

REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA

*STUDIO COMPARATIVO FRA I SISTEMI DI TRATTAMENTO E
SMALTIMENTO DEI RIFIUTI IN VALLE D'AOSTA*

***Risultati relativi alle attività di caratterizzazione
della discarica per RSU ed assimilati
di Brissogne (AO)***

A cura di:

Prof. Ing. Raffaello Cossu
Università di Padova

Hanno collaborato:

Dott. Ing. Viviana Salieri
Dott. Ing. Bruno Sartorello

Padova, Ottobre 2009

INDICE

SOMMARIO E CONCLUSIONI	1
1. INTRODUZIONE	15
2. INDAGINE GEOGNOSTICA	18
2.1 Sondaggi a carotaggio continuo (S1÷S5).....	18
2.1.1 <i>Descrizione stratigrafica dei sondaggi</i>	20
2.2 Sondaggi con GEOPROBE.....	22
3. INDAGINE GEOFISICA.....	24
4. INDAGINE SUI RIFIUTI	27
4.1 Analisi merceologica e granulometrica.....	29
4.1.1 <i>Analisi merceologica</i>	30
4.1.3 <i>Analisi granulometrica</i>	35
4.2 Determinazioni analitiche sui rifiuti estratti.....	42
4.2.1 <i>Umidità, solidi totali e solidi volatili</i>	44
4.2.2 <i>Test di cessione ed analisi degli eluati</i>	47
4.2.3 <i>Test respirometrico</i>	50
4.2.4 <i>Test di fermentazione</i>	52
4.2.5 <i>Conclusioni</i>	54
5. INDAGINE SULLA QUALITA' DEL PERCOLATO	55
6. TEST DI AERAZIONE IN SITU	59
6.1 Descrizione del campo prove	59
6.2 Operazioni e misurazioni preliminari	60
6.3 Test di aerazione	61
6.4 Raggio di influenza dei pozzi di aerazione	63
7 INDAGINE IDRAULICA	64
7.1 Misura dei livelli statici.....	64
7.2 Prove idrauliche (<i>slug test</i>)	65
8. INDAGINE GEOTECNICA.....	66
8.1 Descrizione dei campioni.....	66
8.2 Determinazione della densità e del contenuto di umidità	68
8.3 Determinazione della deformabilità dei rifiuti.....	68
8.4 Resistenza al taglio.....	69

9. INDAGINI INTEGRATIVE	71
9.1 Analisi merceologica e granulometrica.....	71
9.1.1. <i>Analisi merceologica</i>	73
9.1.2. <i>Analisi granulometrica</i>	78
9.1.3. <i>Interpretazione dei dati in funzione della profondità</i>	83
9.2 Determinazione del potere calorifico inferiore (PCI)	86
9.2.1 <i>Interpretazioni dei dati in funzione della profondità</i>	89
9.2.2 <i>Interpretazioni dei dati in funzione della granulometria</i>	90
BIBLIOGRAFIA.....	92

SOMMARIO E CONCLUSIONI

La presente relazione si inserisce all'interno dello "*Studio comparativo tra i sistemi di gestione dei rifiuti in Valle d'Aosta*" redatto dal Prof. Genon e dall'Ing. Ziviani.

In particolare, questo elaborato risponde ad un'esigenza di approfondimento di uno specifico aspetto di tale studio che riguarda la caratterizzazione della discarica per rifiuti solidi urbani ed assimilati di Brissogne (AO), ai fini di un'eventuale applicazione in Valle d'Aosta della tecnica del *Landfill Mining*. Tale soluzione da un lato consente il recupero di frazioni ad elevato potere calorifico e dall'altro permette il risanamento dell'area, il recupero del territorio e la sua riqualificazione ambientale e funzionale.

In quest'ambito si inseriscono le indagini di caratterizzazione effettuate tra settembre 2008 ed aprile 2009. In particolare, secondo quanto previsto dal Piano delle Attività di Caratterizzazione redatto nel febbraio 2008, sono state eseguite le seguenti indagini:

- indagine geognostica;
- indagine geofisica;
- indagine sui rifiuti;
- indagine sulla qualità del percolato;
- indagine idraulica;
- indagine geotecnica.

Sono stati effettuati, inoltre, una serie di test di aerazione in situ. L'aerazione in situ è importante in quanto consente sia la stabilizzazione dei rifiuti, con conseguente riduzione dei carichi di potenziali contaminanti associati alle emissioni di percolato e di biogas, sia la possibilità di eseguire gli eventuali scavi in condizioni di sicurezza (assenza di metano).

Al fine di approfondire alcuni aspetti della caratterizzazione, è stato necessario effettuare, inoltre, alcune indagini integrative su nuovi campioni di rifiuto. Esse sono consistite nell'esecuzione di un'analisi merceologica e granulometrica e nella determinazione analitica del potere calorifico inferiore (PCI) delle classi merceologiche considerate.

I risultati ottenuti hanno consentito l'acquisizione di importanti informazioni sulle caratteristiche morfologiche del corpo discarica, sulle caratteristiche merceologiche, granulometriche e chimico – fisiche dei rifiuti, sulla qualità ambientale della discarica (intesa come definizione della quantità e della qualità delle emissioni di percolato e biogas prodotte e del livello di accumulo di tali fluidi nel corpo discarica), sulle caratteristiche idrauliche e geomeccaniche dell'ammasso di rifiuti e sulle caratteristiche energetiche dei rifiuti depositati.

Indagini geognostica e geofisica

L'indagine geognostica è consistita nell'esecuzione di n. 5 sondaggi a carotaggio continuo (denominati S1÷S5) e n. 11 sondaggi con GEOPROBE.

Nel corso dell'indagine geofisica, invece, sono stati effettuati n. 7 rilievi di tomografia elettrica di resistività e caricabilità e n. 50 sondaggi elettromagnetici TDEM (*Time Domain Electromagnetic*).

Integrando i risultati ottenuti dalle indagini geognostica e geofisica è stato possibile effettuare una ricostruzione della morfologia dell'ammasso di rifiuti. In particolare, i risultati ottenuti evidenziano che:

- Vi è una forte eterogeneità nella risposta geofisica del corpo discarica, dovuta alla contemporanea presenza in esso di rifiuti urbani, di materiale detritico inerte (utilizzato come materiale infrastrato durante le attività di coltivazione) e di fanghi provenienti da impianti di depurazione.
- Nella parte di discarica relativa ai lotti in esercizio si sono riscontrate variazioni piuttosto marcate nella risposta geofisica. L'indagine ha messo in evidenza una notevole presenza di materiale elettricamente conduttivo (fanghi e percolato) a partire da una quota di 5-10 m dal p.c. fino alla base dell'accumulo di rifiuti. Questo risulta in accordo con quanto evidenziato dall'indagine geognostica effettuata: nei sondaggi S1, S2, S3, S4 (ubicati in tali lotti) la presenza di fluido, infatti, si è riscontrata a partire dai 6-8 m dal p.c..
- Nelle zone spondali dei lotti in coltivazione sono presenti accumuli di fluidi, a partire da circa 8-10 m da p.c., in misura maggiore che nelle altre zone della discarica indagate. Essi risultano, inoltre, meno arricchiti in fanghi.
- I lotti esauriti (discarica non controllata di Brissogne) presentano una risposta geofisica molto diversa rispetto a quella dei lotti in coltivazione, essendo caratterizzati da valori di resistività piuttosto elevati e da una risposta di caricabilità abbastanza omogenea: nel rifiuto ivi depositato si è rilevata un'assenza quasi totale di umidità. Tale fatto risulta confermato anche dai risultati dell'indagine geognostica relativi al sondaggio S5 (ubicato in tale lotto) ed è da mettere con ogni probabilità in relazione alla presenza del *capping* che limita l'infiltrazione dell'acqua in discarica.

Indagine sui rifiuti

Analisi merceologica e granulometrica

Nel novembre 2008 sono state eseguite da Valeco analisi merceologiche e granulometriche sui rifiuti estratti durante le trivellazioni dei n.4 pozzi principali del campo prove dei test di aerazione in situ (pozzi A1÷A4).

I valori medi ottenuti per le categorie merceologiche considerate nel corso dell'analisi sono riportati nella Tabella 1 e rappresentati in Figura 1. Si sono tralasciati i risultati relativi alla quarta trivellazione in quanto non ritenuti significativi a causa della rilevante percentuale di “*frazione non definibile merceologicamente*” riscontrata (pari al 78,8%).

Dall'esame dei dati ottenuti, si rileva che:

- In tutti i campioni analizzati la frazione nettamente preponderante è rappresentata dal “*materiale non definibile merceologicamente*”, la cui percentuale varia tra il 48,8%-57,1%. Si osserva una percentuale significativa di plastica (variabile tra il 13,4% e il 27,4%), una percentuale discreta di tessili - legno (variabile tra 1% e il 10,8%), carta-cartone (variabile tra il 4,1% e il 4,8%) e materiali inerti (variabile tra il 4,1% e il 14,1%), una percentuale relativamente bassa di metalli (variabile tra il 1,8% e il 3,5%).
- La percentuale di sottovaglio a 20 mm è relativamente bassa, variabile tra 2,8% e 9,7%. Questo è attribuibile al fatto che dalle trivellazioni è stato estratto del rifiuto caratterizzato da un elevato grado di umidità e, probabilmente, la maggior parte del materiale fine costituente il sottovaglio è rimasta adesa alle particelle di dimensioni maggiori, contribuendo a formare quella che è stata indicata come la “*frazione non definibile merceologicamente*”.
- I valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati evidenziano una percentuale media complessiva (in peso) del 30% circa di frazioni merceologiche caratterizzate da un buon potere calorifico inferiore (plastica, carta – cartone, tessili – legno,). Esse compongono una frazione considerabile come CDR (Combustibile Derivato dai Rifiuti).

Tabella 1. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati (novembre 2008).

	I trivellazione	II trivellazione	III trivellazione	Valori medi
Tessili - Legno	1,0%	2,2%	10,8%	4,7%
Carta - Cartone	4,1%	4,8%	4,7%	4,6%
Plastica	27,4%	20,1%	13,4%	20,3%
Metalli	3,5%	2,1%	1,8%	2,4%
Materiale inerte	4,1%	14,1%	10,7%	9,6%
Materiale non def. merc.	57,1%	48,8%	48,9%	51,6%
Sottovaglio 20 mm	2,8%	8,0%	9,7%	6,8%

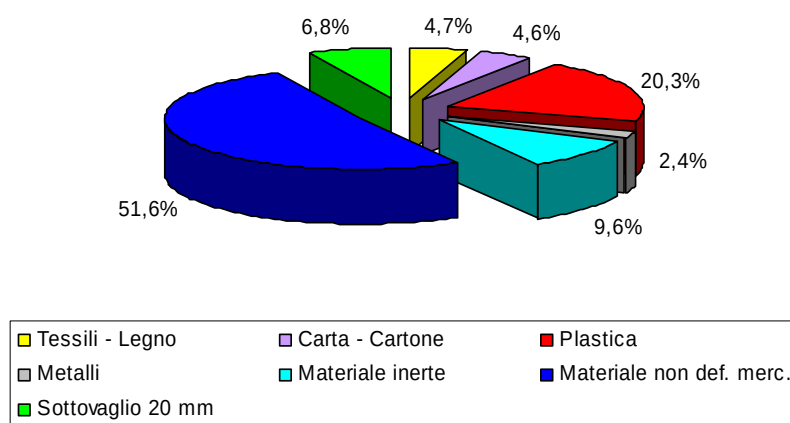


Figura 1. Rappresentazione dei valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati (novembre 2008).

- La distribuzione granulometrica media indica che le frazioni più grossolane del rifiuto sono costituite principalmente da carta-cartone, plastica, e da legno-tessili, mentre le frazioni fini sono composte per la maggior parte dal materiale costituente la “*frazione non definibile merceologicamente*” e in, minor misura, da materiale inerte.

Tali risultati evidenziano la notevole eterogeneità dei rifiuti depositati nei lotti in coltivazione ed un elevato e disomogeneo stato di umidità degli stessi, molto dissimile da quello che si avrebbe a seguito della stabilizzazione aerobica dei rifiuti preliminare all’eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso *Landfill Mining*.

Da qui la necessità di eseguire un’analisi merceologica e granulometrica integrativa su campioni di rifiuto preventivamente asciugati all’aria aperta, al fine di simulare le condizioni che si avrebbero con l’applicazione dell’aerazione in situ. Sui campioni così trattati si potrà, quindi, procedere ad una classificazione merceologica più rappresentativa.

Determinazioni analitiche sui rifiuti estratti

Le determinazioni analitiche sono state effettuate su campioni di rifiuto prelevati durante l’esecuzione dei sondaggi geognostici S1÷S5 e delle trivellazioni dei pozzi di aerazione A1÷A4, al fine di valutarne il grado di putrescibilità, l’entità delle emissioni e la presenza di componenti lisciviabili.

Esse sono consistite nell’esecuzione di test per la determinazione di solidi totali (ST), solidi volatili (SV), indice respirometrico (IR₄) e produzione di biogas in test di fermentazione (B₂₁). Gli stessi campioni sono stati sottoposti a test di cessione in acqua distillata per la determinazione dei parametri COD e N-NH₄⁺ negli eluati.

I risultati ottenuti evidenziano che:

- Per quanto riguarda il parametro umidità, i campioni prelevati dai sondaggi presentano dei valori molto diversi alle differenti profondità di prelievo, variabili in un intervallo compreso tra il 9% e il 68%. In generale, si osserva che i valori più bassi di umidità si riscontrano nei campioni prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti, probabilmente a causa della presenza del *capping* che limita l'infiltrazione dell'acqua nel corpo di rifiuti.
- Il valore medio di umidità più elevato, pari a 42,8%, si rileva nei rifiuti depositati a circa 9 m da p.c.: questo è un indice della probabile presenza di una lente di percolato.
- Per quanto concerne i solidi volatili, i valori riscontrati variano in un intervallo piuttosto ampio, compreso tra il 1,6% (sostanza secca) e il 44% (sostanza secca).
- Il valore medio massimo relativo al parametro solidi volatili (29,9% sostanza secca) si rileva alla profondità di 9 m circa da p.c., analogamente a quanto osservato per il parametro umidità media.
- Per quanto riguarda il parametro COD (*Chemical Oxygen Demand*), i valori riscontrati variano rispettivamente tra 43,6 e 5846 mgO₂/l. In generale, si osserva che negli eluati relativi ai campioni di rifiuto prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti, le concentrazioni di COD risultano mediamente più basse.
- I valori medi di COD rilevati sui campioni prelevati alle medesime profondità sono rappresentati nella Figura 2. La concentrazione media di COD più elevata, pari a 2.593 mgO₂/l, si riscontra negli eluati dei rifiuti prelevati più superficialmente.

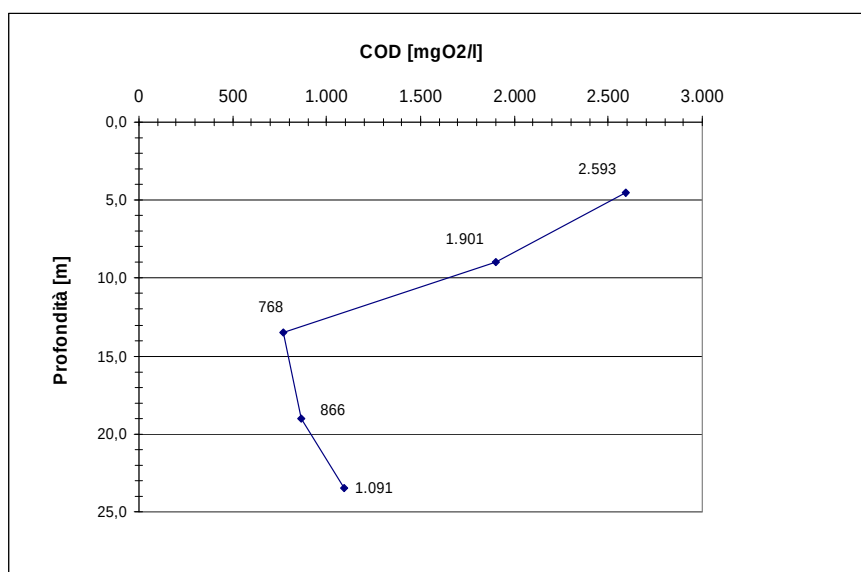


Figura 2. Rappresentazione delle concentrazioni medie COD calcolate in corrispondenza delle differenti profondità di prelievo dei campioni analizzati.

- Relativamente alle concentrazioni di azoto ammoniacale misurate, esse variano tra 2 mg N-NH₄⁺/l e 289 N-NH₄⁺/l. Anche per tale parametro si osserva che i valori di concentrazione più bassi si riscontrano negli eluati relativi ai campioni prelevati dal sondaggio S5.
- La concentrazione media massima di azoto ammoniacale, pari a 213,5 mg N-NH₄⁺/l si riscontra alla profondità di 9 m circa da p.c..
- I valori misurati per l'indice respirometrico riferito a quattro giorni (IR₄) variano in un intervallo compreso tra 0,2 mgO₂/gST e 39,8 mgO₂/gST. I valori più bassi si rilevano nei campioni di rifiuto prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti.
- I rifiuti depositati nei primi 10 m da p.c. presentano un valore medio di IR₄ superiore a 10 mgO₂/gST, indice questo di una discreta attività biologica caratteristica di un rifiuto non ancora stabilizzato. A profondità più elevate tale parametro assume valori sensibilmente inferiori, pari a circa 4 mgO₂/gST.
- La produzione potenziale di biogas (B₂₁) rilevata nei campioni di rifiuto analizzati risulta variabile tra 0,7 e 32,5 Nl/kgST. Come osservato per l'indice respirometrico, anche per il parametro B₂₁ i valori medi calcolati risultano più elevati per i rifiuti depositati nei primi 10 m da p.c.. Il valore medio massimo di B₂₁ si riscontra a circa 4 m di profondità ed è pari a 12,2 Nl/kgST. A profondità maggiori di 10 m tale parametro assume un valore pari a circa 2 Nl/kgST, indice della maggior stabilità biologica di tali rifiuti.
- Si osserva una buona correlazione tra i valori misurati per l'indice respirometrico e quelli della produzione potenziale di biogas dopo 21 giorni (B₂₁). Il valore calcolato per il coefficiente di correlazione R, pari a circa 0,98, indica, infatti, una buona corrispondenza tra i due indici nella valutazione della stabilità del rifiuto.
- L'insieme di questi dati indica come la discarica non sia stabilizzata e presenti un'elevata disomogeneità qualitativa verticale e areale costituendo una significativa sorgente di emissioni (percolato e biogas) potenzialmente contaminanti.

Indagine sulla qualità del percolato

Le analisi per la determinazione della qualità del percolato sono state condotte su n.3 campioni prelevati in corrispondenza dei pozzetti di raccolta del percolato rispettivamente dei lotti 1, 2, 3.

Dai risultati analitici relativi ai parametri esaminati, si osserva che:

- Per quanto riguarda il BOD₅, le concentrazioni rilevate variano tra 1.233 e 4.095 mgO₂/l. La concentrazione media risulta pari a 2.182 mgO₂/l per il campione di percolato relativo al lotto 1 e 1.343 mgO₂/l per quello relativo al lotto 2; il valore medio massimo si misura nel campione raccolto dal lotto 3 ed è pari a 3.932 mgO₂/l (Figura 3).

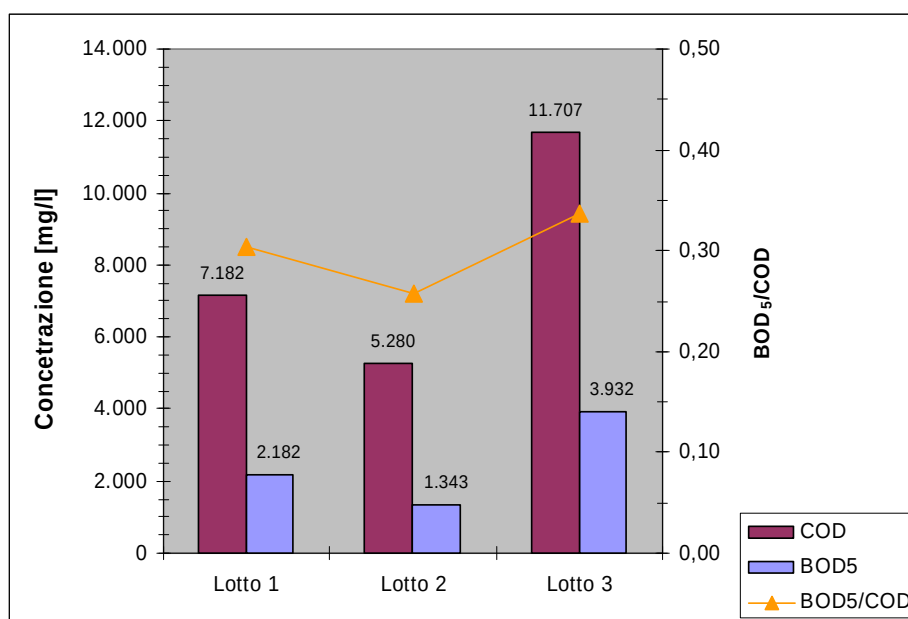


Figura 3. Rappresentazione delle concentrazioni medie di BOD₅, COD e rapporto medio BOD₅/COD nei campioni di percolato prelevati nei pozzetti di raccolta dei lotti 1, 2, 3.

- I valori di COD misurati sono compresi tra 5.161 e 11.975 mgO₂/l. La concentrazione media più elevata, analogamente a quanto accade per il parametro BOD₅, si riscontra nel campione di percolato raccolto dal lotto 3 ed è pari a 11.707 mgO₂/l; per i campioni relativi ai lotti 1 e 2, invece, essa risulta rispettivamente pari a 7.182 mgO₂/l e 5.280 mgO₂/l (Figura 3).
- Nei campioni analizzati il rapporto BOD₅/COD medio varia tra 0,26 (lotto 2) e 0,34 (lotto 3). Tali valori (riportati in Figura 3) indicano che i rifiuti depositati nei lotti 1,2,3 della discarica di Brissogne non si possano considerare completamente stabilizzati.
- Relativamente all'azoto ammoniacale, si osservano valori compresi 3.206 e 5.879 mgN-NH₄⁺/l, superiori a quelli caratteristici di discariche in cui vengono smaltiti RSU (30-3.000 mgN-NH₄⁺/l, Cossu 1998). Il valore medio massimo è stato misurato nel campione di percolato relativo al lotto 3 ed è pari a 5.136 mgN-NH₄⁺/l. L'azoto ammoniacale rappresenta la quasi totalità dell'azoto presente nel percolato.
- Per quanto riguarda le concentrazioni degli elementi metallici si osserva che solamente il Cromo è stato rilevato in concentrazioni superiori a quelle normalmente riscontrate nel percolato (30-1.600 µgCr/l, Andreottola *et al.* 1992): esse variano tra 935 e 2.460 µgCr/l.
- I valori dei parametri chimici del percolato confermano che la discarica si trova in condizioni ben lontane dalla sostenibilità ambientale, soprattutto per quanto riguarda l'azoto ammoniacale. In particolare questo parametro è molto critico in quanto in condizioni anaerobiche l'azoto ammoniacale non si degrada e permane per tempi molto lunghi (300 - 500 anni!), non

compatibili con la durata delle barriere fisiche (impermeabilizzazioni) predisposte per la protezione ambientale della discarica.

Test di aerazione in situ

I test di aerazione in situ sono stati effettuati ai fini di stabilizzare i rifiuti, riducendone o azzerandone il loro potenziale contaminante ed al contempo creando le condizioni (assenza di biogas) per effettuare le operazioni di *Landfill Mining* in sicurezza e con il minimo impatto ambientale per la popolazione che insiste nell'area.

Dai test effettuati risulta che:

- Per ciascun pozzo di aerazione la circolazione dell'aria insufflata è risultata diversa a seconda della direzione considerata. Questo risultato era atteso essendo la discarica un sito dalle caratteristiche eterogenee.
- Il raggio di influenza dei pozzi di aerazione è stato stimato variabile tra 10 e 15 m, per portate d'aria insufflate di 160-230 m³/h. Tale parametro è di fondamentale importanza per la progettazione dell'impianto in scala reale, in quanto definisce la distanza ottimale che si deve prevedere tra i pozzi di aspirazione e di insufflazione in discarica.
- Il sollevamento del percolato dai pozzi di aerazione è avvenuto con buona efficienza anche in presenza dei fanghi. Tale aspetto pratico risulta molto importante ai fini sia di consentire un omogeneo abbassamento dei livelli di percolato in tutta la discarica, sia di permettere omogenee condizioni di aerazione e quindi di stabilizzazione.

Indagine idraulica

L'indagine idraulica ha avuto come obiettivi la misura dei livelli statici nei pozzi allestiti per il campo prove dei test di aerazione in situ e la stima dei valori di conducibilità idraulica del materiale depositato in discarica.

I risultati ottenuti evidenziano che:

- Si sono riscontrate discrete differenze nel livello statico misurato in pozzi anche molto vicini tra loro (vedi Tabella 2) dovute, con ogni probabilità, a variazioni di permeabilità causate dall'eterogeneità dei rifiuti depositati.
- Si nota un abbassamento significativo dei livelli statici nei pozzi A1 e A2 tra le due campagne di rilevamento effettuate (novembre e dicembre 2008): questo è imputabile al fatto che nel corso delle prove di aerazione sono stati utilizzati degli eiettori pneumatici per diminuire il battente di percolato ed aumentare in questo modo il volume di rifiuti interessato dal flusso d'aria.

Tabella 2. Livelli statici nei pozzi di aerazione misurati nel novembre e nel dicembre 2008.

Pozzo	Profondità perforazione da p.c [m]	Tratto fessurato [m]	Novembre 2008		Dicembre 2008	
			Livello statico [m]	Battente [m]	Livello statico [m]	Battente [m]
A1	18,0	12	10,0	8,0	14,2	3,8
A2	18,7	12	8,5	10,2	13,7	5,0
A3	20,0	12	8,7	11,3	9,5	10,5
A4	20,0	12	13,0	7	14,2	5,8

- Per questo motivo si considerano più significativi i dati relativi alla prima campagna di rilevamento, i quali evidenziano che il battente di percolato nei pozzi risulta piuttosto elevato, variabile tra i 7 e gli 11 m.
- A causa della notevole variabilità dei livelli statici misurati nei pozzi interessati dall'indagine, sono stati condotti una serie di *slug test* sui pozzi di principali del campo prove dei test di aerazione in situ, anziché la classica prova di falda con monitoraggio multipozzo.
- Le prove sono state interpretate utilizzando la teoria di Bouwer e Rice. Al fine di considerare la non corrispondenza tra le condizioni reali e le ipotesi alla base del modello interpretativo, è stata effettuata anche un'analisi di sensibilità, che fornisce una stima del valore di conducibilità al variare dei parametri del modello interpretativo.
- Da tale interpretazione parametrica, risulta che i valori medi di conducibilità idraulica stimata per i pozzi variano tra $3.1 \cdot 10^{-6}$ m/s e $1.0 \cdot 10^{-5}$ m/s. In particolare, i valori maggiori di conducibilità si sono riscontrati per il pozzo A1.
- L'ammasso dei rifiuti nel complesso presenta una discreta conducibilità idraulica. Questo aspetto prefigura buone prospettive per l'applicazione dell'aerazione in situ in relazione all'efficacia attesa in termini sia di stabilizzazione dei rifiuti sia drenaggio dell'ammasso.

