa il surnatante nella colonna preparata precedentemente; in questa fase rimangono adsorbiti gli acidi fulvici (FA) e l'eluato viene eliminato.

Si lava la colonna per 5 volte con aliquote da 5 mL di sodio idrato 0.1 N in modo da far migrare la frazione degli acidi fulvici (HA) adsorbita; si trasferisce poi la soluzione contenente gli acidi umici e fulvici in un matraccio da 50 mL, portando a volume con idrato di sodio 0.1 N.

Si procede ora con l'ossidazione della frazione contenente gli acidi umici e fulvici: si prelevano 10 mL di estratto contenente gli HA-FA e si trasferiscono in una beuta a collo smerigliato; si aggiungono 5 ml di  $K_2Cr_2O_7$  2N e 20 mL di  $H_2SO_4$  concentrato al 96% agitando manualmente.

La beuta viene collegata ad un refrigerante ad acqua e riscaldata con una fiamma e, da quando il liquido inizia a bollire, si attendono 10 minuti esatti. Si versa dalla sommità del refrigerante, con cautela, dell'acqua demineralizzata fino a raggiungere il volume di circa 200 mL. Si disconnette la beuta dal refrigerante e la si fa raffreddare in un bagno di acqua fredda corrente.

Parallelamente si allestisce la prova in bianco a caldo, seguendo le stesse modalità operative descritte per il campione, utilizzando al posto dell'eluato la soluzione estraente.

Oltre alla prova in bianco a caldo, si effettua una prova in bianco a freddo, introducendo nella beuta a collo a smeriglio, 10 mL di soluzione estraente, 5 mL di  $K_2Cr_2O_7$  2N, 150 mL circa di acqua deionizzata e 20 mL di  $H_2SO_4$  concentrato al 96%, raffreddandola in un bagno ad acqua fredda.

Infine, si procede con la titolazione, aggiungendo 1 mL di difenilammina 1%, con  $FeSO_4$  0.4 fino a viraggio dell'indicatore da blu a verde.

Si annota il valore per tutti i campioni, compresi il bianco e il bianco a freddo e, attraverso una formula matematica, si risale a contenuto di HA-FA:

$$N = \frac{10}{B_f}$$

Dove:

- N = normalità della soluzione  $FeSO_4$ .
- $B_f$  = mL di soluzione  $FeSO_4$  impiegati per la prova in bianco a freddo.

Il dato degli HA-FA viene espresso sia come percentuale rispetto alla sostanza secca sia come percentuale rispetto al carbonio organico.

$$HA - FA \% s. s. = \frac{(B_c - C) \times N \times 300}{P \times R}$$

$$HA - FA \% s. t. = \frac{(B_c - C) \times N \times 30000}{P \times R \times T}$$

Dove:

- $B_c$  = mL di  $FeSO_4$  impiegati per la prova in bianco a caldo.
- C = mL di  $FeSO_4$  impiegati per il campione.
- P = peso del campione espresso in g.
- R = residuo secco relativo (100-Ures).
- N = normalità della soluzione  $FeSO_4$ .

- $T = \text{TOC \% s.s.}$

L'incertezza della misura è del  $\pm 10\%$ , mentre il limite di rilevabilità è dello 0.2%.

### **Determinazione del TOC**

Il TOC sui campioni è stato quantificato attraverso il metodo diretto stabilito dalla UNI EN 15936:2012.

Il campione precedentemente deve essere essiccato al massimo a 40° C, poiché l'umidità può creare qualche problema nel corso dell'analisi.

Il campione essiccato, quindi, viene pesato (circa 25 - 30 mg) all'interno di una beuta e, per eliminare i composti inorganici al suo interno, viene trattato con un piccolo volume di acido fosforico,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . L'acido va aggiunto lentamente in modo tale da evitare il suo spandimento e per far sì che reagisca con tutto il campione. Il quantitativo di acido deve essere tale da permettere la rimozione della totalità di composti inorganici all'interno del campione. Lasciare agire l'acido per almeno 4 ore, agitando ogni tanto la beuta in modo da favorire il processo di ossidazione.

Il campione successivamente viene bruciato all'interno di una stufa da un gas *carrier* contenente ossigeno (aria sintetica, ossigeno o argon, azoto): la combustione genera un innalzamento della temperatura tale da permettere la totale combustione dei composti organici in anidride carbonica.

L'anidride carbonica totale, rinascita nel corso della combustione, viene valutata per via spettrofotometrica ed è espressa come carbonio.

Il contenuto di TOC all'interno del campione essiccato è calcolato con la seguente formula:

$$m_{\text{TOC}}, dm = f \times m_{\text{TOC}} \times \frac{100}{100 - w}$$

Dove:

- $m_{\text{TOC}}, dm$  = è il contenuto di TOC, inteso come carbonio, calcolato sulla sostanza secca ed espresso in g/Kg.

- $m_{\text{TOC}}$  = è il contenuto di TOC, inteso come carbonio, nel campione, espresso in g/Kg.
- $w$  = è il contenuto di acqua del campione, espresso come frazione di massa in percentuale (%).
- $f$  = è il fattore di diluizione derivante dal pre-trattamento del campione, ed espresso con la seguente formula:

$$f = \frac{m_s + m_a}{m_s}$$

Dove:

- $m_s$  = massa del campione espressa in grammi.
- $m_a$  = massa dell'ossido di alluminio, espressa in grammi.

Infine, vengono applicate le misure di controllo, per verificare la validità dei risultati ottenuti, usando una "*miscela di controllo*", costituita da sodio salicilato, carbonato di calcio,  $\text{Na}_4\text{-EDTA} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , ossido di alluminio, in rapporto di massa 1.00:4.36:1.97:8.40.

### **Determinazione del COD**

Il COD (Chemical Oxygen Demand) esprime la quantità d'ossigeno (espressa in  $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) necessaria per ossidare completamente le specie chimiche organiche e inorganiche presenti all'interno del campione. L'ossidazione avviene per azione del bicromato di potassio, in presenza di acido solforico concentrato e due catalizzatori della reazione ossidativa, il solfato d'argento e il solfato di mercurio.

La concentrazione di sostanze ossidabili è in funzione della quantità di bicromato di potassio consumato, il cui eccesso viene titolato utilizzando una soluzione di solfato di ammonio e Ferro (II) (FAS) a 0,25N.

Il procedimento consiste nel porre circa 0,2 g, pesati con una bilancia analitica, di ogni campione all'interno di una bottiglia di vetro con una piccola quantità di acqua distillata al suo interno.

Successivamente vengono aggiunti i due catalizzatori (solfato di argento e di mercurio), 15 mL di bicromato di potassio 0,25N con una buretta e 20 mL di acido solforico al 99%. Parallelamente si allestiscono anche altre due bottiglie: una di "bianco", che conterrà tutti i reagenti utilizzati tranne il campione, e una di "titolo", che servirà come riferimento per la titolazione con il FAS e che conterrà solamente il bicromato di potassio e l'acido solforico.

Tutte le bottiglie, eccetto quella del titolo, vengono poste in un digestore a microonde Milestone ETHOS One, per circa 75 minuti, nel quale la materia organica viene convertita in CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, mentre il bicromato è ridotto a Cr<sup>3+</sup>.

In uscita dal Milestone, il contenuto delle bottiglie viene leggermente diluito con dell'acqua distillata: l'aggiunta di acque fa farà surriscaldare il contenuto, quindi le bottiglie andranno riposte in un becker contenente ghiaccio ed acqua per un tempo tale da permettere il raffreddamento del contenuto.

L'eccesso di bicromato si determina per mezzo di una titolazione redox con il FAS 0,25N, utilizzando la ferroina come indicatore del viraggio; il campione cambierà colore fino al raggiungimento del viraggio, indicato con un colore marrone.

Vengono annotati tutti i valori di titolazione, riferiti al titolo, al bianco e ai campioni, che consentono di risalire alla richiesta chimica di ossigeno, secondo l'elaborazione dei dati dettata dalle procedure IRSA, l'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA n.5130):

$$C = \frac{(m_1 - M_2) \times N \times 8000}{V}$$

Dove:

- C = richiesta chimica di ossigeno, espressa in mg/L.
- m<sub>1</sub> = mL di soluzione di solfato di ammonio e ferro (II) consumati nella prova in bianco.
- m<sub>2</sub> = mL di soluzione di solfato di ammonio e ferro (II) consumati per il campione.

- N = normalità della soluzione di solfato di ammonio e ferro (II) impiegata.
- 8000 = peso equivalente dell'ossigeno moltiplicato per 1000, per riferire il dato al volume di un litro.
- V = volume (mL) di campione usato per l'analisi.

### **Determinazione del TKN**

Il TKN (*Total Kjeldahl Nitrogen*) è un'analisi che permette la misura della concentrazione dell'azoto totale, dato dalla somma delle varie forme, l'azoto ammoniacale e l'azoto organico, presenti all'interno del campione in esame, attraverso via spettrofotometrica.

La procedura prevede di porre circa 0,1 g di ogni campione, pesato con la bilancia analitica, all'interno di una bottiglia di vetro, con un po' di acqua distillata. Successivamente, ad ogni bottiglia, va aggiunto il persolfato di potassio, il catalizzatore, e 20 mL di acido solforico al 99%.

Le bottiglie vengono poste all'interno del digestore a microonde Milestone ETHOS One, per circa 2 ore e 40 minuti, in modo tale da permettere la conversione completa dei composti azotati, immersi nell'acido solforico, in una soluzione di solfato d'ammonio; la reazione che si verifica all'interno del digestore potrebbe causare l'inscurimento dei campioni: se dovesse verificarsi, va aggiunta, su ogni bottiglia, un quantitativo tale di acqua ossigenata, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, fino al raggiungimento della chiarificazione completa.

Al termine del ciclo, le bottiglie vengono estratte dal Milestone e diluite con abbondante acqua distillata; il contenuto delle bottigliette, lasciate raffreddare dopo l'aggiunta di acqua distillata a causa del surriscaldamento, viene filtrato, con l'utilizzo di filtri da 0,4 µ e portato a volume su un matraccio da 250 mL.

Si trasferiscono 20 mL della soluzione presente nel matraccio da 250 mL all'interno dei provettoni e si procede con la distillazione dei campioni. Si prepara il Distillatore UDK 129 Kjeldahl in modo tale che, durante il ciclo di distillazione, della durata di 4 minuti, vengano aggiunti all'interno del provettone 75 mL di soda, così da permettere di convertire gli NH<sub>4</sub><sup>+</sup> presenti

nella soluzione in  $\text{NH}_3$ , condensati poi all'interno di una soluzione di acido borico (50 mL) presente in una beuta.

Il contenuto della beuta viene trasferito all'interno di un matraccio da 250 mL, prestando attenzione a non perdere campione nel corso del trasferimento, e portato a volume con l'aggiunta di acqua distillata.

Il campione viene trasferito a sua volta su un matraccio da 50 mL, al quale va aggiunto 2 mL di reattivo di Nessler, costituito da una soluzione alcalina di tetraioduromercurato di potassio, che, reagendo con la soluzione, permette il riconoscimento qualitativo e quantitativo dell'ammoniaca se presente come ione ammonio. Il matraccio contenente la soluzione e il reattivo va agitata e lasciata a reagire per 10 minuti. In questa fase va preparato anche il bianco, il quale conterrà acqua distillata e il reattivo di Nessler.

Infine, si trasferisce il campione all'interno delle cuvette e si misura per via spettrofotometrica i valori di assorbanza, avendo impostato prima lo spettrofotometro a  $\lambda = 410 \text{ nm}$ .

### ***Determinazione del $P_{\text{TOT}}$***

La determinazione del fosforo totale prevede una procedura che, nella prima parte, è uguale a quella utilizzata per la determinazione del TKN.

La procedura, infatti, prevede di porre circa 0,1 g di ogni campione, pesato con la bilancia analitica, all'interno di una bottiglia di vetro, con un po' di acqua distillata. Ad ogni bottiglia va aggiunto il persolfato di potassio e 20 mL di acido solforico al 99%.

Le bottiglie vengono poste all'interno del digestore a microonde Milestone ETHOS One, per circa 2 ore e 40 minuti; è fondamentale controllare che i campioni non si siano inscuriti: se dovesse verificarsi questo, bisogna aggiungere ad ogni campioni circa 20 mL di acqua ossigenata o un quantitativo tale fino al raggiungimento della chiarificazione.

Al termine del ciclo, le bottiglie vengono estratte dal Milestone e diluite con abbondante acqua distillata; successivamente si filtra il contenuto delle bottiglie con l'uso di filtri a  $0,4 \mu$  all'interno di un matraccio da 250 mL e lo si porta a volume.

Si trasferisce il campione su 2 matracci da 25 mL e, prima di portare a volume i matracci, si aggiunge ad ognuno alcune gocce di fenolftaleina, tramite una pipetta Pasteur. A questo punto si aggiunge della soda al 30% fino al raggiungimento del punto di viraggio, da trasparente a viola, punto in cui il pH diviene neutro.

Successivamente al raggiungimento del punto di viraggio si portano a volume i matracci da 25 mL.

Il contenuto dei matracci viene trasferito a loro volta all'interno di una beuta da 250 mL, alla quale va aggiunto il reattivo misto e lasciato reagire per 10 minuti. In questa fase si prepara anche un bianco all'interno di un'altra beuta, costituito da acqua distillata e dal reattivo misto.

Tale reattivo è costituito da una serie di composti, i quali vanno aggiunti in ordine e rispettando le quantità indicate (Tab. 5.1).

Tab. 5.1: componenti del reagente misto

Composto	Quantità (mL)
Eptamolibdato di Ammonio	10
Acido Solforico 2.5M	25
Acido Ascorbico	10
Tartrato	5

Infine, si trasferisce il campione all'interno delle cuvette e si misura per via spettrofotometrica i valori di assorbanza, avendo impostato prima lo spettrofotometro a  $\lambda = 880 \text{ nm}$ .

#### ***Determinazione del BMP, SGP e CH<sub>4</sub>***

Il risultato di una prova BMP consiste nella definizione del metano (o biogas) prodotto da un dato peso di un certo substrato. La valutazione della produzione di biogas (BMP) è stata effettuata seguendo la metodologia suggerita da Angelidaki et al. (2009).



Prima di iniziare con la vera e propria analisi del BMP è fondamentale caratterizzare il substrato e l'inoculo. Il substrato deve essere caratterizzato mediante la determinazione dei solidi totali (TS), dei solidi volatili (VS), del COD, dell'azoto e del fosforo

L'inoculo da utilizzare per l'analisi deve essere "fresco" e può essere prelevato da qualsiasi reattore anaerobico attivo (es. reattori a fanghi). L'inoculo deve essere quanto più omogeneo possibile e, nel caso ci fossero materiali di grandi dimensioni, questi vanno filtrati.

Inoltre, è fondamentale che l'inoculo venga "degassato", cioè preincubato per ridurre il residuo di materiale organico biodegradabile al suo interno; la preincubazione deve essere effettuata alla stessa temperatura del processo (in questo caso 37° C). La degassazione deve essere prolungata da 2 a 5 giorni, o almeno fino a quanto non si registrano delle elevate produzioni di biogas da parte dell'inoculo.

Il volume di inoculo da utilizzare per l'analisi può variare a seconda della sua concentrazione o attività: infatti, a volte questo deve essere diluito; in ogni caso, la quantità di inoculo deve essere tale da impedire l'accumulo di acidi grassi volatili e il manifestarsi di condizioni acide, che andrebbero ad inibire il processo.

Per quanto riguarda le analisi sui campioni di rifiuto riesumato, tale campione è stato caratterizzato con la determinazione dei solidi totali, dei solidi volatili, del COD, del TKN e del  $P_{TOT}$ .

L'inoculo utilizzato per l'analisi è stato prelevato da un reattore di fanghi primari ubicato all'interno del depuratore del Comune di Verona, sito in via Bartolomeo Avesani. Al suo interno erano presenti diversi materiali di grandi dimensioni, che sono stati sottratti dall'inoculo attraverso filtrazione. L'inoculo, infine, è stato degassificato e acclimatato a 37° C per 3 giorni.

Successivamente sono state preparate 3 bottiglie per campione: su ognuna di esse, sulla base della caratterizzazione, è stato inserito un determinato quantitativo di campione e 500 mL di inoculo su ogni bottiglia. In questa fase è stato preparato anche un bianco, il quale, al suo interno, conteneva il solo inoculo.

Successivamente si è proceduto con la chiusura ermetica delle bottiglie, con l'utilizzo di tappi in clorobutile (Fig. 6.1) e riposti all'interno della camera calda alla temperatura di 37° C.



Fig. 6.1: le bottiglie contenenti i campioni per le analisi BMP

Ogni giorno, due delle bottiglie contenenti il campione (sempre le stesse), venivano misurate, per quantificare la produzione di biogas, attraverso lo spostamento dell'acqua, grazie alla strumentazione di Fig. 6.2.



Fig. 6.2: strumentazione utilizzata per la misura giornaliera della produzione di biogas

I risultati ottenuti dalle due bottiglie di ogni campione sono stati ogni volta mediati e inseriti all'interno di un foglio di calcolo Excel, in modo da permettere le elaborazioni finali sull'andamento di produzione di biogas da parte del campione.

La composizione del biogas è stato determinato utilizzando il Geotech Biogas 5000 (Fig. 6.3)



Fig. 6.4: Geotech Biogas 5000

## **RISULTATI E DISCUSSIONI**

La parte relativa ai risultati ottenuti e alla loro discussione è divisa in due parti, sulla base dei due obiettivi che la tesi si era proposta.

- Nella prima verrà descritta la situazione impiantistica a livello regionale per quanto riguarda le discariche esaurite; questa rappresenta una prima stima del quadro, utile per capire il numero di siti, le tipologie di rifiuti smaltiti e le distribuzioni territoriali di questi impianti di smaltimento in attività nei decenni precedenti.
- Nella seconda parte invece, si procederà con la presentazione e successiva descrizione dei risultati ottenuti dagli studi di biodegradabilità su un campione di rifiuto riesumato da una discarica esaurita in Provincia di Verona e sulle successive discussioni, al fine di:
  - o Caratterizzare la tipologia di rifiuti riesumati e valutare il grado di maturità del materiale campionato in relazione alla gestione del sito.
  - o Analizzare in modo critico il set di parametri scelti per la valutazione della biodegradabilità di un campione di rifiuto indifferenziato riesumato.
  - o Valutare i pretrattamenti necessari a preparare un campione di questo tipo per le analisi.

### **QUADRO IMPIANTISTICO**

Nel corso del periodo di stage presso il Dipartimento di Treviso – Osservatorio Rifiuti e Compostaggio di ARPA Veneto, uno degli obiettivi è

stato quello di definire un primo quadro impiantistico delle discariche esaurite all'interno della regione. La situazione iniziale riscontrata era la seguente:

- All'interno di SIRAV vi era un primo censimento relativo alle discariche attive e inattive, non aggiornato.
- All'interno di ARPAV, oltre a SIRAV, erano presenti archivi storici non consultati nella stesura del censimento.
- Erano presenti svariate liste di enti diversi ed eterogenee dal punto di vista del formato (alcune sono cartacee, alcune sono in formato digitale Word, altre in formato digitale Excel).
- Sono presenti archivi delle singole Province all'interno degli uffici ambientali provinciali (DAP) e questi non erano stati consultati.
- Le anagrafiche dei siti non erano omogenee tra le Province.

Per redigere una prima stima del quadro impiantistico, quindi, si è reso necessario:

- Aggiornare il SIRAV per quanto riguarda le discariche effettivamente ancora attive e quelle estinte nel corso degli ultimi anni.
- Implementare SIRAV con l'aggiunta delle informazioni recepite sulle discariche esaurite.
- Verificare i vari archivi storici di ARPAV, della Regione, delle Province e, in alcuni casi, dai comuni.
- Verificare le informazioni recuperate dai vari enti regionali, provinciali, comunali.
- Standardizzare le anagrafiche degli impianti di smaltimento rifiuti.

Il recepimento di tutte le informazioni necessarie ha reso il lavoro di tesi complesso, poiché ha coinvolto diversi enti a livello regionale, provinciale e comunale, costituiti in diversi tempi e ora non più esistenti: ad esempio, per ottenere informazioni sulla Provincia di Treviso, è stato consultato un archivio dell'ULSS 9, poiché prima della nascita di ARPAV, la gestione dell'ambiente era affidata al Presidio Multizonale di Prevenzione (PMP).

Le maggiori criticità del lavoro sono state dovute all'elevata mole di dati incompleti rinvenuti nel corso delle varie ricerche, le anagrafiche delle

discariche diverse a seconda della Provincia di cui si analizzavano i dati e la necessità, per avere una visione migliore, consultare gli archivi cartacei.

Ne deriva quindi che la ricerca dei dati è stata difficoltosa e, di conseguenza, quello che viene presentato all'interno del capitolo "Risultati e Discussioni" è una prima versione del quadro impiantistico delle discariche esaurite presenti all'interno della Regione Veneto; sarà, quindi, necessario, il proseguo del lavoro nel corso del tempo, al fine di ottenere più informazioni ed implementare il quadro, rendendolo ancora più dettagliato.

La ricerca ha permesso di ottenere, per la maggior parte delle discariche, le seguenti informazioni:

- Provincia.
- Comune.
- Indirizzo dell'impianto.
- Tipologia di rifiuti smaltiti.
- Stato della discarica (in post-gestione o estinta).

L'elaborazione dei risultati ottenuti nel corso del lavoro di tesi viene presentata e discussa nei seguenti paragrafi.

## QUADRO REGIONALE

### **Generale**

L'aggiornamento di SIRAV ha permesso di definire, prima di tutto, un quadro preciso sulle discariche attive, sia a livello regionale sia a livello provinciale, e, successivamente, una prima versione su quelle esaurite. La situazione regionale, in data 10/10/2017, è quella descritta dalla Fig. 6.1.

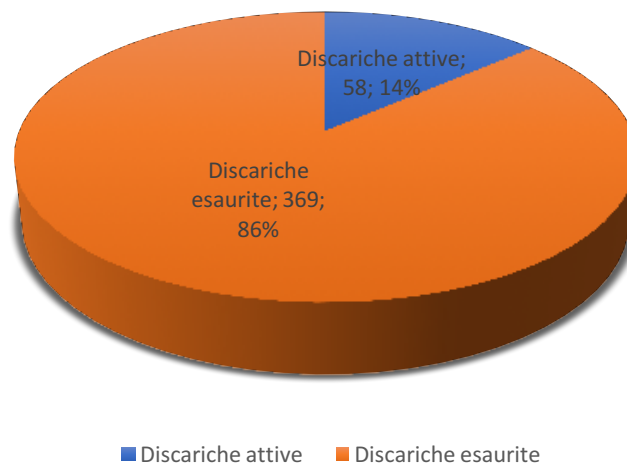


Fig. 6.1: confronto tra discariche attive ed esaurite in Veneto

Come si può notare dalla figura, all'interno della Regione Veneto, sono presenti 58 discariche attive ad oggi, mentre sono 369 le discariche esaurite, delle quali si sono ottenute informazioni dalle diverse fonti rinvenute. Queste discariche sono state in attività nel corso dei decenni passati: dalle informazioni reperite dai vari archivi, è stato possibile, infatti, stilare un quadro temporale delle attività delle varie discariche fino alla fine degli anni 70.

La suddivisione delle discariche attive ed esaurite nelle varie Provincie viene rappresentata nell'istogramma in Fig. 6.2.

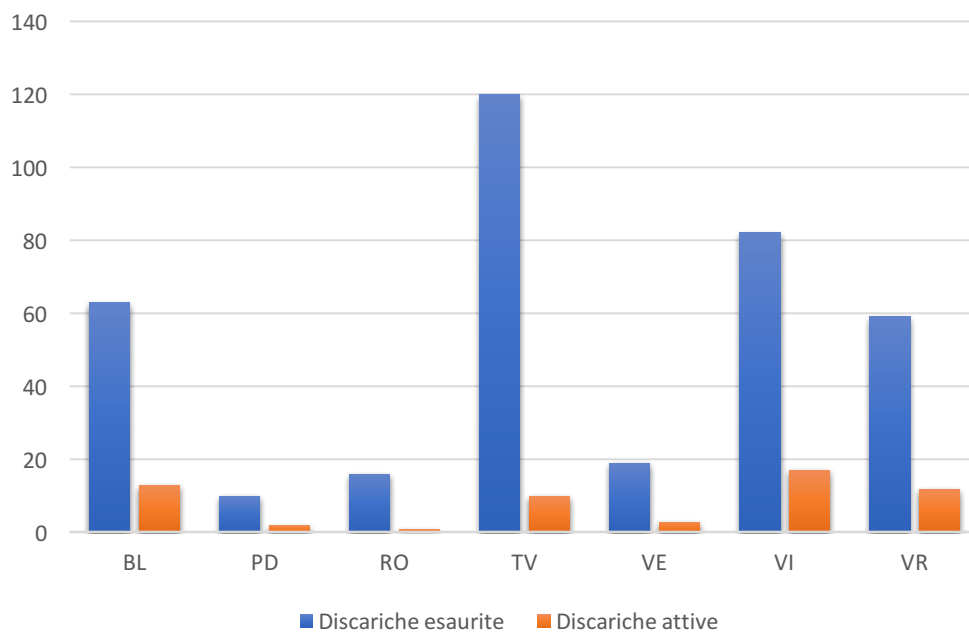


Fig. 6.2: distribuzione delle discariche nelle varie Provincie del Veneto

Come evidente dalle Fig. 6.1 e Fig. 6.2, la differenza, rispetto al loro numero, tra le discariche attive oggi e quelle che lo sono state sia a livello regionale che a livello delle singole provincie è rilevante, evidenziando quindi l'importanza di comprendere dove queste discariche esaurite siano ubicate, poiché, alcune di esse potenzialmente possono ancora generare impatti, mentre, in altre, questi impatti sono stati mitigati dall'ambiente stesso, con conseguente alterazione delle matrici ambientali. Un passo successivo, da questo punto, di vista potrebbe essere quello di ubicare precisamente i siti tramite georeferenziazione.

Le tipologie di discariche esaurite presenti in Veneto sono sostanzialmente di due categorie:

- Discariche per rifiuti inerti.
- Discariche per rifiuti non pericolose (rifiuti urbani).

La fig. 6.3 presenta la suddivisione nelle diverse categorie delle discariche esaurite.



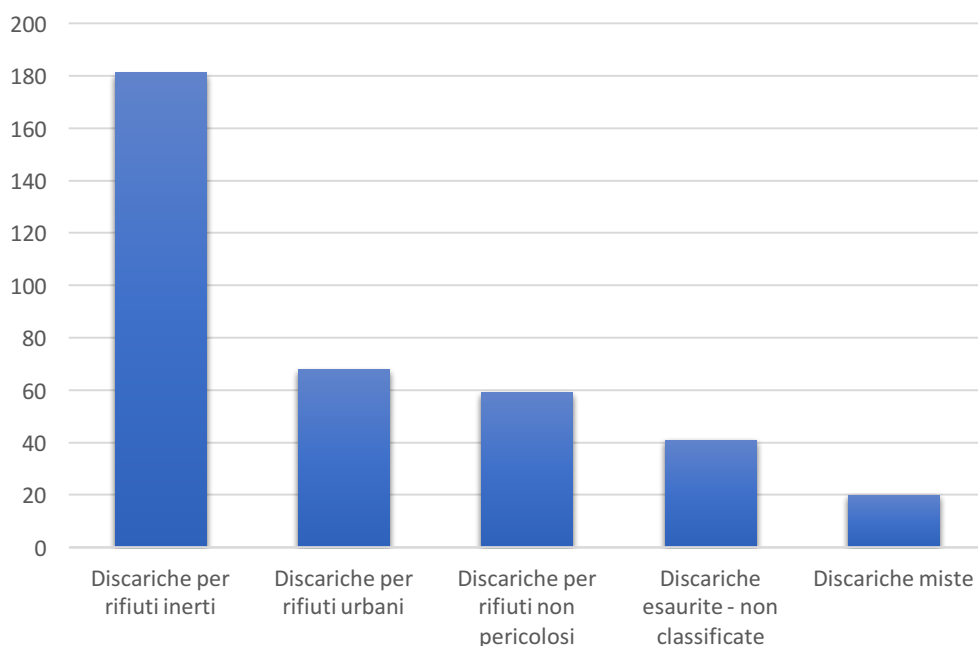


Fig. 6.3: tipologie e quantità di discariche esaurite in Regione Veneto

Dalla figura 6.3 si può osservare come più della metà di discariche esaurite, 181, rappresentanti il 49% di quelle totali, siano state di rifiuti inerti, mentre 127, costituenti il 35% del totale, è rappresentato da discariche in cui venivano smaltiti rifiuti non pericolosi, la maggior parte dei quali erano rifiuti urbani indifferenziati (68 discariche infatti sono di rifiuti urbani e 59 sono di rifiuti non pericolosi), poiché, come visto nei precedenti capitoli, in assenza di una normativa specifica, non vi erano criteri di ammissibilità che regolamentavano il conferimento dei rifiuti in discarica. Questo aspetto sicuramente, unitamente ai criteri costruttivi, per le discariche più datate, che non garantivano l'isolamento di esse, ha portato allo sviluppo di percolato, che si è diffuso nell'ambiente, e di biogas nelle zone circostanti il sito.

Dalla figura 6.3 si può notare come le restanti discariche o siano miste, all'interno delle quali venivano smaltiti diverse categorie di rifiuti, o non vi siano informazioni in grado di definire quali tipologie di rifiuti venivano smaltite al loro interno. Per queste discariche saranno, quindi, necessari ulteriori approfondimenti degli archivi per ottenere queste informazioni.

Per quanto riguarda i comuni della Regione Veneto, in figura 6.4 viene presentata la distribuzione delle discariche esaurite all'interno di essi.

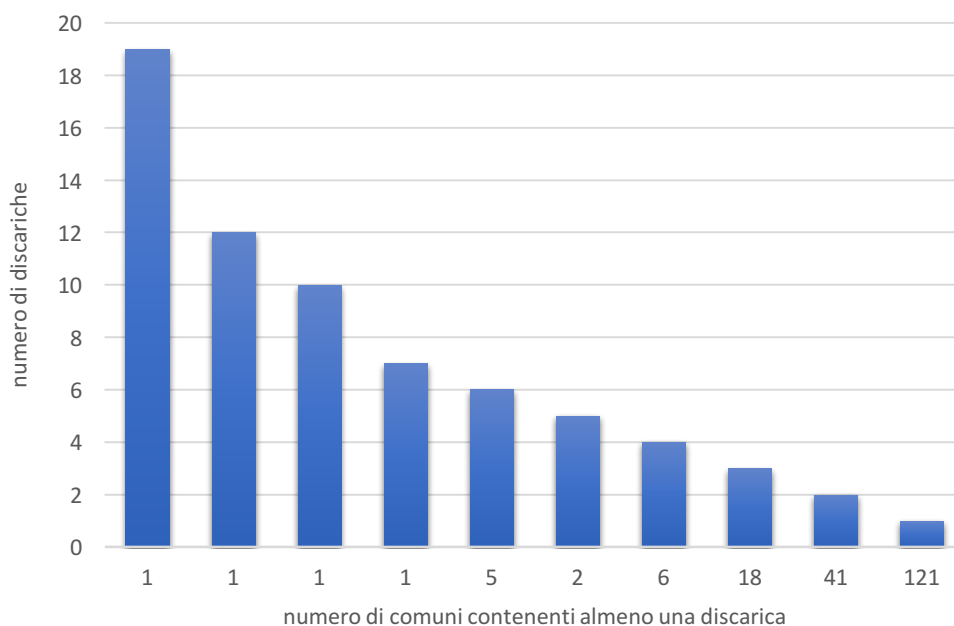


Fig. 6.4: distribuzione delle discariche nei comuni della Regione Veneto

Dal grafico in Fig. 6.4 si può osservare come 215 comuni presenti all'interno della regione abbiano avuto al loro interno almeno una discarica, oggi esaurita; si va da 121 comuni in cui vi era solamente una discarica, ad altri comuni in cui il numero maggiore. Per esempio, nel comune di Venezia e in quello Belluno sono state rinvenute informazioni di 6 discariche esaurite al loro interno, nel comune di Grezzana (VR) e Vedelago (TV), invece, vi erano, rispettivamente 10 e 12 discariche esaurite, mentre, comune nel quale vi erano più discariche al suo interno, ora esaurite, è quello di Verona, con ben 19.

### ***Discariche in post-gestione ed estinte***

Un'importante distinzione che va fatta nel quadro impiantistico è quella tra le discariche in post-gestione e quelle estinte.

Nelle prime sono ancora in atto, o dovrebbero esserlo, come definito dal D. Lgs. n.36/2003, tutte le attività di monitoraggio e di controllo e tutte le

opere di manutenzione varia della discarica, soprattutto per ciò che riguarda i sistemi per la gestione del percolato e del biogas prodotti nel corso di questa fase.

Nelle seconde, invece, la discarica non è più controllata, in quanto il periodo di post-gestione è terminato, secondo le indicazioni fornite dall'Ente Competente; in alcuni casi tale aspetto è legato a ragioni finanziari, in altri casi l'Ente definisce dei criteri per valutare un'adeguata diminuzione degli impatti ambientali (ad esempio trend del quantitativo di percolato emunto e delle sue caratteristiche chimico-fisiche).

Al termine del periodo di post-gestione il sito viene "restituito" all'ambiente per eventuali usi previsti e non modificabili dai comuni: tale uso è, generalmente, definito come "area agricola (ex-discarica)

Definire in modo preciso la situazione delle discariche esaurite nella Regione Veneto si è rivelata una delle maggiori criticità del lavoro, poiché, da questo punto di vista, la situazione non è totalmente chiara ed esaustiva, a causa della scarsità di informazioni rinvenute su questo aspetto; vi sono, infatti, alcune lacune, le quali rendono necessaria una ricerca più approfondita all'interno dei vari archivi provinciali e comunali.

Il quadro relativo alle discariche in post-gestione ed estinte presenti in Veneto è rappresentato in Fig. 6.5.

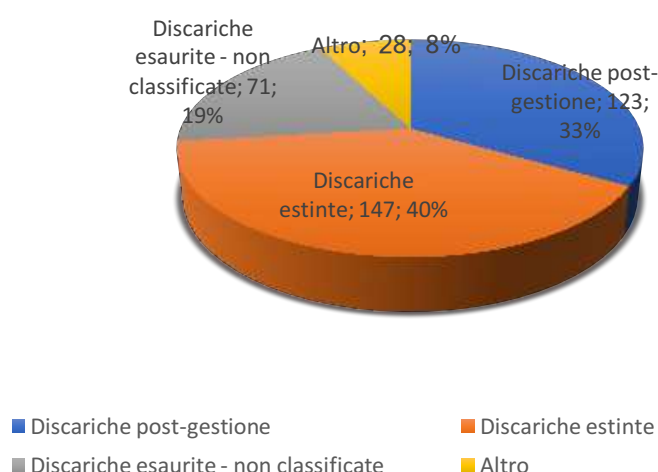


Fig. 6.5: quadro delle discariche in post-gestione e cessate in Regione

Dal grafico in figura 6.4 si può notare come, per quanto riguarda questa situazione, essa appare, come detto, più frammentata.

La maggior parte di discariche, rappresentate dal 40% sono estinte, a significare che il periodo di post-gestione si è esaurito del tutto. Il 33% di queste, invece, hanno avviato le operazioni di post-gestione successivamente al D. Lgs. n. 36/2003 e, sulla base delle dichiarazioni degli Enti Competenti di controllo, dovrebbero essere ancora in questa fase: sarà quindi necessario un ulteriore approfondimento su questo aspetto.

Circa l'8% di questo quadro è rappresentato da discariche in cui si sono verificate situazioni particolari: in alcune di esse l'autorizzazione è scaduta e non vi sono prove di un rinnovo, in altre l'autorizzazione alla gestione è stata sospesa, a causa di gravi fenomeni di inquinamento o di attività di gestione e smaltimento non conforme alla norma, in altre ancora l'autorizzazione all'esercizio non è mai stata rilasciata. Da questo si evince come anche l'aspetto normativo, legato alle autorizzazioni, può creare alcune difficoltà nella definizione del quadro.

Infine, il 19% è rappresentato da quelle discariche di cui non è stato possibile definire in modo chiaro la situazione, per mancanza di informazioni sugli archivi consultati, per cui saranno necessari ulteriori approfondimenti.

In conclusione, dall'analisi del quadro regionale, si può evidenziare come la prima versione dia già buone indicazioni sulla situazione in Veneto per ciò che concerne le discariche esaurite, soprattutto, come vedremo nei seguenti paragrafi, sulla loro ubicazione. All'interno della Regione sono presenti 369 discariche esaurite, di cui 147 estinte, 123 in post-gestione, 28 nelle quali l'autorizzazione è scaduta o sospesa e 71 non classificabili ad ora per mancanza di documentazioni.

In queste discariche esaurite, nella maggior parte venivano smaltiti rifiuti inerti (181) e, a seguire, rifiuti solido urbani (68), rifiuti non pericolosi (59), rifiuti misti (20) e non classificabili per mancanza di informazioni (41).

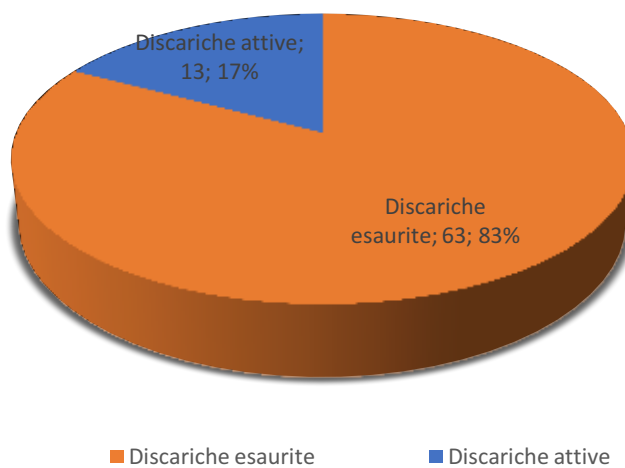
Il problema, quindi, sorge quando si vuole cercare di approfondire e definire un quadro più specifico, legato alla situazione della discarica o alle tipologie di rifiuti smaltiti. Per far questo, sarà quindi necessario un'ulteriore ricerca.

Nei seguenti paragrafi viene presentata la situazione impiantistica provinciale.

## QUADRO PROVINCIALE

### **Provincia di Belluno**

La situazione in Provincia di Belluno, relativa alla presenza di discariche attive ed esaurite è presentata nel grafico di figura 6.6.



*Fig. 6.6: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Belluno*

All'interno della provincia sono presenti 13 discariche attive mentre si hanno informazioni su circa 63 discariche esaurite, che sono state in attività nel corso dei decenni precedenti. Le tipologie di queste discariche esaurite sono presentate in Fig. 6.7.

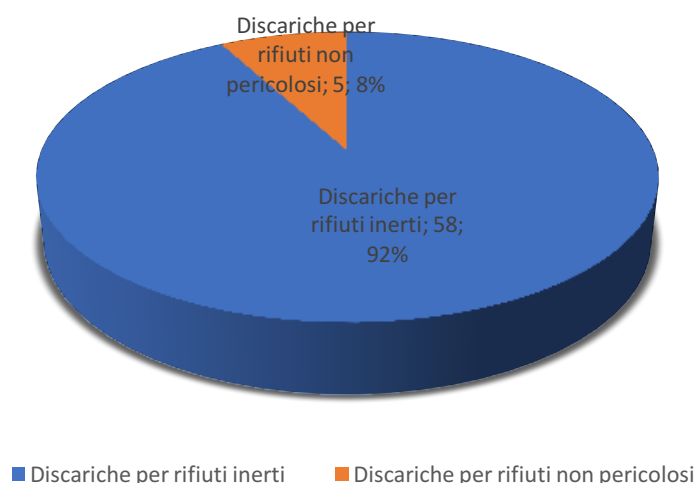


Fig. 6.7: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Belluno (Fonte: elaborazione dati ARPAV)

Dal grafico in figura 6.7 appare evidente come la maggior parte delle discariche esaurite fosse stata di rifiuti inerti: questa fetta rappresenta il 92%, e rappresenta inoltre la maggior distribuzione di discariche inerti all'interno della Regione Veneto, con circa il 32% complessivo; per ciò che concerne le discariche esaurite di rifiuti non pericolosi, solo il restante 8% è costituito da discariche di questa tipologia.

In figura 6.8, invece, viene presentata la situazione per quanto riguarda le discariche in post-gestione ed estinte.

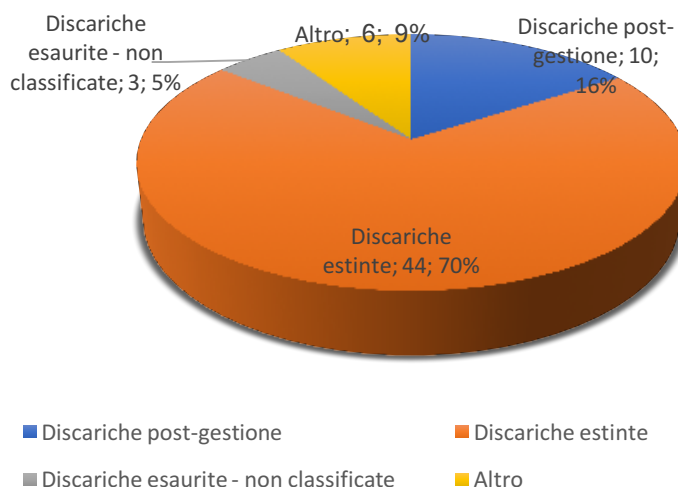


Fig. 6.8: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Belluno

In Provincia di Belluno la maggior parte di discariche sono cessate (70%), anche queste la maggior parte erano per rifiuti inerti. Il 16% invece è costituito da discariche in fase di post gestione, mentre il 14% è rappresentato da discariche in cui non è stato possibile definire con chiarezza la situazione, a causa di dati mancanti o autorizzazioni sospese o revocate.

### **Provincia di Padova**

Il quadro generale della Provincia di Padova viene raffigurati nel grafico a torta in figura 6.9.

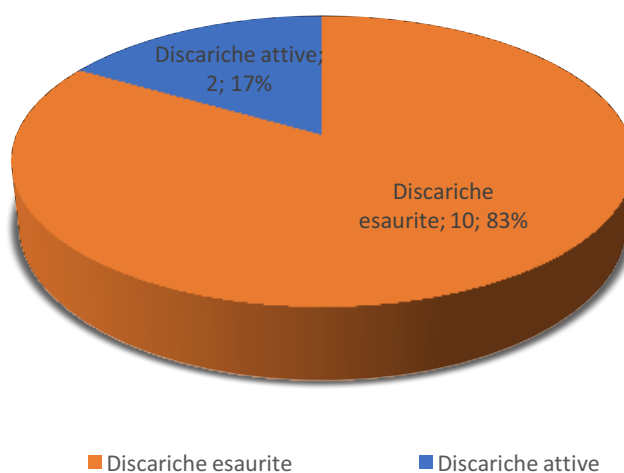


Fig. 6.9: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Padova

In Provincia di Padova è presente il più basso numero di discariche; per quanto riguarda quelle attive, queste sono due e sono di rifiuti non pericolosi.

Per quanto riguarda quelle esaurite, la distinzione è presente in figura 6.10.

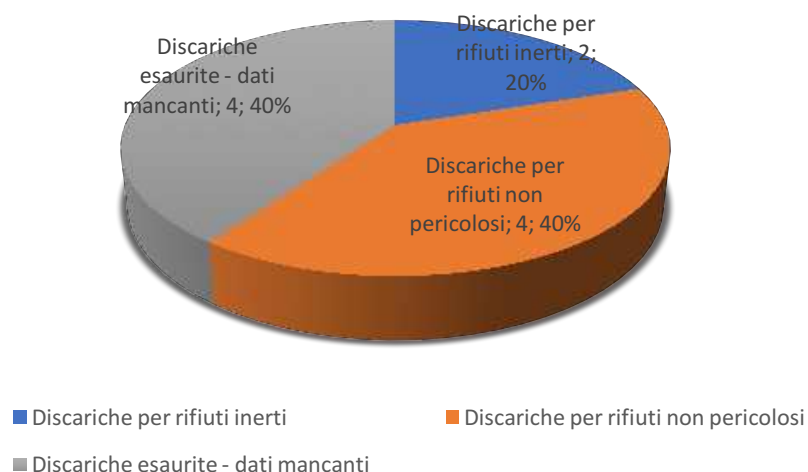


Fig. 6.10: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Padova

Dal grafico in Fig. 6.10 si può evidenziare come, tra le discariche esaurite, la tipologia più presente di smaltimento sia quella per rifiuti non pericolosi, in linea con la situazione attuale di quelle attive. Si può, inoltre, evidenziare come per circa la metà di queste discariche non sia stato possibile definirne la tipologia, a causa della mancanza di informazioni; tali mancanze si ripercuotono anche nella definizione, in Fig. 6.11, di quali discariche siano in post-gestione e quali siano totalmente estinte.