Indagine geotecnica

L'indagine geotecnica é stata condotta sui campioni di rifiuto prelevati dai sondaggi S1÷S5. Essa ha evidenziato che:

- Non si è rilevata alcuna dipendenza del parametro densità dei rifiuti con la profondità di prelievo dei campioni. I valori riscontrati risultano piuttosto elevati, compresi tra 750 kg/m³ a 1500 kg/m³.
- L'umidità è risultata elevata in tutti i campioni di rifiuto indagati e, anche in questo caso, non si è trovata alcuna dipendenza con la profondità.
- I valori dei moduli di deformabilità, ottenuti dalle prove a deformazione laterale impedita effettuate, si attestano intorno a valori di 1 MPa per rifiuti sottoposti a carichi equivalenti a quelli prodotti da una colonna di rifiuti di circa 20 m di altezza (circa 0,2 MPa). Per rifiuti

sottoposti a carichi equivalenti a cumuli di rifiuto di altezza superiore a 20 m, si raggiungono valori di 2-3 MPa. Valori più elevati si attribuiscono solo a rifiuti ai quali vengono applicati carichi di gran lunga superiori a quelli riscontrabili in discarica.

- Dalle prove di resistenza al taglio effettuate sui campioni di rifiuto prelevati risulta che i valori raccomandabili per la pseudocoazione e per l'angolo di resistenza al taglio sono rispettivamente di 15-20 kPa e di 25°-28°.
- Anche questi dati dimostrano come sia necessario ai fini di garantire la stabilità dell'ammasso di rifiuti mantenere bassi i livelli di percolato all'interno della discarica.

Indagini integrative

Analisi merceologica e granulometrica

L'analisi merceologica e granulometrica è stata eseguita su campioni di rifiuto prelevati durante l'esecuzione delle trivellazioni dei primi tre nuovi pozzi per l'estrazione del biogas. Essi sono stati preventivamente asciugati all'aria aperta, al fine di abbassarne il grado di umidità: tale operazione ha consentito di classificare merceologicamente anche la parte di trattenuto che era stata definita come *“frazione non definibile merceologicamente”*.

I valori medi ottenuti per ciascuna componente merceologica nei campioni di rifiuto prelevati alle varie profondità sono riportati in Tabella 3 e rappresentati in Figura 4.

I risultati ottenuti evidenziano che:

- Nel rifiuto estratto vi è una percentuale significativa di plastica (variabile tra il 19,7% e il 31%), una discreta percentuale di materiale inerte (variabile tra il 10,8% e il 12%) e di tessili - legno (variabile tra il 4,1% e il 6,5%), ed una percentuale piuttosto bassa di carta- cartone (variabile tra l'1,5% e il 3,5%) e di metalli (variabile tra il 2,8% e il 3,7%).
- La frazione nettamente preponderante in tutti i campioni analizzati è costituita dal sottovaglio a 20 mm, la cui percentuale in peso varia tra il 44,9% e il 58,9%. Tale risultato conferma che esso costituisce in maniera prevalente la *“frazione non definibile merceologicamente”*
- La percentuale media complessiva (in peso) di CDR recuperabile (ossia di frazioni quali tessili - legno, carta – cartone e plastica caratterizzate da un buon potere calorifico inferiore) risulta pari circa al 34%.
- Si osserva una buona corrispondenza tra valori medi ottenuti nelle diverse analisi merceologiche effettuate nell'ambito dello Studio Comparativo sui rifiuti estratti dai lotti in coltivazione (vedi Tabella 4).
- In tutte le analisi la frazione di CDR recuperabile con il *Landfill Mining* si attesta intorno al 30-35%.

Tabella 3. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti prelevati dalle trivellazioni A, B, C.

	Trivellazione A	Trivellazione B	Trivellazione C	Valori medi
Tessili	2,8%	3,7%	4,3%	3,6%
Legno	1,3%	1,8%	2,2%	1,7%
Carta - Cartone	3,5%	1,5%	3%	2,7%
Plastica	19,7%	26,4%	31%	25,7%
Metalli	3%	2,8%	3,7%	3,2%
Materiale inerte	10,8%	12%	10,9%	11,2%
Sottovaglio 20 mm	58,9%	51,8%	44,9%	51,9%

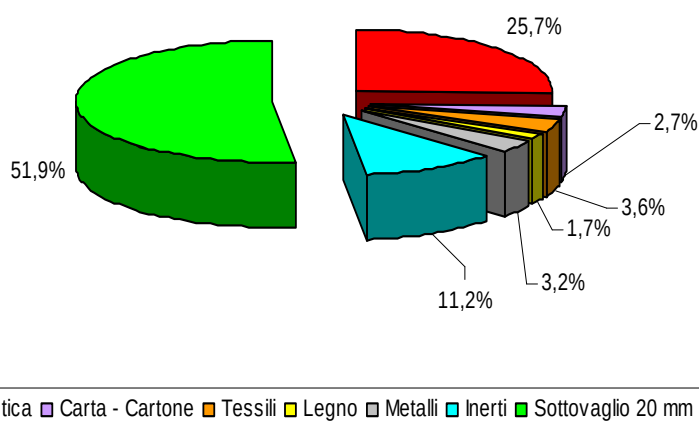


Figura 4. Rappresentazione dei valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti estratti dalle trivellazioni A, B, C.

Tabella 4. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti depositati nei lotti in coltivazione nelle campagne di indagine effettuate (Zimatec - novembre 2006, Valeco - novembre 2008, Spinoff - marzo 2009).

	Valori medi analisi novembre 2006*	Valori medi analisi novembre 2008	Valori medi analisi marzo 2009
Tessili - Legno	6,8%	4,7%	5,3%
Carta - Cartone	3,3%	4,6%	2,7%
Plastica	25,3%	20,3%	25,7%
Metalli	3,4%	2,4%	3,2%
Materiale inerte	6,5%	9,6%	11,2%
Sottovaglio 20 mm	54,7%**	58,4%**	51,9%

(*) Tali valori sono stati ottenuti effettuando una media pesata dei valori percentuali identificati per ogni componente merceologica nei campioni di rifiuto estratti solo dalle trivellazioni T1, T2, T4 effettuate nei lotti in coltivazione (Figura 9.1).

(**) Si è considerato per il sottovaglio il valore pari alla somma della “frazione non definibile merceologicamente” e del sottovaglio stesso.

Determinazione del potere calorifico inferiore PCI

Alla luce di un eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso *Landfill Mining* e del successivo invio a recupero energetico per via termica delle frazioni combustibili selezionate meccanicamente, è risultato d'interesse effettuare la determinazione del potere calorifico inferiore (PCI), relativo alle categorie merceologiche identificate nei campioni di rifiuto prelevati alle profondità di 5 m, 10 m, 15 m da p.c..

L'elaborazione dei risultati acquisiti ha permesso di calcolare:

- Per ciascuna delle frazioni merceologiche analizzate, i valori medi del PCI, riportati in Tabella 5 e nella Figura 5 insieme ai corrispondenti valori di umidità media rilevati.
- Il valore medio pesato del PCI della miscela delle frazioni merceologiche combustibili: considerando tra queste anche quelle a medio – basso potere calorifico come il sottovaglio, esso è risultato di 7.535 kJ/kg, ovvero 1.800 kcal/kg (vedi Tabella 6).
- La quantità complessiva della frazione combustibile, pari a 1.635.516 t, ossia all'85,6% dei rifiuti depositati in discarica (vedi Tabella 6).

Tabella 5. Valori medi di PCI (espressi in kcal/kg e kJ/kg) calcolati per le frazioni merceologiche analizzate sulla base dei dati acquisiti. Viene indicata anche l'umidità media (%) rilevata nei campioni esaminati.

Classi merceologiche	PCI medio		U media [%]
	[kcal/kg]	[kJ/kg]	
Plastica	3.300	13.820	32,7
Legno	3.225	13.500	52,7
Tessili	3.100	12.980	44,0
Carta - Cartone	2.880	12.060	57,5
Sottovaglio < 20 mm	870	3.640	26,5

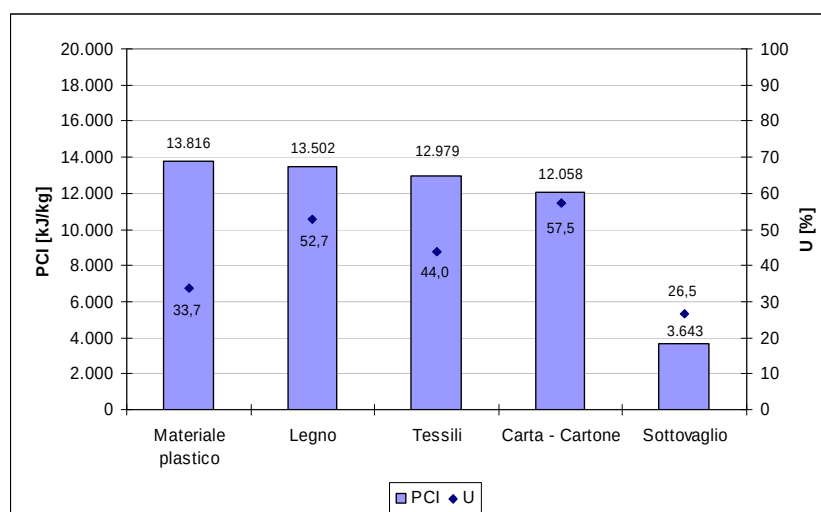


Figura 5. Rappresentazione dei valori medi di PCI (kJ/kg) e umidità U (%) per le classi merceologiche analizzate.

Tabella 6. Quantità, potere calorifico e carichi giornalieri associati al *Landfill Mining*, delle diverse frazioni di rifiuto depositate nella discarica di Brissogne.

Parametri Frazioni	Quantità		PCI		Carico giornaliero LFM		
	[t]	[%]	[kcal/kg]	[kJ/kg]	[t/d]	[Mcal/d]	[MJ/d]
Plastica	491.037	25,7	3.300	13.820	53,8	177.581	743.494
Legno	32.481	1,7	3.225	13.500	3,6	11.480	48.063
Tessili	68.783	3,6	3.100	12.980	7,5	23.368	97.835
Carta e cartone	51.588	2,7	2.880	12.060	5,6	16.282	68.169
Sottovaglio	991.627	51,9	870	3.640	108,7	94.544	395.838
Totale frazione combustibile	1.635.516	85,6	1.800	7.535	179,2	322.622	1.350.756
Inerti	213.993	11,2	/	/	23,4	/	/
Metalli	61.141	3,2	/	/	6,7	/	/
Totale frazione non combustibile	275.134	14,4	/	/	30,1	/	/
TOTALE RIFIUTI	1.910.650	100,0	/	/	209,3	/	/

Conclusioni

- La discarica di Brissogne configura una situazione ambientale non sostenibile, con rischio di significativi impatti nel medio - lungo termine.
- I valori delle concentrazioni di alcuni parametri chimici, quali l'azoto ammoniacale, sono molto elevati e tali da persistere (in condizioni anaerobiche) per centinaia di anni (Butti, Cossu, 2009). Tali tempi sono di gran lunga superiori alla normale vita delle barriere fisiche (impermeabilizzazioni) stimabile intorno ai 30 anni.
- I rifiuti depositati presentano ancora significativa attività biologica, con livelli di stabilità distribuiti in maniera disomogenea.
- Si hanno all'interno dell'ammasso di rifiuti elevati battenti di percolato (circa 7-11 m), che configurano il rischio di una maggiore velocità di infiltrazione nel sottosuolo e di una instabilità dell'ammasso dei rifiuti, ancora più critica considerando che si registra una massiccia presenza di fanghi con elevata umidità.
- L'aerazione in situ è risultata tecnicamente fattibile ed efficace. Essa può consentire sia la degradazione accelerata della sostanza organica, sia l'ossidazione dell'azoto ammoniacale, sia l'abbassamento del battente di percolato. Tale intervento potrà permettere la stabilizzazione della discarica da un punto di vista sia biochimico che meccanico.
- Esso pertanto è comunque raccomandabile come intervento atto a garantire la sostenibilità ambientale della discarica, a prescindere anche dall'applicazione del *Landfill Mining*.

- Nel caso di applicazione del *Landfill Mining* l'aerazione in situ consentirà di operare in condizioni di sicurezza per gli addetti e ridurrà, rendendoli trascurabili, gli impatti ambientali (soprattutto in termini di odori) per la popolazione che vive nell'area interessata dalla discarica.
- Con il *Landfill Mining* si potranno recuperare una quantità di CDR pari al 30-35% del peso dei rifiuti depositati.
- Tale percentuale sale fino all'85,6% nell'ipotesi di recuperare tutte le frazioni combustibili, anche quelle a medio – basso potere calorifico come il sottovaglio.

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si inserisce all'interno dello “*Studio comparativo tra i sistemi di gestione dei rifiuti in Valle d'Aosta*” redatto dal Prof. Genon e dall'Ing. Ziviani.

In particolare, questo elaborato risponde ad un'esigenza di approfondimento di uno specifico aspetto di tale studio che riguarda la caratterizzazione della discarica per rifiuti solidi urbani ed assimilati di Brissogne (AO), ai fini di un'eventuale applicazione in Valle d'Aosta della tecnica del *Landfill Mining*. Tale soluzione da un lato consente il recupero di frazioni ad elevato potere calorifico e dall'altro permette il risanamento dell'area, il recupero del territorio e la sua riqualificazione ambientale e funzionale.

La tecnica del *Landfill Mining* risulta particolarmente complessa dal punto di vista ingegneristico e richiede, pertanto, lo svolgimento di una serie di indagini preliminari *ad hoc*, atte ad acquisire informazioni di dettaglio sulle caratteristiche morfologiche, idrauliche e geomeccaniche dell'ammasso di rifiuti, sulle caratteristiche merceologiche, chimico-fisiche, e granulometriche dei rifiuti, sulla qualità ambientale della discarica, intesa come definizione della quantità e qualità delle emissioni di percolato e di biogas prodotte, nonché dei livelli di accumulo di tali fluidi nel corpo di discarica.

In quest'ambito si inseriscono le indagini di caratterizzazione effettuate tra settembre 2008 ed aprile 2009 nella discarica di Brissogne. In particolare, secondo quanto previsto dal Piano delle Attività di Caratterizzazione redatto nel febbraio 2008, sono state eseguite le seguenti indagini:

- *Indagine geognostica*. Il suo obiettivo è quello di fornire informazioni sulla stratigrafia del corpo discarica, integrando la ricostruzione della morfologia del substrato ricavata attraverso l'esecuzione dell'indagine geofisica. Nel corso della campagna d'indagine in oggetto si sono effettuati in discarica n. 5 sondaggi a carotaggio continuo e n. 11 sondaggi con GEOPROBE.
- *Indagine geofisica*. Tale indagine consente di ottenere informazioni utili alla definizione dei limiti della discarica (dimensioni e confini con il terreno naturale o le opere di impermeabilizzazione) e alla caratterizzazione della natura fisica della massa di rifiuti (sacche di percolato e/o biogas, fusti metallici, etc.). Sono stati effettuati n. 7 rilievi di tomografia elettrica di resistività e caricabilità e n. 50 sondaggi elettromagnetici TDEM (*Time Domain Electromagnetic*).
- *Indagine sui rifiuti*. Le determinazioni analitiche sui rifiuti hanno come obiettivo la caratterizzazione dei rifiuti allo stato attuale, al fine di valutarne il grado di putrescibilità, l'entità delle emissioni e la presenza di componenti lisciviabili. Esse sono state effettuate sia

su n. 24 campioni estratti dai cinque sondaggi a carotaggio continuo, sia su n. 20 campioni di rifiuto prelevati durante la trivellazione dei pozzi principali del campo prove dei test di aerazione in situ.

In aggiunta a queste analisi, al fine di elaborare alcune osservazioni preliminari in vista di un eventuale applicazione della tecnica del *Landfill Mining*, si è deciso di eseguire delle analisi merceologiche e granulometriche (inizialmente non previste dal Piano di Caratterizzazione) sui rifiuti estratti durante le trivellazioni dei pozzi di aerazione.

- *Indagine sulla qualità del percolato.* L'indagine sulla qualità del percolato permette di valutare il grado di stabilizzazione dei rifiuti in discarica. In questa campagna d'indagine, sono state effettuate delle analisi per la determinazione dei parametri caratteristici di qualità su un totale di n. 3 campioni di percolato, estratti dai tre pozzi di raccolta del percolato relativi ai lotti in coltivazione (lotti 1, 2, 3).
- *Test di aerazione in situ.* Sono stati effettuati una serie di test di aerazione in situ. L'aerazione in situ è importante in quanto consente sia la stabilizzazione dei rifiuti, con conseguente riduzione dei carichi di potenziali contaminanti associati alle emissioni di percolato e di biogas, sia la possibilità di eseguire gli eventuali scavi in condizioni di sicurezza (assenza di metano) e con il minimo impatto ambientale per la popolazione che insiste nell'area.
- *Indagine idraulica.* Tale indagine è stata condotta al fine di determinare le caratteristiche idrauliche dei rifiuti depositati. Sui pozzi principali del campo prove dei test di aerazione sono stati misurati i livelli statici e sono stati effettuati una serie di *slug test*. I risultati hanno permesso di ottenere una stima dei valori di conducibilità idraulica del materiale depositato.
- *Indagine geotecnica.* Attraverso questa indagine è possibile determinare le caratteristiche geotecniche dei rifiuti abbancati e redigere un'analisi sulla stabilità della discarica definendo i criteri costruttivi da applicare in vista di eventuali interventi di bonifica. Essa è stata effettuata su n. 23 campioni di rifiuto provenienti dai n. 5 sondaggi eseguiti a carotaggio continuo nel corso dell'indagine geognostica.

Nel presente elaborato sono riportati e discussi i risultati delle suddette attività di caratterizzazione e delle indagini integrative previste sulla base dei risultati ottenuti. In particolare, queste ultime sono consistite nell'esecuzione di:

- *Analisi merceologica e granulometrica* (condotta secondo il metodo IMAGE messo a punto dall'Università di Padova) su n. 9 campioni di rifiuto, prelevati a diverse profondità durante le trivellazioni di tre nuovi pozzi per l'estrazione del biogas.

- *Determinazione del potere calorifico inferiore (PCI)* delle diverse frazioni merceologiche considerate sui campioni di rifiuto analizzati, al fine di stimare il potere calorifico medio pesato dei rifiuti depositati in discarica in vista di un loro possibile recupero energetico.

Nella Tabella 1.1 si riporta una sintesi delle attività di caratterizzazione svolte nella discarica di Brissogne, indicando il relativo periodo di indagine e il soggetto incaricato all'esecuzione.

Tabella 1.1. Sintesi delle attività svolte per la caratterizzazione della discarica di Brissogne.

INDAGINE	ATTIVITA' SVOLTE	PERIODO D'INDAGINE	SOGGETTO INCARICATO
Indagine geognostica	n. 5 Sondaggi a carotaggio continuo sul piano di discarica (S1÷S5).	22/09/2008-13/10/2008	Valeco S.p.A.
	n. 11 Sondaggi con Geoprobe (G1÷G11).	21/10/2008-23/10/2008	Spinoff S.r.l.
Indagine geofisica	n. 7 Tomografie elettriche di resistività e caricabilità.	22/09/2008-26/09/2008	Politecnico di Torino
	n. 50 Sondaggi elettromagnetici TDEM.		
Indagine sui rifiuti	Determinazioni analitiche su campioni n. 24 campioni prelevati dai sondaggi S1÷S5 e n. 20 campioni prelevati dai pozzi di aerazione in situ A1÷A4.	22/09/2008-13/10/2008* 31/10/2008-19/11/2008*	Spinoff S.r.l.
	Indagine merceologica e granulometrica sui n. 20 campioni di rifiuto estratti dai pozzi A1÷A4 del campo prove dei test di aerazione in situ.	31/10/2008-19/11/2008	Valeco S.p.A.
Indagine sulla qualità del percolato	Determinazioni analitiche su n. 3 campioni estratti dalle pozzetti di raccolta del percolato relative ai lotti in coltivazione 1, 2, 3.	17/02/2009	Valeco S.p.A.
Test di aerazione in situ	Esecuzione dei test di aerazione sul campo prove allestito da Valeco S.p.A.	02/12/2008-19/12/2008	Spinoff S.r.l.
Indagine idraulica	Prove di pompaggio (<i>slug test</i>) dai pozzi A1÷A4 del campo prove dei test di aerazione in situ.	22/12/2008-23/12/2008	Politecnico di Torino
Indagine geotecnica	Esecuzione di prove di laboratorio su n. 23 campioni di rifiuto estratti dai sondaggi S1÷S5.	22/09/2008-13/10/2008*	Politecnico di Torino
Indagine sui rifiuti**	Esecuzione di indagine merceologica e granulometrica sui n. 9 campioni di rifiuto estratti durante le trivellazioni di n. 3 nuovi pozzi per l'estrazione del biogas.	2/03/2009-4/03/2009*	Spinoff S.r.l.
	Determinazione del PCI sulle frazioni merceologiche identificate nei campioni di rifiuto estratti.		

(*) Data in cui è avvenuto il prelievo dei campioni.

(**) Indagini integrative rispetto a quelle previste dal Piano delle Attività di Caratterizzazione della discarica di Brissogne (febbraio 2008)

2. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica condotta nell'ambito della caratterizzazione della discarica di Brissogne è consistita nell'esecuzione di:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 11 sondaggi realizzati con GEOPROBE.

La loro ubicazione è riportata in Figura 2.1.

2.1 Sondaggi a carotaggio continuo (S1÷S5)

Tali sondaggi, denominati S1, S2, S3, S4, S5, sono stati eseguiti su incarico di Valeco S.p.A. dalla società Geotecn S.r.l. nel periodo compreso tra il 22 settembre e il 13 ottobre 2008.

Al fine di caratterizzare nel modo più esauriente possibile il corpo discarica, essi sono stati dislocati uniformemente sul piano della stessa (vedi Figura 2.1). In particolare, i sondaggi S1, S2, S3, S4 sono stati effettuati nei lotti in esercizio, mentre il sondaggio S5 è stato realizzato nella parte relativa ai lotti esauriti (discarica non controllata di Brissogne, già oggetto di interventi di messa in sicurezza con *capping*).

Tutti i sondaggi sono stati spinti fino a 25 m circa dal p.c., ad eccezione del sondaggio S5 il quale è stato spinto ad una profondità di 17 m, al fine di mantenere un franco di sicurezza rispetto alla quota di massima escursione della falda.

Essi sono stati eseguiti mediante carotaggio a secco impiegando un tubo di rivestimento provvisorio di diametro pari a 152 mm. In tutti i sondaggi a partire da 18 m dal p.c. è stato necessario utilizzare acqua come fluido di perforazione per l'infissione del tubo di rivestimento provvisorio, al fine di ridurre l'attrito sui rivestimenti.

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati:

- n. 23 campioni indisturbati di rifiuto (anziché n. 25, come inizialmente previsto dal Piano), a seguito di perforazioni a carotaggio continuo di diametro 131 mm. Essi successivamente sono stati collocati in fustelle in HDPE e sottoposti ad indagine geotecnica da parte del Politecnico di Torino;
- n. 24 campioni rimaneggiati (anziché n. 25, come inizialmente previsto dal Piano), inviati da Spinoff S.r.l. al laboratorio LISA dell'Università di Padova per l'esecuzione delle determinazioni analitiche previste dal Piano di Caratterizzazione, al fine della caratterizzazione chimica del rifiuto estratto.

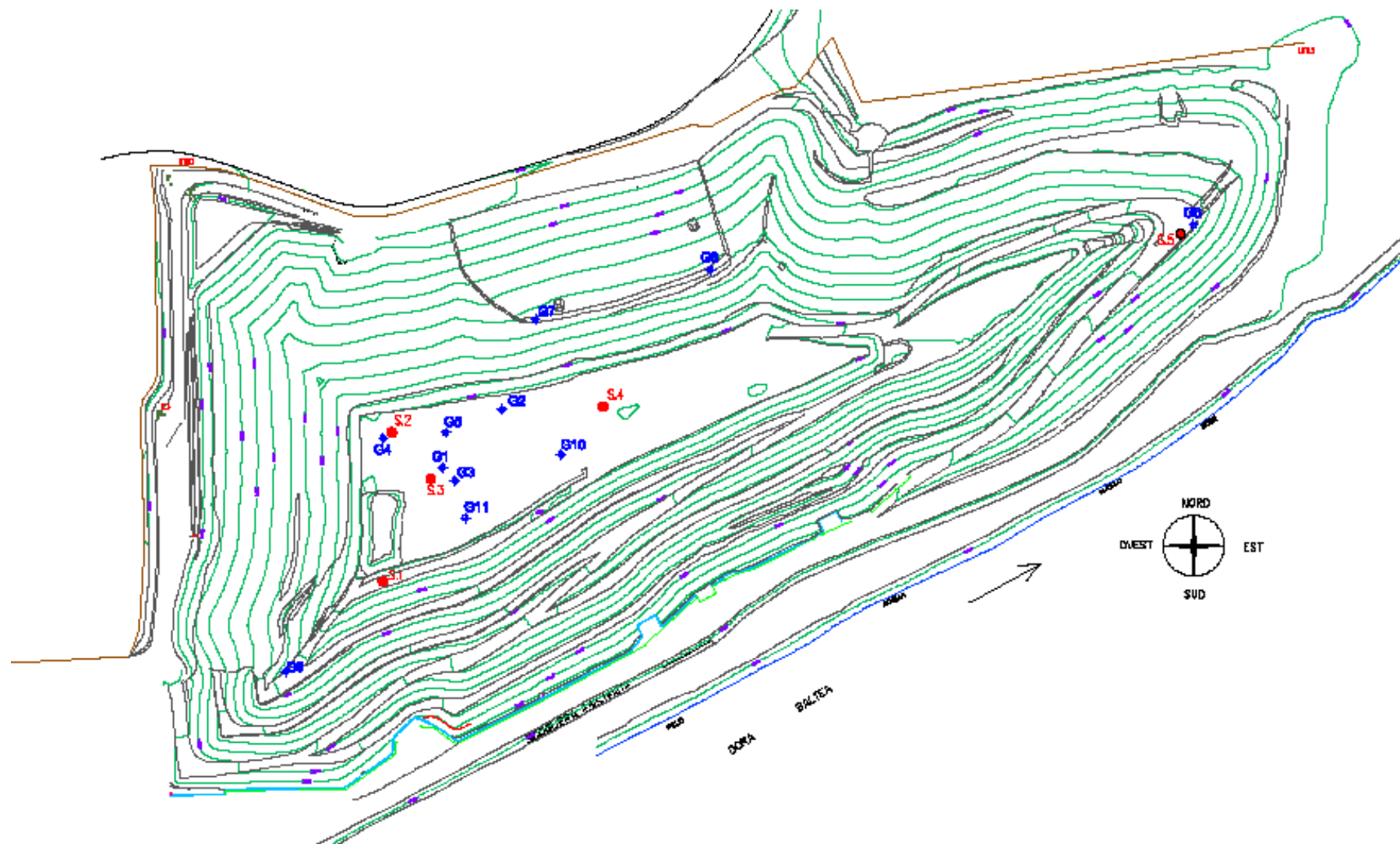


Figura 2.1.Ubicazione sondaggi a carotaggio continuo (S1÷S5) e sondaggi eseguiti con GEOPROBE (G1÷G11).

I fori di sondaggio sono stati successivamente attrezzati a piezometro mediante l'inserimento di una tubazione in HDPE di diametro pari a 3" microfessurata per i primi 15 m a partire dal fondo foro e cieca fino alla sommità. Durante il recupero del tubo di rivestimento provvisorio è stata inserita della ghiaia pulita con funzione di dreno nell'intercapedine esistente tra il tubo piezometrico e le pareti del foro, per tutta la lunghezza del tratto fessurato e fino a 3 m dal p.c.. La sigillatura del pozzo è stata realizzata attraverso la posa in opera di bentonite in palline fino a 0,5 m di profondità da p.c., e di cemento nella parte sommitale. In testa al piezometro è stato inserito un pozzetto di protezione a sezione quadrata alto circa 1,5 m e dotato di lucchetto.

2.1.1 Descrizione stratigrafica dei sondaggi

Nelle Tabelle 2.1–2.5 si riportano le successioni stratigrafiche rilevate in ciascun sondaggio effettuato. Le quote riportate si intendono riferite al p.c..