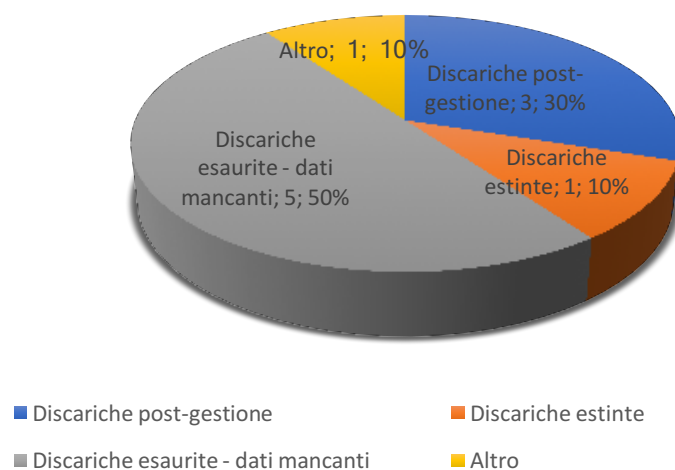


Fig. 6.11: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Padova

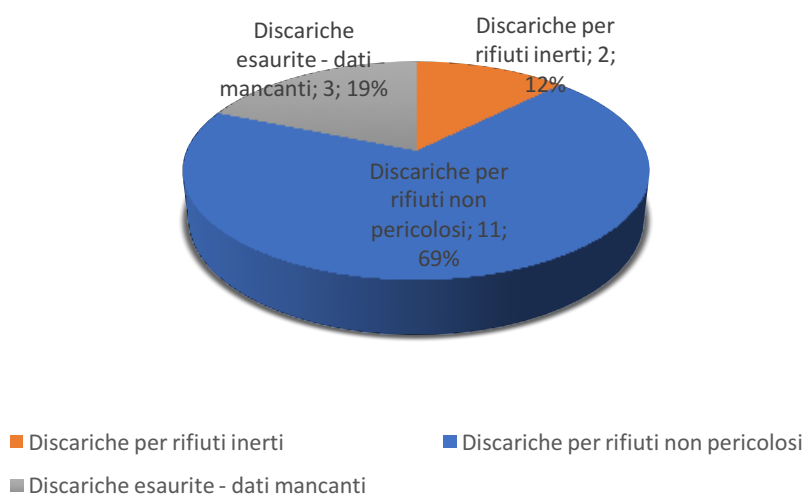


Qui la situazione è ancora più complessa: infatti si hanno informazioni sicure solo su 4 discariche, 3 di esse in post-gestione e una cessata. Per 5 discariche esaurite non è stato possibile, ad ora, avere qualche riscontro sulla loro situazione; saranno necessari quindi ulteriori approfondimenti.

La situazione della Provincia di Padova, quindi, appare meno chiara rispetto a quella di Belluno, pur essendoci molte meno discariche al suo interno.

### **Provincia di Rovigo**

All'interno della Provincia di Rovigo, analizzando la situazione presente in SIRAV, si evidenzia che è presente solamente una discarica attiva, all'interno della quale vengono smaltiti rifiuti non pericolosi. Viceversa, sono presenti 16 discariche esaurite, la maggior parte, come si può osservare dalla Fig. 6.12, di rifiuti non pericolosi.



*Fig. 6.12: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Rovigo*

Dall'analisi della situazione provinciale, si può notare come la categoria più diffusa di discariche nel corso degli scorsi decenni era quella per rifiuti non pericolosi, la maggior parte costituiti da rifiuti urbani non differenziati.

In figura 6.13 viene presentato il quadro legato alle discariche in post-gestione ed estinte.

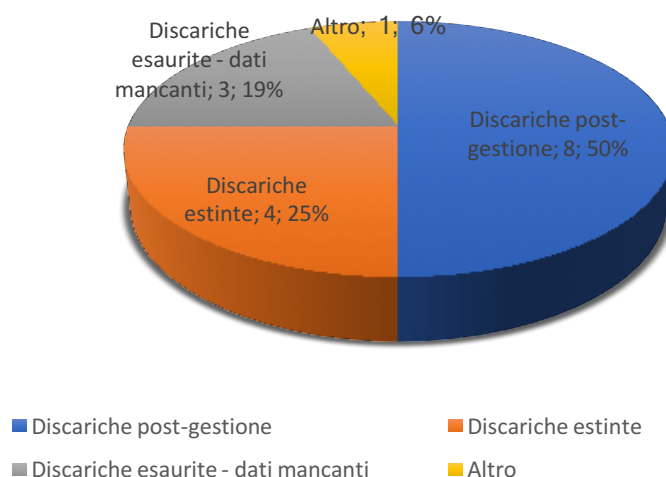


Fig. 6.13: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Rovigo

Dal grafico 6.13 si evidenzia che all'interno della Provincia di Rovigo sono presenti 8 discariche in post-gestione, 4 invece sono cessate mentre per 3 di esse non sono state trovate abbastanza informazioni tali da definirne la situazione.

Per quanto riguarda l'ultima discarica esaurita, questa ha l'autorizzazione all'esercizio scaduta: in attesa di comprendere l'evoluzione si annota questa discarica tra le esaurite, in attesa del rinnovo o della successiva fase di post-gestione.

### **Provincia di Treviso**

La Provincia di Treviso è quella che, nel suo complesso, considerando sia le attive sia le esaurite, possiede il più alto numero di discariche: sono, infatti, ben 130 le discariche presenti all'interno del territorio, rappresentando, la sola Provincia di Treviso, il 30.5% di distribuzione totale delle discariche in Veneto.

Questo può anche essere spiegato dalla natura del territorio: esso, infatti, presentava molte cave di ghiaia che, una volta esaurite, costituivano un'ambiente idoneo considerato al tempo, alla realizzazione delle discariche.

Il quadro provinciale è rappresentato nel grafico a torta in figura 6.14.

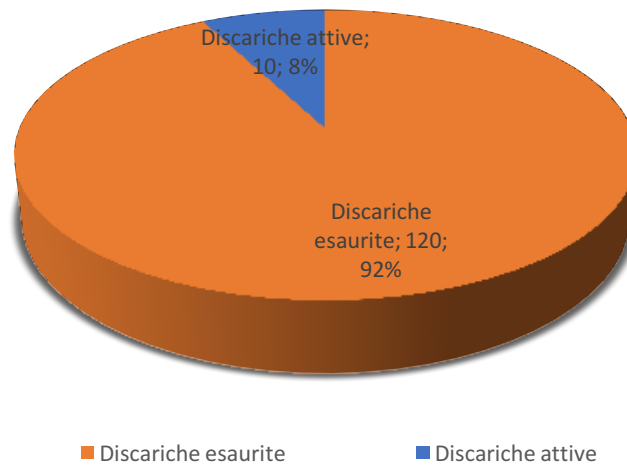


Fig. 6.14: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Treviso

Dal grafico si può facilmente osservare come il peso maggiore sia dato dalle discariche esaurite, rispetto a quelle attive. Il 92%, infatti, è rappresentato da discariche che ora non sono più operative; le categorie di queste, invece, sono presenti nel grafico 6.15.

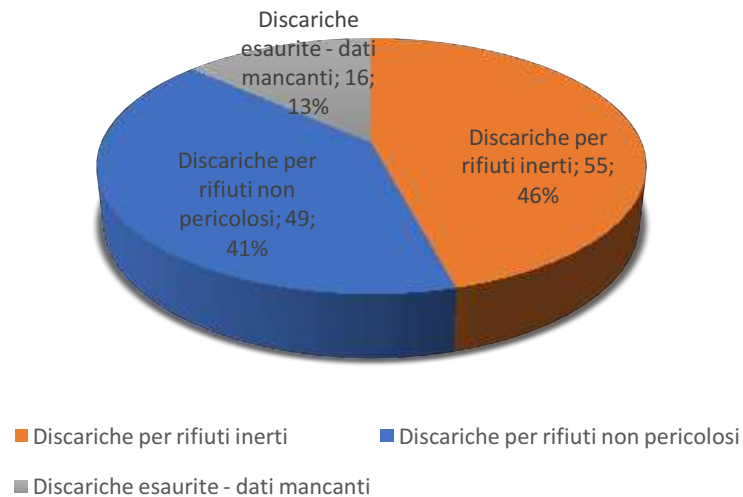


Fig. 6.15: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Treviso

Si può notare come si sia una distribuzione pressoché simile tra le ex discariche di rifiuti non pericolosi (41%) e quelle di rifiuti inerti (46%), mentre un 13% è rappresentato da discariche di cui non si sono reperite abbastanza informazioni da definirne la categoria. Il numero di discariche per rifiuti non pericolosi è anche il più elevato per una Provincia all'interno del Veneto: il 38.5% di questa categoria di discariche è nella sola Provincia di Treviso.

La situazione provinciale, relativa alle discariche in fase di post-gestione o a quelle estinte, viene presentata in figura 6.16.

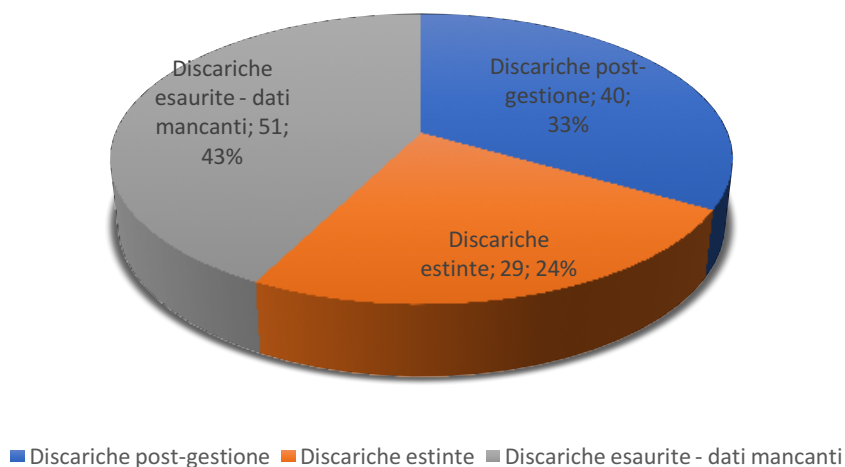


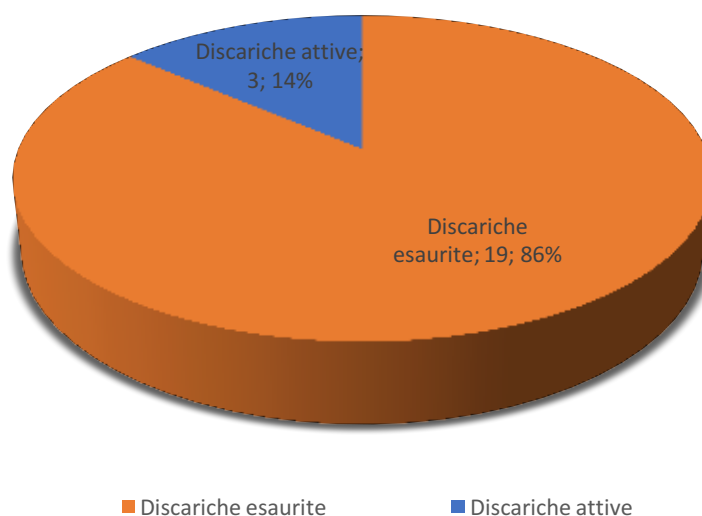
Fig. 6.16: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Treviso

Le informazioni ottenute e presenti in figura 6.16 hanno permesso di caratterizzare poco più della metà delle discariche presenti all'interno della Provincia, mentre per il restante 43% non è stato possibile, in modo sicuro, definire la situazione.

Questo rende necessario un aggiornamento del quadro provinciale, mediante la consultazione degli archivi provinciali e comunali per ottenere nuove informazioni da aggiungere a quelle già recuperate nel corso del lavoro di tesi.

### ***Provincia di Venezia***

Il quadro relativo alla presenza delle discariche in Provincia di Venezia viene descritto in figura 6.17.



*Fig. 6.17: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Venezia*

All'interno della Provincia di Venezia, come si evince dal grafico 6.17, sono presenti 3 discariche attive, nelle quali vengono smaltiti rifiuti non pericolosi, mentre 19 sono discariche esaurite; le tipologie di queste discariche sono raffigurate nella successiva rappresentazione grafica (Fig. 6.18).

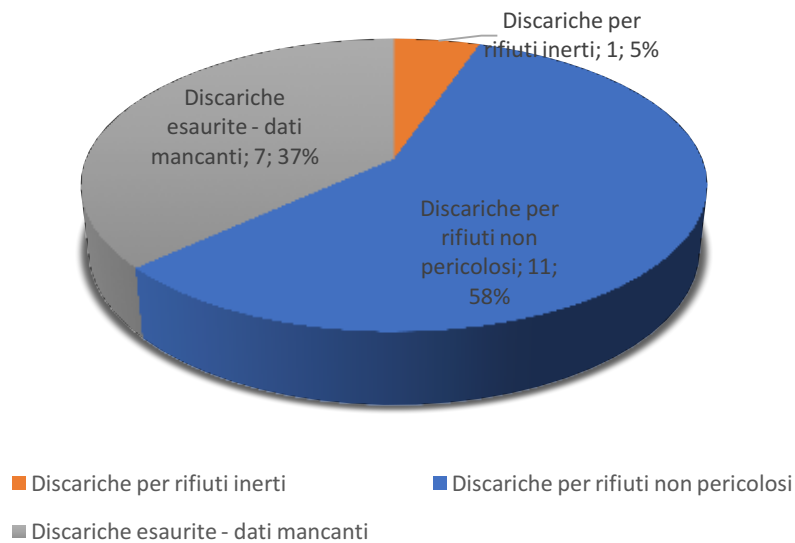


Fig. 6.18: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Venezia

Le discariche per lo smaltimento dei rifiuti non pericolosi è la categoria più rappresentativa all'interno della Provincia: infatti, considerando sia quelle attive, sia quelle esaurite, questa percentuale raggiunge quasi il 64%.

Appare elevato anche la percentuale delle discariche di cui non è stato recuperato nessun materiale e nessun dato: essa si attesta intorno al 37% tra le discariche esaurite.

Il quadro della Provincia di Venezia si è dimostrato quello più complesso da ricostruire, pur non avendo una elevata quantità di discariche nel proprio territorio; questa complessità è stata evidente nella definizione della situazione delle discariche esaurite, come mostra la Fig. 6.19.

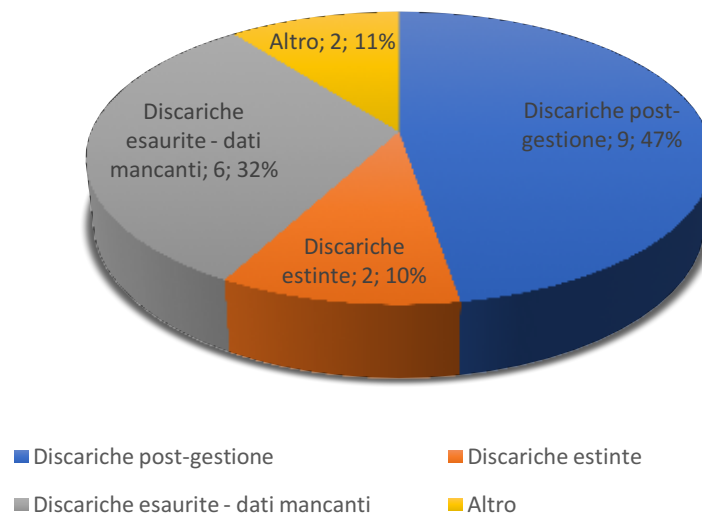


Fig. 6.19: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Venezia

La situazione, infatti, appare abbastanza frammentata: circa il 47% delle discariche esaurite è in regime di post-gestione, mentre il 43% comprende sia quelle discariche di cui non si hanno informazioni precise, sia discariche in cui sono in atto procedure di sospensione o bonifica.

### **Provincia di Vicenza**

Nella Provincia di Vicenza, dalle analisi delle informazioni ottenute attraverso l'utilizzo di SIRAV e dei vari archivi, vi è la più alta percentuale di discariche attive: circa il 30% delle discariche attive presenti nel Veneto sono localizzate all'interno di questa Provincia.

Per quanto riguarda le discariche esaurite, anche queste sono numerose, risultando la seconda per quantità, dopo la Provincia di Treviso. I risultati sono raffigurati nel grafico a torta in Fig. 6.20.

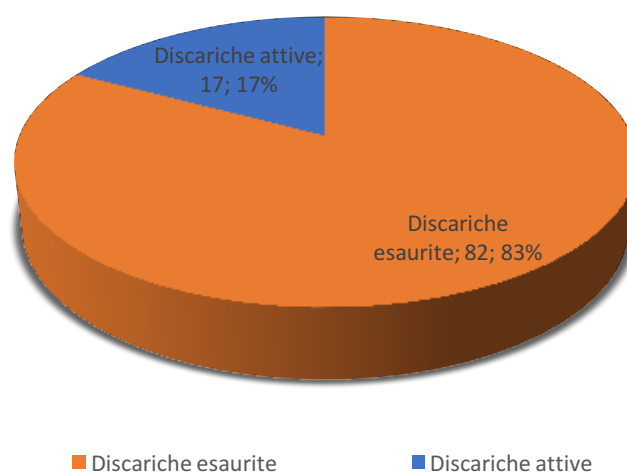


Fig. 6.20: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Vicenza

Per quanto riguarda, invece, le tipologie di discariche esaurite, la situazione è frammentata, come si può evincere dalla Fig. 6.21.

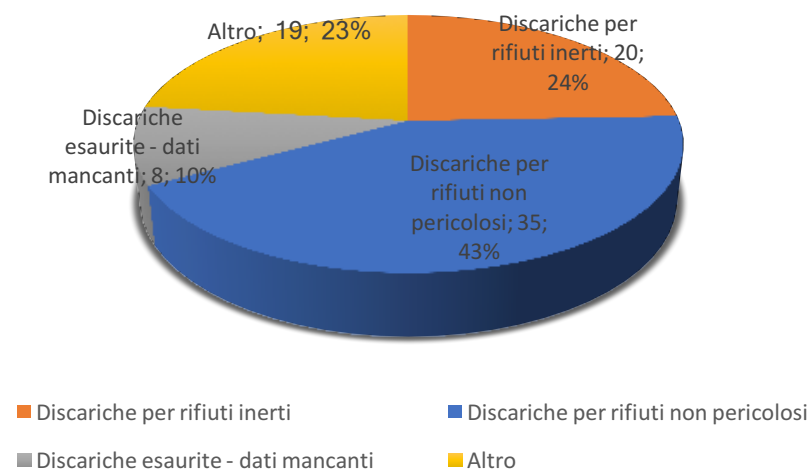


Fig. 6.21: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Vicenza

La tipologia più presente tra le discariche esaurite è quella per i rifiuti non pericolosi, la maggior parte costituiti da rifiuti solidi urbani indifferenziati (43%), seguono le discariche per rifiuti inerti (24%) e delle tipologie di discarica non meglio definite (23%): all'interno di queste ultime, infatti, sono state trovare informazioni relative allo smaltimento di diverse tipologie di



rifiuti, dagli inerti, ai rifiuti solidi urbani, a quelli di tipo industriale, fino, in alcuni casi particolari, anche rifiuti speciali. Infine, un 10% è rappresentato da discariche non caratterizzate a causa della mancanza dei dati sugli archivi. La situazione delle discariche esaurite è presentata in figura 6.22.

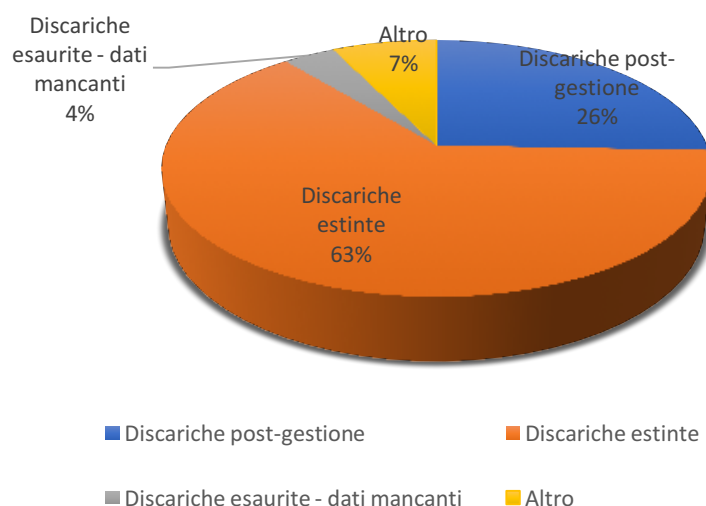


Fig. 6.22: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Vicenza

In Provincia di Vicenza la maggior parte di discariche sono cessate (63%), a significare che la gran parte di esse era in attività fino alla fine degli anni 80, mentre il restante 37% si divide tra discariche in post-gestione (26%), discariche in cui l'autorizzazione è sospesa o non rinnovata (7%) e discariche con informazioni mancanti (4%).

### **Provincia di Verona**

All'interno della Provincia di Verona sono presenti, secondo le elaborazioni dati di SIRAV ottenute attraverso l'inserimento delle informazioni rinvenute dagli archivi, 12 discariche attive e 59 discariche esaurite, come si può vedere dalla figura 6.23.