Nei sondaggi S1, S2 e S3 si è riscontrata la presenza di fluido a partire da 6.5 m circa da p.c., mentre nel sondaggio S4 esso è stato riscontrato a partire da 8 m circa dal p.c. In tutti i casi il fluido si è riscontrato fino a fondo foro, ed è risultato particolarmente abbondante nel sondaggio S3.

Nel sondaggio S5, invece, non si è rinvenuta la presenza di fluido.

Tabella 2.1. Descrizione stratigrafica del sondaggio S1 (22-24 settembre 2008).

Sondaggio S1	
Profondità	Descrizione
0 - 1,50 m	Riporto di ghiaia e sabbia limosa
1,50 - 6,00 m	Rifiuto costituito per la maggior parte da carta, plastica ed elementi metallici
6,00 - 6,50 m	Rifiuto misto e terriccio bruno
6,50 – 7,20 m	Rifiuto costituito da plastica, stracci e legno con presenza di fluido
7,20 – 7,50 m	Sabbia limosa, grigia, ghiaia e qualche ciottolo
7,50 – 8,50 m	Rifiuto di varia natura
8,50 – 8,70 m	Limo sabbioso, grigio e ghiaia
8,70 – 9,00 m	Rifiuto
9,00 – 17,60 m	Rifiuto di varia natura, plastica, stracci, ferro, legno. Non sono più distinguibili gli strati intermedi di terreno limoso-ghiaioso
17,60 – 18,00 m	Limo sabbioso con ghiaia e ciottoli
18,00 – 25,00 m	Rifiuto di varia natura molto compatto, in avanzato stato di stabilizzazione
Fine sondaggio	

Tabella 2.2. Descrizione stratigrafica del sondaggio S2 (25-30 settembre 2008).

Sondaggio S2	
Profondità	Descrizione
0 - 0,40 m	Ghiaia e sabbia limosa, nocciola
0,40 – 3,50 m	Rifiuto costituito da stracci, plastica, metallo, legno, etc.
3,50 – 4,00 m	Strato di ghiaia e sabbia limosa, bruna
4,00 - 6,50 m	Rifiuto costituito da plastica, stracci etc.
6,50 – 6,80 m	Strato di ghiaia e sabbia limosa
6,80 – 25,00 m	Rifiuto parzialmente stabilizzato con presenza di fluido e con presenza localmente di elementi metallici, plastica, etc. Non si distinguono più gli stati intermedi di ghiaia
Fine sondaggio	

Tabella 2.3. Descrizione stratigrafica del sondaggio S3 (02–06 ottobre 2008).

Sondaggio S3	
Profondità.	Descrizione
0 - 0,30 m	Ghiaia e sabbia limosa
0,30 - 3,50 m	Rifiuto di varia natura, plastica, stracci, metalli, etc.
3,50 – 4,00 m	Ghiaia e sabbia limosa, bruna
4,00 – 20,00 m	Rifiuto di varia natura con presenza di abbondante fluido a partire da 6,50 m. Difficoltà di eseguire campioni a causa della presenza di fluido. Non si riconoscono più gli strati di ghiaia e sabbia
20,00 – 25,00 m	Rifiuto di plastica, metalli, legno etc. parzialmente localmente stabilizzato
Fine sondaggio	

Tabella 2.4. Descrizione stratigrafica del sondaggio S4 (07-09 ottobre 2008).

Sondaggio S4	
Profondità	Descrizione
0 - 0,30 m	Ghiaia e sabbia limosa, nocciola
0,30 – 2,60 m	Rifiuto di stracci, plastica, metallo, etc.
2,60 – 2,90 m	Ghiaia e sabbia limosa
2,90 - 10,50 m	Rifiuto di plastica, metalli, etc. con presenza di fluido a partire da 8,00 m circa da p.c.
10,50 - 11,50 m	Rifiuto di legno, plastica, etc.
11,50 - 11,80 m	Ghiaia e limo sabbioso
11,80 – 25,00 m	Rifiuto di plastica, metalli, etc. parzialmente stabilizzato. Non si distinguono più gli strati intermedi di ghiaia
Fine sondaggio	

Tabella 2.5. Descrizione stratigrafica del sondaggio S5 (10-13 ottobre 2008).

Sondaggio S5*	
Profondità.	Descrizione
0 – 9,00 m	Riporto di ghiaia con frammenti di laterizi e plastica
9,00 – 10,60 m	Rifiuto di plastica, elementi metallici, etc.
10,60 – 11,00 m	Ghiaia e sabbia limosa
11,00 – 13,50 m	Rifiuto di plastica, etc.
13,50 – 14,00 m	Ghiaia e sabbia
14,00 – 17,00 m	rifiuto di plastica, stracci, elementi metallici, etc.
Fine sondaggio	

*non si segnala la presenza di fluido.

2.2 Sondaggi con GEOPROBE

I sondaggi con GEOPROBE sono stati eseguiti da Spinoff S.r.l. nel periodo tra il 21 e il 23 ottobre 2008.

Relativamente ad essi sono intervenute delle variazioni rispetto a quanto inizialmente previsto nel Piano delle Attività di Caratterizzazione. Inizialmente, infatti, essi dovevano essere utilizzati per il prelievo di campioni di rifiuto da sottoporre a test di laboratorio ai fini di una loro caratterizzazione chimica. Tuttavia, a seguito dell'esecuzione delle indagini geofisiche, si è concordato di eseguire tali carotaggi per calibrare i risultati da queste ottenuti, ovvero per andare a verificare, laddove erano state riscontrate delle anomalie, l'eventuale presenza nel corpo discarica di sacche di percolato.

La loro ubicazione, scelta proprio sulla base di queste considerazioni, è riportata in Figura 2.1 (sondaggi G1÷G11).

Durante l'esecuzione di tali sondaggi è stato prelevato del fluido, ove presente, e su esso sono state effettuate delle misure di conducibilità sulla base delle quali distinguerne la natura di percolato o di fango. Nella Tabella 2.6 si riportano i valori riscontrati.

La conducibilità elettrica rilevata nei campioni di liquido estratti varia in un *range* di valori compreso tra 23 mS/cm e 45 mS/cm (resistività compresa tra 0.22 e 0.4 ohm m).

Si osserva che nel sondaggio G6, ubicato nella parte della vecchia discarica non controllata di Brissogne (già oggetto di messa in sicurezza), non si è riscontrata la presenza di fluido. La ragione di tale fatto è molto probabilmente da mettere in relazione alla presenza del *capping* che limita l'infiltrazione d'acqua all'interno dell'ammasso di rifiuti. Peraltro, neppure durante l'esecuzione del sondaggio S5, posto in prossimità di quest'ultimo, si era rilevata la presenza di fluido (vedi Paragrafo 2.1.1).

Tabella 2.6. Valori di conducibilità misurata dai campioni di percolato estratti con GEOPROBE.

Sondaggio	Profondità campione da p.c. [m]	Conducibilità campione [mS/cm]	Note campione	Corrispondenza con tomografia elettrica o sezione TDEM
G1	9,70	30	Liquido piuttosto denso con consistenza di fango	ERT2 – ERT 3
G2	7,70	32,7	Primo tentativo di estrazione liquido a 5 m da p.c.: il fluido è risultato assente	ERT1
G3	7,40	23,4		ERT4
G4	3,80	36,4	Consistenza di fango	ERT1-ERT3
G5	5,20	45,4	Molto consistente	ERT1 - ERT2
G6	7,70	-	Nessuna presenza di liquido	ERT7
G7	5,40	33,1	Liquido meno denso rispetto a quello prelevato dai sondaggi in zona sommitale	10 m a Sud – TDEM T25
G8	7,60	42,5	Meno denso rispetto a quello prelevato dai sondaggi in zona sommitale	10 m a Sud – TDEM T17
G9	7,20	-	Nessuna presenza di liquido	ERT 6 tra punto E65 e E66
G10	7,5	Non misurabile	Impossibilità di estrarre il liquido a causa dell'elevata densità	ERT4
G11	7,00	28,2		

3. INDAGINE GEOFISICA

L'indagine geofisica è stata condotta dal Politecnico di Torino nel periodo compreso tra il 22 e il 26 settembre 2008, al fine di individuare la distribuzione delle zone di accumulo del percolato nel corpo di discarica. Sono stati eseguiti:

- n. 7 rilievi di tomografia elettrica di resistività e caricabilità (E1÷E7);
- n. 50 sondaggi elettromagnetici TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) distribuiti sulla superficie della discarica, per integrare le informazioni ricavate dai rilievi di tomografia (T1÷T50).

Nella Figura 3.1 è riportata la posizione degli stendimenti di tomografia elettrica e dei sondaggi tipo TDEM. Questi ultimi sono stati distribuiti lungo tre sezioni principali:

- la prima, costituita da n. 15 sondaggi, è stata ubicata lungo il lato Nord, nella parte di discarica non controllata e sottoposta a messa in sicurezza;
- la seconda, costituita da n. 17 sondaggi, è stata posizionata lungo il lato Nord, nei lotti attualmente in esercizio;
- la terza, costituita da n. 18 sondaggi, è stata ubicata lungo il lato Ovest, nei lotti attualmente in esercizio.

L'integrazione dei risultati ottenuti dai rilievi elettrici ed elettromagnetici ha permesso di delineare l'andamento dei parametri investigati lungo sezioni verticali ed orizzontali e di individuare le zone nel corpo discarica dove più probabilmente vi è accumulo di fanghi e di percolato. Tali risultati sono stati calibrati sulla base delle misure di conducibilità elettrica eseguite su campioni di fluido estratti con GEOPROBE, dei dati stratigrafici rilevati dalle perforazioni S1÷S5 e delle misure dei livelli statici nei pozzi di aerazione A1÷A4.

Il confronto con quanto osservato sui campioni di GEOPROBE, ha permesso di interpretare le sezioni geofisiche sulla base del criterio secondo cui zone caratterizzate da valori di resistività inferiori a 4 ohm m sono da associare a rifiuto con presenza di percolato, mentre quelle caratterizzate da valori di resistività compresi tra 4 ohm m e 10 ohm m sono ascrivibili a rifiuto con presenza di fluidi maggiormente arricchiti in fango.

La discrepanza di un ordine di grandezza tra i valori di resistività dei campioni di liquido estratti con GEOPROBE e i valori di resistività riscontrata dalle tomografie, è giustificabile per il fatto che i primi si riferiscono alla risposta elettrica della sola fase fluida, mentre i secondi considerano la resistività complessiva del sistema, costituito da fase fluida e rifiuto.

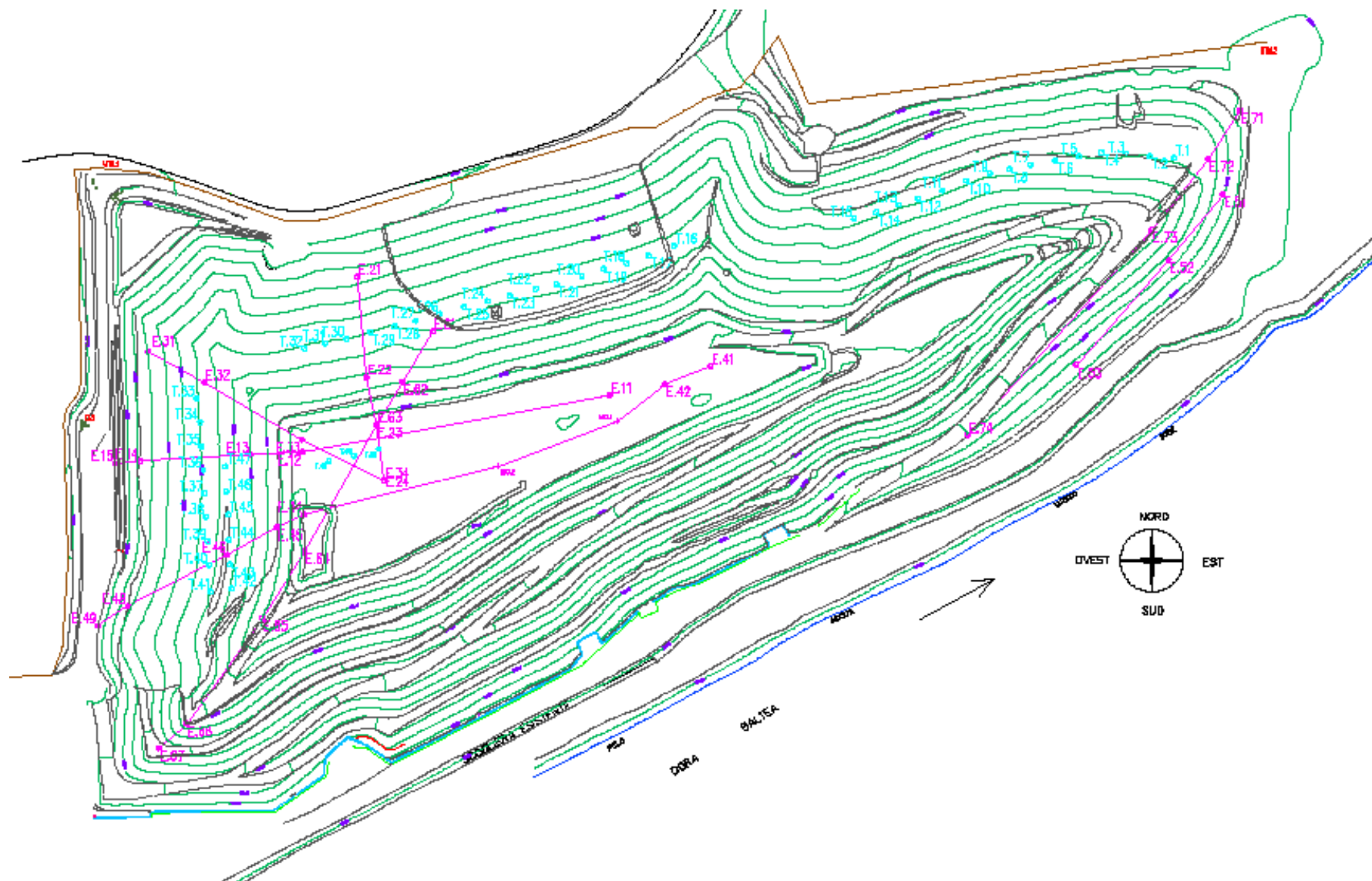


Figura 3.1. Planimetria della discarica con ubicazione rilievi di tomografia elettrica (E1÷E7, in magenta) e sondaggi elettromagnetici TDEM (T1÷T50, in azzurro).

La profondità d'indagine è stata di circa 15 m da p.c. nelle zone spondali e di circa 30-35 m da p.c. sul piano di coronamento della discarica.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati geofisici, si possono formulare le seguenti considerazioni:

- Si è rilevata una forte eterogeneità nella risposta geofisica del corpo discarica, dovuta alla contemporanea presenza in esso di rifiuti urbani, di materiale detritico inerte (utilizzato come materiale infrastrato durante le attività di coltivazione) e di fanghi provenienti da impianti di depurazione. La variabilità nella conducibilità elettrica misurata è, quindi, condizionata dalla variabilità della composizione della fase fluida, arricchita in solidi totali a causa della presenza di materiale inerte.
- Variazioni molto marcate nella risposta geofisica si sono riscontrate soprattutto nella parte di discarica relativa ai lotti in esercizio. L'indagine ha messo in evidenza una notevole presenza di materiale elettricamente conduttivo (fanghi e percolato) a partire da una quota di 5-10 m dal p.c. fino alla base dell'accumulo di rifiuti. A partire dalla profondità di circa 15 m da p.c. fino a 35 m si rileva la presenza di zone caratterizzate da valori di resistività inferiori a 4 ohm m, e, dunque, di rifiuti saturi di percolato.
- Nelle zone spondali dei lotti in coltivazione sono presenti accumuli di fluidi a partire da circa 8-10 m da p.c., in misura maggiore che nelle altre zone della discarica indagate. Essi, inoltre, risultano meno arricchiti in fanghi: tali fluidi, infatti, sono caratterizzati da una bassa resistività (inferiore ai 4 ohm m).
- I lotti esauriti (discarica non controllata di Brissogne) presentano una risposta geofisica molto diversa rispetto a quella dei lotti in coltivazione, essendo caratterizzato da valori di resistività piuttosto elevati e da una risposta di caricabilità abbastanza omogenea: nel rifiuto ivi depositato si è rilevata un'assenza quasi totale di umidità, in accordo con quanto rilevato durante l'esecuzione dei sondaggi S5 e G6, ad essi corrispondenti.

4. INDAGINE SUI RIFIUTI

L'indagine sui rifiuti ha permesso di acquisire degli elementi conoscitivi utili a definire le caratteristiche qualitative degli stessi e la quantità delle frazioni merceologiche caratterizzate da un buon potere calorifico inferiore (tessili – legno, carta – cartone, plastica) recuperabili in seguito all'eventuale applicazione in Valle d'Aosta della tecnica del *Landfill Mining*. Esse compongono una frazione considerabile come CDR (Combustibile Derivato dai Rifiuti).

Tale indagine, in particolare, è consistita nell'esecuzione di:

- un'analisi merceologica e granulometrica, effettuata dalla società Valeco S.p.A. sui campioni di rifiuto prelevati durante le trivellazioni dei n. 4 pozzi del campo prove per i test dell'aerazione in situ (pozzi A1÷A4);
- determinazioni analitiche, eseguite per conto di Spinoff S.r.l. dal Laboratorio LISA dell'Università di Padova su n. 24 campioni estratti dai cinque sondaggi S1÷S5 e su n. 20 campioni di rifiuto prelevati durante l'esecuzione dei pozzi di aerazione A1÷A4.

Nella Figura 4.1 si riporta l'ubicazione dei sondaggi S1÷S5 e delle trivellazioni A1÷A4 da cui sono stati estratti i campioni sottoposti alle suddette analisi.

Indagini di caratterizzazione dei rifiuti erano già state svolte su incarico di Valeco S.p.A. dalla Zimatec S.r.l. nel novembre 2006, nell'ambito delle attività relative alla definizione di un fondo ambientale iniziale per la realizzazione del IV lotto di discarica. Esse erano consistite nella realizzazione di n. 4 trivellazioni di grande diametro sul corpo di discarica (trivellazioni T1÷T4, vedi Figura 4.1), tre nei lotti in esercizio e una nella parte della discarica non controllata, e nella relativa esecuzione sui rifiuti da esse estratti di un'analisi merceologica e granulometrica e di determinazioni analitiche per una loro caratterizzazione chimico – fisica..

I risultati ottenuti da tale indagine, tuttavia, avevano rilevato un'elevata disomogeneità nella tipologia dei rifiuti depositati nell'intero corpo discarica, e differenti, ed in alcuni casi piuttosto elevate, condizioni di umidità della massa degli stessi. Tali risultati, quindi, non erano stati considerati rappresentativi ai fini di una esaustiva caratterizzazione dei rifiuti depositati e richiedevano l'esecuzione di ulteriori indagini di approfondimento.

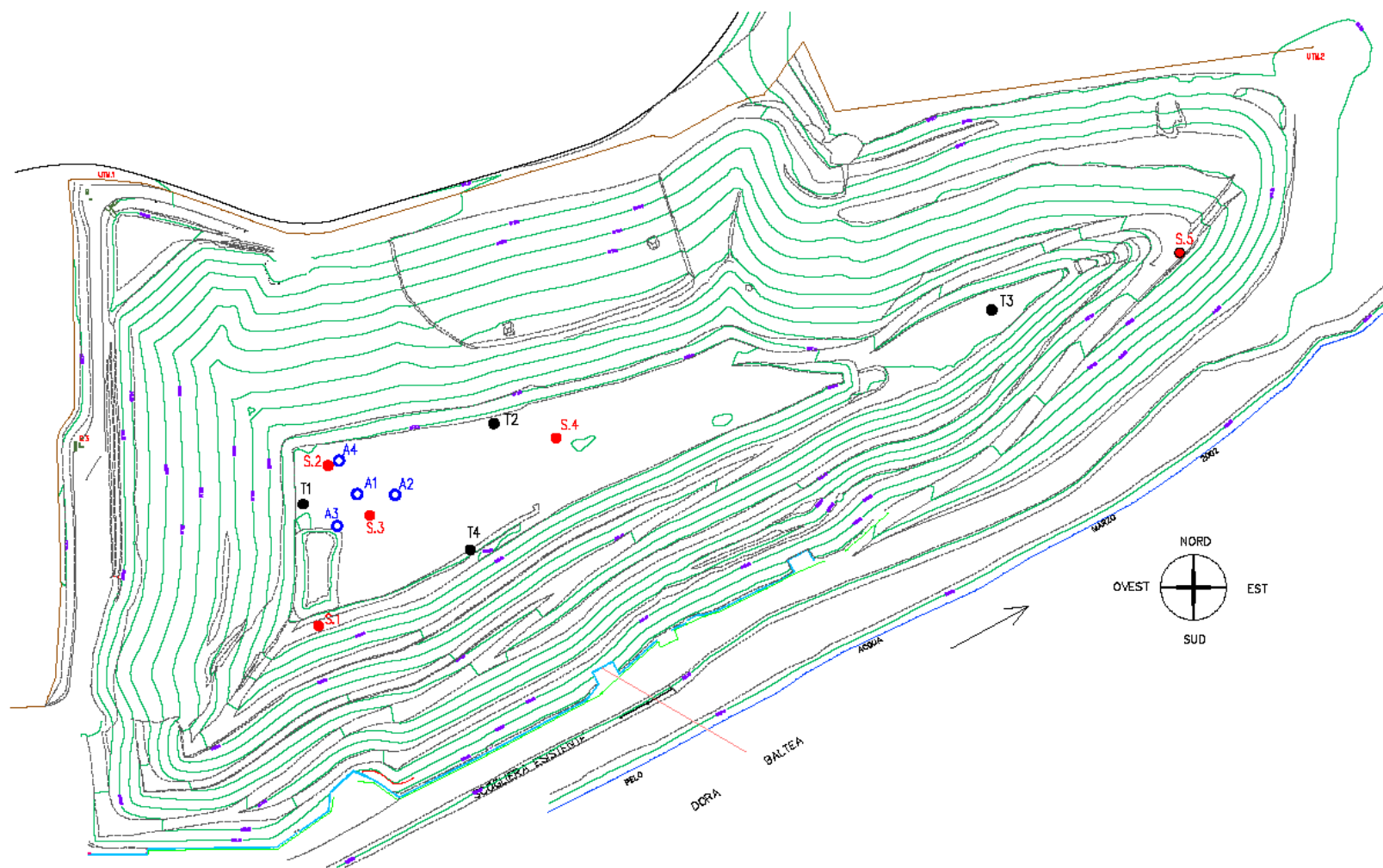


Figura 4.1. Planimetria della discarica di Brissogne con posizionamento sondaggi S1÷S5, dei pozzi di aerazione A1÷A4 (indagine Valeco, novembre 2008) e delle trivellazioni T1÷T4 (indagine Zimatec, novembre 2006).

4.1 Analisi merceologica e granulometrica

L'analisi merceologica e granulometrica è stata eseguita dalla società Valeco tra il 28 ottobre e il 19 novembre 2008 sui campioni di rifiuto estratti durante le trivellazioni dei pozzi di aerazione A1÷A4, la cui ubicazione è riportata in Figura 4.1.

Tale analisi, inizialmente non prevista nel Piano delle Attività di Caratterizzazione, è stata effettuata al fine di elaborare alcune osservazioni preliminari in vista della progettazione di un eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso la tecnica del *Landfill Mining*.

I rifiuti, una volta estratti, sono stati collocati all'interno di appositi cassoni chiusi ed inviati alle operazioni di pesatura. Essi sono stati successivamente suddivisi in due cumuli distinti, da ognuno dei quali è stato prelevato, mediante il metodo delle inquartature successive, un campione rappresentativo sul quale è stata effettuata l'analisi merceologica e granulometrica. Questa è stata condotta utilizzando n. 6 vagli caratterizzati da una spaziatura tra le maglie pari a 200, 100, 50, 40, 30, 20 mm, opportunamente impilati in ordine decrescente di dimensione a partire dall'alto.

Le classi merceologiche considerate sono le seguenti:

- tessili - legno
- carta - cartone;
- plastica;
- metalli;
- materiale inerte.

Per i campioni di rifiuto caratterizzati da elevata umidità, non è stato possibile classificare merceologicamente parte del materiale trattenuto ai vagli di dimensioni 50, 40, 30, 20 mm. In tal caso, la frazione trattenuta non separabile è stata definita come “*frazione non definibile merceologicamente*”.

Per quanto riguarda, invece, la frazione passante il vaglio 20 mm (sottovaglio), essa è stata considerata classe a sé stante.

Nei paragrafi seguenti verranno esaminati i risultati ottenuti dalle suddette analisi merceologiche e granulometriche.

4.1.1 Analisi merceologica

Nelle tabelle sottostanti (Tabelle 4.1–4.8) sono riportati i risultati dell’analisi merceologica condotta sui campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalle trivellazioni dei pozzi di aerazione.

Tabella 4.1. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla prima trivellazione.

VAGLIO	Campione n. 1	Campione n. 2
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
200 mm		
Tessili - Legno	0,8	1,1
Carta - Cartone	2,3	4,3
Plastica	19,6	27,4
Metalli	2,3	2,4
Materiale inerte	2,5	1,7
100 mm		
Tessili - Legno	0,7	0,6
Carta - Cartone	2,9	3,5
Plastica	21,2	17,6
Metalli	2	1,6
Materiale inerte	1,5	1,2
50 mm		
Tessili - Legno	0,5	0,4
Carta - Cartone	1,6	2,2
Plastica	5,1	14,6
Metalli	1,8	4,1
Materiale inerte	0,6	4,6
Materiale non def. merc.	55,6	61,1
40 mm		
Plastica	1,8	2,3
Materiale inerte	1,5	2
Materiale non def. merc	40,2	41,5
30 mm		
Plastica	0,6	1,9
Materiale inerte	0,5	0,9
Materiale non def. merc	14,9	15
20 mm		
Materiale non def. merc	2,6	2,4
Sottovaglio		
Indifferenziato	5,2	6,4
SOMMA	188,3	220,8

Tabella 4.2. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla prima trivellazione.

CLASSE	Campione n. 1		Campione n. 2	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili - Legno	2,0	1,0	2,1	1,0
Carta - Cartone	6,8	3,6	10,0	4,5
Plastica	48,3	25,7	63,8	28,9
Metalli	6,1	3,3	8,1	3,7
Materiale inerte	6,6	3,5	10,4	4,7
Materiale non def. merc.	113,3	60,2	120,0	54,4
Sottovaglio 20 mm	5,2	2,7	6,4	2,8

Tabella 4.3. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla seconda trivellazione.

VAGLIO	Campione n. 1	Campione n. 2
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
200 mm		
Tessili - Legno	1,3	1,8
Carta - Cartone	4,8	4,1
Plastica	13,7	19,6
Metalli	1,5	1,9
Materiale inerte	6,7	2,5
100 mm		
Tessili - Legno	1,9	1,4
Carta - Cartone	2,3	2,8
Plastica	17	14,4
Metalli	0,8	1,6
Materiale inerte	11,1	12,2
50 mm		
Tessili - Legno	0,7	0,9
Carta - Cartone	1,2	2,2
Plastica	0,7	4,7
Metalli	0,7	0,9
Materiale inerte	3,5	8,4
Materiale non def. merc.	23,5	24
40 mm		
Plastica	0,1	1,2
Materiale inerte	0,3	4,3
Materiale non def. merc	31,8	38,7
30 mm		
Plastica	0,3	0,5
Materiale inerte	0,6	0,9
Materiale non def. merc	18,3	18,8
20 mm		
Materiale non def. merc	9,1	10,8
Sottovaglio		
Indifferenziato	14	17,1
SOMMA	165,9	195,7

Tabella 4.4. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla seconda trivellazione.