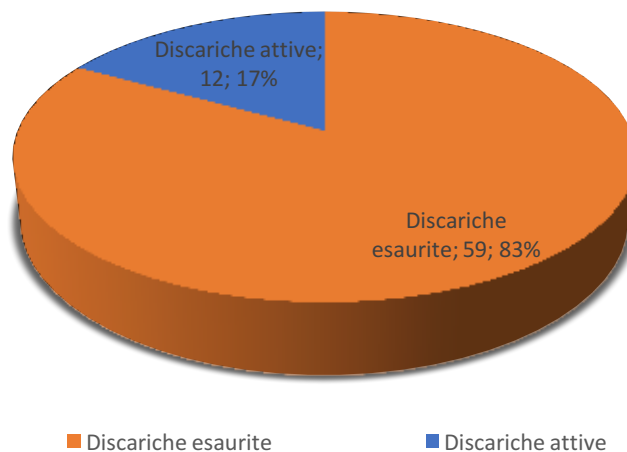


Fig. 6.23: confronto tra discariche attive ed esaurite in Provincia di Verona

Anche in questo caso, come in tutte le altre provincie, il numero delle discariche esaurite è di molto maggiore rispetto a quelle attive. Inoltre, Verona risulta essere il comune con il più alto numero di discariche esaurite all'interno dell'intera Regione Veneto, con 19, nella maggior parte delle quali venivano smaltiti rifiuti inerti.

Per quanto riguarda le tipologie delle discariche esaurite nel territorio provinciale, si rimanda alla rappresentazione di figura 6.24.

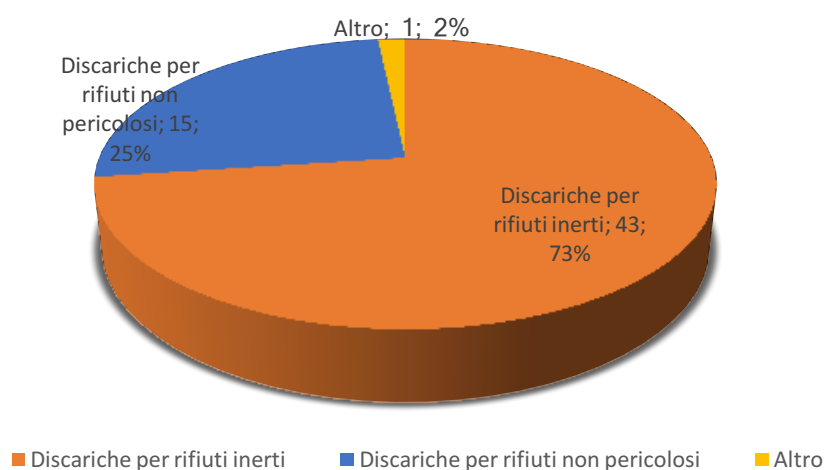
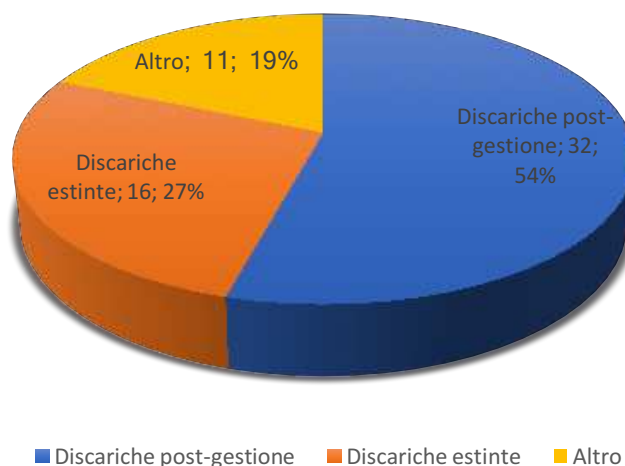


Fig. 6.24: tipologie e quantità di discariche esaurite in Provincia di Vicenza

In Provincia di Verona sono presenti per la maggior parte ex discariche di rifiuti inerti (73%), le restanti sono discariche per rifiuti non pericolosi (25%), mentre una discarica non è mai stata realizzata.

La maggior parte di queste discariche, inoltre, come si può osservare dalla figura 6.25, è in fase di post-gestione (54%).



6.25: quadro delle discariche in post-gestione ed estinte in Provincia di Verona

Sempre dalla fig. 6.25 si può notare come le restanti discariche siano o totalmente cessate (27%) o con l'autorizzazione scaduta, sospesa o non rinnovata (19%).

## OSSERVAZIONI DI SINTESI QUADRO IMPIANTISTICO

La prima versione del quadro impiantistico delle discariche esaurite all'interno della Regione Veneto ha permesso di definire il loro numero e, per la maggior parte di esse, anche la loro tipologia; inoltre, è stato possibile, da un punto di vista ubicativo, ottenere un buon risultato: per quasi tutte le discariche, infatti, si è riusciti ad individuare il comune e anche la via del sito, in modo da rendere più facilitato una futura georeferenziazione dei siti.

In prima analisi si può quindi affermare che nella Regione Veneto sono presenti:

- 427 discariche, di cui 58 attive (13% e 369 esaurite (83%).
- Tra quelle esaurite, 147 sono estinte, 123 sono in fase di post-gestione, 71 non sono state classificate a causa di assenza di documentazione e 28 sono caratterizzate da situazioni particolari dell'autorizzazione, la quale è sospesa o non rinnovata.
- Di queste ex-discardie, 181 smaltivano rifiuti inerti, 127 rifiuti non pericolosi, 41 non sono state classificate e 20 smaltivano rifiuti misti (inerti e non pericolosi insieme).

Inoltre, dal quadro regionale è emerso che la Provincia di Treviso è quella all'interno della quale erano presenti più discariche (130), rappresentando il 30.5% della distribuzione totale in Veneto; inoltre, all'interno di questa Provincia vi è anche la più alta presenza di discariche per rifiuti non pericolosi (49), il 38.5% di tutta la presenza regionale.

La provincia di Belluno, invece, è quella all'interno della quale vi è la più alta distribuzione regionale di discariche per rifiuti inerti (58), rappresentando il 32% complessivo.

Dal quadro regionale presentato, inoltre, appare evidente come il peso maggiore sia quello dato dalle discariche esaurite, rispetto a quelle attive: infatti solo il 13% è costituito da discariche attive, mentre ben l'83% da discariche esaurite.

Questo dato rafforza l'importanza di definire un quadro generale sulla loro ubicazione precisa e, mediante l'ottenimento di maggiori informazioni a diversi livelli e autorità competenti (regione, province o comuni), renderlo ancora più preciso in modo da poter ricostruire, in maniera efficace, l'evoluzione storica di questi impianti all'interno del Veneto e, di conseguenza, essere in grado di comprendere cosa vi era al loro interno.

Nel corso del periodo di tesi è stato quindi possibile implementare l'archivio legato alle discariche esaurite, mediante l'ottenimento delle varie informazioni dalle provincie; questo ha permesso di osservare come ogni singola provincia, per quando riguarda la documentazione relativa a questo tema, abbia una sua tipologia di catalogazione e ritmi di aggiornamento

completamente diversi: vi sono Province in cui questi archivi sono molto aggiornati, mentre in altre, non vi è neppure un archivio di questo tipo.

Conoscere ciò che una discarica conteneva nel corso della sua attività può rivelarsi di estrema importanza in diverse situazioni: da quelle più gravi dal punto di vista ambientale, come possono essere i fenomeni di inquinamento della falda o dell'atmosfera a quelli di natura più pratica, con progetti di infrastrutture che a volte possono essere bloccati poiché, nel corso dei lavori, ci si imbatte in un cumulo di rifiuti interrati di cui non si sa nulla, o poco più.

Gli obiettivi futuri potrebbero essere:

- Completare il quadro con le informazioni mancanti.
- Georeferenziare i siti.
- Arricchire i dati tecnici delle discariche (anni di attività, tipologie di rifiuti smaltiti, volumetrie, fonti d'impatto, dati analitici su biogas e percolato, dati su eventuali inquinamenti delle falde).

In questa fase futura, quindi, SIRAV si potrebbe rivelare fondamentale, più di quanto lo è ora, per riuscire a riunire, in un unico Sistema Informatico e, a maggior ragione, "Informativo", tutti i dati recuperati.

## ANALISI SPERIMENTALI

Nel presente lavoro di tesi, oltre al quadro impiantistico, è stato monitorato un campione di rifiuto riesumato da una discarica per rifiuti urbani sita in Provincia di Verona.

Il gestore di questa discarica, a causa di un comprovato inquinamento della falda causato dal rilascio di percolato dovuto ad un fondo impermeabilizzante non efficiente, è dovuto ricorrere ad interventi di bonifica, con un'operazione di riesumazione totale dei rifiuti collocati all'interno. Pertanto è stato possibile effettuare un campionamento rappresentativo di rifiuto urbano tale e quale indifferenziato conderito in discarica negli anni 80/90, presente sul fronte attivo oggetto di scavo e trasferimento del lotto del sito.

Gli obiettivi del lavoro di tesi, per quanto riguarda la parte sperimentale, sono stati:

- Descrizione e caratterizzazione del rifiuto indifferenziato campionato, attraverso l'analisi merceologica.
- Valutare l'influenza dei pre-trattamenti sulle varie analisi chimico - fisiche - biologiche del campione.
- Valutare il grado di biodegradabilità del rifiuto riesumato.
- Verificare il potenziale impatto della plastica all'interno del campione.
- Analizzare in maniera critica il set di parametri scelti per la valutazione della biodegradabilità di un campione di questo tipo.

Partendo dal rifiuto tale e quale, questo è stato suddiviso in diverse aliquote:

- Tal quale stesso, sul quale è stata effettuata l'analisi merceologica in modo tale da caratterizzare in generale il rifiuto.
- Rifiuto tritato, il quale è il rifiuto tal quale che ha subito il pre-trattamento meccanico di triturazione.
- Sopravaglio, il quale è il rifiuto tal quale che ha subito il pre-trattamento di vagliatura a 20mm ed è costituito dal materiale più grossolano; tale frazione ha subito l'analisi merceologica per definire la sua composizione.

- Sottovaglio, il quale è il rifiuto tal quale che ha subito il pre-trattamento di vagliatura a 20mm ed è costituito dal materiale più fine, la quale è stata caratterizzata.

Dal punto di vista analitico, le varie aliquote di campione sono state sottoposte a diverse analisi di natura:

- Chimica.
- Biologica.

Sul rifiuto tal quale, al fine di valutare il suo grado di stabilità, sono state eseguite le seguenti analisi:

- Chimiche:
  - o Umidità.
  - o pH.
  - o Solidi totali.
  - o Solidi volatili.
- Biologiche:
  - o IRDP.

Sul rifiuto triturato, sottovaglio e sopravaglio, invece, per definire il livello di stabilità raggiunto dopo circa 30 anni di conferimento in discarica, sono state effettuato le seguenti analisi:

- Chimiche:
  - o Umidità.
  - o pH.
  - o Solidi totali.
  - o Solidi volatili.
  - o TEC.
  - o HA-FA.
  - o Ceneri.
  - o TOC.
  - o COD.
  - o TKN.

- P<sub>TOT.</sub>
- Biologiche:
  - IRDP.
  - BMP<sub>45.</sub>

I risultati di queste analisi, effettuate all'interno del Laboratorio Rifiuti – Compostaggio di ARPAV – Dipartimento di Treviso e dell'Università di Verona – Dipartimento di Biotecnologie, sono presentati nei seguenti paragrafi.

### ANALISI MERCEOLOGICA

Per comprendere al meglio la composizione del rifiuto prelevato dalla discarica sita in Provincia di Verona in fase di bonifica è stata utilizzata l'analisi merceologica: il rifiuto, infatti, successivamente al suo campionamento, è stato sottoposto a questa analisi, in modo da definire qualitativamente e quantitativamente le frazioni che lo componevano; è stato considerato un quantitativo di campione tal quale (circa 30 Kg), in modo da risultare significativo.

I risultati dell'analisi merceologica, riferiti alle frazioni e alla percentuale, sono presenti nella seguente tabella (Tab. 6.1).

Tab. 6.1: composizione merceologica del campione di rifiuto riesumato

Tipologia	%
Carta	10.4
Inerti	5.5
Legno	3.4
Materiale organico (residui organici)	5.1
Metalli	3.7



Pannolini	1.1
Plastica	21.3
Sottovaglio (< 20 mm)	34.7
Tetrapack	0.5
Tessili	10.2
Vetro	4.1
<b>Totale</b>	<b>100</b>

Dalla tabella 6.1 si può osservare come il rifiuto presente all'interno di questa discarica sia totalmente indifferenziato, cosa che si verificava costantemente su discariche di quel tempo; esso, infatti, contiene un'elevata quantità di plastica e di sottovaglio, materiale di piccole dimensioni, che, a causa della degradazione, è stato difficile da caratterizzare. Si può ipotizzare che una gran parte di questa frazione sia costituita da ciò che resta della degradazione della sostanza organica e da terra, poiché ne veniva usata in grande quantità per la copertura giornaliera.

All'interno del rifiuto campionato è presente anche una piccola frazione di residuo organico, il quale è caratterizzato da un basso grado di biodegradabilità o non attaccato a causa di situazioni particolari (es. la buccia della frutta ha esercitato funzione di barriera in alcuni casi).

Riassumendo, le frazioni più presenti all'interno del rifiuto indifferenziato campionato, sono state:

- Sottovaglio (34.7%).
- Plastica (21.3%).
- Carta (10.4%).
- Tessili (10.2%).

Confrontando questo rifiuto della fine degli anni 80 con un rifiuto indifferenziato tale e quale fresco prodotto in Veneto a fine degli anni 90 (uno degli ultimi prima dell'avvento della raccolta differenziata) (*Programma regionale per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da avviare in discarica, 1997*) si può notare qualche differenza.

Nella seguente tabella (Tab. 6.2) vengono comparate le due analisi merceologiche.

Tab. 6.2: confronto merceologico tra rifiuti fine anni 80 e fine anni 90.

Tipologia	% campione (fine anni 80)	% Rifiuto fresco fine anni 90 (1997)
Carta	10.4	20.6
Legno	3.4	0,9
Materiale organico	5.1	35
Metalli	3.7	2.3
Plastica	21.3	11.7
Sottovaglio, inerti, pannolini, tetrapack, altro	41.8	20
Tessili	10.2	2.5
Vetro	4.1	7
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(Fonte: *Programma regionale per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da avviare in discarica, 1997*)

Dal confronto delle due analisi merceologiche si può notare come la frazione più presente nel rifiuto fresco sia quella organica, poiché non ancora degradata; viceversa nel rifiuto riesumato questa parte è molto più bassa, poiché, nel corso degli anni, si sono verificati i processi di degradazione, che hanno portato allo sviluppo di biogas, soprattutto, e di percolato, in quantità

minore. Infatti, molta di questa frazione ora è passata nel sottovaglio, come rimanente dei processi biodegradativi, andando quindi ad alzare notevolmente questa percentuale (34.7%) nel rifiuto degli anni 80; inoltre, ad innalzare questa percentuale è sicuramente la presenza di materiale inerti (terra e sassi principalmente) poiché questi venivano utilizzati per la copertura giornaliera del cumulo di rifiuti della discarica, in modo tale da evitare la dispersione degli odori.

Per quanto riguarda la plastica, questa rappresenta sempre una frazione molto presente, soprattutto nel rifiuto indifferenziato riesumato.

Si può però ipotizzare che la quantità di plastica fosse la stessa anche nel rifiuto fresco ma, a causa della presenza molto maggiore della componente organica, la sua ripartizione era diversa; la presenza della componente organica nel rifiuto fresco, infatti, potrebbe aver aumentato di molto la percentuale di quella frazione, a discapito delle altre presenti.

Questo può essere successo, seppur in forma minore, anche nel rifiuto campionato, con la frazione del sottovaglio.

La frazione tessile è molto più presente nel rifiuto indifferenziato riesumato rispetto a quello fresco, viceversa capita con la frazione della carta. Altre frazioni, come il vetro e il metallo, sono presenti in quantità molto simili.

Queste differenze e similitudini delle frazioni sono ancora più evidenti dal grafico in figura (Fig. 6.26).

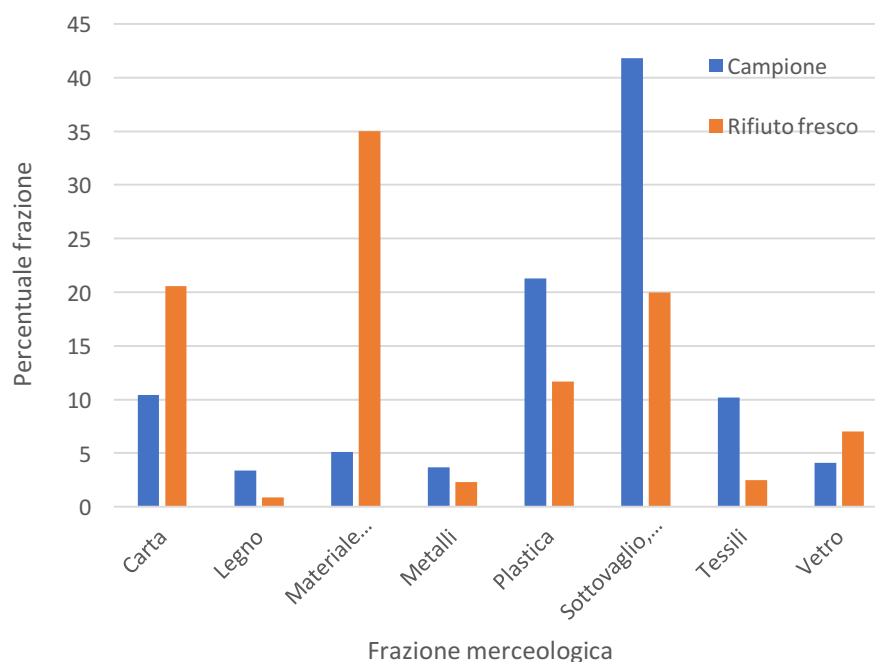


Fig. 6.26: percentuali delle frazioni merceologiche (Fonte: elaborazione dati)

Da questa analisi si può evincere come i rifiuti indifferenziati siano caratterizzati da una composizione che, seppur eterogena, permette qualche confronto.

Complessivamente, dall'analisi merceologica del rifiuto riesumato si può concludere che questo abbia molto più materiale fine (sottovaglio) rispetto a quello contenuto da un rifiuto fresco indifferenziato della fine degli anni 90. Questo perché si sono verificati dei processi biodegradativi che hanno comportato il "trasferimento" della frazione organica nel sottovaglio; inoltre, nella discarica della Provincia di Verona, buona parte del sottovaglio è costituito da terra, poiché essa veniva utilizzata come copertura giornaliera dei cumuli di rifiuti.

### PRE-TRATTAMENTI DEL CAMPIONE

Il campione di rifiuto riesumato prelevato all'interno della discarica, prima di essere analizzato, al fine di verificare le caratteristiche chimico – fisiche e biologiche ottenibili da diverse operazioni di pre – trattamento, ha subito

diversi pre – trattamenti di natura meccanica, che ne hanno modificato forma e, a volte, anche il contenuto. Queste sottocategorie sono rappresentate da:

- Il rifiuto tale e quale.
- Il rifiuto triturato.
- Il sopravaglio.
- Il sottovaglio.

Il rifiuto tale e quale rappresenta il campione originale e, come tale, esso non ha subito nessun pre-trattamento.

Il rifiuto triturato (40 mm), invece, rappresenta il campione tale e quale pre-trattato: esso è stato, infatti, triturato meccanicamente, con conseguente cambiamento della sua forma; questo campione possiede, di conseguenza, una pezzatura molto più piccola rispetto al rifiuto tale e quale. In figura (Fig. 6.27) vengono mostrati i due diversi campioni descritti.



*Fig. 6.27: a destra, il rifiuto tale e quale, a sinistra il rifiuto triturato*

Il sopravaglio e il sottovaglio invece derivano da un pre-trattamento di vagliatura: attraverso il passaggio del rifiuto tale e quale sulle griglie del tavolo merceologico, di diametro di 20mm, è stato possibile dividerlo in due frazioni, sulla base delle diverse dimensioni: uno, il sopravaglio, costituito dal materiale più grossolano mentre l'altro, il sottovaglio, costituito dal materiale più fine.

Il sopravaglio è, quindi, costituito da ciò che è rimasto al di sopra delle griglie, mentre il sottovaglio è caratterizzato da materiale che cadeva al di sotto della griglia e che quindi possiede una dimensione minore di 20mm.

I campioni, infine, sono stati nominati, in modo da facilitare l'organizzazione delle analisi; nella seguente tabella (Tab. 6.3) vengono elencati i quattro campioni analizzati, con i rispettivi nomi in codice.

Tab. 6.3: codici identificativi dei campioni

Codice	Tipologia
ORC_15	Sottovaglio
ORC_16	Sopravaglio
ORC_17	Tal quale
ORC_18	Triturato

Su queste sottocategorie sono state effettuate diverse analisi di natura chimica e biologica:

- Umidità.
- pH.
- Solidi totali.
- Solidi volatili.
- IRDP.

Successivamente, per determinate tipologie di analisi chimiche e biologiche, queste frazioni sono state macinate prima a 4 mm e, infine, a 0.5 mm. Le analisi chimiche e biologiche eseguite sui sottocampioni macinati sono state:

- TEC.
- HA-FA.
- TOC.
- Ceneri.
- COD.
- TKN.
- P<sub>TOT</sub>.
- BMP<sub>4</sub>.

Su questa seconda parte di analisi non viene preso in considerazione il tal quale, a causa dell'elevata difficoltà nel macinare una matrice così complessa dal punto di vista della composizione e della dimensione.

Infine, per verificare l'impatto della plastica sui parametri analizzati, i campioni ORC\_15, ORC\_16 e ORC\_18 sono stati divisi in due sottocategorie: una sottocategoria contenente plastica e una in cui la plastica era assente.

Questa suddivisione è stata effettuata per verificare quanto la plastica possa modificare determinate analisi di natura chimica, quali TOC e COD.

Questo ha portato alla definizione di nuovi codici di riferimento, presenti in Tab. 6.4, per i campioni senza plastica e con la plastica al loro interno.

Tab. 6.4: codici identificativi campioni senza plastica

Codice	Tipologia
ORC_15'	Sottovaglio senza plastica
ORC_16'	Sopravaglio senza plastica
ORC_18'	Triturato senza plastica

Riassumendo, i campioni analizzati nel corso del lavoro di tesi vengono elencati nella seguente tabella (Tab. 6.5).