CLASSE	Campione n. 1		Campione n. 2	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili - Legno	3,9	2,3	4,1	2,1
Carta - Cartone	8,3	5,0	9,1	4,7
Plastica	31,8	19,2	40,4	20,8
Metalli	3,0	1,8	4,4	2,3
Materiale inerte	22,2	13,4	28,3	14,6
Materiale non def. merc.	82,7	50,2	92,3	47,6
Sottovaglio 20 mm	14,0	8,0	17,1	8,0

Tabella 4.5. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla terza trivellazione.

VAGLIO	Campione n. 1	Campione n. 2
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
200 mm		
Tessili - Legno	7,7	23
Carta - Cartone	2,8	1,3
Plastica	18	10,3
Metalli	0,3	0,1
Materiale inerte	6	2,4
100 mm		
Tessili - Legno	1,8	4,4
Carta - Cartone	1,8	0
Plastica	2,8	4,2
Metalli	3	0
Materiale inerte	2	3,1
50 mm		
Tessili - Legno	10	4,2
Carta - Cartone	6	5,2
Plastica	13	7,4
Metalli	1	1,5
Materiale inerte	11	9,2
Materiale non def. merc.	9	15
40 mm		
Tessili - Legno	2,5	1,3
Carta - Cartone	1	2,8
Plastica	6	2,9
Metalli	1,5	1
Materiale inerte	4	7
Materiale non def. merc	21	25
30 mm		
Tessili - Legno	0,7	1
Carta - Cartone	2	1,8
Plastica	4	1,5
Metalli	0,5	0,2
Materiale inerte	7	5
Materiale non def. merc	44	48
20 mm		
Materiale non def. merc	47,5	52,4
Sottovaglio		
Indifferenziato	28	25,3
SOMMA	265,9	266,5

Tabella 4.6. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla terza trivellazione.

CLASSE	Campione n. 1		Campione n. 2	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili - Legno	20,9	8,7	29,5	12,9
Carta - Cartone	13,6	5,2	11,1	4,2
Plastica	43,8	16,8	26,3	10,0
Metalli	6,3	2,5	2,8	1,0
Materiale inerte	30,0	11,4	26,7	10,0
Materiale non def. merc.	74,0	45,0	88,0	52,7
Sottovaglio 20 mm	28,0	10,3	25,3	9,2

Tabella 4.7. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla quarta trivellazione.

VAGLIO	Campione n. 1	Campione n. 2
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
200 mm		
Tessili - Legno	5,1	2,6
Carta - Cartone	0,9	1,7
Plastica	2,2	4,2
Metalli	0,4	0,2
Materiale inerte	0,1	3
100 mm		
Tessili - Legno	5,6	3,9
Carta - Cartone	2,6	2,1
Plastica	2,9	2,7
Metalli	0,3	0,4
Materiale inerte	0,4	0,6
50 mm		
Tessili - Legno	3,4	5,4
Carta - Cartone	1,6	1,2
Plastica	3,2	3,2
Metalli	0,9	0,8
Materiale inerte	0,7	1,9
Materiale non def. merc.	10,1	15
40 mm		
Tessili - Legno	1,7	2,7
Carta - Cartone	1,3	1,4
Plastica	1,3	0,9
Metalli	0,6	0,2
Materiale inerte	0,3	2,7
Materiale non def. merc	43,3	49
30 mm		
Tessili - Legno	2,7	2,1
Carta - Cartone	0,4	0,2
Plastica	4	0,3
Metalli	3,8	0
Materiale inerte	0,1	3,9
Materiale non def. merc	65,9	65,2
20 mm		
Materiale non def. merc	95,5	73,1
Sottovaglio		
Indifferenziato	6,9	7,9
SOMMA		

Tabella 4.8. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni ottenuti dai rifiuti estratti dalla quarta trivellazione.

CLASSE	Campione n. 1		Campione n. 2	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili - Legno	12,9	7,1	16,7	6,5
Carta - Cartone	4,2	2,6	6,6	2,7
Plastica	10,7	5,2	11,3	4,5
Metalli	5,7	2,2	1,6	0,7
Materiale inerte	1,2	0,6	12,1	4,8
Materiale non def. merc.	119,3	79,8	129,2	77,8
Sottovaglio 20 mm	6,9	2,5	7,9	3,0

I valori medi ottenuti per le categorie merceologiche considerate nel corso dell'analisi sono riportati nella Tabella 4.9 e rappresentati in Figura 4.2. Si sono tralasciati i risultati relativi alla quarta trivellazione in quanto non ritenuti significativi a causa della rilevante percentuale di “*frazione non definibile merceologicamente*” riscontrata (pari al 78,8%).

In tutti i campioni analizzati la frazione nettamente preponderante è rappresentata dal “*materiale non definibile merceologicamente*”, la cui percentuale varia tra il 48,8%-57,1%. Si osserva una percentuale significativa di plastica (variabile tra il 13,4% e il 27,4%), una percentuale discreta di tessili - legno (variabile tra 1% e il 10,8%), carta-cartone (variabile tra il 4,1% e il 4,8%) e materiali inerti (variabile tra il 4,1% e il 14,1%), una percentuale relativamente bassa di metalli (variabile tra il 1,8% e il 3,5%).

Tabella 4.9. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati (novembre 2008).

	I trivellazione	II trivellazione	III trivellazione	Valori medi
Tessili - Legno	1,0%	2,2%	10,8%	4,7%
Carta - Cartone	4,1%	4,8%	4,7%	4,6%
Plastica	27,4%	20,1%	13,4%	20,3%
Metalli	3,5%	2,1%	1,8%	2,4%
Materiale inerte	4,1%	14,1%	10,7%	9,6%
Materiale non def. merc.	57,1%	48,8%	48,9%	51,6%
Sottovaglio 20 mm	2,8%	8,0%	9,7%	6,8%

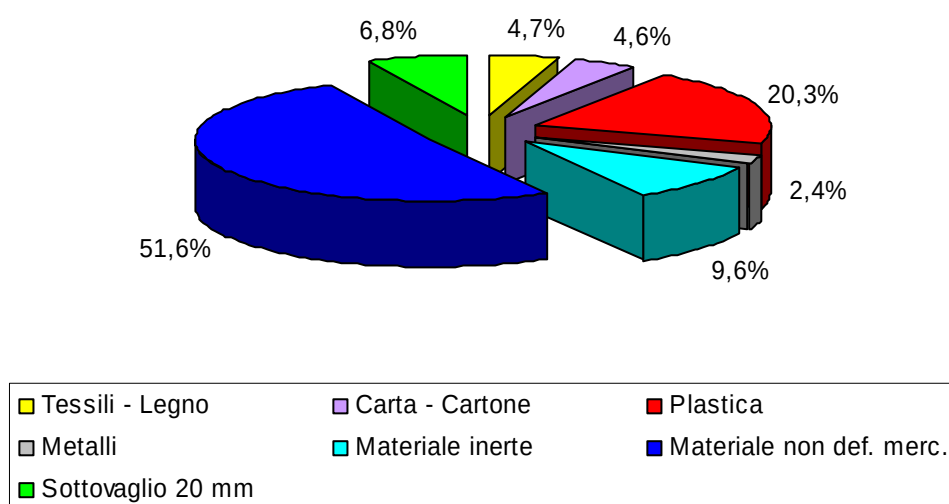


Figura 4.2. Rappresentazione dei valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati (novembre 2008).

Dall'esame dei dati si rileva come la percentuale di sottovaglio a 20 mm sia relativamente bassa, variabile tra 2,8% e 9,7%. Questo è attribuibile al fatto che dalle trivellazioni è stato estratto del rifiuto caratterizzato da un elevato grado di umidità e, probabilmente, la maggior parte del materiale fine costituente il sottovaglio è rimasta adesa alle particelle di dimensioni maggiori, contribuendo a formare quella che è stata indicata come la *“frazione non definibile merceologicamente”* (riscontrata, invece, in percentuali significative).

Da dati sopra riportati si osserva una notevole eterogeneità nella tipologia di rifiuto depositato, nonostante le trivellazioni siano state effettuate in punti molto prossimi tra loro: le varie componenti, infatti, si rilevano in percentuali variabili in intervalli piuttosto ampi.

A ciò si aggiunge che da tutte le trivellazioni effettuate sono stati prelevati rifiuti caratterizzati da un elevato grado di umidità, condizione del tutto dissimile da quella che si verrebbe a creare a seguito del processo di stabilizzazione aerobica dei rifiuti, preliminare all'eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso *Landfill Mining*.

Da qui la necessità di eseguire un'analisi merceologica e granulometrica integrativa su campioni di rifiuto preventivamente asciugati all'aria aperta, al fine di simulare le condizioni che si avrebbero con l'applicazione dell'aerazione in situ. Sui campioni così trattati si potrà, quindi, procedere ad una classificazione merceologica più rappresentativa.

I valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti analizzati evidenziano una percentuale media complessiva (in peso) del 30% circa di CDR recuperabile, ossia di frazioni merceologiche quali tessili – legno, carta – cartone e plastica caratterizzate da un buon potere calorifico inferiore.

L'indagine Zimatec, peraltro, tramite analisi sul potere calorifico inferiore sulle varie componenti merceologiche, aveva evidenziato, in alcuni campioni di rifiuto, delle caratteristiche energetiche interessanti del sottovaglio 20 mm e della *“frazione non definibile merceologicamente”*.

Risulta d'interesse, dunque, effettuare, nell'ambito della caratterizzazione del rifiuto presente in discarica ai fini di un suo eventuale recupero energetico la determinazione del potere calorifico inferiore delle singole frazioni merceologiche identificate (vedi Capitolo 9).

4.1.3 Analisi granulometrica

I risultati dell'analisi granulometrica eseguita sui rifiuti provenienti dalle quattro trivellazioni sono riassunti nelle Tabelle 4.11-4.14, nelle quali è riportato sia il peso netto trattenuto (kg) sia la frazione netta di materiale passante (% in peso) ai singoli vagli.

Tabella 4.11. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto ottenuti dalla prima trivellazione.

Diametro [mm]	Campione n. 1		Campione n.2		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	
200	28,7	85,5	37,9	83,3	84,3
100	30,1	70,3	25,1	72,2	71,3
50	68,4	35,7	89,4	32,8	34,1
40	45,6	12,6	47,4	11,9	12,2
30	16,8	4,1	18,3	3,8	3,9
20	2,8	2,7	2,4	2,8	2,8

Tabella 4.12. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto ottenuti dalla seconda trivellazione.

Diametro [mm]	Campione n. 1		Campione n.2		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	
200	29,1	83,1	32,4	84,7	84,0
100	34,4	63,1	35,5	68	65,8
50	31,7	44,7	45,1	46,7	45,8
40	33,6	25,2	48,5	23,8	24,4
30	20	13,6	21,8	13,5	13,5
20	9,4	8,1	11,7	8	8,0

Tabella 4.13. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto ottenuti dalla terza trivellazione.

Diametro [mm]	Campione n. 1		Campione n.2		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	
200	36,1	86,7	38,5	85,9	86,3
100	12,6	82,1	12,2	81,4	81,7
50	52,5	62,8	43,3	65,6	64,2
40	37,4	49,1	41,6	50,4	49,8
30	58,3	27,7	59,7	28,6	28,2
20	47,5	10,3	53,2	9,2	9,7

Tabella 4.14. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto ottenuti dalla quarta trivellazione.

Diametro [mm]	Campione n. 1		Campione n.2		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	
200	10,2	96,3	12,4	95,3	95,8
100	12,3	91,9	10,6	91,3	91,6
50	20,6	84,5	28,8	80,4	82,5
40	49,9	66,5	58,6	58,2	62,5
30	78,2	38,4	72,6	30,7	34,6
20	99,8	2,5	73,1	3	2,7

Nella Figura 4.3 sono rappresentate le curve granulometriche relative ai campioni analizzati nel corso dell'indagine. Esse evidenziano come la percentuale di sottovaglio individuata nei campioni analizzati sia piuttosto bassa.

Si nota, inoltre, una certa similitudine nella composizione granulometrica dei rifiuti estratti dalla prima e seconda trivellazione e dalla terza e quarta: considerando, infatti, come riferimento la percentuale passante al vaglio 40 mm, si osserva che nel primo caso a predominare nei rifiuti è la frazione grossolana, mentre nel secondo caso è la frazione fine. In generale, quindi, non è possibile definire una omogeneità nella granulometria dei rifiuti analizzati, nonostante siano stati prelevati da trivellazioni molto prossime tra loro.

La distribuzione granulometrica delle varie componenti merceologiche identificate nei rifiuti estratti dalle n. 4 trivellazioni effettuate è riportata nelle Figure 4.4-4.5.

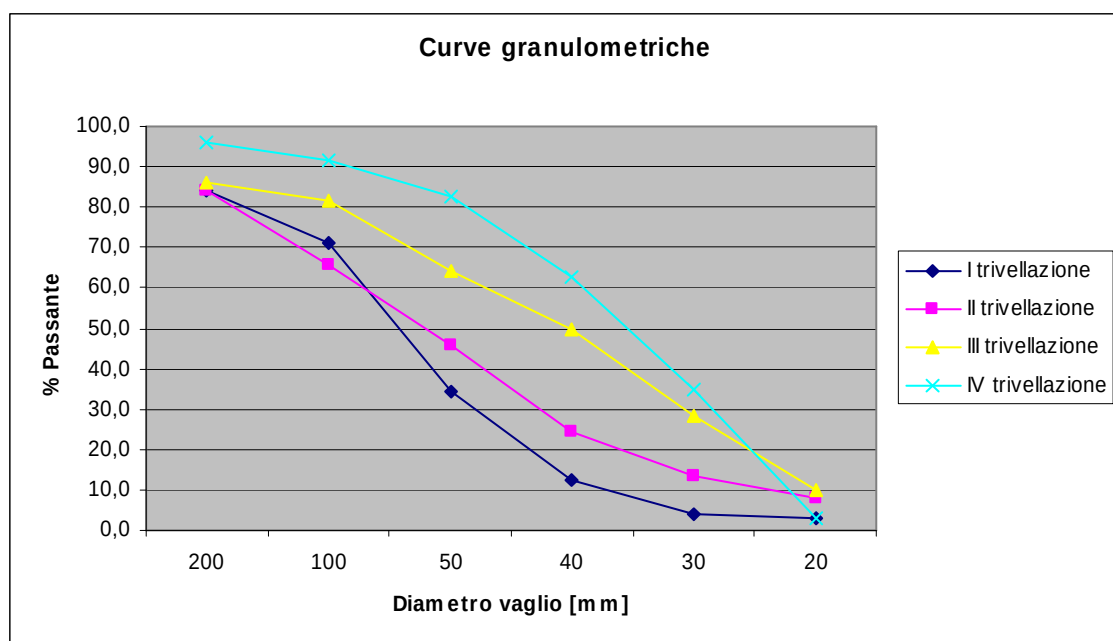


Figura 4.3. Curve granulometriche dei rifiuti prelevati dalle n.4 trivellazioni effettuate. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie (mm) dei vagli adottati.

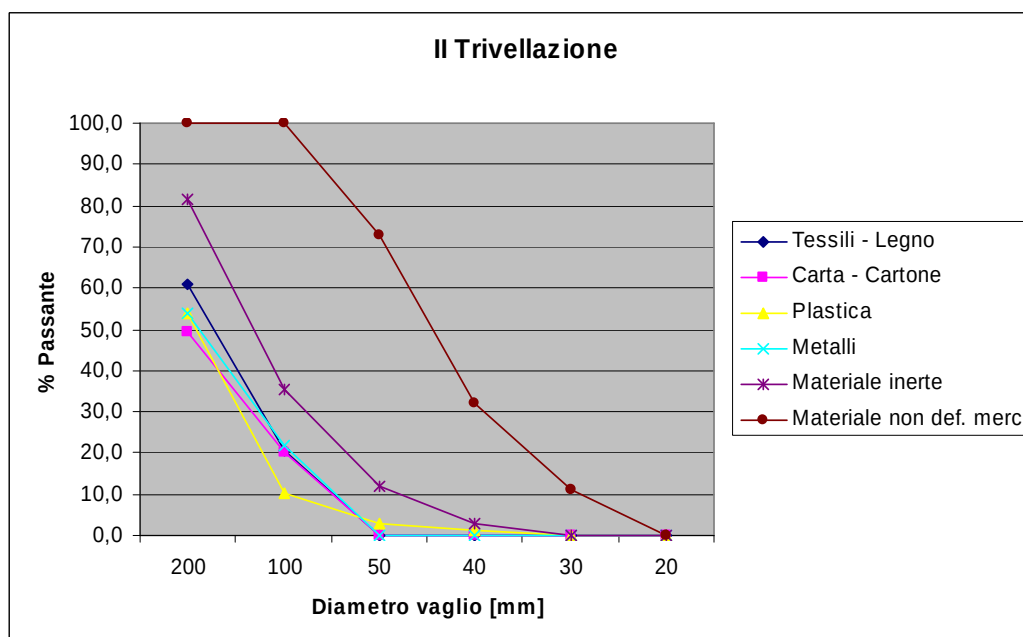
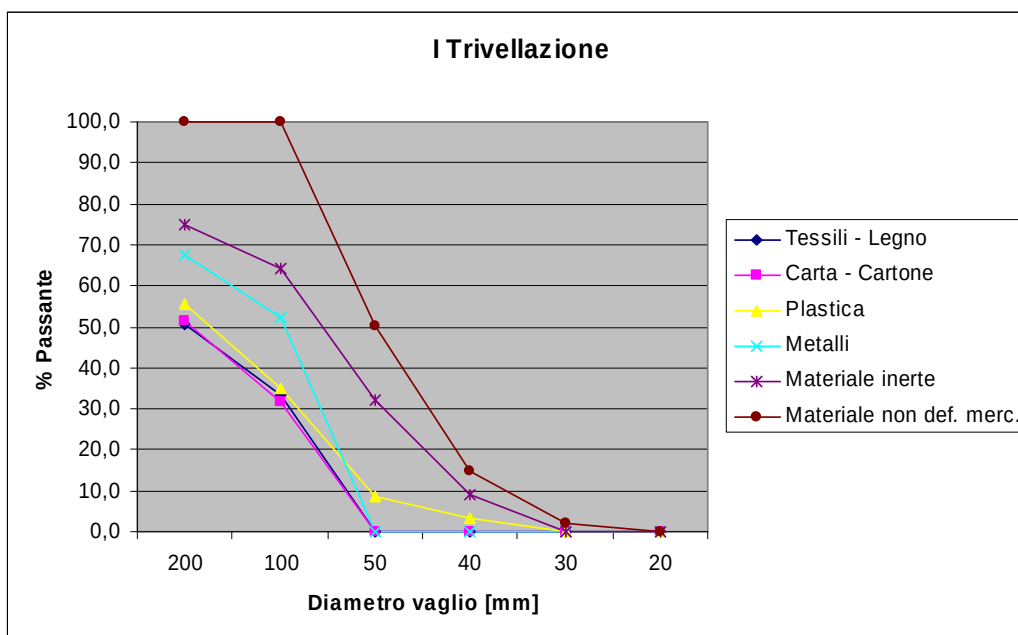


Figura 4.4. Distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati dalla prima e seconda trivellazione. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

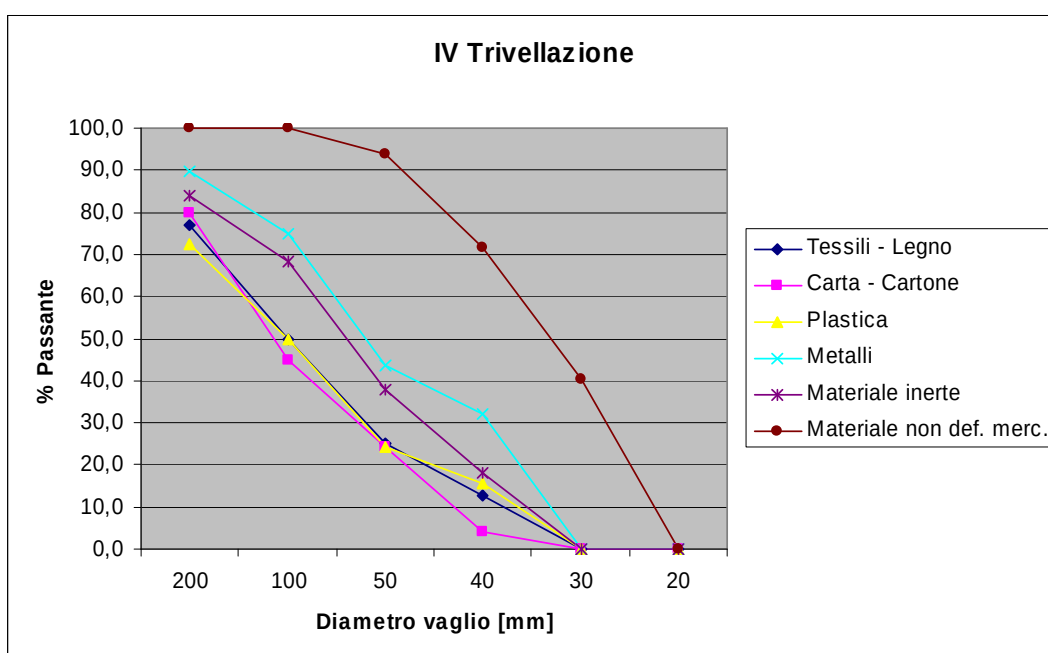
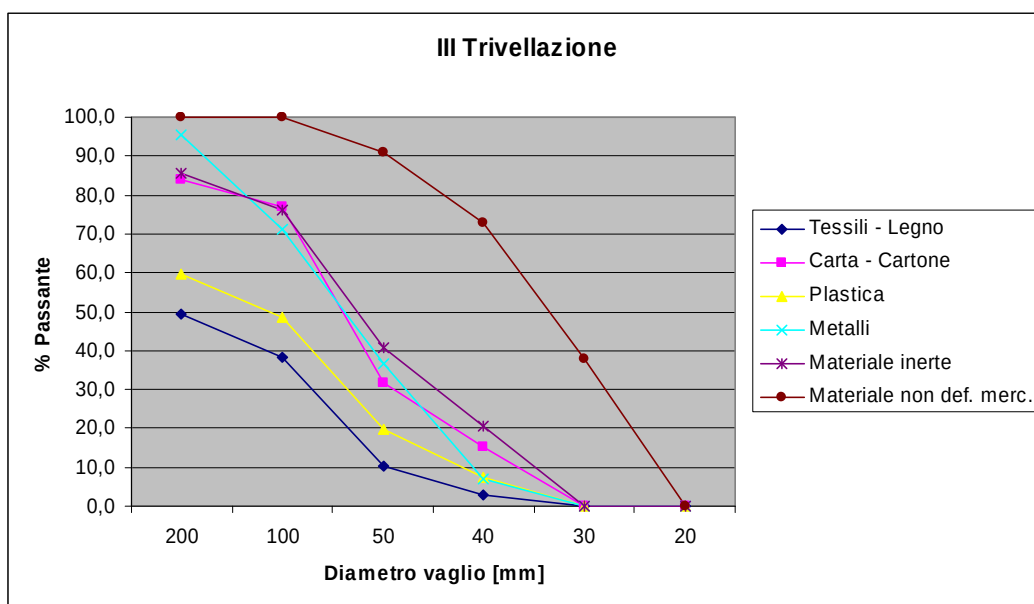


Figura 4.5. Distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati dalla terza e quarta trivellazione. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

La distribuzione granulometrica media (Figura 4.6) indica che le frazioni più grossolane del rifiuto sono costituite principalmente da carta-cartone, plastica, e da legno-tessili, mentre le frazioni fini sono composte per la maggior parte dal materiale costituente la “*frazione non definibile merceologicamente*” e in minor misura da materiale inerte.

Le materie metalliche non costituiscono un campione rappresentativo: basta, infatti, un campione di metallo di dimensioni elevate per falsare il grafico. In ogni caso, per completezza di indagine, sono state riportate anche le curve granulometriche ad esse relative.

Nei grafici riportati nelle Figure 4.7, 4.8, 4.9 sono state confrontate per ciascuna trivellazione le distribuzioni granulometriche di plastica, carta-cartone e materiale inerte. Solo per quest’ultimo si osserva una certa omogeneità.

Viste l’eterogeneità nella composizione granulometrica del rifiuto presente e le elevate condizioni di umidità riscontrate si vede la necessità di eseguire delle analisi granulometriche integrative (Capitolo 9).

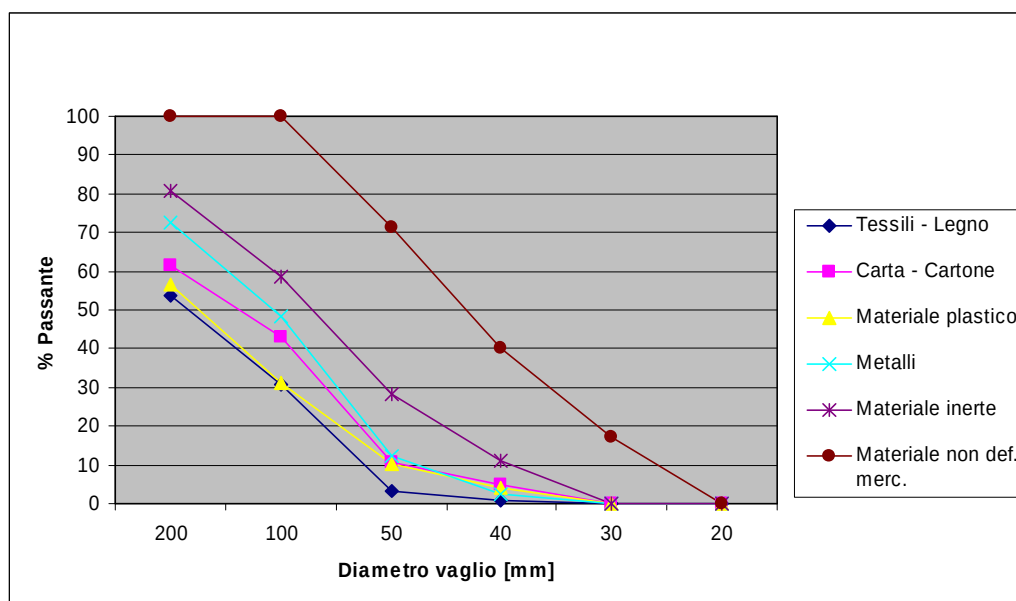


Figura 4.6. Distribuzione granulometrica media dei rifiuti prelevati dai lotti in coltivazione (indagine novembre 2008).

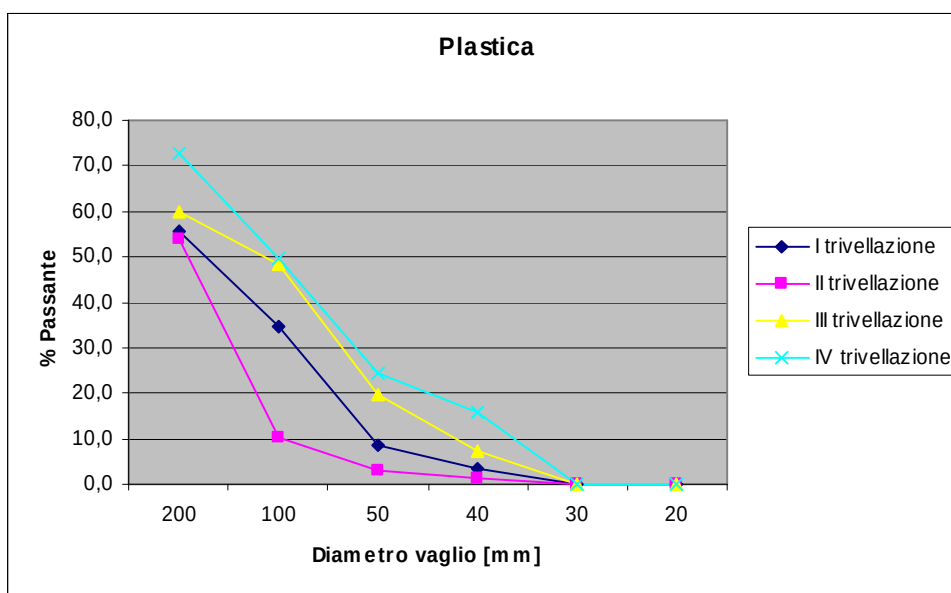


Figura 4.7. Distribuzione granulometrica della plastica nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

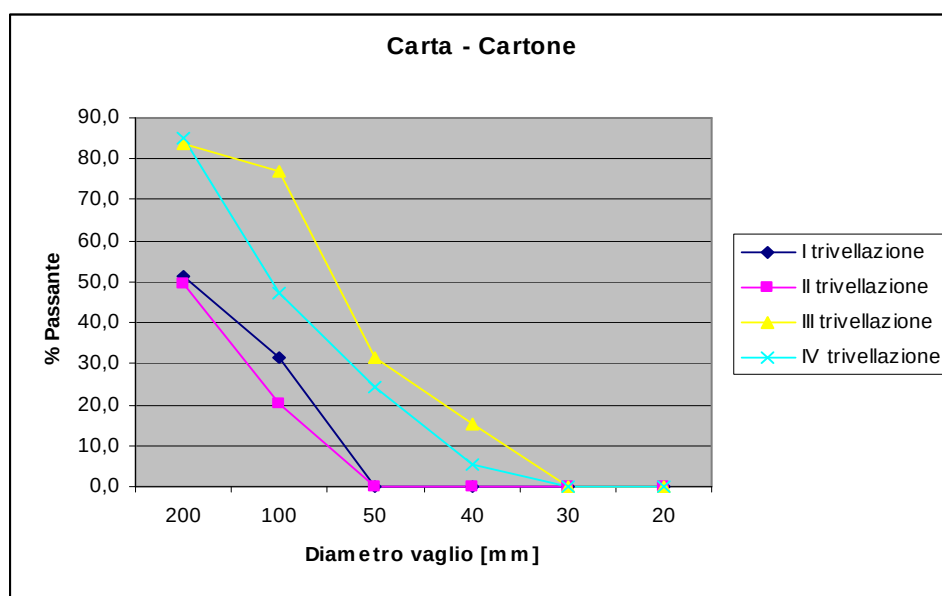


Figura 4.8. Distribuzione granulometrica della categoria merceologica relativa alla carta - cartone nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

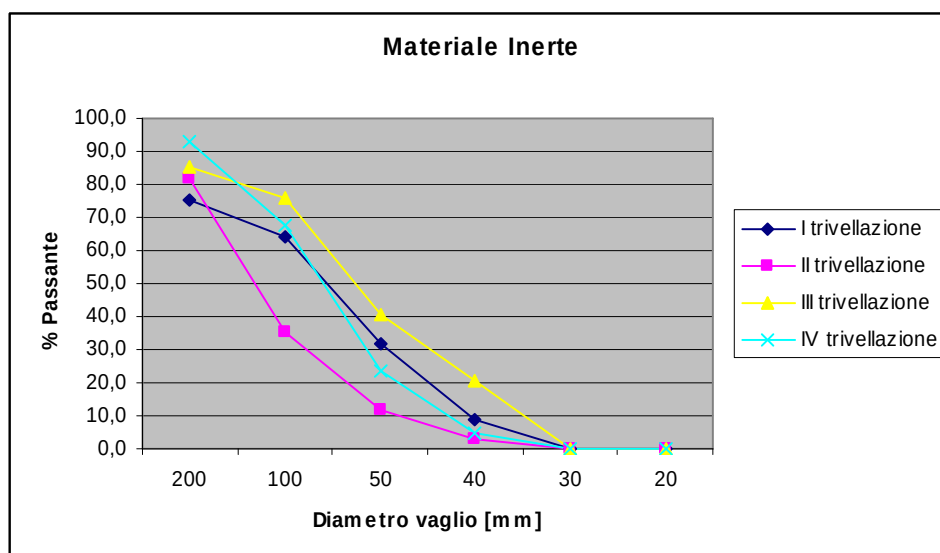


Figura 4.9. Distribuzione granulometrica del materiale inerte nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

4.2 Determinazioni analitiche sui rifiuti estratti

Le determinazioni analitiche sul rifiuto prelevato in discarica sono state eseguite al fine di valutare il grado di putrescibilità, l'entità delle emissioni e la presenza di componenti lisciviabili nel rifiuto. Tali analisi sono state effettuate per conto di Spinoff S.r.l. dal Laboratorio LISA dell'Università di Padova, sono consistite nell'esecuzione di test per la determinazione di umidità (U), solidi totali (ST), solidi volatili (SV), indice respirometrico (IR₄) e produzione di biogas in test di fermentazione (B₂₁). Gli stessi campioni sono stati sottoposti a test di cessione in acqua distillata per la determinazione dei parametri COD e N-NH₄⁺ negli eluati.

Le determinazioni analitiche sono state effettuate su:

- n. 24 campioni di rifiuto prelevato durante l'esecuzione dei sondaggi S1÷S5 (invece dei 25 inizialmente previsti dal Piano);
- su n. 20 campioni prelevati durante l'esecuzione dei pozzi principali A1÷A4 del campo prove per i test di aerazione in situ.

In Figura 4.1 è riportata l'ubicazione dei sondaggi S1÷S5 e dei pozzi di aerazione A1÷A4.

I campioni sono stati prelevati indicativamente ogni 5 m di profondità e sono stati conservati in frigo all'interno di un sacchetto a tenuta per evitare il contatto con l'aria e garantirne, quindi, una buona conservazione. Nelle Tabelle 4.15 e 4.16 si riportano le profondità di campionamento, misurate rispetto al p.c., in corrispondenza dei punti d'indagine.

Si sottolinea che per i campioni A1-A, A2-A, A2-B, e quelli prelevati dalle trivellazioni A3 e A4 non è stata possibile la determinazione di alcuno dei parametri di interesse, in quanto le caratteristiche del materiale prelevato non lo ha reso operativamente possibile.

I campioni S3-B S3-C e quelli relativi alle trivellazioni A1 e A2 sui i quali è stato possibile effettuare l'analisi, sono stati considerati come fanghi visto l'elevato grado di umidità rilevato: non sono stati eseguiti, quindi, i test di cessione e le successive determinazioni dei parametri COD e N-NH_4^+ sull'eluato.

Tabella 4.15. Profondità di prelievo dei campioni di rifiuto per i sondaggio S1÷S5.

Sondaggio	Denominazione campione	Profondità di prelievo da p.c. [m]	Campioni prelevati
S1	S1 A	4,00 – 4,50	1
	S1 B	8,50 – 9,00	2
	S1 C	13,50 – 14,00	3
	S1 D	18,50 – 19,00	4
	S1 E	23,00 – 23,50	5
S2	S2 A	4,00 – 4,50	1
	S2 B	8,50 – 9,00	2
	S2 C	13,00 – 13,50	3
	S2 D	19,50 – 20,00	4
	S2 E	23,00 – 23,50	5
S3	S3 A	4,00 – 4,50	1
	S3 B*	8,50 – 9,00	2
	S3 C*	13,50 – 14,00	3
	S3 D	18,50 – 19,00	4
	S3 E	23,50 – 24,00	5
S4	S4 A	4,00 – 4,50	1
	S4 B	8,50 – 9,00	2
	S4 C	13,00 – 13,50	3
	S4 D	19,50 – 20,00	4
	S4 E	23,50 – 24,00	5
S5	S5 A	4,00 – 4,50	1
	S5 B	7,00 – 7,50	2
	S5 C	11,00 – 11,50	3
	S5 D	15,50 – 16,00 m	4

*Non sono state effettuate le analisi sull'eluato del test di cessione in acqua distillata (COD e N-NH_4^+)

Tabella 4.16. Profondità di prelievo dei campioni di rifiuto per le trivellazione A1÷A4.

Sondaggio	Denominazione campione	Profondità di prelievo da p.c. [m]	Campioni prelevati	Note
A1	A1 A	4,00 – 4,50	1	Non è stata effettuata alcuna delle determinazioni analitiche previste dal Piano di Caratterizzazione
	A1 B	8,50 – 9,00	2	
	A1 C	13,50 – 14,00	3	
	A1 D	18,50 – 19,00	4	
	A1 E	22,50 – 23,00	5	
A2	A2 A	3,50 – 4,00	1	Non è stata effettuata alcuna delle determinazioni analitiche previste dal Piano di Caratterizzazione
	A2 B	8,50 – 9,00	2	
	A2 C	13,00 – 13,50	3	
	A2 D	19,50 – 20,00	4	
	A2 E	22,50 – 23,00	5	
A3	A3 A	4,00 – 4,50	1	Non è stata effettuata alcuna delle determinazioni analitiche previste dal Piano di Caratterizzazione
	A3 B	8,50 – 9,00	2	
	A3 C	13,50 – 14,00	3	
	A3 D	18,50 – 19,00	4	
	A3 E	23,00 – 23,50	5	
A4	A4 A	4,00 – 4,50	1	Non è stata effettuata nessuna delle determinazioni analitiche previste dal Piano di Caratterizzazione
	A4 B	8,50 – 9,00	2	
	A4 C	14,00 – 14,50	3	
	A4 D	19,50 – 20,00	4	
	A4 E	22,50 – 23,00	5	

4.2.1 Umidità, solidi totali e solidi volatili

I valori di umidità (U), solidi totali (ST) e solidi volatili (SV) misurati nei campioni prelevati per ciascun sondaggio (S1÷S5) e per le trivellazioni A1 e A2 alle differenti profondità, sono riportati nelle Tabelle 4.17 e 4.18 e rappresentati nelle Figure 4.10-4.12.

Si ricorda che, per i motivi precedentemente indicati, tali analisi non sono state effettuate nei campioni A1-A, A2-A, A2-B e in quelli prelevati dalle trivellazioni A3 e A4.

Tabella 4.17. Valori di umidità U (%), solidi totali ST (%) e solidi volatili SV (% sostanza secca) nei campioni prelevati alle diverse profondità dai sondaggi a carotaggio continuo S1÷S5.

Campioni	Profondità di prelievo da p.c. [m]	U [%]	ST [%]	SV [% ss]
S1 A	4,00-4,50	37	63	40
S1 B	8,50-9,00	14	86	2
S1 C	13,50-14,00	21	79	11
S1 D	18,50-19,00	20	80	16
S1 E	23,00-23,50	22	78	8
S2 A	4.00-4.50	14	86	6
S2 B	8.50-9.00	33	67	44
S2 C	13.00-13.50	32	68	30
S2 D	19.50-20.00	19	81	11
S2 E	23.00-23.50	33	67	38
S3 A	4.00-4.50	11	89	5
S3 B	8.50-9.00	68	32	42
S3 C	13.50-14.00	34	66	15
S3 D	18.50-19.00	37	63	11
S3 E	23.50-24.00	13	87	5
S4 A	4.00-4.50	54	46	43
S4 B	8.50-9.00	16	84	4,6
S4 C	13.00-13.50	13	87	5,1
S4 D	19.50-20.00	15	85	3,4
S4 E	23.50-24.00	26	74	17,0
S5 A	4.00-4.50	9	91	1,6
S5 B	7.00-7.50	14	86	2,6
S5 C	11.00-11.50	17	83	6,0
S5 D	15.50-16.00	14	86	6,0

Tabella 4.18. Valori di umidità U (%), solidi totali ST (%) e solidi volatili SV (% sostanza secca) nei campioni prelevati alle diverse profondità durante le trivellazioni dei pozzi di aerazione A1÷A4.

Campione	Profondità di prelievo da p.c. [m]	U [%]	ST [%]	SV [%]
A1 B	8.50-9.00	54	46	29
A1 C	13,50-14,00	50	50	18
A1 D	18,50-19,00	57	43	41
A1 E	22,50-23.00	57	43	25
A2 C	13,50-14.00	62	38	47
A2 D	18,50-19.00	63	37	33
A2 E	22,50-23.00	63	37	25

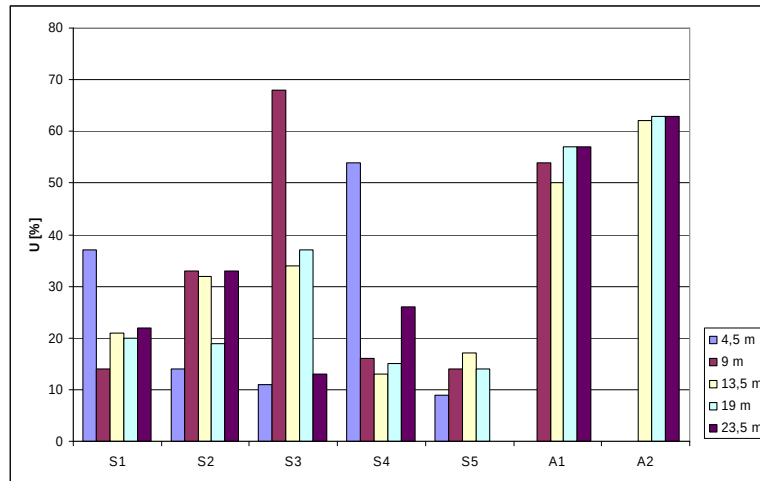


Figura 4.10. Rappresentazione dei valori del parametro umidità (U) nei campioni prelevati alle diverse profondità dai sondaggi (S1÷S5) e dalle trivellazioni (A1÷A4).

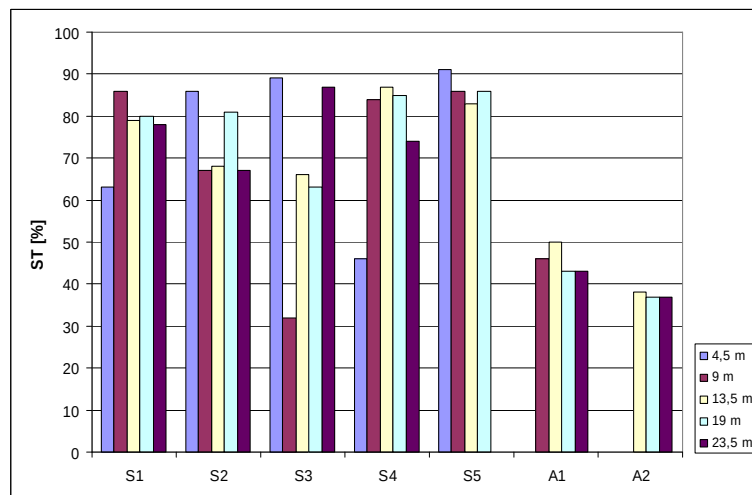


Figura 4.11. Rappresentazione dei valori del parametro solidi totali (ST) nei campioni prelevati alle diverse profondità dai sondaggi (S1÷S5) e dalle trivellazioni (A1÷A4).

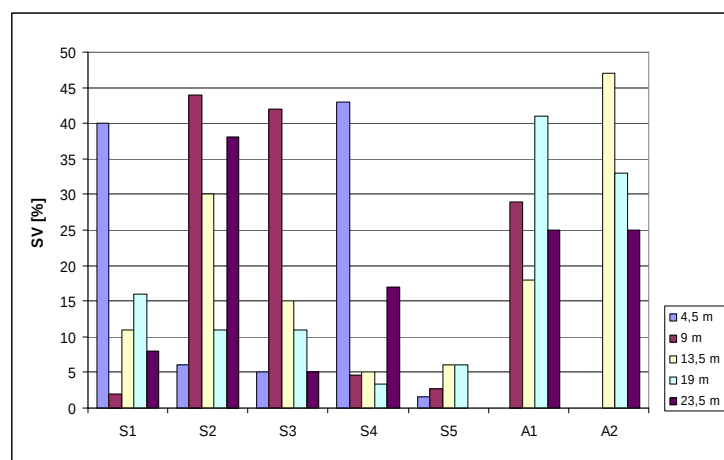


Figura 4.12. Rappresentazione dei valori del parametro solidi volatili (SV) nei campioni prelevati alle diverse profondità dai sondaggi (S1÷S5) e dalle trivellazioni (A1÷A4).

Per quanto riguarda l'umidità, si osserva che i campioni prelevati dai sondaggi presentano dei valori molto diversi alle differenti profondità di prelievo, variabili in un intervallo compreso tra il 9% e il 68%.

In generale, si nota che i valori più bassi di umidità si riscontrano nei campioni prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti, probabilmente a causa della presenza del *capping* che limita l'infiltrazione dell'acqua nel corpo di rifiuti.

I valori di umidità rilevati nei rifiuti prelevati dalle trivellazioni A1 e A2 risultano elevati, indipendentemente dalla profondità di prelievo degli stessi. Essi variano tra il 50% e il 63%.

L'andamento dei solidi totali, rappresentato in Figura 4.11, è complementare a quello del parametro umidità.

Per quanto concerne i solidi volatili, i valori riscontrati variano in un intervallo piuttosto ampio, compreso tra il 1,6% (sostanza secca) e il 44% (sostanza secca) (Figura 4.12).

Nella Figura 4.13 si riporta l'andamento con la profondità dei valori medi di umidità (U), solidi totali (ST) e solidi volatili (SV) calcolati su campioni prelevati alle medesime profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4 nella discarica di Brissogne.

Il valore medio di umidità più elevato, pari a 42,8%, si rileva nei rifiuti depositati a circa 9 m da p.c., indice della probabile presenza di una lente di percolato.

Alla stessa profondità si rileva anche il valore medio massimo relativo al parametro solidi volatili (29,9% sostanza secca).

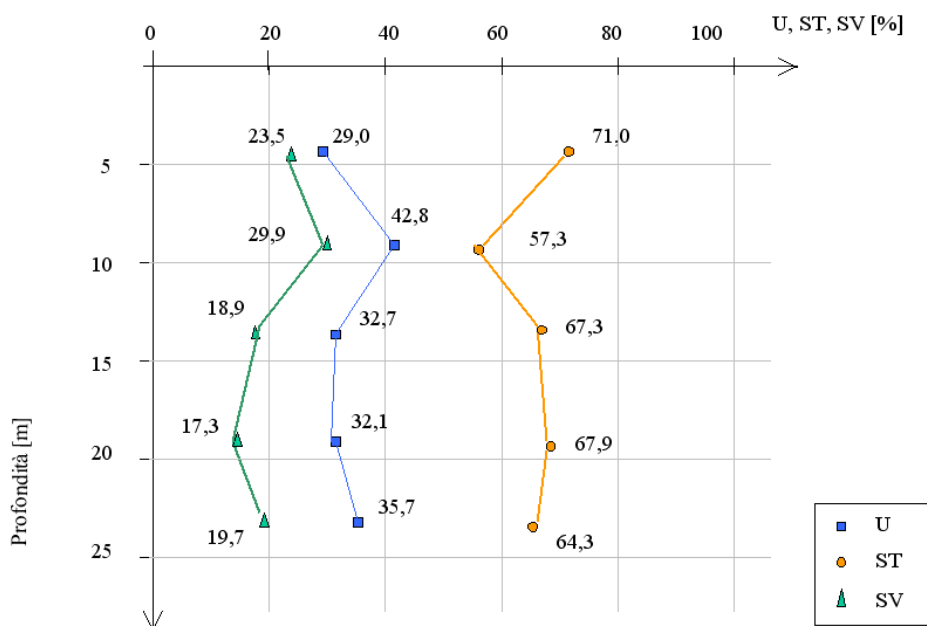


Figura 4.13. Andamento con la profondità dei valori medi di umidità U (%), solidi totali ST (%) e solidi volatili SV (% sostanza secca).

4.2.2 Test di cessione ed analisi degli eluati

Sono stati effettuati test di cessione in batch con acqua distillata sui campioni di rifiuto prelevati a varie profondità dai sondaggi S1÷S5. Non è stato possibile svolgere tali test sui campioni prelevati dalle trivellazioni A1÷A4 e nei campioni S3-B S3-C.

Su ciascuno degli eluati del test di cessione sono stati analizzati COD (*Chemical Oxygen Demand*) e N-NH_4^+ .

Le concentrazioni misurate per i suddetti parametri sono riportati nella Tabella 4.19 e rappresentati nelle Figure 4.14 e 4.15.

Per quanto riguarda il parametro COD, i valori riscontrati variano sensibilmente a seconda dei campioni analizzati e sono compresi tra 43,6 e 5846 mgO_2/l .

In generale, si osserva che negli eluati relativi ai campioni di rifiuto prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti, le concentrazioni di tale parametro risultano mediamente più basse.

Relativamente alle concentrazioni di azoto ammoniacale misurate, esse variano tra 2 $\text{mg N-NH}_4^+/\text{l}$ e 289 $\text{N-NH}_4^+/\text{l}$. Anche per tale parametro si osserva che i valori di concentrazione più bassi si riscontrano negli eluati relativi ai campioni prelevati dal sondaggio S5.

Tabella 4.19. Concentrazioni dei parametri COD e N-NH_4^+ , riscontrati sugli eluati del test di cessione con acqua distillata, relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5.

Campioni	Profondità di prelievo da p.c. [m]	COD [mgO_2/l]	N-NH_4^+ [$\text{mg N-NH}_4^+/\text{l}$]
S1 A	4,00-4,50	5846	186
S1 B	8,50-9,00	3649	78,5
S1 C	13,50-14,00	1764	201
S1 D	18,50-19,00	1411	119
S1 E	23,00-23,50	443	54
S2 A	4.00-4.50	1653	44
S2B	8.50-9.00	3024	289
S2 C	13.00-13.50	806	203
S2 D	19.50-20.00	574	131
S2 E	23.00-23.50	1500	269
S3 A	4.00-4.50	837	57
S3 B	8.50-9.00	-	-
S3 C	13.50-14.00	-	-
S3 D	18.50-19.00	301	246
S3 E	23.50-24.00	484	122
S4 A	4.00-4.50	2036	171
S4 B	8.50-9.00	777	138
S4 C	13.00-13.50	389	117
S4 D	19.50-20.00	736	112
S4 E	23.50-24.00	1936	241
S5 A	4.00-4.50	43,6	2
S5 B	7.00-7.50	43,6	11
S5 C	11.00-11.50	111	42
S5 D	15.50-16.00	1310	64

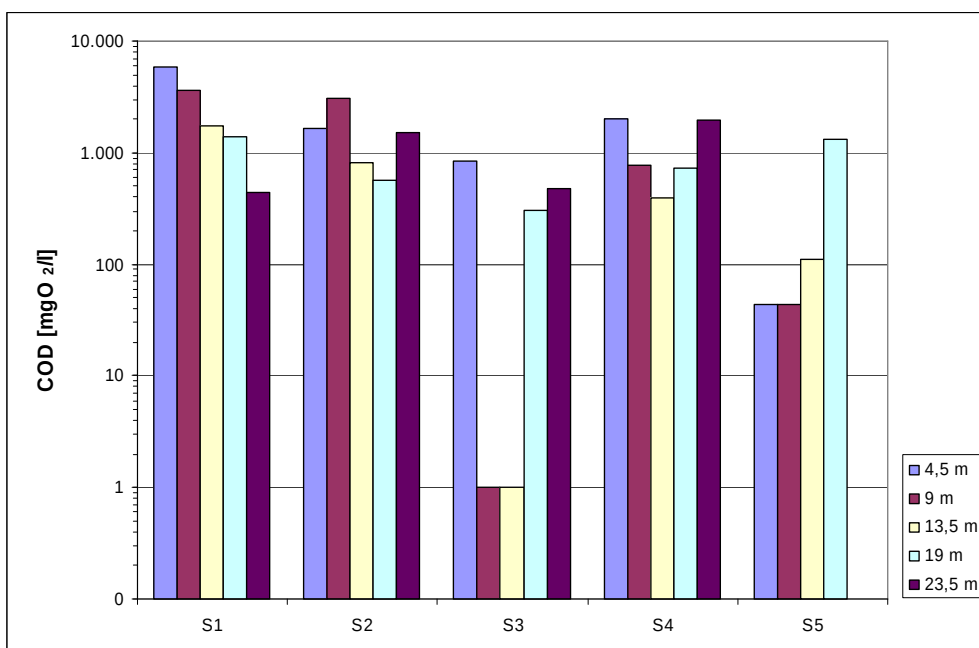


Figura 4.14. Rappresentazione dei valori di COD negli eluati derivanti dai test di cessione con acqua distillata relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5.

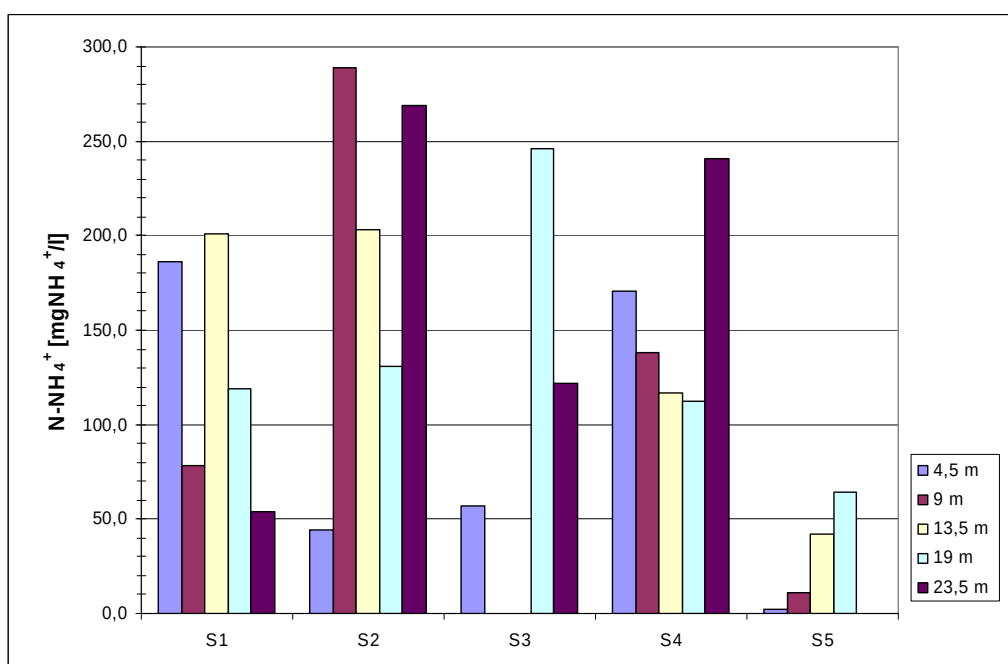


Figura 4.15. Rappresentazione dei valori di N-NH_4^+ negli eluati derivanti dai test di cessione con acqua distillata relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5.

I valori medi di COD e N-NH_4^+ , rilevati su campioni prelevati alle medesime profondità, sono rappresentati rispettivamente nelle Figure 4.16 e 4.17.

La concentrazione media più elevata, pari a 2.593 mgO_2/l , si riscontra negli eluati dei rifiuti prelevati più superficialmente.

La concentrazione media massima di azoto ammoniacale, pari a 213,5 $\text{mg N-NH}_4^+/\text{l}$ si riscontra alla profondità di 9 m circa da p.c..

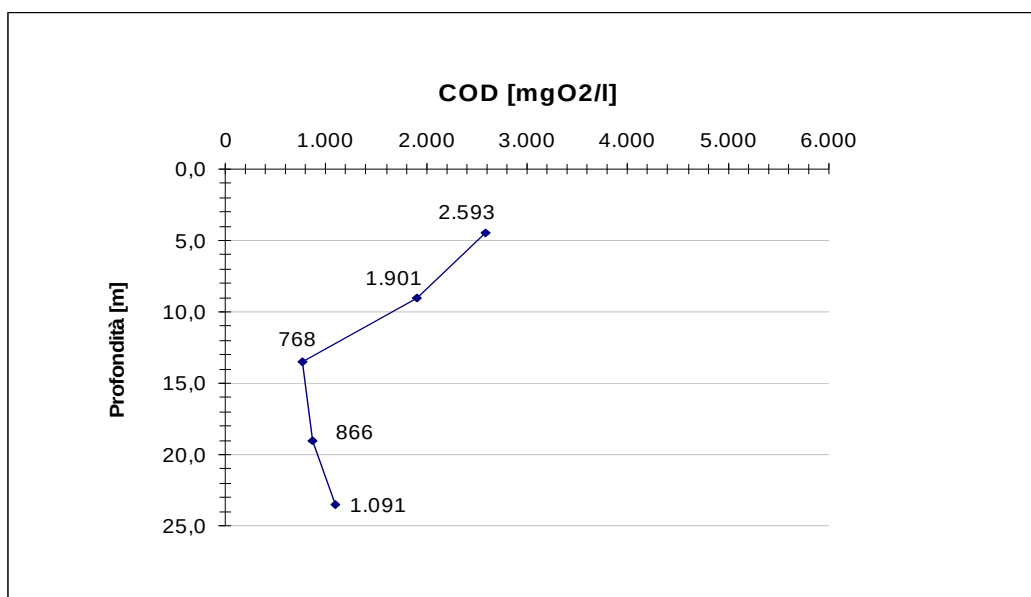


Figura 4.16. Rappresentazione delle concentrazioni medie COD calcolate in corrispondenza delle differenti profondità di prelievo dei campioni analizzati.