Tab. 6.5: codici identificativi di tutte le categorie di campioni analizzati

<b>Codice</b>	<b>Tipologia</b>
ORC_15	Sottovaglio con plastica
ORC_15'	Sottovaglio senza plastica
ORC_16	Sopravaglio con plastica
ORC_16'	Sopravaglio senza plastica
ORC_17	Tal quale
ORC_18	Triturato con plastica
ORC_18'	Triturato senza plastica

## RISULTATI DELLE ANALISI SUI CAMPIONI

### ***Parametri scelti e andamenti tipici***

Nella parte sperimentale del lavoro di tesi sono stati scelti dei parametri, al fine di caratterizzare il campione di rifiuti riesumato.

Tali parametri vanno da quelli standard (umidità, pH, contenuto di soliti totali e volatili) a parametri chimici legati al contenuto dei macronutrienti (carbonio, azoto, fosforo), quali COD, TOC, TEC, HA-FA, TKN e  $P_{TOT}$ , fino a parametri indispensabili per valutare il comportamento biologico in ambiente aerobico, IRDP, e in ambiente anaerobico,  $BMP_{45}$ .

L'obiettivo della tesi è, quindi, quello di valutare in maniera critica i parametri utilizzati per la caratterizzazione chimica e biologica del campione allo scopo di definire il grado di putrescibilità e biodegradabilità di un campione.

Per il raggiungimento di tali obiettivi si è considerata, dove è stato possibile, la diversa letteratura di settore (*Goodley et al., 2003; Renou et al., 2008; Mönkäre et al., 2015; Kaartinen et al., 2013; Kjeldsen et al., 2002; Cossu; Christensen*).

Bisogna considerare in premessa che i parametri riscontrati in letteratura sono molto variabili tra di loro, poiché cambiano a seconda delle tipologie di rifiuti conferiti all'interno delle discariche oggetto di studio. I parametri analizzati e i riscontri della letteratura, sono presentati in tabella 6.6.

Tab. 6.6: parametri tipici per caratterizzare un rifiuto e valori

Parametro	Età discarica			Fonti
	1 – 10 anni	10 – 20 anni	+ 20 anni	
pH	5.6 - 8	7 - 9	7 -9	<i>Renou et al., 2008</i>
VS/TS (%)	55 - 65	35 - 24	> 20	<i>Mönkäre et al., 2015</i>
TOC (%)	4 - 7	10 - 15	7 - 13	<i>Mönkäre et al., 2015; Kaartinen et al., 2013</i>
COD	-	-	-	-



TKN	-	-	-	-
P <sub>TOT</sub>	-	-	-	-
HA – FA (%)	80%	5 – 30%	< 5%	<i>Renou et al., 2008</i>
BMP, SGP (m <sup>3</sup> /CH <sub>4</sub> /t TS)	5 - 25	20 - 70	2 - 9	<i>Mönkäre et al., 2015</i>
Sostanza fina organica (%)	18 - 52	14 - 55	40	<i>Mönkäre et al., 2015</i>
Biodegradabilità	Alta	Media	Bassa	<i>Renou et al., 2008</i>

### ***Risultati campioni grezzi***

I campioni di rifiuto riesumato, nel corso del lavoro di tesi, sono stati sottoposti ad:

- Analisi di base.
- Analisi chimiche.
- Analisi biologiche.

Per alcune di esse, il risultato ottenuto era derivato da una media di diverse ripetizioni, a causa dell'elevata variabilità dei campioni analizzati.

Qui di seguito vengono presentati in Tab. 6.7 i valori ottenuti nel corso delle varie analisi in cui sono state effettuate più ripetizioni.

Tab. 6.7: valori ottenuti nel corso delle analisi

Parametro	Ripetizione	ORC_15 (sottovaglio)		ORC_16 (sopravaglio)		ORC_17 (tal quale)	ORC_18 (triturato)	
		Plastica	No plastica	Plastica	No plastica		Plastica	No plastica
Umidità	1 <sup>a</sup>		29.2		17.6	31.1		37
	2 <sup>a</sup>		28.9		54.6	32		36.8
	3 <sup>a</sup>		30.8		36.9	49		36.6
Solidi totali	1 <sup>a</sup>		70.8		82.4	68.9		63
	2 <sup>a</sup>		71.1		45.4	68		63.2
	3 <sup>a</sup>		69.2		63.1	51		36.8
Solidi volatili	1 <sup>a</sup>		10.6		68.8	22.6		25.7
	2 <sup>a</sup>		18.5		62.8	16.2		24.7
	3 <sup>a</sup>		16.1		42.5	23.2		24.9
	4 <sup>a</sup>		19.5		57.5	15.9		19
TOC	1 <sup>a</sup>	7.548	7.726	31.495	19.974	-	18.848	10.572
	2 <sup>a</sup>	7.905	7.114	17.440	17.817		19.422	9.310
	3 <sup>a</sup>	7.649	8.546	22.231	16.235		19.691	9.281
	4 <sup>a</sup>	7.068	7.863	21.101	15.743		21.377	7.959
	5 <sup>a</sup>	8.039	7.409	24.709	18.865		14.486	9.203
COD	1 <sup>a</sup>	202	275	293.1	278.6	-	250.8	232.8
	2 <sup>a</sup>	187.1	193.8	326.3	621.8		432.4	277.6
	3 <sup>a</sup>	424.3	336.1	506.3	309.2		351	177.1
	4 <sup>a</sup>	-	-	-	363.3		-	-
TKN	1 <sup>a</sup>	14.59	15.84	23.44	27.15	-	13.22	18.64
	2 <sup>a</sup>	12.87	22.18	24.61	14.89		11.52	27.18
	3 <sup>a</sup>	8.4	10.44	22.18	27.18		19.75	9.9
P <sub>TOT</sub>	1 <sup>a</sup>	6.91	15.46	6.1	11.03	-	1.8	11.52
	2 <sup>a</sup>	14.35	7.53	3.81	2.37		1.77	1.81
	3 <sup>a</sup>	2.73	2.17	4.66	4.98		3.85	3.65

Dalla tabella 6.7 si può osservare come alcuni parametri siano in linea tra di loro, mentre altri appaiono molto variabili.

Per quanto riguarda i parametri di base, questi, a seconda della sottocategoria, appaiono tra di loro lineari.

Tra quelli chimici i parametri che presentano una maggiore variabilità sono il TOC e il COD, soprattutto nella sottocategoria del sopravaglio.

Il sopravaglio si dimostra la frazione a più alta variabilità e, per questo motivo, i risultati ottenuti da questo parametro, in sede finale di discussione, sono stati pesati di conseguenza.

### ***Risultati campioni mediati***

I quattro campioni (ORC\_15, ORC\_16, ORC\_17 e ORC\_18) sono stati analizzati allo scopo di ottenere una caratterizzazione quanto più precisa sia per la composizione sia per il livello di stabilità biologica raggiunta.

I risultati mediati dei parametri osservati, ottenuti dall'applicazione delle metodologie descritti nella parte Materiali e Metodi, sono riassunti nella seguente tabella (Tab. 6.7).

Successivamente, nei seguenti paragrafi, vengono presi in considerazione i risultati ottenuti dalle analisi sui vari campioni di rifiuto; verranno presi in considerazione diversi aspetti:

- Differenze e somiglianze, attraverso la discussione dei risultati ottenuti dalle analisi chimiche e biologiche, tra il rifiuto tal quale e il rifiuto triturato.
- Differenze e somiglianze tra la frazione del sottovaglio e la frazione del sopravaglio, ottenuti dal pre-trattamento meccanico di vagliatura del rifiuto tal quale riesumato.
- Valutazione dell'impatto della plastica sulle analisi chimiche e biologiche dei sottocampioni triturato, sottovaglio e sopravaglio.

In tabella 6.8 vengono riassunti tutti i risultati ottenuti dalle varie analisi delle sottocategorie nel corso del lavoro di tesi.

Tab. 6.8: risultati analisi condotte

Parametro		Sottovaglio (ORC_15)	Sopravaglio (ORC_16)	Tal quale (ORC_17)	Triturato (ORC_18)
Umidità (&)		29.6	36.4	37.4	36.8
pH		8.6	8.6	8.5	8.4
Solidi volatili	%	16.2	57.9	19.5	23.6
	g/Kg TQ	114.05	368.24	122.07	180.3
IRD <sub>P</sub> (mg-O <sub>2</sub> *Kg-SV <sup>-1</sup> *h <sup>-1</sup> )		60.41	80.27	13.32	99.31
Soliti totali	%	70.4	63.6	62.6	76.4
	g/Kg TQ	704	636	626	764
TEC (% s.s.)		2	-	-	2.9
HA-FA (% s.s.)		1.2	1.6	-	1.5
TOC (% s.s.)		7.7	23.8	-	19
Ceneri (%)		83.86	52.73	-	65.23
COD (g/kg secco)		271.14	375.24	-	344.71
P <sub>tot</sub> (g/kg secco)		7.99	4.85	-	2.47
TKN (g/Kg secco)		11.95	23.41	-	14.82
BMP <sub>45</sub> (ml gas)		131	159.5	-	201
SGP (m <sup>3</sup> /Kg TVS)		0.037	0.041	-	0.062
CH <sub>4</sub> (%)		39.7	42.2	-	45.1

### **Tal quale e triturato**

Osservando i risultati ottenuti dal campione tal quale e sul triturato appare evidente come esse diano pressoché gli stessi risultati: questo è spiegato dal fatto che è stato analizzato lo stesso campione, anche se uno dei due aveva subito un pretrattamento meccanico di triturazione.

Le analisi preliminari sul rifiuto tal quale e triturato sono presentate in Tab. 6.9.

Tab. 6.9: caratterizzazione di base tal quale e triturato

<b>Parametro</b>	<b>ORC_17 (Tal quale)</b>	<b>ORC_18 (Triturato)</b>	<b>Coefficiente di variazione (%)</b>
Umidità (%)	37.4	36.8	<b>1.6</b>
pH	8.5	8.4	<b>1.2</b>
Solidi volatili (%)	19.5	23.6	<b>17.4</b>
Solidi totali (%)	62.6	76.4	<b>18</b>

Le analisi preliminari di caratterizzazione, presentate in Tab. 6.9, hanno dimostrato che un campione triturato mantiene le stesse caratteristiche del tal quale e che quindi, la pezzatura del campione non incide su tali analisi.

Infatti, il pH riscontrato su entrambi i campioni, 8.5 per il tal quale e 8.4 sul triturato, sono molto simili tra di loro, con una variazione di 1.2%, entro l'incertezza analitica della strumentazione.

Inoltre, i valori di pH sono in linea con la letteratura, che definisce, in quel range, una discarica stabile; il cumulo di rifiuti, quindi, ha raggiunto la fase metanigena stabile, nella quale il contenuto di materia organica dei rifiuti è stata quasi totalmente biodegradata.

Anche il parametro dell'umidità, utile anch'essa ad individuare la fase della discarica, nei due campioni molto simili, 37.4 per il tal quale e 36.8 per il triturato, con una variazione, tra le due frazioni, del 1.6%.

L'umidità bassa del tal quale e del triturato è dovuta alla scarsa ritenzione idrica dei componenti, la maggior parte costituiti da frazioni di dimensioni grossolane.

Molto simili, infine, appaiono anche i valori di solidi totali e di solidi disciolti, con una variabilità tra i due sottocampioni di circa 17-18%.

Per le successive analisi chimiche il solo triturato è stato macinato prima a 4 mm e, infine, a 0.5 mm (Fig. 6.28); il rifiuto tal quale, a causa della complessità della matrice, non ha subito la macinazione.

Di conseguenza le analisi chimiche sul contenuto dei macroelementi sono state eseguite solo sul campione triturato (ORC\_18).



*Fig. 6.28: campione trasformato in polvere per le analisi chimiche*

Le analisi chimiche ottenute dal campione triturato in polvere sono presenti nella tabella 6.10.

Tab. 6.10: risultati analisi chimiche sul triturato

Parametro	Unità di misura	ORC_18
TEC	(% s.s.)	2.9
HA-FA	(% s.s.)	1.5
TOC	(% s.s.)	19
Ceneri	(%)	65.23
COD	(g/kg secco)	344.71
P <sub>TOT</sub>	(g/kg secco)	2.47
TKN	(g/Kg secco)	14.82

La tabella 6.10 fornisce importanti informazioni sul contenuto di carbonio organico all'interno del campione.

Il valore di COD del campione triturato (344.71 g/Kg di secco) è conforme con quelli presenti in letteratura per i campioni totalmente biodegradati; infatti, la maggior parte di carbonio presente all'interno del rifiuto riesumato si è trasformato in metano nel corso delle reazioni di biodegradazione.

Il contenuto di TOC, invece, è intorno al 20%, ad indicare che, oltre al carbonio organico, vi è qualche altra frazione ad aumentarne la concentrazione: dall'analisi merceologica è stato possibile individuare queste frazioni, le quali sono rappresentati dalla plastica, dalla carta, dal legno e dai tessuti; queste, da sole, rappresentano quasi la metà (46.3%) del contenuto totale tra le varie frazioni e, di conseguenza, innalzano il valore di carbonio organico, pur essendo difficilmente degradabili.

Dalle successive analisi sui campioni privi di plastica è stato possibile individuare il peso della plastica su questo risultato (vedi Tab. 6.18).

Il contenuto di ceneri si attestano intorno al 65%, ad indicare un campione misto nella sua composizione, come si evince dalla merceologica.

Per quanto riguarda il contenuto di carbonio estraibile e di HA-FA, questi sono limitato, ad indicare un campione totalmente biodegradato e stabilizzato.

Il contenuto di azoto nel campione, indica che i processi biodegradativi sulla sostanza organica hanno portato alla formazione di azoto in forma

ammoniacale, poiché anche l'azoto organico è stato degradato completamente nel corso degli anni.

Il contenuto di fosforo, relativamente alto, invece, è spiegabile poiché questo composto non è solubile e non volatilizza e, a volte, rimane immobilizzato con calcio, ferro o alluminio.

Per quanto riguarda le analisi biologiche, queste sono state due:

- IRDP, sia sul tal quale che su triturato.
- $BMP_{45}$  solo sul triturato.

I due campioni, tal quale e triturato, sono stati sottoposti all'analisi dell'Indice di Respirazione Dinamico Potenziale, al fine di verificarne presenza della frazione fermentescibile all'interno dei rifiuti.

Analizzando i risultati ottenuti si può osservare come essi indichino, rispetto ai valori presenti in normativa ( $1000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{KgSV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) un campione completamente stabilizzato, all'interno del quale l'attività batterica è trascurabile, come evidente dalla raffigurazione in tabella 6.11.

Tab. 6.11: valore massimo IRDP e  $\Delta T$  del campione tal quale e triturato

Codice	IRDP max ( $\text{mg-O}_2 \cdot \text{Kg-SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\Delta T_{\text{IN-OUT}}$ max ( $^{\circ}\text{C}$ )
ORC_15	93.4	6.37
ORC_16	80.27	5.7

Dalla tabella 6.8 si può notare come il valore massimo di IRPD sia considerevolmente più basso rispetto a valori di un campione attivo ( $>1000 \text{ mg-O}_2 \cdot \text{Kg-SV}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ), ad evidenziare la stabilizzazione del campione.

Bisogna sempre considerare che queste variazioni sono minime, dovute prevalentemente alla variazione di concentrazione tra l'ossigeno in ingresso e quello in uscita. Entrambi i valori riscontrati sono molto più bassi rispetto ad una matrice attiva biologicamente.



Oltre all'indice, un secondo parametro che rafforza questa affermazione è rappresentato dalla temperatura: sui due campioni si può verificare che la variazione di temperatura, tra quella in entrata e quella in uscita è molto basso, ad evidenziare come non si verifichi, nel corso dell'analisi, all'interno del campione un'attività batterica. Infatti, nelle analisi IRDP, l'attività microbica sulla materia organica all'interno di una matrice, genera un aumento della temperatura

I grafici con gli andamenti ottenuti dalle analisi sono presenti in Fig. 6.29 (tal quale) e in Fig. 6.30 (triturato).

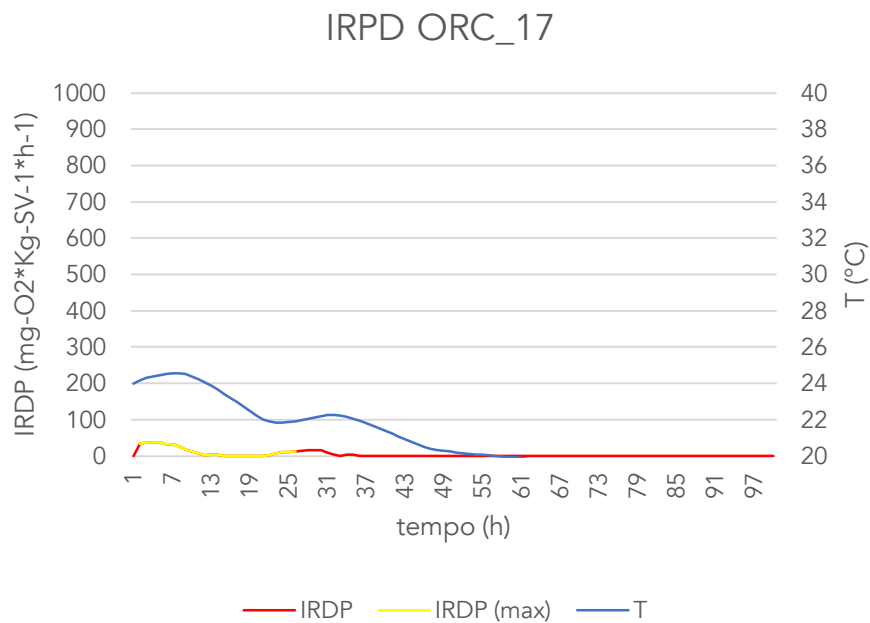


Fig. 6.29: andamento dell'IRDP e della temperatura del campione ORC\_17

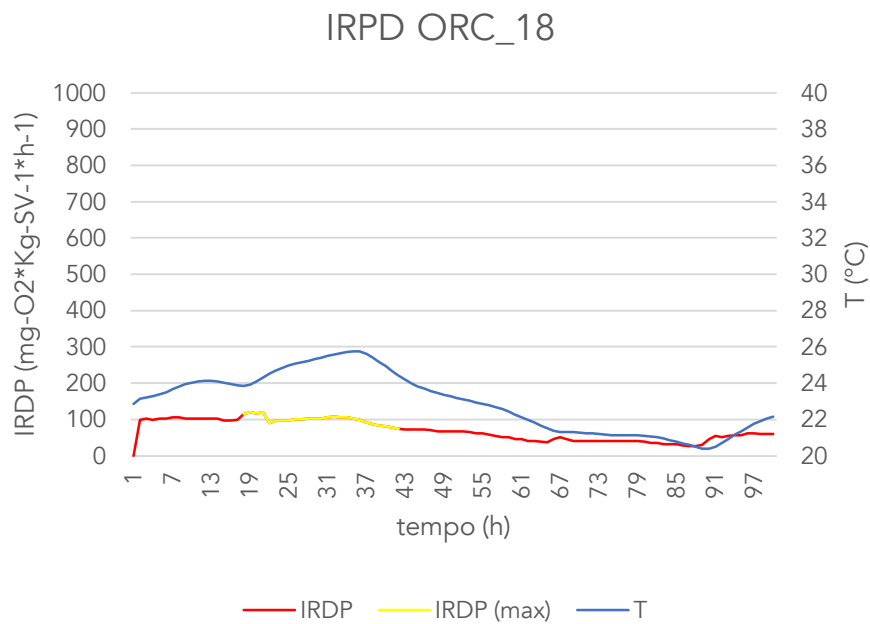


Fig. 6.30: andamento dell'IRPD e della temperatura del campione ORC\_18

Dal grafico si può evidenziare come entrambi i valori, sia del tal quale (13.32) sia del triturato (99.31), indichino la totale stabilizzazione del campione di rifiuti ma, il risultato ottenuto dal triturato è molto più elevato rispetto a quello ottenuto dal tal quale e, come si evince dalla tabella 76.7, dagli altri campioni di sottovaglio e sopravaglio.

Questo può essere spiegato da una maggiore superficie specifica del campione triturato, dato appunto dalla diversa pezzatura ottenuta dal pretrattamento meccanico; infatti, la parte residuale interna del campione, prima tal quale e ora triturato, ha permesso l'esposizione alla degradazione.

L'attività microbica, pur rimanendo di molto minore rispetto a quella di un campione attivo, evidenzia come, nel caso di analisi biologiche, un rifiuto triturato possa dimostrare un aumento di tale attività, rispetto ad un campione di dimensioni maggiori, come lo è il rifiuto tal quale.

Infine, il campione triturato è stato sottoposto all'analisi BMP<sub>45</sub>, al fine di comprendere lo sviluppo dell'attività microbiologica in condizioni anaerobiche. I risultati ottenuti nel corso dell'analisi sono rappresentati in tabella 6.12.

Tab. 6.12: risultati BMP<sub>45</sub>, SGP e CH<sub>4</sub> del campione ORC\_17 e ORC\_18

Parametro	Unità di misura	ORC_18
BMP <sub>45</sub>	(ml gas)	201
SGP	(m <sup>3</sup> /Kg TVS)	0.062
CH <sub>4</sub>	(%)	45.1

Anche le analisi biologiche anaerobiche confermano la completa stabilizzazione del campione: infatti, i valori di produzione di BMP<sub>45</sub> risulta essere molto basso (201 ml in 45 giorni di analisi), così come l'SGP. Il risultato del CH<sub>4</sub> invece, convalida la fase della discarica, poiché una discarica in fase metanigena stabile produce del biogas con circa 45% - 50% di metano; tale biogas però è prodotto in quantità molto bassa. I risultati delle analisi anaerobiche sono presenti in Fig. 6.31.

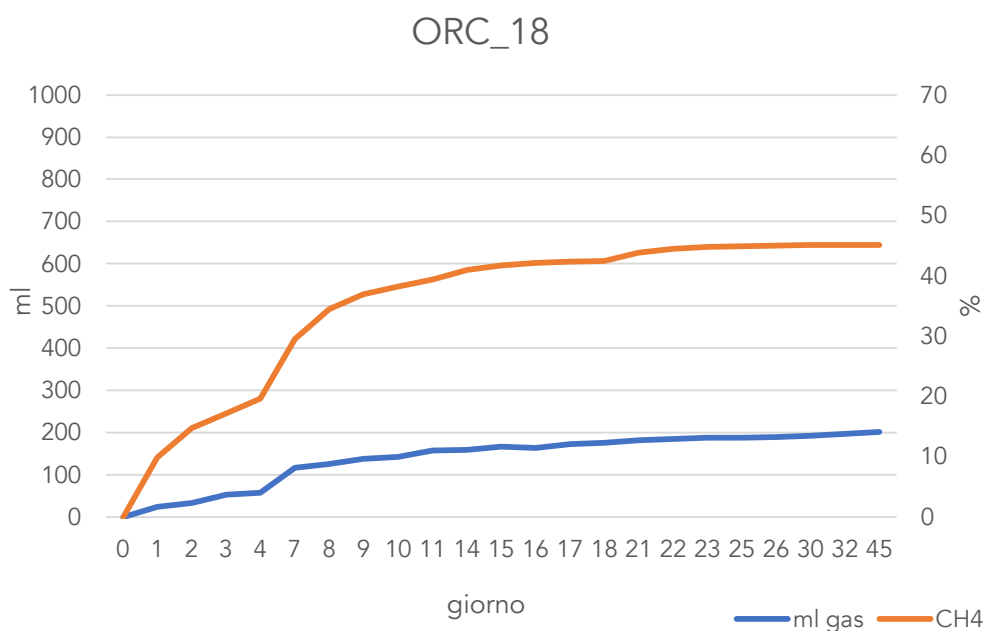


Fig. 6.30: risultati BMP campione ORC\_18

Dal grafico si può osservare come l'andamento dell'analisi BMP<sub>45</sub> sia prevalentemente costituita da tre fasi:

- Una *fase di latenza*, della durata di qualche giorno, all'interno della quale l'inoculo con il campione all'interno sono in una condizione di stabilità.
- Una *fase di attivazione*, nella quale le strutture della matrice iniziano ad essere biodegradate dai microorganismi presenti nell'inoculo; in questa fase si hanno le maggiori produzioni di biogas.
- Una *fase stazionaria*, nella quale la curva di produzione di biogas raggiunge il *plateau*.

La seconda linea rappresenta la percentuale di metano presente all'interno del biogas prodotto; anche in questo caso, l'andamento è molto simile a quello della produzione di biogas con il raggiungimento di un *plateau*, nel quale la percentuale diviene costante nel tempo.

Dal grafico in Fig. 6.30 si può osservare come, anche il campione di rifiuto riesumato triturato, rispetti queste tre fasi ma che la produzione di biogas nel corso dell'intera analisi, della durata di 45 giorni, non sia paragonabile ad un campione con all'interno materia biodegradabile. Di conseguenza, l'analisi del BMP<sub>45</sub> conferma quanto già l'analisi IRDP aveva dimostrato.

Nonostante i risultati delle analisi biologiche anaerobiche portino alla conclusione che il campione è completamente stabilizzato, si può, anche in questo caso, notare come i valori ottenuti sul triturato siano "maggiori" rispetto a quelli ottenuti nelle stesse analisi dagli altri campioni (sottovaglio e sopravaglio), osservando la Tab. 6.7; questo può essere dato da un maggiore contenuto di frazioni come la carta, la quale è biologicamente più accessibile da parte dei microorganismi, o dalla presenza di frazioni organiche o legnocellulose, di scarsa entità, aggredibili da parte dei batteri metanigeni.

Si può notare come, in generale, i risultati ottenuti sia dalle analisi di caratterizzazione di base, sia da quelle chimiche e sia da quelle biologiche confermino che il campione di rifiuto tal quale e triturato riesumato dalla discarica sita in Provincia di Verona sia totalmente stabilizzato.

### **Sopravaglio e sottovaglio**

Il campione tal quale è stato anche pre - trattato con la vagliatura, definendo quindi due nuovi sottocampioni: il sopravaglio e il sottovaglio.

Il sottovaglio, da una prima analisi, appariva prevalentemente formato da terra e da residui organici, mentre per il sopravaglio è stato sottoposto ad analisi merceologica, in modo da definire il quantitativo delle varie frazioni al suo interno. I risultati di questa analisi sul sopravaglio viene descritta in Tab. 6.13.

Tab. 6.13: analisi merceologica sul campione di sopravaglio

<b>Tipologia</b>	<b>%</b>
Carta	15.9
Inerti	8.4
Legno	5.2
Materiale organico (residui organici)	7.8
Metalli	5.7
Pannolini	1.6
Plastica	32.7
Tetrapack	0.8
Tessili	15.6
Vetro	6.3
<b>Totale</b>	<b>100</b>

Dall'analisi merceologica del sopravaglio proposta in Tab. 6.13 si può notare come la frazione più elevata sia quella della plastica, seguita da quella della carta e dei tessili, tutte frazioni che aumentano il quantitativo di carbonio all'interno della matrice ma che, a causa delle dimensioni e delle strutture, sono molto difficili da degradare nel tempo. Già da questa analisi è stato possibile osservare l'elevato grado di diversità tra le due frazioni ottenute dal pre-trattamento di vagliatura.

Oltre all'analisi merceologica, anche le prime analisi di caratterizzazione evidenziano la notevole differenza tra queste due frazioni; in Tab. 6.14 sono presentati i risultati sui parametri di base.

Tab. 6.14: caratterizzazione di base sottovaglio e sopravaglio

<b>Parametro</b>	<b>ORC_15 (Sottovaglio)</b>	<b>ORC_16 (Sopravaglio)</b>	<b>Coefficiente di variazione (%)</b>
Umidità (%)	29.6	36.4	<b>18.7</b>
pH	8.6	8.6	<b>0</b>
Solidi volatili (%)	16.2	57.9	<b>72</b>
Solidi totali (%)	70.4	63.6	<b>9.6</b>

Dalle analisi presentate in Fig. 6.14, si può osservare che il valore di pH (8.6) sia identico per entrambe le frazioni; l'umidità del sopravaglio, invece, è superiore rispetto a quella del sottovaglio, poiché alcuni materiali al suo interno, quali i tessili, hanno mantenuto al loro interno più acqua.

I solidi totali tra le due frazioni sono molto simili mentre, a variare di molto, sono i solidi volatili, i quali possono fornire importanti informazioni sul contenuto di sostanza organica all'interno del campione: il sottovaglio contiene solo il 16.2% rispetto al sopravaglio, che ne contiene il 57.9%, con una variazione del 72% tra le due frazioni.

Già da queste prime analisi, la merceologica e di caratterizzazione di base, si può, quindi, evidenziare una differenza tra i valori riscontrati nei parametri osservati e, di conseguenza, una diversità tra i due sottocampioni; il sottovaglio, inoltre, possiede delle caratteristiche che di solito si trovano su una matrice terrosa.

Successivamente i due campioni, per esigenze di analisi, sono stati macinati a 0.5 mm e a 0.4. I risultati di queste analisi chimiche sono elencate in Tab. 6.15.

Tab. 6.15: risultati analisi chimiche su sottovaglio e sopravaglio

Parametro	Unità di misura	ORC_15	ORC_16	Coefficiente di variazione (%)
TEC	(% s.s.)	2	-	-
HA-FA	(% s.s.)	1.2	1.6	<b>25</b>
TOC	(% s.s.)	7.7	23.8	<b>67.7</b>
Ceneri	(%)	83.86	52.73	<b>37.1</b>
COD	(g/kg secco)	271.14	375.24	<b>23</b>
P <sub>TOT</sub>	(g/kg secco)	7.99	4.85	<b>39</b>
TKN	(g/Kg secco)	11.95	23.41	<b>49</b>

Dal confronto dei risultati ottenuti dalle analisi chimiche sul sottovaglio e sul sopravaglio (Tab. 6.15) si può affermare come queste due frazioni siano effettivamente molto diverse.

Il valore di COD, indicativo della presenza della sostanza organica all'interno di un campione, nel sottovaglio è molto più basso rispetto a quello del sopravaglio: infatti, la differenza tra le due frazioni è del 23%, a significare che le frazioni più fini del sottovaglio sono state degradate, mentre quelle di più grandi dimensioni, e di più difficile biodegradabilità, sono riunite nel sopravaglio.

Questo viene confermato anche dal valore del TOC, dove la differenza tra i due sottocampioni è ancora più evidente: il valore di TOC del sottovaglio è del 7%, un valore molto basso se paragonato al 23.8% per sopravaglio, con una variazione tra le due frazioni del 67.7%.

Il sopravaglio, infatti, possiede un contenuto maggiore di carbonio dato dalla frazione della carta, dei tessili, del legno e della plastica, che, possedendo delle dimensioni elevate, sono rimaste al di sopra della griglia di vagliatura: queste frazioni costituiscono ben il 70% del sopravaglio.

Questi due dati, COD e TOC, evidenziano come il sottovaglio contenga pochissimo carbonio e pochissimo materiale organico, risultando, quindi, prevalentemente inorganico; ciò è legato al fatto che la vagliatura divide il campione in due frazioni volumetriche: una sarà di grandi dimensioni e la seconda di piccole dimensioni.

I valori ottenuti per il sottovaglio sono riconducibili a quelli che si ottengono dall'analisi di terra; questa affermazione può essere facilmente motivata, poiché ogni giorno, quando la discarica era attiva, il cumulo di rifiuti veniva coperto con uno strato di terra e sassi. Inoltre, l'operazione di riesumazione ha mescolato il rifiuto con la terra presente nel sito della discarica.

Infatti, la percentuale di ceneri di questo campione si attesta 83.9%, di molto maggiore rispetto ai risultati ottenuti sul sopravaglio (52.7%) e sul triturato (65%). Quindi il sottovaglio è ciò che resta di quella copertura giornaliera, e i suoi risultati sono conformi a quelli ottenibili dall'analisi di campioni di terra.

Ciò che è rimasto nel sopravaglio è costituito da tutte le frazioni che aumentano il contenuto di carbonio (plastica, carta, legno, tessuti) mentre nel sottovaglio questo non si è verificato. Inoltre, il sottovaglio è costituito da una componente molto fine, che nel corso degli anni ha reagito molto velocemente e che si è andata a degradare molto rapidamente, rispetto a quella del sopravaglio.

Il sopravaglio, invece, possiede una matrice contenente più materia organica e, al suo interno, possiede materiali potenzialmente biodegradabili; questi materiali oramai, dal punto di vista biologico, non sono rapidamente degradabili, e, come tali, non possono generare impatti quali biogas o acidificazione del percolato.

Si può, quindi, attraverso le analisi chimiche, definire il sopravaglio e il sottovaglio due frazioni completamente stabilizzate; inoltre, si può osservare come il pre-trattamento di vagliatura, confermato dall'analisi merceologica, abbia modificato di molto le caratteristiche del sottovaglio e del sopravaglio, i quali appaiono molto differenti tra di loro e, soprattutto nel caso del sottovaglio, non più rappresentativi delle caratteristiche del rifiuto tale e quale.

La completa stabilizzazione di queste due sottocategorie vengono confermate anche dalle analisi biologiche aerobiche e anaerobiche, costituite dall'IRDP e dal BMP.

L'analisi IRPD sul sottovaglio (ORC\_15) e sul sopravaglio (ORC\_16) ha dato come risultati quelli in tabella 6.16.



Tab. 6.16: valore massimo IRDP e  $\Delta T$  del sottovaglio e sopravaglio

Codice	IRDP max (mg-O <sub>2</sub> *Kg-SV <sup>-1</sup> *h <sup>-1</sup> )	$\Delta T_{IN-OUT}$ max (°C)
ORC_15	93.4	6.37
ORC_16	80.27	5.7

I valori di IRPD ottenuti sul sottovaglio e sul sopravaglio confermano la stabilizzazione biologica di queste due frazioni, così come lo era per il rifiuto tal quale e per quello triturato. Anche i valori di temperatura indicano una totale assenza di attività biologica all'interno dei campioni.

La rappresentazione grafica di Fig. 6.31 e 6.32 descrive i comportamenti del sottovaglio e del sopravaglio.

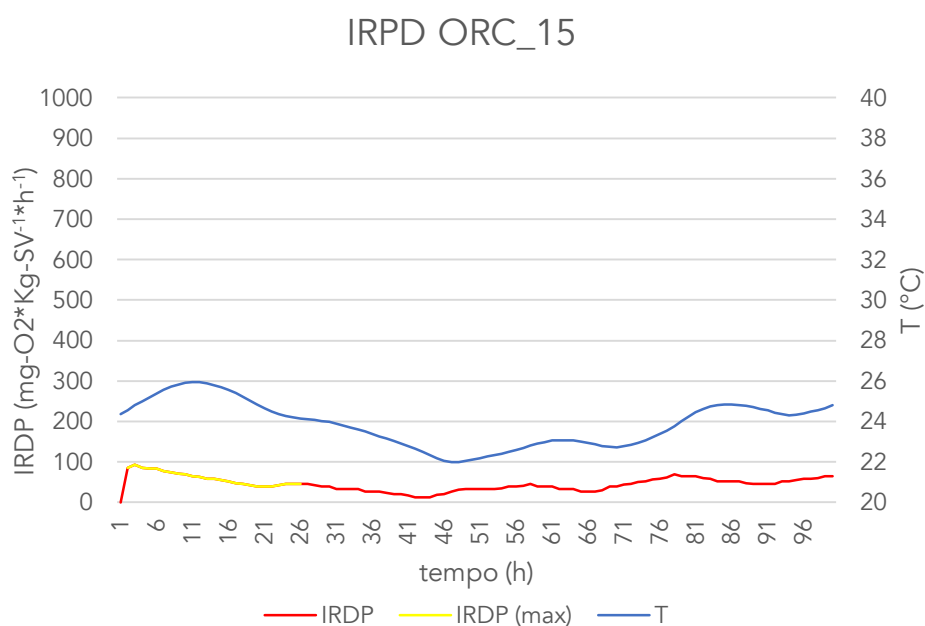


Fig. 6.31: andamento dell'IRDP e della temperatura del campione ORC\_15 (sottovaglio)

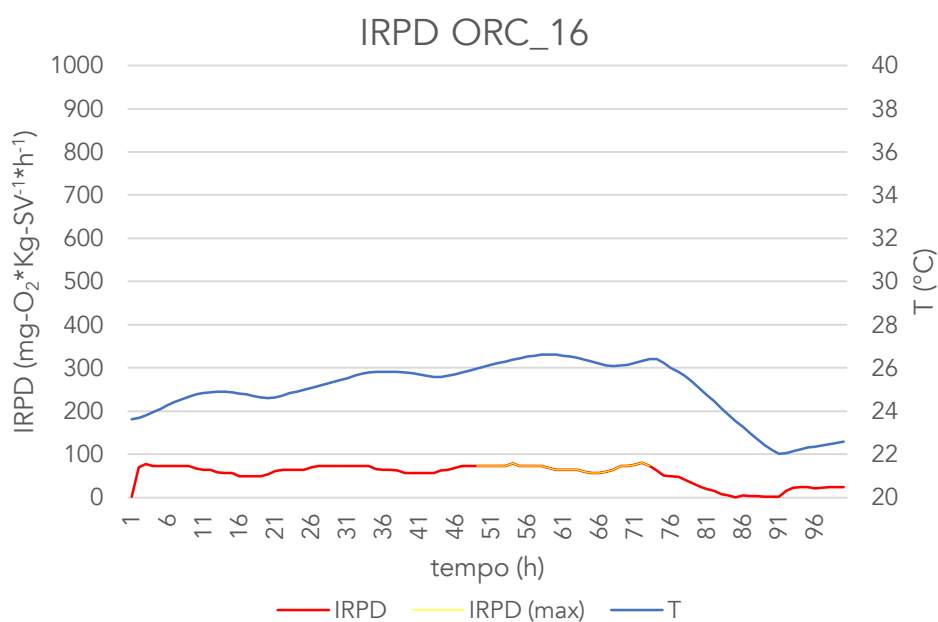


Fig. 6.32: andamento dell'IRPD e della temperatura del campione ORC\_16 (sopravaglio)

I grafici dimostrano come i risultati dell'IRPD per sottovaglio e sopravaglio siano caratterizzati dalla totale assenza di attività microbiologica in condizioni aerobiche e che, quindi, anche queste frazioni sono stabilizzate.

Anche i risultati delle analisi anaerobiche del BMP, presentate in Tab. 6.17, confermano quanto stabilito da quelle aerobiche.

Tab. 6.17: risultati BMP<sub>45</sub>, SGP e CH<sub>4</sub> del campione ORC\_15 e ORC\_16

Parametro	Unità di misura	ORC_15	ORC_16
BMP <sub>45</sub>	(ml gas)	131	159.5
SGP	(m <sup>3</sup> /Kg TVS)	0.037	0.041
CH <sub>4</sub>	(%)	39.7	42.2

Dai risultati di queste analisi si può notare come il sottovaglio sia la frazione che ha ottenuto i valori più bassi di tutte le analisi, confermando che effettivamente si tratti di terra o di una matrice prevalentemente inorganica.

I valori del sopravvaliglio sono relativamente più alti, ma anch'essi sono in linea con un rifiuto totalmente stabilizzato biologicamente. La rappresentazione grafica di questi risultati è presentata in Fig. 6.33.

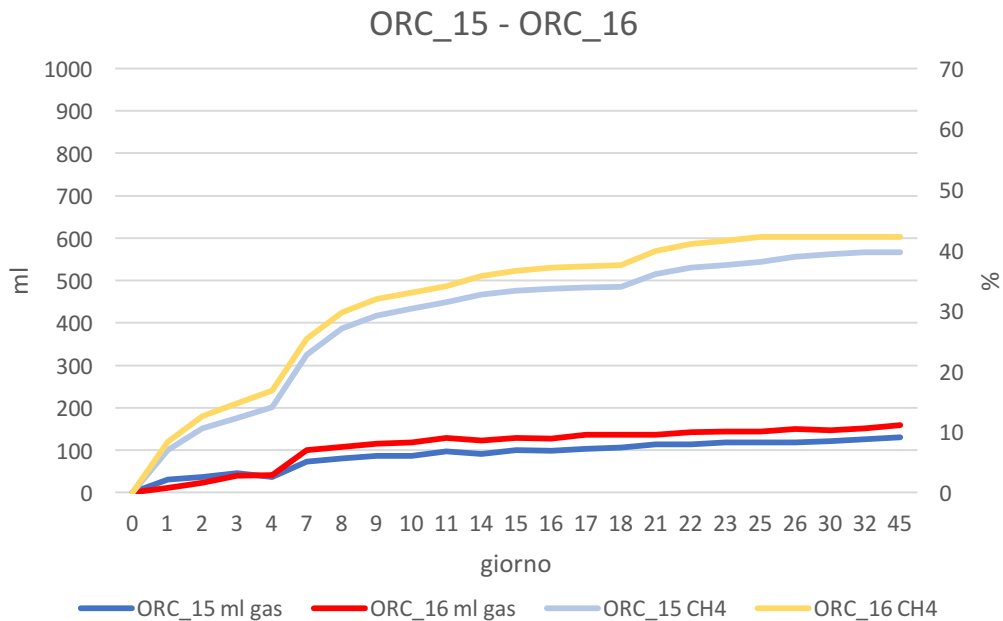


Fig. 6.30: risultati BMP campione ORC\_15 e ORC\_16

Anche in questo caso, sia la curva del sottovaglio sia quella del sopravvaliglio hanno un andamento tipico, sia per quanto riguarda la produzione di biogas che di CH<sub>4</sub>, con una fase di latenza, una di attivazione e una in cui la curva ha un andamento costante, raggiungendo il *plateau*.

Dalle analisi BMP<sub>45</sub> su queste due sottocategorie si può osservare che il quantitativo di biogas prodotto è tale da ritenere il campione completamente stabilizzato; anche il CH<sub>4</sub> del biogas prodotto dal sottovaglio e dal sopravvaliglio, conferma la fase metanigena stabile della discarica.

In conclusione, dai risultati ottenuti dal sopravvaliglio e dal sottovaglio, emerge come queste due frazioni siano completamente diverse tra di loro e, cosa ancora più importante, entrambe lo siano anche nei confronti del rifiuto tale e quale.

La vagliatura, infatti, ha portato a due frazioni dalle caratteristiche molto diverse e, soprattutto le analisi di base e chimiche, lo hanno confermato,

soprattutto per i valori di COD e TOC, i quali appaiono molto maggiori del sopravaglio rispetto al sottovaglio. Il quantitativo di carbonio però, se venissero considerate queste due frazioni solamente verrebbe quindi sovrastimato, nel caso del sopravaglio, e sottostimata, nel caso del sottovaglio, rispetto al quantitativo di carbonio presente nel rifiuto tal quale (o triturato).

Dall'analisi di questi campioni, emerge come, in questo caso, non vi sia una sostanziale differenza tra le analisi biologiche e chimiche: entrambe definiscono il campione totalmente stabilizzato.

Le analisi biologiche, quindi, nel caso di questo campione, totalmente stabilizzato dal lungo deposito in discarica, non forniscono più informazioni rispetto alle analisi chimiche, limitandosi a confermare quanto già stabilito da quest'ultime.

I parametri importanti per quantificare gli impatti dei rifiuti all'interno di una discarica, quali COD, TOC, IRDP e BMP<sub>45</sub>, nel caso di un rifiuto che ha già esaurito la sua biodegradabilità, non variando tra di loro, non permettono un confronto.

Il discorso potrebbe essere molto diverso nel caso si volesse analizzare un rifiuto "fresco", appena conferito all'interno di una discarica; in quel caso, le analisi biologiche potrebbero rivelarsi essenziali per comprendere il comportamento del rifiuto nel corso del suo collocamento in discarica e, unitamente a quelle chimiche, potrebbero caratterizzare al meglio una tipologia di rifiuto.

Anche le operazioni di pre-trattamento, nei rifiuti freschi, potrebbero avere un'influenza maggiore rispetto a quanto osservato in quelli completamente stabilizzati.

La tipologia di pre-trattamento potrebbe assumere un'elevata importanza, in termini di impatti: come visto, la vagliatura modifica di molto le caratteristiche delle due frazioni che genera, e questo potrebbe generare delle notevoli differenze sui parametri che indicano gli impatti.