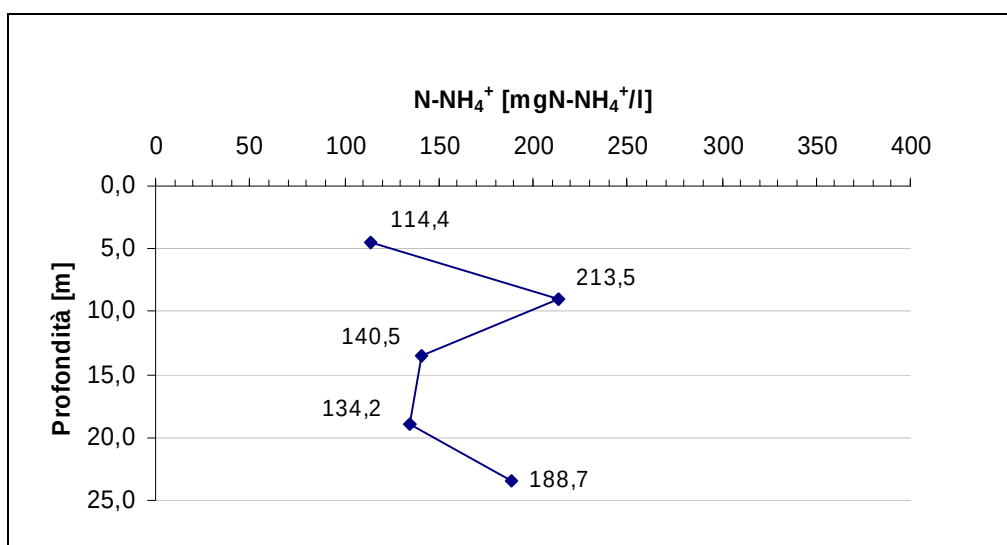


Figura 4.17 Andamento con la profondità dei valori medi di N-NH_4^+ calcolati su campioni prelevati alle medesime profondità dai sondaggi S1÷S5.

4.2.3 Test respirometrico

I valori dell'indice respirometrico riferito a quattro giorni (IR_4) misurati per i campioni di rifiuto prelevati sono riportati nella Tabella 4.20 e rappresentati nella Figura 4.18.

Non è stato possibile effettuare tale test sui campioni A1A, A2A, A2B e su quelli prelevati dalle trivellazioni A3 e A4.

I valori misurati per l'indice respirometrico riferito a quattro giorni (IR_4) variano in un intervallo compreso tra $0,2 \text{ mgO}_2/\text{gST}$ e $39,8 \text{ mgO}_2/\text{gST}$.

I valori più bassi si rilevano nei campioni di rifiuto prelevati dal sondaggio S5, ubicato nella parte di discarica relativa ai lotti esauriti.

Tabella 4.20. Valori di IR_4 relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

Campione	Profondità prelievo da p.c. [m]	IR_4 [mgO ₂ /gST]
S1 A	4,00-4,50	0,9
S1 B	8,50-9,00	0,5
S1 C	13,50-14,00	0,3
S1 D	18,50-19,00	1,6
S1 E	23,00-23,50	0,6
S2 A	4.00-4.50	1,4
S2 B	8.50-9.00	19,5
S2 C	13.00-13.50	2,3
S2 D	19.50-20.00	0,6
S2 E	23.00-23.50	4,1
S3 A	4.00-4.50	0,8
S3 B	8.50-9.00	11,5
S3 C	13.50-14.00	6,3
S3 D	18.50-19.00	1,5
S3 E	23.50-24.00	0,8
S4 A	4.00-4.50	39,8
S4 B	8.50-9.00	3,4
S4 C	13.00-13.50	0,6
S4 D	19.50-20.00	0,4
S4 E	23.50-24.00	3,8
S5 A	4.00-4.50	0,2
S5 B	7.00-7.50	0,9
S5 C	11.00-11.50	1,0
S5 D	15.50-16.00	1,3
A1 B	8.50-9.00	9,1
A1 C	13,50-14,00	8,3
A1 D	18,50-19,00	12,5
A1 E	22,50-23.00	9,6
A2 C	13,50-14.00	7,4
A2 D	18,50-19.00	7,0
A2 E	22,50-23.00	5,1

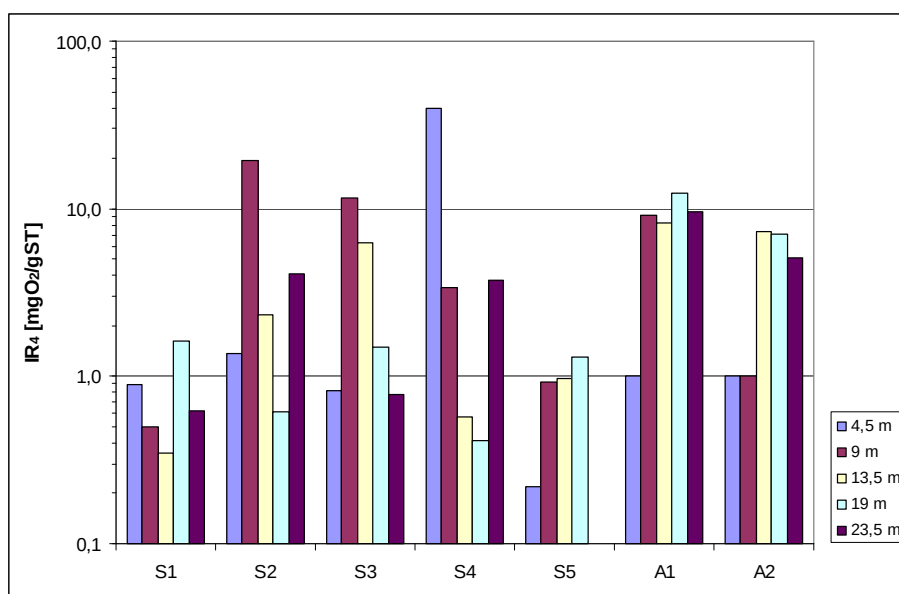


Figura 4.18. Rappresentazione dei valori di IR_4 relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

Nella Figura 4.19 si riportano i valori medi di IR_4 calcolati per i campioni prelevati ad una stessa profondità. Si osserva che i rifiuti depositati nei primi 10 m da p.c. presentano un valore medio di IR_4 superiore a 10 mgO_2/gST , indice questo di una discreta attività biologica caratteristica di un rifiuto non ancora stabilizzato. A profondità più elevate tale parametro assume valori sensibilmente inferiori, pari a circa 4 mgO_2/gST .

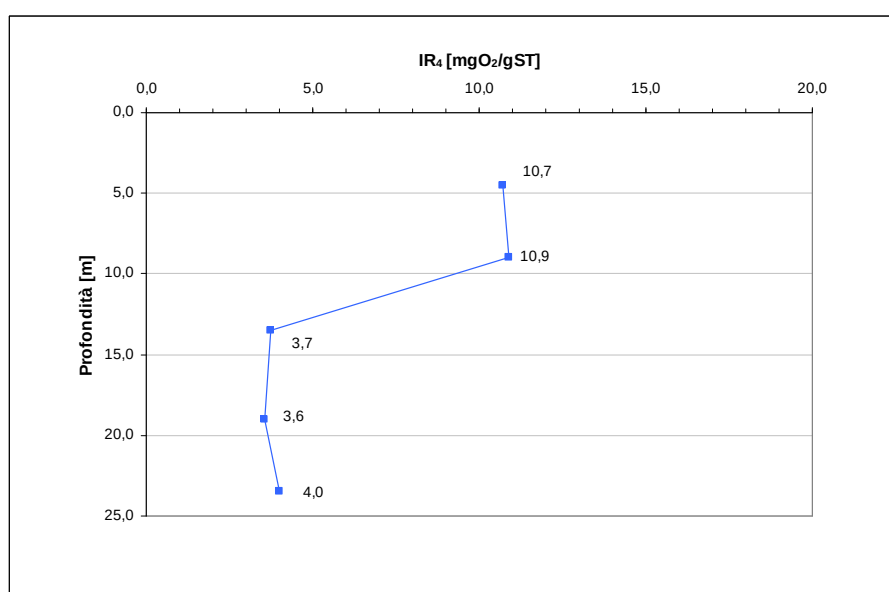


Figura 4.19. Andamento con la profondità dei valori medi di IR_4 calcolati su campioni prelevati alle medesime profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

4.2.4 Test di fermentazione

I campioni di rifiuto sono stati sottoposti al test di fermentazione al fine di valutare la produzione potenziale di biogas in condizioni anaerobiche ed avere, quindi, un'indicazione del grado di stabilizzazione del rifiuto depositato in discarica.

Non è stato possibile effettuare tale test sui campioni A1A, A2A, A2B e su quelli prelevati dalle trivellazioni A3 e A4.

Nella Tabella 4.21 si riporta la produzione di biogas riferita all'unità di massa di sostanza secca al 21° giorno di prova (B_{21}) misurata nei campioni prelevati. I dati sono rappresentati nella Figura 4.20.

Tabella 4.21. Valori di B_{21} per i campioni prelevati alle diverse profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

Campione	Profondità prelievo da p.c. [m]	B_{21} NI/kgST
S1 A	4,00-4,50	5,0
S1 B	8,50-9,00	2,1
S1 C	13,50-14,00	3,2
S1 D	18,50-19,00	3,4
S1 E	23,00-23,50	1,4
S2 A	4.00-4.50	8,3
S2 B	8.50-9.00	17,0
S2 C	13.00-13.50	0,7
S2 D	19.50-20.00	1,1
S2 E	23.00-23.50	2,9
S3 A	4.00-4.50	13,2
S3 B	8.50-9.00	1,2
S3 C	13.50-14.00	3,9
S3 D	18.50-19.00	1,0
S3 E	23.50-24.00	1,1
S4 A	4.00-4.50	32,5
S4 B	8.50-9.00	3,7
S4 C	13.00-13.50	0,9
S4 D	19,50-20,00	1,8
S5 A	4,00-4,50	1,7
S5 B	7,00-7,50	1,6
S5 D	15,50-16,00	1,7
A1 B	8.50-9.00	5,1
A1 C	13,50-14,00	2,3
A1 D	18,50-19,00	2,8
A1 E	22,50-23.00	2,3
A2 C	13,50-14.00	2,2
A2 D	18,50-19.00	0,7
A2 E	22,50-23.00	1,3

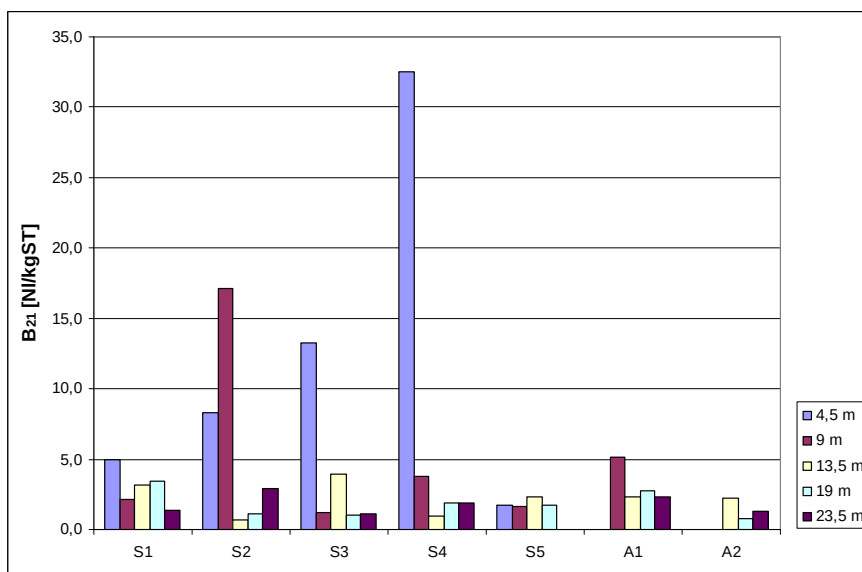


Figura 4.20. Valori di B_{21} relativi ai campioni prelevati a diverse profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

La produzione potenziale di biogas (B_{21}) rilevata nei campioni di rifiuto analizzati risulta variabile tra 0,7 e 32,5 NI/kgST.

Nella Figura 4.21 si riportano i valori medi di B_{21} calcolati su campioni prelevati ad una stessa profondità. Come osservato per l'indice respirometrico, anche per il parametro B_{21} i valori medi calcolati risultano più elevati per i rifiuti depositati nei primi 10 m da p.c.. Il valore medio massimo di B_{21} si riscontra a circa 4 m di profondità ed è pari a 12,2 NI/kgST. A profondità maggiori di 10 m tale parametro assume un valore pari a circa 2 NI/kgST, a testimonianza della maggior stabilità biologica di tali rifiuti.

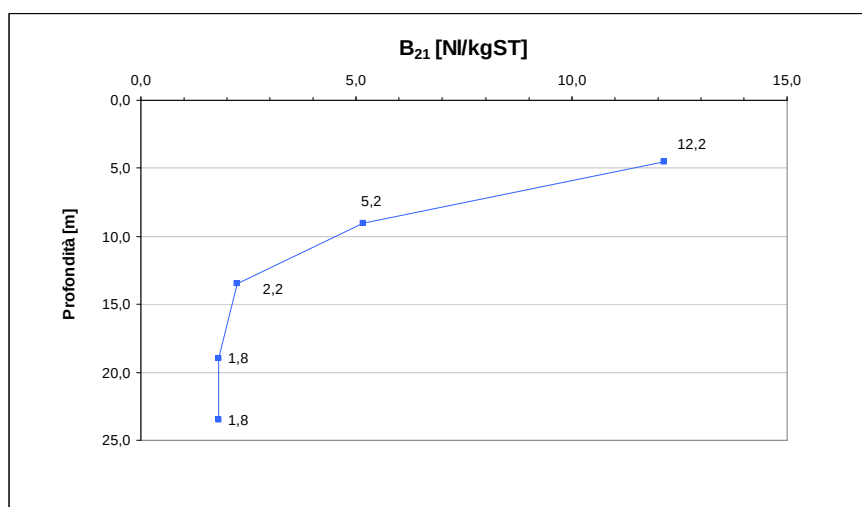


Figura 4.21. Andamento con la profondità dei valori medi di B_{21} calcolati su campioni prelevati alle medesime profondità dai sondaggi S1÷S5 e dalle trivellazioni A1÷A4.

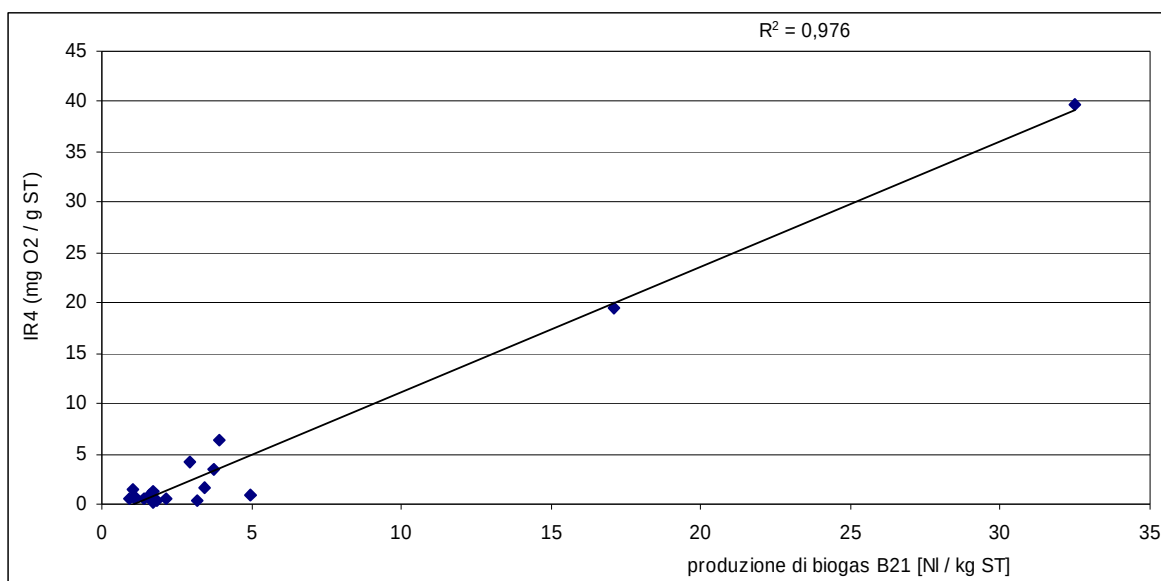


Figura 4.22. Correlazione tra consumo di ossigeno IR4e produzione di Biogas B21 per unità di solidi totali.

Dal grafico riportato in Figura 4.22, si osserva una buona correlazione tra i valori misurati per l'indice respirometrico e quelli della produzione potenziale di biogas dopo 21 giorni (B_{21}). Il valore calcolato per il coefficiente di correlazione R , pari a circa 0,98, indica, infatti, una buona corrispondenza tra i due indici nella valutazione della stabilità del rifiuto.

4.2.5 Conclusioni

L'insieme dei dati ottenuti dalle determinazioni analitiche effettuate sui rifiuti, dimostrano come questi presentino ancora una significativa attività biologica distribuita in maniera disomogenea nel corpo discarica.

In generale, si osserva come la discarica presenti un'elevata disomogeneità qualitativa verticale ed areale costituendo una significativa sorgente di emissioni (percolato e biogas) potenzialmente contaminanti.

5. INDAGINE SULLA QUALITA' DEL PERCOLATO

Le analisi per la determinazione della qualità del percolato sono state condotte in doppio al fine di acquisire dei dati il più possibile affidabili. Esse sono state eseguite dal laboratorio LISA dell'Università di Padova e dal laboratorio Programma Ambiente s.r.l. (Padova): i parametri di interesse sono stati determinati su n. 3 campioni prelevati nel febbraio 2009 in corrispondenza dei pozzetti di raccolta del percolato relativi a ciascuno dei lotti 1, 2, 3.

Nell'aprile 2009 la società Valeco S.p.A. ha sottoposto ad analisi altri n.3 campioni di percolato provenienti dai medesimi pozzi.

I parametri analizzati e le misure ottenute sono riportati in Tabella 5.1.

Nella Figura 5.1 si riportano le concentrazioni medie di BOD₅, COD e il rapporto medio BOD₅/COD calcolato per i campioni di percolato prelevati.

Per quanto riguarda il BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*), le concentrazioni rilevate variano tra 1.233 e 4.095 mgO₂/l. La concentrazione media risulta pari a 2.182 mgO₂/l per il campione di percolato relativo al lotto 1 e 1.343 mgO₂/l per quello relativo al lotto 2; il valore medio massimo si riscontra nel campione raccolto dal lotto 3 ed è pari a 3.932 mgO₂/l.

I valori di COD (*Chemical Oxygen Demand*) misurati sono compresi tra 5.161 e 11.975 mgO₂/l. La concentrazione media più elevata, analogamente a quanto accade per il parametro BOD₅, si rileva nel campione di percolato raccolto dal lotto 3 ed è pari a 11.707 mgO₂/l; per i campioni relativi ai lotti 1 e 2, invece, essa risulta rispettivamente pari a 7.182 mgO₂/l e 5.280 mgO₂/l.

Per ciascun campione, inoltre, è stato calcolato il rapporto tra BOD₅ e COD, indicativo della biodegradabilità della sostanza organica lisciviabile presente nei rifiuti. Data la stretta relazione tra gli impatti residui associabili alla discarica e la presenza di sostanza organica biodegradabile presente nel rifiuto in essa smaltito, risulta evidente l'importanza di tale parametro. Nei campioni analizzati, il rapporto BOD₅/COD medio varia tra 0,26 (lotto 2) e 0,34 (lotto 3).

Alla luce del fatto che rapporti BOD₅/COD < 0,1 sono caratteristici di percolati vecchi, prodotti da discariche in cui la sostanza organica biodegradabile inizialmente presente nel rifiuto è stata in buona parte degradata (Cossu, 1998), i valori calcolati indicano che i rifiuti depositati nei lotti 1,2,3 della discarica di Brissogne non si possano considerare completamente stabilizzati.

Relativamente all'azoto ammoniacale, si osservano valori compresi 3.206 e 5.879 mgN-NH₄⁺/l, superiori a quelli caratteristici di discariche in cui vengono smaltiti RSU (30-3.000 mgN-NH₄⁺/l, Cossu 1998). Il valore medio massimo è stato misurato nel campione di percolato relativo al lotto 3 ed è pari a 5.136 mgN-NH₄⁺/l. L'azoto ammoniacale rappresenta la quasi totalità dell'azoto presente nel percolato.

I valori delle concentrazioni, rispettivamente, di azoto nitroso e azoto nitrico sono in linea con i valori riscontrati in discariche in cui i rifiuti sono sottoposti a condizioni anaerobiche di degradazione.

Le concentrazioni degli elementi metallici misurate sono rappresentate nella Figura 5.2. Esse rientrano negli intervalli indicati in letteratura quali tipici di una discarica di RSU. Solamente il Cromo è stato rilevato in concentrazioni superiori a quelle normalmente riscontrate nel percolato (30-1.600 $\mu\text{gCr/l}$, Andreottola *et al.* 1992); esse variano tra 935 e 2.460 $\mu\text{gCr/l}$.

Le analisi, inoltre, evidenziano concentrazioni di solfati comprese nell'intervallo 10-1.200 mgSO_4/l , tipiche di un processo di degradazione anaerobica dei rifiuti depositati in discariche RSU (Andreottola *et al.*, 1992).

Anche il potenziale redox, risultando negativo, è indice di condizioni riducenti nell'ambiente discarica e, quindi, di uno stato di degradazione anaerobico dei rifiuti.

Il pH risulta debolmente basico in ogni campione, assumendo valori compresi nell'intervallo 7,87-8,40.

I valori dei parametri chimici del percolato confermano che la discarica si trova in condizioni ben lontane dalla sostenibilità ambientale, soprattutto per quanto riguarda l'azoto ammoniacale. In particolare questo parametro è molto critico in quanto in condizioni anaerobiche l'azoto ammoniacale non si degrada e permane per tempi molto lunghi (300 - 500 anni!), non compatibili con la durata delle barriere fisiche (impermeabilizzazioni) predisposte per la protezione ambientale della discarica.

Tabella 5.1. Dati risultanti dalle analisi effettuate in doppio sui campioni di percolato prelevati dai pozzi di raccolta dei lotti 1, 2, 3. Vengono riportati anche i valori medi calcolati.

Parametro	U.M.	Lotto 1				Lotto 2				Lotto 3			
		LISA	Prog.Amb.	Valeco	Valori medi	LISA	Prog.Amb.	Valeco	Valori medi	LISA	Prog.Amb.	Valeco	Valori medi
Conducibilità	mS/cm	40,3	37,59	39,9	39,3	34,0	31,446	32,7	32,7	43,5	39,881	42,7	42,0
pH		7,9	7,87	7,8	7,9	8,2	8,06	8,1	8,1	8,4	8,28	8,3	8,3
TVA	mg/l Ac.Ac	2.143	/	/	2.143	2.964	/	/	2.964	4.736	/	/	4.736
Potenziale Redox	mV	-157	-81	-125	-121	-175	-100	-193	-156	-217	-286	-207	-236,7
Azoto totale	mgN/l	/	/	4.951	4.951	/	/	3.915	3.915	/	/	6.193	6.193
TKN	mgN/l	4.109	4.515,5	/	4.312	3.311	3.654,1	/	3.483	4.739	5.103,1	/	4.921
N-NH ₄ ⁺	mg N-NH ₄ ⁺ /l	3.983	4.393	4.570	4.315	3.206	3.385,1	3.709	3.433	4.445	5.084,9	5.879	5.136
N-NO ₃ ⁻	mg N-NO ₃ ⁻ /l	0,59	< 0,5	< 0,9	0,6	1,47	< 0,5	< 0,5	1,5	10,74	<0,5	< 0,9	10,7
N-NO ₂ ⁻	mg N-NO ₂ ⁻ /l	0,08	0,24	0,31	0,21	0,01	0,14	< 0,9	0,08	0,15	0,47	0,51	0,38
COD	mg/O ₂ /l	7.207	7.025	7.315	7.182	5.393	5.161	5.287	5.280	11.693	11.975	11.452	11.707
BOD ₅	mg/O ₂ /l	-	2.063	2.301	2.182	-	1.233	1.453	1.343	-	3.769	4.095	3.932
BOD ₅ /COD	mg/O ₂ /l	-	0,29	0,31	0,30	-	0,24	0,27	0,26	-	0,31	0,36	0,34
SO ₄ ²⁻	mgSO ₄ ²⁻ /l	295	10	42	116	215	5	29	83	459	6	27	164
Fe	µgFe/l	10.600	13.700	8.600	10.967	11.600	10.560	87.000	36.387	15.500	8.900	14.100	12.833
Mn	µgMn/l	128	140	110	126	102	120	360	194	84	100	270	151
Cu	µgCu/l	179	30	160	123	180	50	60	97	353	50	90	164
Pb	µgPb/l	< 30	80	< 30	80	< 30	80	< 30	80	< 30	70	< 30	70
Ni	µgNi/l	592	900	800	764	511	790	800	700	519	910	1.300	910
Cd	µgCd/l	< 10	< 20	9	9	< 10	< 20	< 3	/	< 10	< 20	< 3	/
Cr totale	µgCr/l	1.870	1.770	2.300	1.980	935	1.270	1.340	1.182	2.430	2.460	1.600	2.163
Be	µgBe/l	< 10	< 20	/	/	< 10	< 20	/	/	< 10	< 20	/	/
Co	µgCo/l	95	140	/	118	90	130	/	110	85	140	/	113
Se	µgSe/l	/	< 50	< 25	/	/	<50	< 25	/	/	<50	< 25	/
V	µgV/l	142	100	/	121	123	100	/	112	177	190	/	184
Zn	µgZn/l	784	1.160	1.700	1.215	552	830	1.100	827	1.050	1.580	1.300	1.310
Acido acetico	mg/l	/	<1	/	/	/	<1	/	/	/	<1	/	/
Acido butirrico	mg/l	/	10	/	10	/	8,7	/	8,7	/	<1	/	/
Acido formico	mg/l	/	18,7	/	18,7	/	<1	/	/	/	5,7	/	5,7

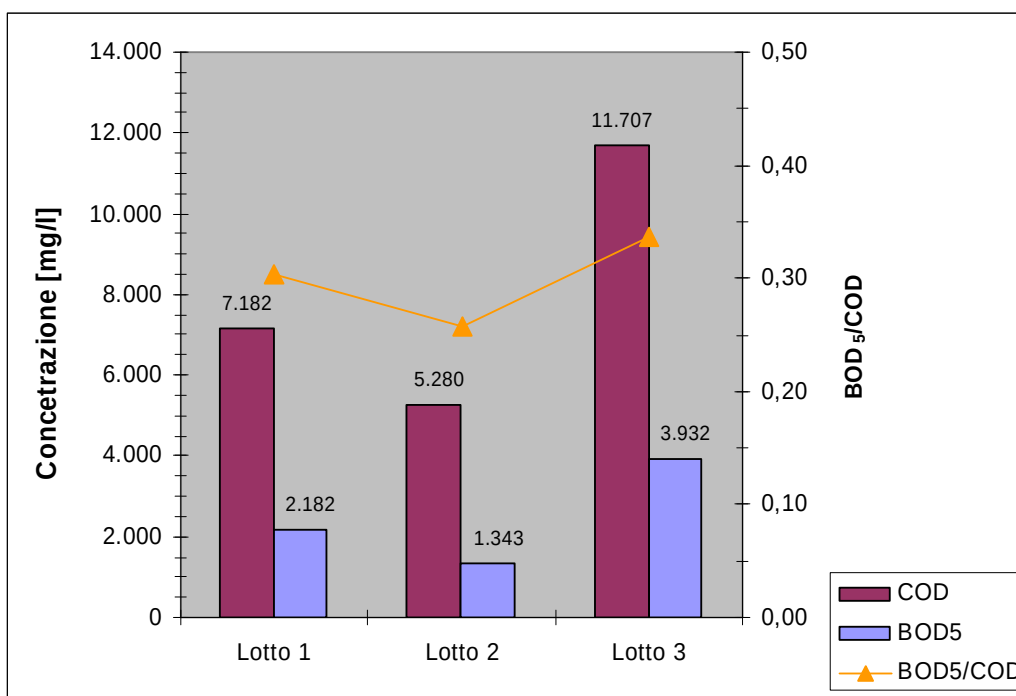


Figura 5.1. Rappresentazione delle concentrazioni medie di BOD₅, COD e del rapporto medio BOD₅/COD nei campioni di percolato prelevati nei pozzetti di raccolta dei lotti 1, 2, 3.