Una differenza così elevata tra il COD e TOC tra il sopravaglio e il sottovaglio di un campione fresco potrebbe rivelarsi un problema in termini di smaltimento.

La triturazione appare il pre-trattamento migliore poiché mantiene invariate le caratteristiche del rifiuto e, in sede di analisi di base, chimiche e

biologiche, potrebbe dare informazioni più veritiere sul comportamento del rifiuto rispetto a quelle ottenibili dalle frazioni generate dall'operazione di vagliatura.

### ***Influenza della plastica sui risultati***

Successivamente alle analisi sui campioni di tal quale, triturato, sottovaglio e sopravaglio, sulla base delle analisi merceologiche, che evidenziava come la plastica fosse tra le frazioni più presenti, si è deciso di eliminarla dai vari sottocampioni, e verificare, se ci fosse una variazione dei risultati.

Anche in questo caso non è stato considerato il tal quale, in quanto la complessità della matrice non ha permesso la sua macinazione.

Le analisi effettuate sui campioni di sottovaglio, sopravaglio e triturato e i risultati ottenuti vengono presentati in Tab. 6.18.

Tab. 6.18: risultati analisi campioni con e senza la frazione della plastica

Parametri		TEC	HA-FA	TOC	CENERI	COD	P <sub>TOT</sub>	TKN
Campioni		% s.s.	% s.s.	% s.s.	%	g/Kg di secco	g/kg di secco	g/kg di secco
ORC	15 (plastica)	2	1.2	7.7	83.86	271.14	7.99	11.95
	15' (no plastica)	2.1	1.5	7.84	83.51	268.31	8.38	16.15
ORC	16 (plastica)	-	1.6	23.8	52.73	375.24	4.85	23.41
	16' (no plastica)	3.5	1.6	18	58.68	393.23	6.12	23.07
ORC	18 (plastica)	2.9	1.5	19	65.23	344.71	2.47	14.82
	18' (no plastica)	2.2	1.3	9.42	80.12	229.21	5.66	18.57

Per quanto riguarda il campione triturato, questo presenta le più grandi variazioni tra le analisi in cui la plastica era presente e in quelle in cui era stata sottratta; queste variazioni sono presenti in Tab. 6.18.

Tab. 6.18: risultati sui campioni ORC\_18 (triturato con plastica) e ORC\_18' (triturato senza plastica)

Parametri	ORC_18 (triturato con plastica)	ORC_18' (triturato senza plastica)	Coefficiente di variabilità (%)
COD (g/kg di secco)	344.71	229.21	<b>33.5</b>
TOC (% s.s.)	19	9.42	<b>52.6</b>
Ceneri (%)	65.23	80.12	<b>18.6</b>
TEC (% s.s.)	2.9	2.2	<b>24</b>
HA-FA (% s.s.)	1.5	1.3	<b>13.3</b>
P <sub>TOT</sub> (g/Kg di secco)	2.47	14.82	<b>83.3</b>
TKN (g/Kg di secco)	5.66	18.57	<b>69.5</b>

Dai risultati ottenuti nel triturato appare evidente come i valori di COD e TOC siano maggiori nei campioni con la plastica, rispetto a quelli senza; infatti, il TOC del triturato ha un valore del 20% circa, ad indicare un campione ricco di sostanza organica, ma il 9% è rappresentato dalla plastica, la quale, non subendo l'attacco dei microorganismi, non può essere considerata biodegradabile o tanto meno fermentescibile. Il restante carbonio, come visto dall'analisi merceologica sul tal quale, potrebbe essere costituito dalla frazione della carta, del legno e dei tessili, che rappresentano il 24% totale delle frazioni nel rifiuto riesumato.

Lo stesso discorso può essere valido anche per i valori ottenuti per il COD, il quale è superiore nel campione contenente plastica rispetto a quello in cui la plastica è assente.

Questo avviene poiché i parametri ricercano il contenuto di carbonio di un campione, senza essere in grado di distinguere tra quello organico e quello inorganico: di conseguenza, un'elevata presenza di plastica potrebbe portare ad un risultato elevato di questi due parametri, anche se al loro interno la frazione putrescibile o biodegradabile è relativamente bassa, così come evidenziato dalle analisi biologiche.

Nei campioni di triturato, infine, vi è una notevole variazione anche nelle concentrazioni dei nutrienti, come l'azoto e il carbonio: il campione triturato senza plastica ha un contenuto di nutrienti molto maggiore, rispetto a quello con la plastica.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti dal sopravaglio, questi sono presenti in Tab. 6.19 e discussi successivamente.

Tab. 6.19: risultati sui campioni ORC\_16 (sopravaglio con plastica) e ORC\_16' (sopravaglio senza plastica)

Parametri	ORC_16 (sopravaglio con plastica)	ORC_16' (sopravaglio senza plastica)	Coefficiente di variabilità (%)
COD (g/kg di secco)	375.24	393.23	<b>4.6</b>
TOC (% s.s.)	23.8	18	<b>24.4</b>
Ceneri (%)	52.73	58.68	<b>10.1</b>
TEC (% s.s.)	-	3.5	-
HA-FA (% s.s.)	1.6	1.6	<b>0</b>
P <sub>TOT</sub> (g/Kg di secco)	4.85	6.12	<b>20.8</b>
TKN (g/Kg di secco)	23.41	23.07	<b>1.4</b>



Dai risultati si evince come il sopravaglio sia una frazione molto eterogenea e complessa nella sua composizione.

Il TOC del sopravaglio con plastica e senza plastica rimane molto elevato in entrambi i casi, ma, come evidenziato nelle analisi, questo dato non può essere considerato totalmente affidabile, poiché la vagliatura ha generato due frazioni completamente diverse rispetto al rifiuto tale e quale. Infatti, come si può osservare dalla Tab. 6.18, ad un sopravaglio dal più alto contenuto di carbonio organico (23.8% con plastica e 18% senza plastica) si accompagna un sottovaglio dal più basso contenuto di carbonio organico (7.7 con plastica e 7.84 senza plastica).

Questa complessità è evidente nell'analisi del COD, il quale appare superiore nel sottocampione in cui la frazione della plastica era stata sottratta; sicuramente questo valore è stato aumentato dalle restanti frazioni, quali carta, tessili e legno.

Vi sono discordanze anche nel contenuto dei nutrienti: infatti, se per quanto riguarda il contenuto di azoto non vi siano elevate variazioni (1.4% di variazione) tra il sopravaglio contenente plastica e quello in cui questa frazione è assente, vi sono elevate diversità e fluttuazioni nel contenuto di fosforo, con una variabilità del 20.8% a favore del sottocampione senza plastica.

Come si può osservare, quindi, la vagliatura ha generato un sopravaglio dalle caratteristiche molto variabili e non caratterizzante al meglio il rifiuto tal quale, soprattutto se comparato al corrispettivo sottovaglio.

I risultati del sottovaglio sono presenti nella seguente tabella 6.20.

Tab. 6.20: risultati sui campioni ORC\_15 (sottovaglio con plastica) e ORC\_15' (sottovaglio senza plastica)

Parametri	ORC_15 (sottovaglio con plastica)	ORC_15' (sottovaglio senza plastica)	Coefficiente di variabilità (%)
COD (g/kg di secco)	271.14	268.31	1.0
TOC (% s.s.)	7.7	7.84	1.9
Ceneri (%)	83.86	83.51	0.4
TEC (% s.s.)	2	2.1	4.7
HA-FA (% s.s.)	1.2	1.5	20
P <sub>TOT</sub> (g/Kg di secco)	7.99	8.38	4.7
TKN (g/Kg di secco)	11.95	16.15	26

Dalle analisi del sottovaglio si può confermare che questo sia prevalentemente costituito da una matrice terrosa e che, in questo caso, l'impatto della plastica sia praticamente nullo.

Questo può essere spiegato sicuramente dal fatto che la vagliatura ha mantenuto la plastica nella frazione del sopravaglio, poiché questa, molto spesso, ha dimensioni maggiori rispetto ai 20mm della griglia della vagliatura.

Questi risultati evidenziano la totale assenza di composti organici all'interno di questa sottocategoria, spiegabili anche da un elevato contenuto di ceneri (84%). Inoltre, se questi risultati vengono rapportati con quelli ottenuti dal sopravaglio, confermano che queste due frazioni sono state completamente trasformate dall'operazione di pre-trattamento della vagliatura.

I campioni sono stati sottoposti anche all'analisi del BMP<sub>45</sub>, al fine di verificare l'influenza della plastica sulla degradazione anaerobica dei batteri metanigeni; risultati sono presentati in tabella 6.21.

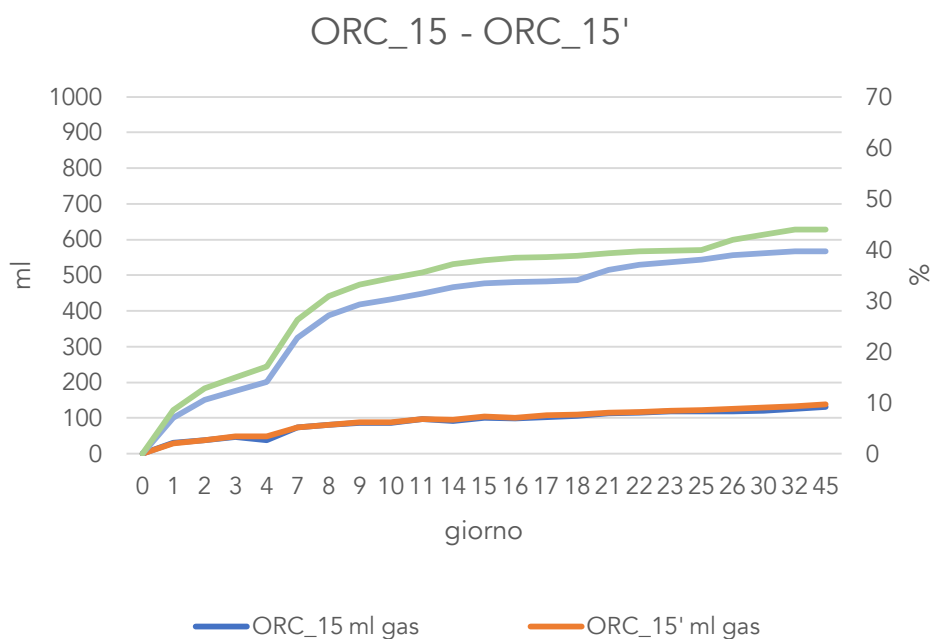
Tab. 6.21: risultati BMP<sub>45</sub>, SGP e CH<sub>4</sub> sui campioni

Parametri		BMP <sub>45</sub>	SGP	CH <sub>4</sub>
Campioni		ml gas	m <sup>3</sup> /Kg TVS	%
Sottovaglio	ORC_15	131	0.037	39.7
	ORC_15'	138.5	0.039	43.9
Sopravaglio	ORC_16	159.5	0.041	42.2
	ORC_16'	148	0.038	47.9
Triturato	ORC_18	201	0.062	45.1
	ORC_18'	148.5	0.045	45.3

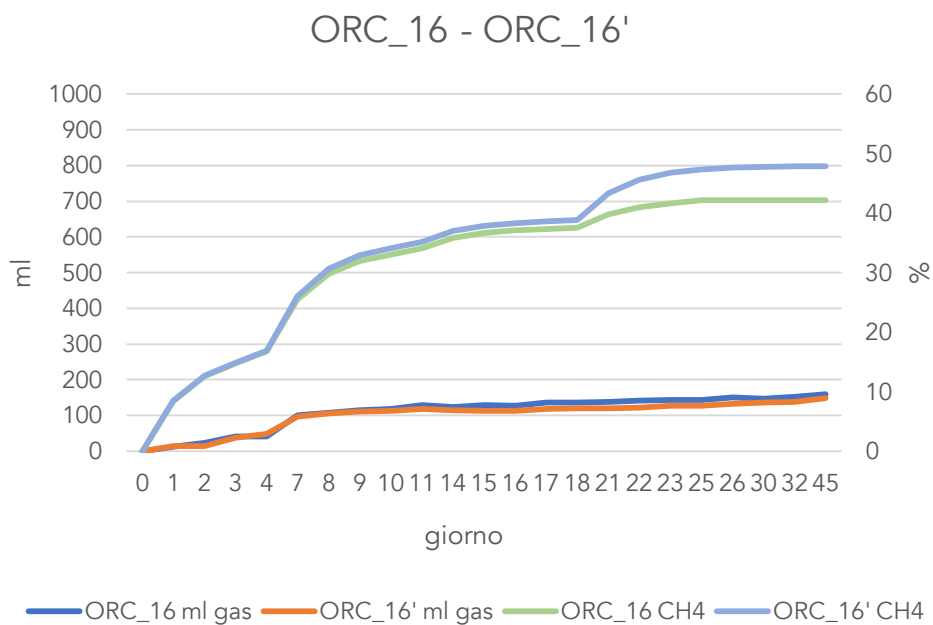
Dai risultati ottenuti e presentati in tabella 6.14 si può osservare come l'attività anaerobica dei campioni senza plastica sia molto bassa, ad evidenziare, anche in questo caso, un rifiuto totalmente stabilizzato e confrontabile con quello in cui la plastica è presente.

Il triturato senza plastica continua ad avere una produzione di biogas e un SGP lievemente superiore rispetto al sottovaglio e il sopravaglio, comunque all'interno del range di variabilità analitica del metodo. Si può, infine, notare che il contenuto di CH<sub>4</sub> nei campioni senza plastica sia, in tutti i casi, maggiore rispetto ai campioni in cui è presente la plastica.

La rappresentazione grafica del comportamento dei campioni di rifiuti riesumato con e senza plastica vengono presentati in Fig. 6.31, 6.32 e 6.33.



*Fig. 6.30: risultati BMP campione ORC\_15 e ORC\_15'*



*Fig. 6.31: risultati BMP campione ORC\_16 e ORC\_16'*

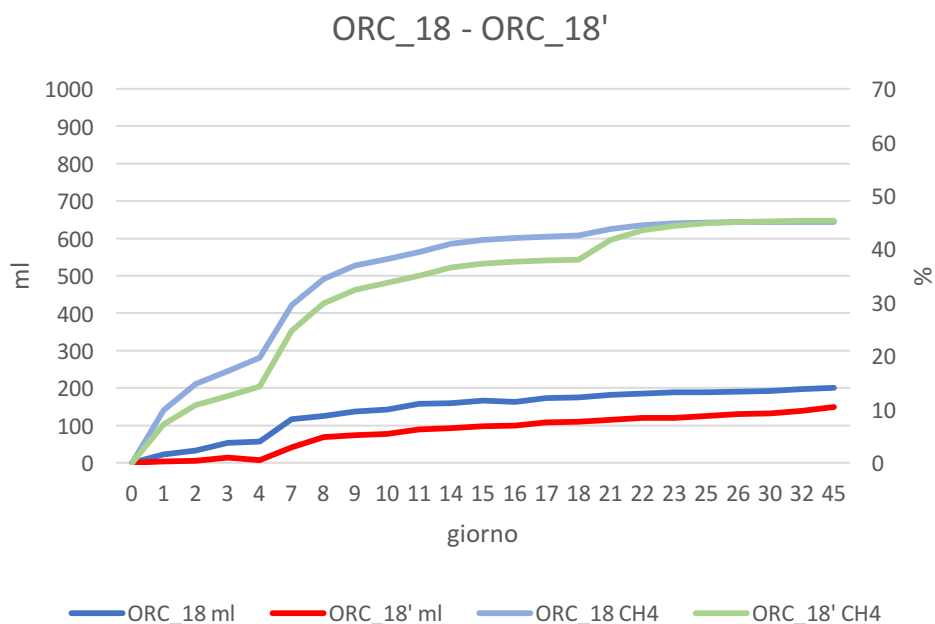


Fig. 6.32: risultati BMP campione ORC\_18 e ORC\_18'

Dai grafici degli andamenti dei campioni è evidente come non si siano relative differenze; la presenza o l'assenza della plastica non comporta variazioni delle curve. Questo sicuramente è legato all'elevato tempo di biodegradazione della plastica e alla totale stabilizzazione biologica raggiunta dal rifiuto riesumato.

## OSSERVAZIONI DI SINTESI ANALISI SPERIMENTALI

Nel corso del lavoro di tesi sono state analizzate le caratteristiche chimico, fisiche e biologiche di un campione di rifiuto prelevato da una discarica di rifiuti urbani esaurita all'interno della Provincia di Verona. Il gestore è dovuto ricorrere alla riesumazione poiché, a causa della mancanza di uno strato impermeabilizzato del fondo, il percolato è fuoriuscito alterando alcuni parametri della falda sottostante.

I risultati di tali analisi, oltre a confermare la totale stabilizzazione del rifiuto riesumato, hanno permesso di analizzare i vari parametri utilizzati e di verificarne la variabilità a seconda del pre-trattamento dei rifiuti. Infine, è stato valutato l'impatto della plastica sui risultati dei campioni.

Dalle analisi è emerso come i campioni di tal quale e triturato siano molto simili tra di loro e, invece, come i campioni di sottovaglio e sopravaglio tra di loro siano molto diversi. Soprattutto se si confronta il sottovaglio con il rifiuto triturato appare evidente come le due frazioni siano completamente differenti tra di loro: una, il sottovaglio, per caratteristiche, si avvicina molto di più ad una matrice terrosa rispetto al triturato, che a tutti gli effetti rappresenta il rifiuto campionato, mentre l'altra, il sopravaglio, aumenta di molto il proprio contenuto di carbonio organico, a causa della presenza di molte frazioni, quali plastica, carta, tessili e legno, che contribuiscono per il 70% sulla composizione totale, andando a sovrastimare i valori di TOC e COD.

Proprio questo aspetto è molto importante, poiché, la vagliatura tende a modificare di molto la natura e la composizione delle frazioni, allontanando il campione rispetto alla sua origine, viceversa, la triturazione, ne mantiene inalterate le caratteristiche di partenza.

Inoltre, dal punto di vista biologico, seppur le analisi abbiano dato anche in questo caso un risultato di totale stabilità, si è intravisto nel triturato qualche attività maggiore, sempre all'interno del limite di variabilità analitica del metodo, rispetto alle altre frazioni del campione, dimostrando come queste due analisi, seppur su un rifiuto totalmente stabilizzato, possono risultare importanti nel caso di una analisi su un rifiuto "fresco".

Le analisi sul TOC e il COD dei campioni con plastica e, successivamente senza plastica, hanno permesso di fare qualche considerazione in più.

Queste analisi chimiche sono indispensabili per la caratterizzazione di un rifiuto in ingresso in una discarica, definendone il contenuto di carbonio organico. Tali analisi sono standardizzate (norme UNI e AMPA) e già presenti all'interno delle normative europee e nazionali; quindi, i risultati sono da ritenersi molto validi e soprattutto confrontabili tra di loro.

Il limite di queste analisi risiede appunto nella loro forza: esse individuano il contenuto di tutto carbonio organico all'interno di un campione

ma non riescono a dare informazioni sul grado di biodegradabilità o fermentescibilità di questo carbonio.

Dall'analisi merceologica, inoltre, si è constatato che la maggior parte del carbonio organico può derivare da frazioni come la plastica, la carta e i tessuti, che, dal punto di vista biodegradativo, a parte la carta in situazioni favorevoli, non sono facilmente biodegradabili.

Come visto nei capitoli precedenti, gli impatti all'interno di una discarica sono prevalentemente generati dalla degradazione della sostanza organica fermentescibile, la quale genera emissioni di biogas e percolato che, se fuoriesce dalle barriere contenitive, può generare inquinamenti nelle acque sotterranee e nelle falde acquifere.

Le analisi del TOC e del COD quindi, non riescono a discriminare quale sia la frazione di carbonio organico biodegradabile all'interno di un campione di rifiuto.

Da qui sorge la necessità di affiancare a queste analisi chimiche delle analisi respirometriche in grado di aiutare a comprendere il comportamento del campione dal punto di vista biodegradativo: queste analisi possono essere rappresentate dalle analisi biologiche, in modo più specifico dall'IRDP e dal BMP.

I test biologici permettono, infatti, di comprendere quali sono le frazioni più rapidamente fermentescibili e quali invece, pur innalzando il carbonio organico, non lo sono o lo sono scarsamente.

Accompagnare queste analisi a quelle chimiche potrebbe permettere una caratterizzazione maggiore del campione, anche dal punto di vista del suo comportamento biologico.

L'IRDP viene già utilizzato, in Italia, su una serie di categorie di rifiuti, cioè quelle ritenute più fermentescibili; la Linea Guida ISPRA si pone come obiettivo quello di allargare tale analisi per più categorie di rifiuti, cioè quelle a base organica lentamente biodegradabile, come visto precedentemente.

Infatti, tra le varie frazioni, vi sono anche quelle che, pur essendo attive sono molto difficili da biodegradare o che richiedono delle condizioni particolari: per esempio la plastica, il legno, la carta e i tessuti.

Da qui, emerge come vi sia la necessità di introdurre un secondo indice biologico, che considera delle condizioni anaerobiche, il BMP; tale analisi potrebbe permettere di valutare il grado di biodegradabilità di queste

frazioni. Infatti, per esempio, il risultato delle matrici contenenti cellulosa nell'IRPD non danno risultato, in quanto la struttura della cellulosa stessa è difficile da degradare, mentre nel BMP, questa stessa matrice, dà un considerevole risultato biodegradativo.

Inoltre, il BMP dovrebbe essere considerato poiché una discarica, per la maggior parte della sua vita, è in condizioni anaerobiche e la degradazione dei composti avviene in quelle condizioni.

In conclusione, quindi, si può ritenere che il rifiuto riesumato dalla discarica esaurita sita in Provincia di Verona sia completamente stabilizzato; in questo caso, le sole analisi di base e chimiche sono bastate per confermarlo. Le analisi biologiche, quindi, non hanno aggiunto nessuna nuova informazione.

Dalle analisi su questo campione, risulta che questo sia poco indicativo però per valutare il grado di importanza delle analisi biologiche su un rifiuto. Infatti, se il rifiuto fosse "fresco", alla caratterizzazione chimica andrebbe accompagnata anche quella biologica, in ambiente aerobico e anaerobico, in modo tale da comprendere l'evoluzione che questo rifiuto potrà avere all'interno di una discarica.

Anche per quanto riguarda i pre-trattamenti, si potrebbero osservare maggiori differenze sui rifiuti freschi, rispetto al campione di rifiuto riesumato ormai stabilizzato. Questi potrebbero assumere un'elevata importanza, soprattutto in termini di impatti generati.

La vagliatura appare come un pre-trattamento che modifica di molto le due frazioni che va a generare: il sottovaglio e il sopravaglio. Questo, nelle analisi potrebbe generare sovrastime o sottostime nella valutazione dei parametri ottenuti da queste due frazioni, rispetto a quelle ottenibili su un campione originale o triturato.

La triturazione, infatti, dalle analisi ottenute nel campione stabilizzato, appare il pre-trattamento meccanico migliore, in grado di mantenere inalterate le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del rifiuto campionato.



## **CONCLUSIONI**

Una corretta ed efficace gestione dei rifiuti va inquadrata in un più ampio quadro di “sostenibilità ambientale” in termini di conservazione delle risorse e riduzione degli impatti globali. La gestione dei rifiuti, quindi, deve avere come obiettivo generale l’uso razionale e sostenibile delle risorse ed essere impostata seguendo un rigoroso ordine di priorità, definito dalla normativa europea e recepito dalle normative nazionali, che vede la discarica come la destinazione finale della frazione residua, cioè quella che non è più possibile recuperare, riutilizzare o riciclare.

Il deposito in discarica, però, ancora oggi, costituisce uno dei principali metodi di smaltimento dei rifiuti: in Europa la percentuale dei rifiuti conferiti in discarica (dati EUROSTAT – anno 2014) è circa del 30%, in Italia questa percentuale è poco al di sopra del 20%.

La frazione più pericolosa (esclusi i rifiuti speciali, conferiti nelle apposite discariche) è sicuramente rappresentata da quella dei rifiuti indifferenziati.

I rifiuti indifferenziati, infatti, inviati in discarica, specialmente per quanto riguarda quelli solidi urbani, contengono al loro interno una frazione di sostanza organica fermentescibile e biodegradabile, la quale, all’interno di una discarica, subisce dei processi biochimici di degradazione da parte dei microorganismi presenti.

Tali processi portano alla produzione di percolato e di biogas, i quali, se dispersi nell’ambiente, possono causare seri problemi, come visto, di inquinamento alle falde sotterranee, per il percolato, o all’atmosfera, con conseguente aumento dell’effetto serra, per il biogas.

Il problema principale legato a questi processi è la loro durata: infatti, molti di questi continuano per molto tempo dopo la chiusura di una discarica, portando ad una produzione continua di percolato e biogas nel corso degli anni.

Appare fondamentale, quindi, che una discarica sia ideata e costruita in modo tale da mantenere l'isolamento del fondo, dei lati e, quando questa si esaurisce e viene chiusa, anche della copertura finale superficiale; inoltre, essa deve essere fornita di sistemi efficienti di raccolta e captazione di biogas e percolato e duraturi nel tempo. In questo modo, non permettendo la fuoriuscita del percolato e raccogliendo il biogas, gli impatti possono essere abbattuti notevolmente.

Altrettanto importante è cercare di evitare che i rifiuti contenenti elevate quantità di frazione organica putrescibile vengano avviati allo smaltimento in discarica, in modo da evitare che questi possano reagire e generare impatti.

Le varie normative che si sono susseguite nel corso dei decenni hanno migliorato notevolmente i criteri costruttivi e i criteri di ammissibilità dei rifiuti in una discarica, al fine di limitare i rischi per l'uomo e per l'ambiente.

Il problema, però, va ricercato in tutte quelle discariche che sono state realizzate quando, a causa di una mancanza di presa di coscienza sui pericoli generati dallo smaltimento incontrollato dei rifiuti in discarica, le varie normative non contenevano al loro interno criteri costruttivi e di ammissibilità tali da impedire lo svilupparsi di elevate quantità di percolato e biogas e la loro dispersione in ambiente.

All'interno di tutte queste discariche, quindi, a causa dello smaltimento di rifiuti indifferenziati, si sono sviluppati una serie di fenomeni biochimici, a causa della presenza di rifiuti ad elevato grado di putrescibilità, che hanno portato alla generazione di emissioni, le quali sicuramente hanno causato fenomeni di inquinamenti nelle zone circostanti al sito.

Appare, quindi, fondamentale, da una parte riuscire ad individuare l'ubicazione di queste discariche e dall'altra definire criteri di ammissibilità dei rifiuti che considerino l'attività biodegradativa dei rifiuti all'interno del sito nel corso degli anni.

Gli obiettivi che il lavoro di tesi si è prefissato di raggiungere, data la premessa, sono stati diversi:

- Definire una prima stima del quadro regionale delle discariche esaurite.
- Caratterizzazione di un rifiuto indifferenziato riesumato da una discarica esaurita in Provincia di Verona, per verificarne la sua stabilizzazione.

- Giudicare in modo critico il set di parametri scelti per la valutazione del grado di biodegradabilità del campione di rifiuto
- Valutare i pre-trattamenti necessari a preparare un campione di questo tipo.

Il presente lavoro di tesi, allo scopo di definire un il quadro territoriale in Veneto delle discariche esaurite, ha comportato una ricerca, all'interno dei vari archivi di ARPAV, della Regione, delle Provincie, a volte, dei comuni e dei vari enti presenti all'interno del territorio, delle informazioni riguardanti tutte le discariche che sono state attive all'interno del Veneto dagli anni 70 e, ora, esaurite. Questa ricerca ha permesso di descrivere la situazione impiantistica delle discariche esaurite, definendo una prima stima del quadro, utile per capire il numero dei siti, le tipologie di rifiuti smaltiti e le distribuzioni territoriali di questi impianti di smaltimento in attività nei decenni precedenti.

Dalla prima stima del quadro emerge che all'interno della Regione Veneto sono presenti 369 discariche esaurite, di cui 123 (33%) sono in fase di post-gestione, 147 sono estinte (40%), 28 di esse (8%) presentano situazioni particolari legate ai regimi autorizzativi (sospese o non rinnovate), mentre per 71 (19%) non è stato possibile la caratterizzazione a causa della mancanza di informazioni.

In queste 369 discariche, il 49% erano per rifiuti inerti, il 35% per rifiuti non pericolosi, la maggior parte (in 68 discariche su 127 totali di questa categoria) costituiti da rifiuti solido urbani, mentre il restante 16% è costituito o da discariche miste (20 discariche) o da discariche non classificate a causa della mancanza di informazioni (41 discariche).

La Provincia di Treviso risulta essere quella con il più alto numero di discariche esaurite: sono ben 120 le discariche esaurite presenti all'interno del territorio, rappresentando il 30.5% della distribuzione totale nella Regione. Questo può essere spiegato dalla natura del territorio, poiché questo era costituito da numerose cave di ghiaia che, una volta esaurite, costituivano, al tempo, l'ambiente ideale alla realizzazione di una discarica.

La Provincia di Belluno è quella con il più alto numero di discariche esaurite di rifiuti inerti (58 discariche, rappresentanti il 32% della distribuzione totale), mentre la Provincia di Treviso è quella con il più alto numero di ex

discariche per rifiuti non pericolosi (49 discariche, il 38.5% della distribuzione totale regionale).

Dal quadro regionale è apparso evidente come il peso delle discariche esaurite (83%) sia molto maggiore rispetto a quello delle discariche attive (13%) all'interno del territorio.

Già da solo questo dato rafforza l'importanza nel definire un quadro generale dell'ubicazione di queste discariche soprattutto per collegare eventuali fenomeni di inquinamento

Maggiori, quindi, saranno le informazioni recuperate dai vari archivi all'interno della Regione, delle varie Province e dei Comuni e migliore potrà essere il quadro territoriale sulle discariche esaurite nel Veneto.

Nella parte sperimentale del lavoro di tesi, invece, sono state analizzate le caratteristiche chimico, fisico e biologiche di un campione di rifiuto riesumato da una discarica esaurita sita in Provincia di Verona, con l'obiettivo di valutarne il grado di stabilizzazione, attraverso l'analisi di determinati parametri.

I risultati ottenuti, oltre a confermare la totale stabilizzazione biologica del rifiuto, hanno permesso di valutare in maniera critica sia i parametri scelti, sia l'influenza della plastica sui parametri analizzati, sia i pre-trattamenti utilizzati, i quali sono stati di vagliatura e triturazione. Infatti, il rifiuto campionato è stato pre-trattato, generando, oltre al tal quale, altre 3 sottocategorie: un rifiuto triturato, un sottovaglio e un sopravaglio.

Dalle analisi di base, chimiche e biologiche sulle 4 sottocategorie (tal quale triturato, sottovaglio e sopravaglio) è emerso come il tal quale sia molto simile, per caratteristiche, al triturato, mentre il sopravaglio e il sottovaglio differiscono molto tra di loro e, soprattutto, con il rifiuto campionato; la vagliatura, quindi, modificato di molto le caratteristiche delle frazioni che ha generato, il sopravaglio e il sottovaglio.

Questa diversità è evidente se si confronta il sottovaglio e il sopravaglio con il rifiuto triturato: il primo si avvicina molto, per caratteristiche, ad una matrice terrosa, mentre il secondo aumenta di molto il contenuto di carbonio organico di questa sottocategoria (a causa della presenza di plastica, carta, tessuti, legno che contribuiscono al 70% della composizione totale),

sovrastimando questa frazione rispetto al triturato, che, per caratteristiche, più si avvicina al campione tal quale.

Il contenuto di sostanza organica, infatti, è uno dei parametri principalmente discusso nel corso del lavoro di tesi. Questo viene determinato da due analisi, il COD e il TOC, le quali permettono di valutare il contenuto totale di sostanza organica e, all'interno di questa, il carbonio organico.

Queste due analisi sono fondamentali per definire i criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica; il loro limite però, come evidenziato nel corso del lavoro di tesi, è l'impossibilità di individuare quanto sia la frazione putrescibile, la quale rappresenta la più pericolosa se conferita in discarica in grandi quantità, poiché dalla sua degradazione si può produrre biogas e percolato.

Da qui sorge la necessità di affiancare, oltre a queste analisi chimiche, delle analisi respirometriche, in grado di aiutare a comprendere il comportamento del rifiuto dal punto di vista biodegradativo: le analisi individuate sono l'IRDP, in ambiente aerobico, e il BMP, in ambiente anaerobico.

L'IRDP, introdotto dal D.M. del 27/09/2010, viene già utilizzato per determinare diverse categorie di rifiuti e, con le Linee Guida ISPRA del 2016, tale analisi è stata allargata ad una più ampia tipologia di rifiuti a base organica velocemente biodegradabile.

All'interno di un rifiuto però, dall'analisi merceologica, è emerso che questo può contenere molte frazioni che, pur innalzando il valore del carbonio totale e organico, non incidono molto sulla putrescibilità, poiché sono a più lenta biodegradazione: tra queste vi sono la plastica, la carta, i tessuti e il legno.

Per queste frazioni, il solo IRDP non riesce a dare informazioni sulla loro evoluzione all'interno del sito della discarica, poiché sono a lenta biodegradazione.

Il BMP, invece, utilizzato in diversi Paesi Europei, potrebbe essere utile a comprendere il comportamento biodegradativo di queste frazioni. Inoltre, l'analisi è sviluppata in ambiente anaerobico, ed è proprio questo l'ambiente che prevalentemente si sviluppa all'interno di una discarica.

In conclusione, quindi, dalle analisi si può confermare che il rifiuto campionato è totalmente stabilizzato; inoltre, in questo caso, le sole analisi di base e chimiche sono bastate a confermarlo. Le analisi biologiche, in questo caso, non hanno aggiunto nessuna nuova informazione.

Dai risultati ottenuti, però, risulta che il campione di rifiuto riesumato sia poco indicativo per valutare l'importanza delle analisi biologiche dell'IRDP e del BMP.

Potrebbe essere quindi necessario analizzare un rifiuto "fresco", attraverso le analisi di base, chimiche e biologiche, in modo da comprendere al meglio l'importanza di quelle biologiche nella caratterizzazione di un campione.

Per quanto riguarda il quadro impiantistico, gli obiettivi futuri potrebbero essere:

- Completare il quadro con le informazioni mancanti.
- Georeferenziare i siti di discarica.
- Arricchire i dati tecnici delle discariche (anni di attività, tipologie di rifiuti smaltiti, volumetrie, fonti d'impatto, dati analitici su biogas e percolato, dati su eventuali inquinamenti delle falde).

Per le analisi sperimentali, tra gli obiettivi futuri vi potrebbe essere:

- Allargare le analisi e i pre-trattamenti presentati nel lavoro di tesi a dei rifiuti freschi in ingresso nelle discariche, per valutare il peso delle analisi biologiche.
- Introdurre l'analisi BMP, in modo da accompagnare all'IRDP un'analisi biologica in ambiente anaerobico e su frazioni a più bassa biodegradabilità.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **RIFERIMENTI NORMATIVI**

*Direttiva 75/442/CEE del Consiglio Europeo, del 15 luglio 1975, relativa ai rifiuti (G.U. L 194 del 25/7/1975).*

*Direttiva 76/403/CEE del Consiglio, del 6 aprile 1976, concernente lo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili (G.U. n. L 108 del 26/04/1976).*

*Legge 10 maggio 1976, n. 319. "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento" (G.U. n. 141 29/05/1976).*

*Direttiva 78/319/CEE del Consiglio, del 20 marzo 1978, relativa ai rifiuti tossici e nocivi (G.U. n. L 084 del 31/03/1978).*

*D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915 "Attuazione delle Direttive CEE n. 75/442 relativa ai rifiuti, n. 76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi" (G.U. n. 343 del 15/12/1982).*

*Delibera Comitato Interministeriale 27 luglio 1984 "Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915, concernente lo smaltimento dei rifiuti".*

*Direttiva 91/156/CEE del Consiglio del 18 marzo 1991 che modifica la direttiva 75/442/CEE relativa ai rifiuti (G.U. n. L 78 delle Comunità Europee del 26/03/1991).*

*Direttiva 91/689/CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991, relativa ai rifiuti pericolosi (G.U. del Consiglio Europeo n. L 377 del 31/12/1991).*

*Direttiva 94/62/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 20 dicembre 1994, sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio.*

*Decreto Legislativo 5 febbraio 1997 n. 22 "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio" Decreto Ronchi (G.U. n. 302 del 27/12/2004).*

*Deliberazione della Giunta Regionale n° 1379 del 27/04/1999 "Criteri per l'applicazione nell'anno 1999 del tributo speciale per il deposito in discarica dei rifiuti solidi - ai sensi della L.R. 19 agosto 1996, n. 27, e successive modifiche ed integrazioni" (Bollettino. Uff. Regione n° 43 del 18/05/1999).*

*Direttiva 1999/31/CE del Consiglio Europeo, del 26 aprile 1999, relativa alle discariche di rifiuti (G.U. n. L 182 del 16/07/1999).*

*Legge Regionale n. 3 del 21 gennaio 2000 "Nuove norme in materia di gestione dei rifiuti"*

*D.G.R.V. N° 766 del 10.03.2000 "Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica".*

*Decisione 2003/33/CE del consiglio del 19 dicembre 2002 che stabilisce criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche ai sensi dell'articolo 16 e dell'allegato II della direttiva 1999/31/CE.*

*D. Lgs. n. 36/2003 del 13 gennaio 2003, n. 36 - attuazione della direttiva 1999/31/ce relativa alle discariche di rifiuti (G.U. n. 59 del 12/03/2003 - Supplemento Ordinario n. 40).*

*D.G.R.V. n. 2454 dell'8 agosto 2003 "Primi indirizzi operativi per la corretta applicazione della nuova disciplina sulle discariche. D. Lgs. 13.01.2003, n. 36 e D.M. 13.03.2003".*

*D.G.R.V. n. 14 del 14 gennaio 2005 "Precisazioni su aspetti tecnici, gestionali, finanziari ed amministrativi connessi all'applicazione del D. Lgs 13.01.2003 n.36 e del D.M. del 13/01/2003. Integrazione alla D.G.R.V. n. 2454 del 08.08.2003".*



*D.g.r.v. n. 568 del 25 febbraio 2005 "Modifiche e integrazioni della D.G.R.V. 10 marzo 2000, n. 766".*

*D.M. del 3 agosto 2005 "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica" (G.U. n. 201 del 30/08/2005).*

*D. Lgs 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" (G.U. n. 88 del 14/04/2006 - Supplemento Ordinario n. 96).*

*Direttiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006, relativa ai rifiuti.*

*D.G.R.V. n. 2254 del 08 agosto 2008 L.R. 21 gennaio 2000, n. 3 - "nuove norme in materia di gestione dei rifiuti". capo vi - artt. 32 e segg. - disposizioni per discariche e bonifiche. chiarimenti in merito alla putrescibilità dei rifiuti. presa d'atto della relazione conclusiva del gruppo di lavoro intitolata "putrescibilità dei rifiuti: definizione e determinazione analitica".*

*Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive.*

*Decreto del Ministero dell'ambiente 27/09/2010 "Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministero dell'ambiente 03/08/2005" (G.U. n. 281 del 01/12/2010)*

*Aggiornato con il Decreto del Ministero dell'ambiente 24/06/2015 "Modifica al decreto 27/09/2010, relativo alla definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica" (G.U. n. 211 del 11/09/2015).*

*Decreto 24 giugno 2015 modifica del decreto 27 settembre 2010, relativo alla definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica. (G.U. n.211 del 11/09/2015).*

*Legge del 28 dicembre 2015, n. 221 "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali" (G.U. del 18/01/2016).*

*Manuale e Linee Guida 145/2016 "Criteri tecnici per stabilire quando il trattamento non è necessario ai fini dello smaltimento dei rifiuti in discarica".*

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

*Anche le discariche possono essere sostenibili, Raffaele Cossu – Ambiente rischio comunicazione, 2 febbraio 2012.*

*ARPAV – Documentazione interna (Dipartimento Provinciale di Treviso).*

*Biogas da discarica, manuale di progettazione, gestione e monitoraggio degli impianti, Enrico Magnano – EPC Libri.*

*Biotic landfill cover treatments for mitigating methane emissions, Hilger and Humer – Environmental Monitoring and Assessment, May 2003, Volume 84, Issue 1 – 2, pp 71 – 84.*

*Caratterizzazione vecchie discariche, Raffaele Cossu – Convegno SEP Pollution (Padova) Apr 2007.*

*Case study on sampling, processing and characterization of landfill municipal solid waste in the view on landfill mining, Kaartinen et al., 2013.*

*Characterization of fine fraction mined from two Finnish landfills – Tiina J. Mönkäre, Marja R.T. Palmroth, Jukka A. Rintala – Waste Management 47 (2016), 34 – 39.*

*Comportamento dei rifiuti pretrattati meccanicamente e biologicamente, K. Leikam, R. Stegmann - CISA (Centro di Ingegneria Sanitaria Ambientale) – Seminario internazionale: La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie, 25 – 27 Set. 2000.*

*CTD Comitato Tecnico Discariche – Linee guida per le discariche controllate di rifiuti solidi urbani – 1ª edizione CISA.*

*Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays – I. Angelidaki, M. Alves, D. Bolzonella, L. Borzacconi, J. L. Campos, A. J. Guwy, S. Kalyuzhnyi, P. Jniecek and J. B. van Lier.*

*Effects of Landfill Gas on Vegetation, Neumann & Christensen, 1995.*

*Environmental Agency review of methods for determining organic waste biodegradability for landfill and municipal waste diversion, Andrew Richard Godley, Kathy Lewin, Adele Graham and Richard Smith – Proc. 8<sup>th</sup> European Biosolid and Organic Residuals Conference, Wakefield, UK 23-26 Nov 2003. Vol.2.*

*Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling – Mutasem El-Fadel, Angelos N. Findikakis, James O. Leckie - Journal of Environmental Management, Volume 50, Issue 1, May 1997, Pages 1-25.*

*Guidance on the management of landfill gas, Environmental Agency, Set 2004.*

*Landfill aeration for emission control before and during landfill mining, Roberto Raga, Raffaello Cossu, Joern Heerenklage, Alberto Pivato, Marco Ritzkowski – Waste Management (2015), 420 – 429.*

*Lanfill leachate treatment: review and opportunity, S. Renou, J. G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, P. Moulin – Journal of Hazardous Materials (2008), 468 – 493.*

*Linee guida per la classificazione degli impianti di gestione dei rifiuti e l'attribuzione delle operazioni di smaltimento e recupero di cui agli Allegati B e C del D. Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. ai fini del rilascio dei provvedimenti autorizzativi - ARPAV*

*Overview on mechanical - biological pretreatment, J. Heerenklage, R. Stegmann – Proceedings Sardinia, 1995.*

*Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a Review, Peter Kjeldsen, Morton A. Barlaz, Alix P. Rooker, Anders Baun, Anna Ledin & Thomas H. Christensen – Environmental Science and Technology (2010), 297 – 336.*

*Role of landfilling in the modern strategies for solid waste management, Raffaele Cossu – CISA (Centro di Ingegneria Sanitaria Ambientale) – Seminario internazionale: La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie, 25 – 27 Set. 2000.*

*Short and long term impact of landfilling, T. H. Christensen - CISA (Centro di Ingegneria Sanitaria Ambientale) – Seminario internazionale: La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie, 25 – 27 Set. 2000.*

*The evaluation of the biogas production in MSW landfill, Rocco Pandolfo, Salvatore Masi, Silvio Ascoli – [www.ambienteDiritto.it](http://www.ambienteDiritto.it).*

*The effect of landfill age on municipal leachate composition, Dorota Kulikowska, Ewa Klimiuk – Bioresource Technology 99 (2008) 5981 – 5985.*

*Waste Managment. Un'analisi delle aziende dell'area lucchese, Marco Allegrini, Giuseppe D'Onza, 2013 - FrancoAngeli s.r.l. Milano.*

*UNI 11184 – Rifiuti e combustibili ricavati da rifiuti – Determinazione della stabilità biologica mediante l'Indice di Respirazione Dinamico (IRD) – Febbraio 2016.*

*Waste pretreatment: principles, concepts, technologies - CISA (Centro di Ingegneria Sanitaria Ambientale) – Seminario internazionale: La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie, 25 – 27 Set. 2000.*