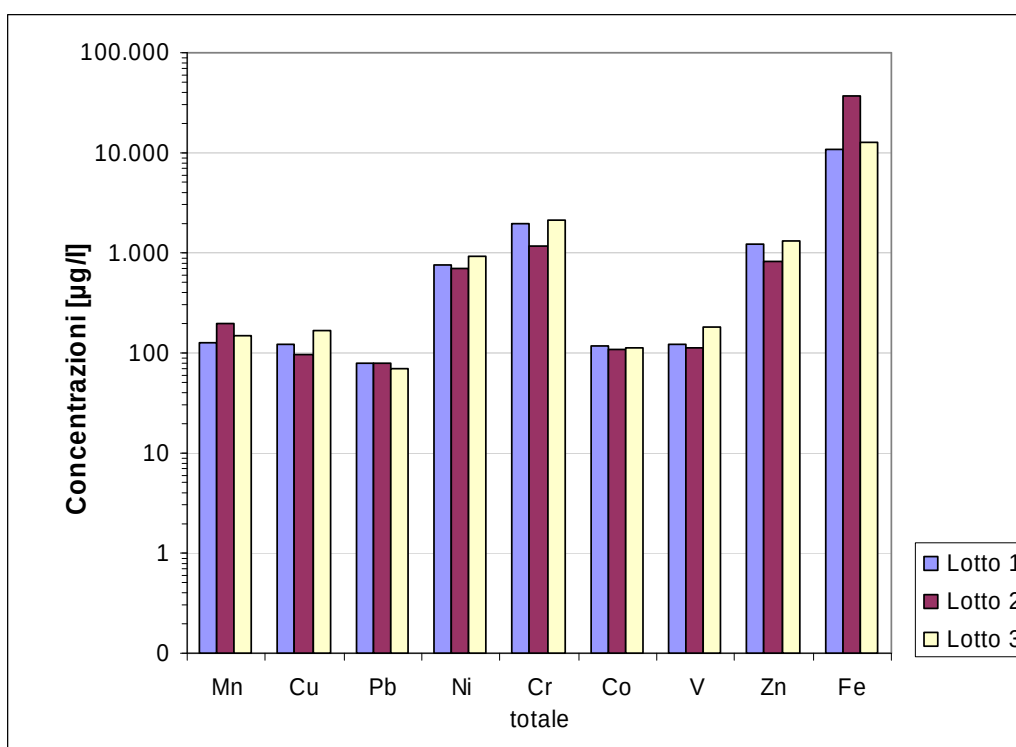


Figura 5.2. Rappresentazione delle concentrazioni medie di metalli pesanti nei campioni di percolato prelevato dai pozzetti di raccolta nei lotti 1, 2, 3.

6. TEST DI AERAZIONE IN SITU

I test di aerazione in situ sono stati effettuati dalla società Spinoff S.r.l. nel periodo compreso tra il 2 e il 19 dicembre 2008.

L'aerazione in situ è importante in quanto consente sia la stabilizzazione dei rifiuti, con conseguente riduzione dei carichi di potenziali contaminanti associati alle emissioni di percolato e di biogas, sia la possibilità di eseguire gli eventuali scavi in condizioni di sicurezza (assenza di metano) e con il minimo impatto ambientale per la popolazione che insiste nell'area.

Una volta valutata l'efficienza in discarica di tale tecnologia attraverso l'esecuzione delle prove di insufflazione/aspirazione, è stato stimato il raggio di influenza dei pozzi di aerazione, ovvero la distanza oltre la quale non si risente più del processo di insufflazione/aspirazione. Quest'ultimo risulta un parametro progettuale fondamentale ai fini di una eventuale realizzazione in scala reale dell'impianto, in quanto definisce la distanza ottimale che si deve prevedere tra i pozzi di aspirazione e di insufflazione.

Nei paragrafi seguenti verranno brevemente descritti i risultati sperimentali ottenuti dai test di aerazione effettuati.

6.1 Descrizione del campo prove

I test di aerazione in situ sono stati effettuati nel campo prove allestito da Valeco S.p.A. nella zona a Nord Ovest della discarica di Brissogne e costituito da n. 4 pozzi di insufflazione/aspirazione (pozzi A1, A2, A3, A4) e da n. 6 pozzi di monitoraggio. La loro ubicazione è riportata in Figura 6.1. Come si può notare, essi sono stati disposti in una configurazione cosiddetta "a stella": rispetto al pozzo centrale A1, i pozzi A2, A3, A4 sono stati realizzati lateralmente ad una distanza di 15 m, in modo che le direttrici che li uniscono ad esso formino angoli di 120° tra loro.

Tra il pozzo centrale A1 e quelli laterali sono stati realizzati n. 6 pozzi di monitoraggio (due per ogni raggio della "stella") ad una distanza di 5 m l'uno dall'altro: essi sono serviti a rilevare, nel corso delle prove sperimentali, le variazioni in senso radiale delle misure effettuate.



Figura 6.1. Ubicazione del campo prove e particolare della disposizione dei pozzi di aerazione A1÷A4 e di monitoraggio.

6.2 Operazioni e misurazioni preliminari

Durante la fase di approntamento del campo prove sono state effettuate alcune misurazioni preliminari allo scopo di acquisire dei valori di fondo utili per l'interpretazione dei dati ottenuti dai test di aerazione. In particolare, esse sono consistite nella determinazione di:

- Livelli freaticometrici all'interno dei pozzi di aerazione e monitoraggio.* I livelli freaticometrici misurati sono risultati molto variabili da pozzo a pozzo del campo prove: questo fatto è indice della presenza di eterogeneità nella permeabilità dei rifiuti depositati in tale porzione di discarica.

Dal momento che in alcuni pozzi di aerazione il battente di percolato è risultato piuttosto elevato (da 7 a 10 m), si è deciso di sperimentare l'utilizzo di eiettori pneumatici nei pozzi A1 e A2 per abbassarne il livello, al fine di aumentare il volume di rifiuti interessato dal

flusso d'aria e massimizzare in tal modo l'efficacia dei test. Dopo due settimane di funzionamento il livello si è abbassato di circa 4 m.

Peraltro, in alcuni pozzi di monitoraggio si è verificato l'intasamento del fondo di alcune tubazioni dovuto alla presenza di fanghi o di percolato oltre il livello di fessurazione delle stesse. Poichè ciò avrebbe potuto contribuire a provocarne una diminuzione dell'efficienza (non essendo più utilizzabili per il monitoraggio della composizione del biogas), nel corso dei test sono stati considerati solo i pozzi che avevano almeno una parte del loro tratto fessurato in corrispondenza della zona insatura della discarica e che , quindi, garantivano condizioni idonee a permettere l'ingresso del biogas da analizzare.

- b) *Composizione iniziale del biogas.* Nella Tabella 6.1 si riporta la composizione del biogas rilevata nei pozzi del campo prove mediante lo strumento LFG20, prima dell'inizio dei test. Le concentrazioni di CO₂ e CH₄ sono generalmente risultate variabili in intervalli compresi tra il 35-40% e il 45-60% .
- c) *Temperatura del percolato.* Dalle misure effettuate nei pozzi del campo prove risulta che la temperatura varia in un *range* di valori compresi tra i 35 ed i 50 °C.
- d) *Efficienza dei pozzi di insufflazione.* Sono state effettuate delle prove sui pozzi di aerazione per valutare l'efficienza della diffusione dell'aria all'interno dell'ammasso di rifiuti. Esse sono consistite nell'insufflazione di aria all'interno dei n. 4 pozzi principali e nella valutazione, per differenti valori di portata insufflata, del campo delle pressioni all'interno del pozzo stesso.

Nella Figura 6.2 si riporta il grafico ottenuto mettendo in relazione le portate d'aria insufflate con le pressioni misurate nei pozzi.

6.3 Test di aerazione

I test di aerazione sono stati effettuati insufflando diverse portate d'aria da tutti i pozzi principali e monitorando eventuali variazioni nella distribuzione dell'aria entro il corpo discarica attraverso una misura ad intervalli regolari dei valori di pressione, sia nella fase iniziale transitoria che in quella stazionaria.

E' stata, inoltre, analizzata la composizione del biogas nei pozzi del campo prove alla fine dei test, misurando le concentrazioni di CO₂, CH₄ e O₂. Nel pozzo A1 tale misurazione è stata effettuata anche durante l'esecuzione dei test.

Nel corso di tali test sono state condotte n. 5 prove:

- insufflazione aria dal pozzo A1 con portata 210 m³/h;
- Insufflazione dal pozzo A4 con portata 230 m³/h;

- Insufflazione dal pozzo A4 con portata di 160 m³/h
- Insufflazione dal pozzo A2 e aspirazione dal pozzo A1 con portata 220 m³/h;
- Insufflazione dal pozzo A3 con portata 230 m³/h

Si ricorda che, per i motivi precedentemente esposti, i pozzi ritenuti efficienti per il monitoraggio del processo sono solo quelli profondi 11 m.

Tabella 6.1. Composizione iniziale del gas misurato nei pozzi di aerazione e monitoraggio del campo prove.

Pozzo	CO ₂	CH ₄	O ₂
A1	39,4	59,4	0,0
A2	37,8	61,9	0,0
M2A-11	40,3	57,6	0,0
M2A-16	40,1	46,2	0,0
M2A-21	37,4	59,3	0,0
M2B-11	37,9	56,2	0,0
M2B-16	36,0	55,1	0,0
M2B-21	37,4	58,9	0,0
A3	39,0	60,9	0,0
M3A-11	39,6	52,9	0,0
M3A-16	38,0	52,2	0,0
M3A-21	40,8	45,9	0,0
M3B-11	37,4	62,6	0,0
M3B-16	32,4	61,4	0,0
M3B-21	32,5	53,1	0,0
A4	38,0	62,0	0,0
M4A-11	39,2	59,9	0,0
M4A-16	30,9	68,3	0,0
M4A-21	37,8	61,2	0,0
M4B-11	37,1	63,1	0,0
M4B-16	27,1	50,9	0,0
M4B-21	32,8	51,2	0,0

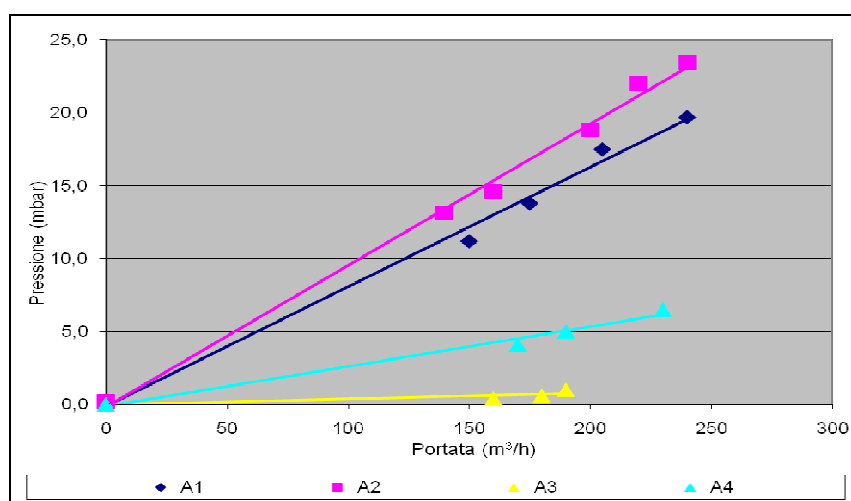


Figura 6.2. Pressioni d'aria misurate nei pozzi in funzione delle portate d'aria insufflate: efficienza dei pozzi di aerazione A1, A2, A3 e A4.

6.4 Raggio di influenza dei pozzi di aerazione

L'aerazione in situ è risultata tecnicamente fattibile ed efficace e tale da permettere sia la degradazione accelerata della sostanza organica, sia l'abbassamento del livello di percolato.

In tutte le prove la durata della fase transitoria, in cui il parametro pressione continua a variare, è stata limitata: si sono raggiunte rapidamente le condizioni di stazionarietà.

Per ciascun pozzo la circolazione dell'aria insufflata è risultata diversa a seconda della direzione considerata. Questo era un risultato atteso, essendo la discarica un mezzo dalle caratteristiche eterogenee.

La stima del raggio di influenza dei pozzi di aerazione è stata effettuata sulla base sia della distribuzione delle pressioni (che fornisce indicazioni circa le modalità di propagazione dell'aria nell'ammasso di rifiuti), che delle misure di concentrazione di ossigeno effettuate all'interno dei pozzi al termine dei test di aerazione. Esso è risultato variabile tra 10 m e 15 m per portata d'aria insufflate di 160-230 m³/h.

Si sottolinea che il sollevamento del percolato dai pozzi di aerazione è avvenuto con buona efficienza anche in presenza dei fanghi. Tale aspetto pratico risulta molto importante ai fini sia di consentire un omogeneo abbassamento dei livelli di percolato in tutta la discarica, sia di permettere omogenee condizioni di aerazione e quindi di stabilizzazione.

L'aerazione in situ, quindi, potrà permettere la stabilizzazione della discarica da un punto di vista sia biochimico che meccanico. Tale intervento, pertanto, è comunque raccomandabile come intervento atto a garantire la sostenibilità ambientale della discarica, a prescindere anche dall'applicazione del *Landfill Mining*.

Nel caso di applicazione del *Landfill Mining* l'aerazione in situ consentirà di operare in condizioni di sicurezza per gli addetti e ridurrà, rendendoli trascurabili, gli impatti ambientali (soprattutto in termini di odori) per la popolazione che vive nell'area interessata dalla discarica.

7 INDAGINE IDRAULICA

L'indagine idraulica è stata effettuata nei giorni 22 e 23 dicembre 2008 dal Politecnico di Torino sui n. 4 pozzi principali A1÷A4 del campo prove di aerazione in situ, la cui ubicazione è riportata in Figura 6.1. Non è stato possibile condurla, come inizialmente previsto, nei pozzi allestiti nei sondaggi S1-S5, in quanto essi non sono risultati praticabili per la posa delle attrezzature necessarie. Essa ha avuto come obiettivi:

- la misura dei livelli statici nei pozzi interessati dall'indagine;
- la stima dei valori di conducibilità idraulica del materiale depositato in discarica.

7.1 Misura dei livelli statici

La misura dei livelli statici nei pozzi di aerazione è stata effettuata sia a novembre che a dicembre 2008 (una volta terminata l'esecuzione dei test di aerazione in situ).

Nella Tabella 7.1 si riportano i valori relativi ad entrambe le campagne di rilevamento.

Si osserva, anzitutto, come vi siano discrete differenze nel livello statico misurato anche in pozzi molto prossimi tra loro, dovute, con ogni probabilità, a variazioni di permeabilità causate dall'eterogeneità dei rifiuti depositati e alla notevole presenza di fanghi.

Si nota, inoltre, un abbassamento significativo dei livelli statici nei pozzi A1 e A2 tra le due campagne di rilevamento effettuate (novembre e dicembre 2008): questo è imputabile al fatto che nel corso delle prove di aerazione sono stati utilizzati degli eiettori pneumatici per diminuire il battente di percolato ed aumentare in questo modo il volume di rifiuti interessato dal flusso d'aria.

Per questo motivo si considerano più significativi i dati relativi alla prima campagna di rilevamento. Da essi si osserva che il battente di percolato nei pozzi risulta piuttosto elevato, variabile tra i 7 e gli 11 m, configurando il rischio di una maggiore velocità di infiltrazione nel sottosuolo e di una instabilità dell'ammasso dei rifiuti, ancora più critica dal momento che si registra in discarica una massiccia presenza di fanghi con elevata umidità. Il livello massimo di percolato si è riscontrato in entrambe le campagne di rilevamento nel pozzo A3.

Tabella 7.1. Livelli statici nei pozzi di aerazione misurati nel novembre e nel dicembre 2008.

Pozzo	Profondità perforazione da p.c [m]	Tratto fessurato [m]	Novembre 2008		Dicembre 2008	
			Livello statico [m]	Battente [m]	Livello statico [m]	Battente [m]
A1	18,0	12	10,0	8,0	14,2	3,8
A2	18,7	12	8,5	10,2	13,7	5,0
A3	20,0	12	8,7	11,3	9,5	10,5
A4	20,0	12	13,0	7	14,2	5,8

7.2 Prove idrauliche (*slug test*)

A causa della notevole variabilità dei livelli statici misurati, sono stati condotti una serie di *slug test*, anziché la classica prova di falda con monitoraggio multipozzo.

Gli *slug test* sono stati eseguiti in risalita, generando la diminuzione del livello statico attraverso l'utilizzo di un eiettore pneumatico e monitorando la risalita del fluido nel pozzo.

Le prove sono state interpretate utilizzando la teoria di Bouwer e Rice. Al fine di considerare la non corrispondenza tra le condizioni reali e le ipotesi alla base del modello interpretativo, è stata effettuata anche un'analisi di sensibilità, che fornisce una stima del valore di conducibilità al variare dei parametri del modello interpretativo.

Da tale interpretazione parametrica, risulta che i valori medi di conducibilità idraulica stimata per i pozzi variano tra $3.1 \cdot 10^{-6}$ m/s e $1.0 \cdot 10^{-5}$ m/s. In particolare, i valori maggiori di conducibilità si sono riscontrati per il pozzo A1.

L'ammasso dei rifiuti nel complesso presenta, quindi, una discreta conducibilità idraulica. Questo aspetto prefigura buone prospettive per l'applicazione dell'aerazione in situ in relazione all'efficacia attesa in termini sia di stabilizzazione dei rifiuti sia drenaggio dell'ammasso.

8. INDAGINE GEOTECNICA

L'indagine geotecnica sui rifiuti della discarica di Brissogne è stata condotta dal Politecnico di Torino su n. 23 campioni indisturbati (invece dei n. 25 inizialmente previsti dal Piano delle Attività di Caratterizzazione, redatto nel 2008), prelevati indicativamente ogni 5 m di profondità dai n. 5 sondaggi S1÷S5. Essi sono stati posti in fustelle in HDPE di diametro 111 mm, sigillate alle estremità con cera e nastro adesivo per una loro corretta conservazione. L'ubicazione dei sondaggi S1÷S5 è riportata in Figura 2.1.

Le prove eseguite sono consistite in:

- descrizione dei campioni di rifiuto;
- determinazione della densità di tutti i campioni;
- determinazione del contenuto di umidità;
- determinazione delle caratteristiche di deformabilità in condizioni di carico assiale ed espansione laterale impedita;
- determinazione della resistenza a taglio con prove di taglio diretto.

Rispetto a quanto previsto dal Piano di Caratterizzazione, non sono state effettuate le prove di compressione non confinata in quanto la consistenza dei rifiuti non lo ha reso possibile: si sono aumentate, quindi, le prove di taglio diretto.

I risultati ottenuti dalle prove di laboratorio, discussi nei paragrafi seguenti, permettono di verificare la stabilità geotecnica della discarica e di definire i criteri costruttivi da adottare in vista di un eventuale intervento di bonifica.

8.1 Descrizione dei campioni

La descrizione dei campioni prelevati (riportata in Tabella 8.1), evidenzia che i rifiuti campionati presentano delle caratteristiche di composizione tipiche dei rifiuti urbani.

Le materie plastiche, ed in alcuni casi i materiali inerti, sono presenti in quantitativi rilevanti nei campioni indagati.

Il grado di compattazione dei rifiuti fustellati è risultato considerevole, ad eccezione di quelli relativi al sondaggio S1.

Tabella 8.1. Descrizione dei campioni prelevati dai sondaggi S1÷S5.

Sondaggio	Profondità di prelievo da p.c. [m]	Data di prelievo	Campioni prelevati	Descrizione
S1	4,50 - 5,25	22/09/08	1	Rifiuto poco decomposto, poco umido e di media densità. Predominanti plastica e carta in fogli.
	9,00 - 10,50	23/09/08	2	Rifiuto poco decomposto, umidità e densità media. Predominanza di plastica e carta in fogli.
	15,00 - 16,50	23/09/08	3	Rifiuto poco decomposto, poco umido e mediamente addensato. Predominanza di plastica e carta in fogli.
	19,50 - 21,00	24/09/08	4	Rifiuto poco decomposto e mediamente addensato. Predominanza di materiali plastici, con pochi elementi metallici.
S2	4,50 – 6,00	25/09/08	1	Rifiuto poco decomposto, poco umido e poco addensato. Predominanti plastica e carta in fogli.
	9,00 – 10,50	28/09/08	2	Rifiuto di densità media e poco umido. Prevalente presenza di fogli in plastica e carta.
	15,00 – 16,50	28/09/08	3	Rifiuto di densità media e poco umido. Presenza di materiali organici accompagnati da elementi fibrosi, tipo tessuti.
	18,00 – 19,50	29/09/08	4	Rifiuto poco decomposto e piuttosto umido. Composizione mista: fanghiglia, plastica e materiali organici.
	24,00 – 25,00	30/09/08	5	Rifiuto poco decomposto e piuttosto umido. Composto di fanghiglia, con abbondanti elementi in plastica e materiali organici.
S3	4,50 – 6,00	02/10/08	1	Rifiuto mediamente addensato, poco decomposto e poco umido. Presenza prevalente di plastica e carta in fogli.
	9,50 – 10,00	02/10/08	2	Rifiuto di densità e umidità media. Presenza di materiali organici accompagnati da elementi fibrosi tipo tessuti.
	13,50 – 15,00	03/10/08	3	Rifiuto molto addensato e piuttosto umido. Prevalente presenza di elementi e plastica dura.
	19,50 – 21,00	06/10/08	4	Rifiuto molto addensato. Composizione eterogenea con fanghiglia, plastica in fogli e in elementi duri, vetro.
	24,00 – 25,00	06/10/08	5	Rifiuto piuttosto umido, con addensamento medio. Composizione mista, con scarsa presenza di materiale fangoso e notevole presenza di materiali fibrosi.
S4	4,50 – 6,00	07/10/08	1	Rifiuto molto addensato e umido. Composizione con fango, elementi duri e lattine metalliche.
	9,00 – 10,50	07/10/08	2	Rifiuto mediamente umido, con forte presenza di terriccio. Sono inoltre presenti molti elementi di tessuti.
	15,00 – 16,50	08/10/08	3	Rifiuto misto, fangoso, ma con forte presenza di materiale in fogli, di carta e plastica.
	19,50 – 21,00	09/10/08	4	Rifiuto molto addensato. Prevalente presenza di componenti organici e terrosi.
	24,00 – 25,00	09/10/08	5	Rifiuto molto addensato. Composizione mista con numerosi elementi fibrosi, gomma e carta.
S5	4,50 – 6,00	10/10/08	1	Rifiuto molto addensato. Prevalente presenza di componenti organici decomposti e terrosi.
	7,50 – 9,00	10/10/08	2	Rifiuto molto addensato, di media umidità. Composizione mista, con materiali organici, carta e plastica in fogli, elementi metallici.
	12,00 – 13,50	13/10/08	3	Rifiuto molto addensato, di media umidità. Composizione mista, con materiali organici, carta e plastica in fogli, elementi metallici.
	16,00 – 17,00	13/10/08	4	Rifiuto molto addensato, di media umidità. Composizione mista, con materiali organici, carta e plastica in fogli, vetro.
Totale campioni prelevati			23	

8.2 Determinazione della densità e del contenuto di umidità

Dai risultati ottenuti per la determinazione della densità dei rifiuti, non si è rilevata alcuna dipendenza di tale parametro con la profondità di prelievo dei campioni. I valori riscontrati risultano piuttosto elevati, compresi tra 750 kg/m^3 a 1500 kg/m^3 .

L'umidità è risultata elevata in tutti i campioni di rifiuto indagati e, anche in questo caso, non si è trovata alcuna dipendenza con la profondità.

8.3 Determinazione della deformabilità dei rifiuti

Sono state effettuate delle prove a deformazione laterale impedita al fine di valutare la deformabilità dei rifiuti. Esse riproducono il loro comportamento nel caso in cui vengano effettuati in discarica scavi o interventi di bonifica e forniscono un indice del potenziale rigonfiamento dei rifiuti rimaneggiati. I risultati sono riportati nella Tabella 8.2..

Dall'analisi dei dati ottenuti si osserva come i valori dei moduli di deformabilità si attestino intorno a valori di 1 MPa per rifiuti sottoposti a carichi equivalenti a quelli prodotti da una colonna di rifiuti di circa 20 m di altezza (circa 0,2 MPa). Per rifiuti sottoposti a carichi equivalenti a cumuli di rifiuto di altezza superiore a 20 m, si raggiungono valori di 2-3 MPa. Valori più elevati si attribuiscono solo a rifiuti ai quali vengono applicati carichi di gran lunga superiori a quelli riscontrabili in discarica.

Tabella 8.2. Valori dei moduli di deformabilità (E_i) determinati sui campioni prelevati dai sondaggi S1÷S5 a seguito di prova a deformazione laterale impedita. $H_{0\text{effettivo}}$ si riferisce all'altezza effettiva di campione coinvolto nel processo di compattazione.

Campione	H_0 [mm]	$H_{0\text{effettivo}}$ [mm]	ΔH [mm]	$\Delta\sigma$ [MPa]	E_i [MPa]
S4-C1	400		50	0,568	4,54
	400		60	0,698	4,64
		260	60	0,698	3,02
S2-C3	360		50	0,491	3,53
		240	50	0,491	2,36
S4-C4	420		30	0,655	9,22
			40	0,960	10,1
		210	40	0,960	5,05
S1-C2	440		120	0,153	0,56
		360	120	0,153	0,46
S1-C2 ricarico	320		20	0,240	3,84
		300	20	0,240	3,60
S3-C1		220	30	0,109	0,80
		220	50	0,218	0,96
		220	55	0,273	1,09
		220	65	0,327	1,11
		220	75	0,436	1,28

8.4 Resistenza al taglio

Le prove di resistenza al taglio sono state effettuate attraverso l'uso di una scatola di taglio appositamente allestita, in grado di accogliere campioni di rifiuto di dimensioni pari a 200x200 mm e di fornire scorrimenti di circa 150 mm.

Il carico verticale cui sono stati sottoposti è variato tra valori di 60 kg e 190 kg, cui corrisponde una sollecitazione massima di circa 5 t/m^2 , equivalente ad uno spessore di rifiuto di circa 6 m.

I dati ottenuti con le prove sono stati riportati in diagrammi spinta/spostamento al fine di desumere il valore di resistenza al taglio di picco per ogni prova. Si è successivamente riportato l'insieme dei dati ottenuti in un diagramma carico normale (N)/carico tangenziale (T). Nella Tabella 8.3 si riportano i risultati ottenuti dalle prove effettuate.

Nella Figura 8.1 viene rappresentata la correlazione tra T e N: in rosso sono evidenziati i dati relativi alle prove in cui si è raggiunto il limite di resistenza del rifiuto, in blu quelli delle prove in cui, compiuto lo scorrimento massimo consentito dalla scatola di taglio, non si è raggiunto il valore di resistenza al taglio di picco.

Dall'interpretazione di tali dati risulta che nell'ambito di eventuali analisi di stabilità delle strutture in discarica in fase di scavo, è opportuno adottare per T e N i valori compresi nella fascia delimitata dalle due curve. In particolare i valori raccomandabili per la pseudocoazione e per l'angolo di resistenza al taglio sono rispettivamente di 15-20 kPa e di 25°-28°.

Tabella 8.3. Valori di carico normale (N), tangenziale (T) e spostamento rilevati per le diverse prove di taglio condotte sui campioni prelevati dai sondaggi S1÷S5.

Campione	Carico N [kg]	Carico T [kg]	Spostamento [mm]
S3-C5a	150	140	35
S3-C5b	150	230	90
S4-C3a	160	125	75
S4-C3b	160	255	75
S4-C2	160	250	100
S3-C4	120	160	90
S2-C2	120	170	90
S4-C5	100	160	90
S2-C4	190	180	80
S3-C3	180	120	60
S3-C3	60	Blocco scorr.	
S3-C3	60	Blocco scorr.	
S1-C3	180	110	35
S1-C3	180	270	90
S4-C1	60	180	110

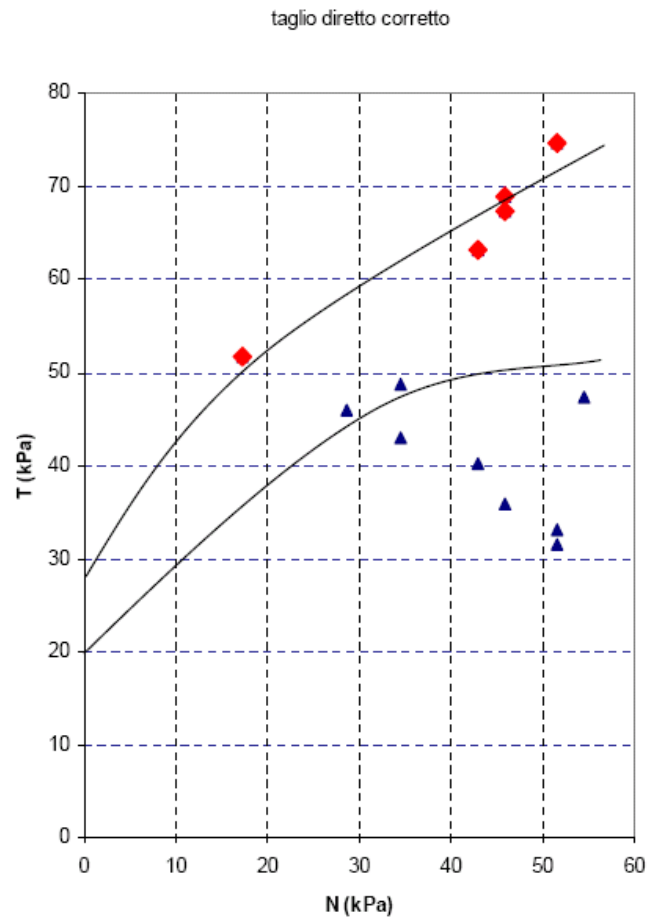


Figura 8.1. Correlazione tra valori di carico normale (N) e tangenziale (T) nelle diverse prove condotte sui campioni prelevati dai sondaggi S1÷S5.

9. INDAGINI INTEGRATIVE

Alla luce dei risultati acquisiti, si è resa necessaria l'esecuzione di alcune indagini integrative al fine di approfondire alcuni aspetti della caratterizzazione. In concomitanza con la realizzazione dei primi tre nuovi pozzi di estrazione del biogas, si è deciso di effettuare il prelievo di n. 3 campioni di rifiuto per ogni trivellazione (indicativamente ogni 5 m di profondità) e di eseguire su di essi le seguenti analisi di approfondimento:

- *Analisi merceologica e granulometrica* condotta secondo il metodo IMAGE messo a punto dall'Università di Padova. L'analisi merceologica e granulometrica eseguita nel novembre 2008 (vedi Paragrafo 5.1) ha evidenziato, infatti, una notevole eterogeneità nella tipologia dei rifiuti presenti ed un differente e piuttosto elevato grado di umidità degli stessi, molto dissimile da quello che si avrebbe a seguito della stabilizzazione aerobica dei rifiuti preliminare all'eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso Landfill Mining. Da qui la necessità di eseguire un'analisi merceologica e granulometrica integrativa su campioni di rifiuto preventivamente asciugati all'aria aperta, al fine di simulare le condizioni che si avrebbero con l'applicazione dell'aerazione in situ. Sui campioni così trattati si potrà, quindi, procedere ad una classificazione merceologica più rappresentativa.
- *Determinazione del potere calorifico inferiore (PCI) delle diverse frazioni merceologiche* al fine di effettuare una stima del potere calorifico medio pesato dei rifiuti depositati in discarica in vista di un loro possibile recupero energetico.

9.1 Analisi merceologica e granulometrica

L'analisi merceologica e granulometrica, integrativa a quella già effettuata da Valeco S.p.A. nel novembre 2008 nel corso delle attività di caratterizzazione della discarica, è stata condotta da Spinoff S.r.l. nel periodo compreso tra il 2 e 4 marzo 2009.

Essa è stata eseguita sui rifiuti prelevati durante l'esecuzione delle trivellazioni (denominate A, B e C) dei primi tre nuovi pozzi per l'estrazione del biogas. La loro ubicazione è riportata in Figura 9.1: esse si trovano in prossimità delle sponde Nord e Ovest della discarica.

Per ciascuna trivellazione sono stati prelevati (indicativamente ogni 5 m di profondità) n. 3 campioni di rifiuto di volume rispettivamente pari a circa 200 l. Prima di procedere all'esecuzione dell'analisi merceologica e granulometrica, il materiale estratto è stato steso su teli impermeabili e asciugato all'aria aperta, al fine di abbassarne il grado di umidità: tale operazione ha consentito di separare merceologicamente tutto il rifiuto prelevato, e quindi di identificare anche quella frazione

L'analisi merceologica e granulometrica è stata condotta utilizzando n. 3 vagli caratterizzati da una spaziatura tra le maglie pari a 100, 50, 20 mm, opportunamente impilati in ordine decrescente a partire dall'alto. Le classi merceologiche considerate sono le seguenti:

- tessili;
- legno;
- carta – cartone;
- plastica;
- metalli;
- materiale inerte.

Per quanto riguarda la frazione passante il vaglio 20 mm (sottovaglio), essa è stata considerata classe a sé stante.

Nei paragrafi seguenti verranno esaminati i risultati di tali analisi merceologiche e granulometriche integrative.

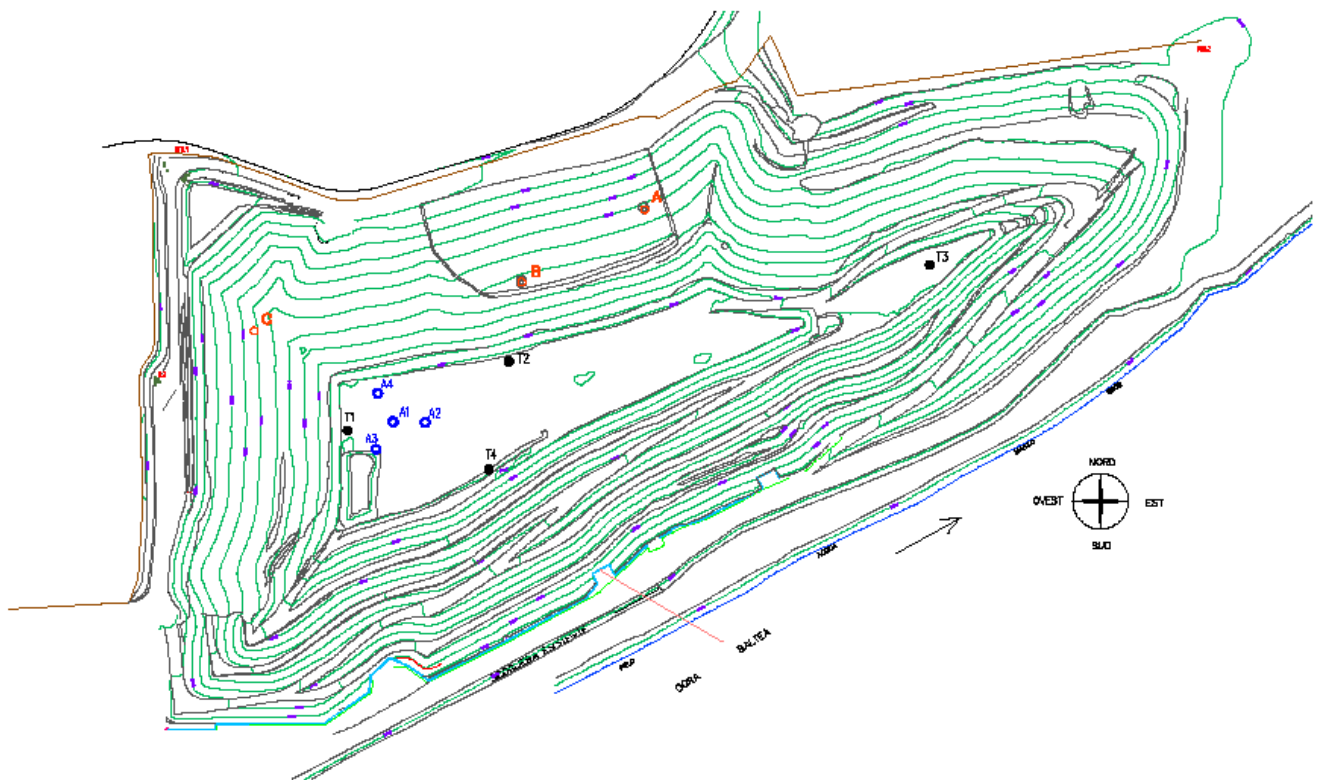


Figura 9.1. Planimetria della discarica con ubicazione delle trivellazioni A, B e C (indagine Spinoff, 2009), dei pozzi di aerazione A1÷A4 (indagine Valeco, 2008) e delle trivellazioni T1÷T4 (indagine Zimatec, 2006).

9.1.1. Analisi merceologica

Nelle tabelle sottostanti (Tabelle 9.1 - 9.6) sono riportati i risultati dell'analisi merceologica condotta sui campioni di rifiuto prelevati alle profondità di 5, 10, 15 m da p.c., durante le trivellazioni dei nuovi pozzi di estrazione del biogas (trivellazioni A, B, C).

Tabella 9.1. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione A alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione A1), 10 m (campione A2), 15 m (campione A3).

VAGLIO	campione A1	campione A2	campione A3
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
100 mm			
Tessili	2,1	2,9	2,6
Legno	0,6	0,0	0,5
Carta - Cartone	5,1	1	0,8
Plastica	9	7,6	9
Metalli	0,4	3,5	0,2
Materiale inerte	1,2	1,1	1,3
50 mm			
Tessili	0,6	1,4	1,2
Legno	0,6	0,5	1,2
Carta - Cartone	3,3	1,4	1
Plastica	10,5	9,6	9,9
Metalli	1,2	2,2	2,9
Materiale inerte	4,3	5,2	5,9
20 mm			
Tessili	0,1	0,3	0,4
Legno	0,3	0,3	1,2
Carta - Cartone	0,5	0,8	0,9
Plastica	10,3	6,3	10,5
Metalli	0,3	0,8	1
Materiale inerte	6,5	7,4	12,4
Sottovaglio			
Indifferenziato	58,8	91,4	96,2
SOMMA	115,6	144	159,1

Tabella 9.2. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione A, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione A1), 10 m (campione A2), 15 m (campione A3).

CLASSE	Campione B1		Campione B2		Campione B3	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili	2,8	2,4	4,6	3,2	4,2	2,7
Legno	1,5	1,3	0,9	0,6	2,8	1,8
Carta - Cartone	8,8	7,6	3,3	2,3	2,7	1,7
Plastica	29,8	25,8	23,5	16,3	29,4	18,5
Metalli	1,9	1,7	6,7	4,6	4,1	2,6
Materiale inerte	12	10,4	13,7	9,5	19,6	12,3
Sottovaglio 20 mm	58,8	50,8	91,4	63,5	96,2	60,4

Tabella 9.3. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione B alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione B1), 10 m (campione B2), 15 m (campione B3).

VAGLIO	campione B1	campione B2	campione B3
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
100 mm			
Tessili	2,6	8	1,6
Legno	0,6	1,6	1,1
Carta - Cartone	0,2	0,0	0,5
Plastica	22	15,1	9,7
Metalli	1,8	1,2	1,8
Materiale inerte	4	0,3	4,7
50 mm			
Tessili	0,8	0,8	1,6
Legno	0,5	0,8	1,2
Carta - Cartone	1,6	0,9	1,9
Plastica	16	15	11,9
Metalli	2	2,1	1,9
Materiale inerte	2,9	3,2	12
20 mm			
Tessili	0,0	0,3	0,6
Legno	0,3	0,3	1,2
Carta - Cartone	0,1	0,8	0,5
Plastica	10,8	6,3	9,5
Metalli	0,4	0,8	0,8
Materiale inerte	5,7	7,4	12,6
Sottovaglio			
Indifferenziato	57,6	66,4	104,3
SOMMA	129,8	131,4	179,4

Tabella 9.4. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione B, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione B1), 10 m (campione B2), 15 m (campione B3).

CLASSE	Campione B1		Campione B2		Campione B3	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili	3,4	2,6	9	7	3,8	2,1
Legno	1,5	1,1	2,8	2,1	3,5	2
Carta - Cartone	1,9	1,4	1,8	1,3	2,9	1,6
Plastica	48,8	37,6	36,4	27,7	31,1	17,3
Metalli	4,1	3,2	4,1	3,1	4,5	2,5
Materiale inerte	12,6	9,7	10,9	8,3	29,3	16,3
Sottovaglio 20 mm	57,6	44,4	66,4	50,5	104,3	58,2

Tabella 9.5. Peso (kg) trattenuto dai differenti vagli delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione C alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione C1), 10 m (campione C2), 15 m (campione C3).

VAGLIO	campione C1	campione C2	campione C3
	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)	TOTALE NETTO (kg)
100 mm			
Tessili	4	5,8	1,6
Legno	0,4	0,3	2,1
Carta - Cartone	0,0	1,8	0,1
Plastica	17,2	11,4	19,6
Metalli	1,6	0,9	4
Materiale inerte	2,7	3,6	1
50 mm			
Tessili	1,2	1,5	1,6
Legno	1	0,9	1,7
Carta - Cartone	3,1	3,9	1
Plastica	10,4	11,7	17,6
Metalli	3,3	2,2	1,7
Materiale inerte	2	3,2	9,9
20 mm			
Tessili	0,9	0,6	0,2
Legno	0,5	0,8	1,2
Carta - Cartone	0,7	1,4	0,6
Plastica	8,7	13	16,5
Metalli	0,3	0,5	0,7
Materiale inerte	2,8	5,8	13,2
Sottovaglio			
Indifferenziato	36,6	57,2	89
SOMMA	97,3	126,5	183,2

Tabella 9.6. Peso totale netto (kg) e percentuali relative (in peso) delle componenti merceologiche individuate nei campioni prelevati durante la trivellazione B, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione C1), 10 m (campione C2), 15 m (campione C3).

CLASSE	Campione B1		Campione B2		Campione B3	
	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative	TOTALE NETTO (kg)	% relative
Tessili	6	6,2	7,9	6,2	3,4	1,9
Legno	2	2	2	1,6	5	2,7
Carta - Cartone	3,8	3,9	7,1	5,6	1,6	0,9
Plastica	36,2	37,2	36,2	28,6	53,7	29,3
Metalli	5,1	5,3	3,6	2,8	6,4	3,5
Materiale inerte	7,6	7,8	12,5	10	24,1	13,1
Sottovaglio 20 mm	36,6	37,6	57,2	45,2	89	48,6

I valori medi ottenuti per ciascuna componente merceologica nei campioni di rifiuto prelevati alle varie profondità sono riportati in Tabella 9.7 e rappresentati nella Figura 9.2.

I risultati ottenuti evidenziano nel rifiuto estratto una percentuale significativa di plastica (variabile tra il 19,7% e il 31%), una discreta percentuale di materiale inerte (variabile tra il 10,8% e il 12%) e di tessili- legno (variabile tra il 4,1% e il 6,5%), ed una percentuale piuttosto bassa di carta- cartone (variabile tra l'1,5% e il 3,5%) e di metalli (variabile tra il 2,8% e il 3,7%).

La frazione nettamente preponderante in tutti i campioni analizzati è costituita dal sottovaglio a 20 mm, la cui percentuale in peso varia tra il 44,9% e il 58,9%.

Tabella 9.7. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti prelevati dalle trivellazioni A, B, C.

	Trivellazione A	Trivellazione B	Trivellazione C	Valori medi
Tessili	2,8%	3,7%	4,3%	3,6%
Legno	1,3%	1,8%	2,2%	1,7%
Carta - Cartone	3,5%	1,5%	3%	2,7%
Plastica	19,7%	26,4%	31%	25,7%
Metalli	3%	2,8%	3,7%	3,2%
Materiale inerte	10,8%	12%	10,9%	11,2%
Sottovaglio 20 mm	58,9%	51,8%	44,9%	51,9%

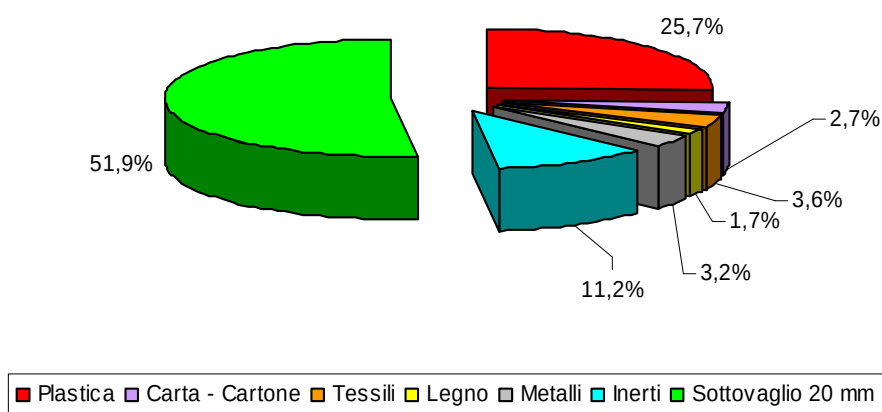


Figura 9.2. Rappresentazione dei valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti estratti dalle trivellazioni A, B, C.

Osservando i dati riportati in Tabella 9.8 e rappresentati nella Figura 9.3, si nota una buona corrispondenza tra valori medi ottenuti nelle diverse analisi merceologiche effettuate nell'ambito dello Studio Comparativo sui rifiuti estratti dai lotti in coltivazione (Zimatec, novembre 2006; Valeco, novembre 2008; Spinoff, marzo 2009).

I risultati delle ultime analisi confermano che il sottovaglio costituisce in maniera prevalente la *“frazione non definibile merceologicamente”*: esso è stato, infatti, rilevato in una percentuale media (in peso) del 51,9 %, valore prossimo a quello ottenuto sommando nei risultati delle precedenti indagini la percentuale media di sottovaglio e di *“frazione non definibile merceologicamente”* (54,7% per le indagini svolte dalla Zimatec nel novembre 2006 e 58,4% per quelle condotte da Valeco nel novembre 2008).

La percentuale media complessiva (in peso) di CDR recuperabile (ossia di frazioni quali tessili - legno, carta – cartone e plastica caratterizzate da un buon potere calorifico inferiore) risulta pari circa al 34%.

Tabella 9.8. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti depositati nei lotti in coltivazione nelle campagne di indagine effettuate (Zimatec - novembre 2006, Valeco - novembre 2008, Spinoff - marzo 2009).

	Valori medi analisi novembre 2006*	Valori medi analisi novembre 2008	Valori medi analisi marzo 2009
Tessili - Legno	6,8%	4,7%	5,3%
Carta - Cartone	3,3%	4,6%	2,7%
Plastica	25,3%	20,3%	25,7%
Metalli	3,4%	2,4%	3,2%
Materiale inerte	6,5%	9,6%	11,2%
Sottovaglio 20 mm	54,7%**	58,4%**	51,9%

(*) Tali valori sono stati ottenuti effettuando una media pesata dei valori percentuali identificati per ogni componente merceologica nei campioni di rifiuto estratti solo dalle trivellazioni T1, T2, T4 effettuate nei lotti in coltivazione (Figura 9.1).

(**) Si è considerato per il sottovaglio il valore pari alla somma della *“frazione non definibile merceologicamente”* e del sottovaglio stesso.

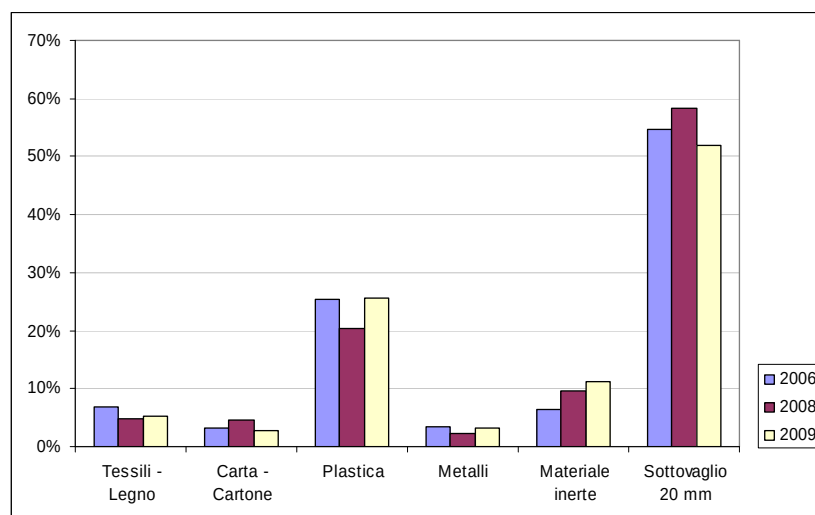


Figura 9.3. Confronto tra i valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti depositati nei lotti in coltivazione nelle campagne di indagine effettuate (Zimatec - novembre 2006, Valeco - novembre 2008, Spinoff - marzo 2009).

9.1.2. Analisi granulometrica

I risultati dell'indagine granulometrica eseguita sui rifiuti estratti dalle n. 3 trivellazioni sono riassunti nelle Tabelle 9.9 – 9.11, nelle quali è riportato sia il peso netto trattenuto (kg) sia la frazione netta di materiale passante (% in peso) nei singoli vagli.

Tabella 9.9. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto prelevati durante la trivellazione A, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione A1), 10 m (campione A2), 15 m (campione A3).

Diametro [mm]	Campione A1		Campione A2		Campione A3		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	
100	18,3	84,2	15,1	88,7	10,3	90,9	88,3
50	20,6	66,4	15,9	74,6	13,8	77,1	73,3
20	18,0	50,8	7,2	63,5	10,0	60,5	58,8

Tabella 9.10. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto prelevati durante la trivellazione B, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione B1), 10 m (campione B2), 15 m (campione B3).

Diametro [mm]	Campione B1		Campione B2		Campione B3		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	
100	31,1	76,0	26,2	80,1	19,5	89,1	82,6
50	23,8	57,7	22,8	62,7	30,4	72,2	65,1
20	17,3	44,4	16,0	50,5	25,2	58,1	51,8

Tabella 9.11. Peso netto trattenuto (kg) e frazione passante (% in peso) in corrispondenza di ciascun vaglio per i campioni di rifiuto prelevati durante la trivellazione C, alle profondità rispetto al p.c. di 5 m (campione C1), 10 m (campione C2), 15 m (campione C3).

Diametro [mm]	Campione C1		Campione C2		Campione C3		Frazione passante media [%]
	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	Frazione passante [%]	Frazione passante [%]	Peso netto trattenuto [kg]	
100	75,4	73,3	66,3	81,1	62,3	84,5	80,8
50	65,3	51,9	66,5	62,7	86,0	66,2	61,7
20	49,1	37,6	54,1	45,2	83,8	48,6	44,9

Nella Figura 9.4 sono riportate le curve granulometriche relative ai rifiuti estratti dalle trivellazioni A, B, C e la curva granulometrica media. Si evidenzia come la percentuale di sottovaglio individuata nei campioni analizzati sia piuttosto elevata, diversamente da quanto riscontrato nelle indagini precedentemente effettuate (Zimatec, novembre 2006; Valeco, novembre 2008).

Si osserva, inoltre, una sensibile similitudine nella composizione granulometrica dei rifiuti prelevati dalle tre trivellazioni.

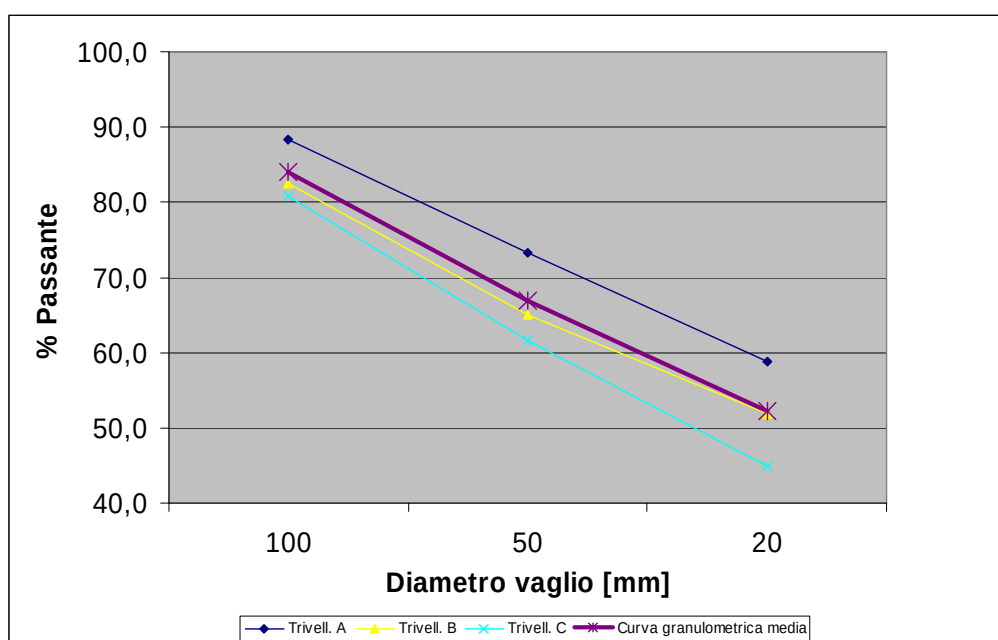


Figura 9.4. Curve granulometrica relative ai rifiuti prelevati dalle trivellazioni A, B, C. Viene rappresentata anche la curva granulometrica media. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie (mm) dei vagli adottati.

La distribuzione granulometrica delle componenti merceologiche considerate nei rifiuti estratti da ciascuna trivellazione viene rappresentata nelle Figure 9.5 – 9.7. La distribuzione granulometrica media (Figura 9.8) indica che il sottovaglio < 20 mm ed, in minor misura, i materiali inerti, vadano a costituire la frazione fine del rifiuto; plastica, legno e tessili ne compongono, invece, la frazione più grossolana.

Quanto detto, risulta sostanzialmente in accordo con quanto rilevato nelle precedenti indagini (Zimatec, novembre 2006; Valeco, novembre 2008).

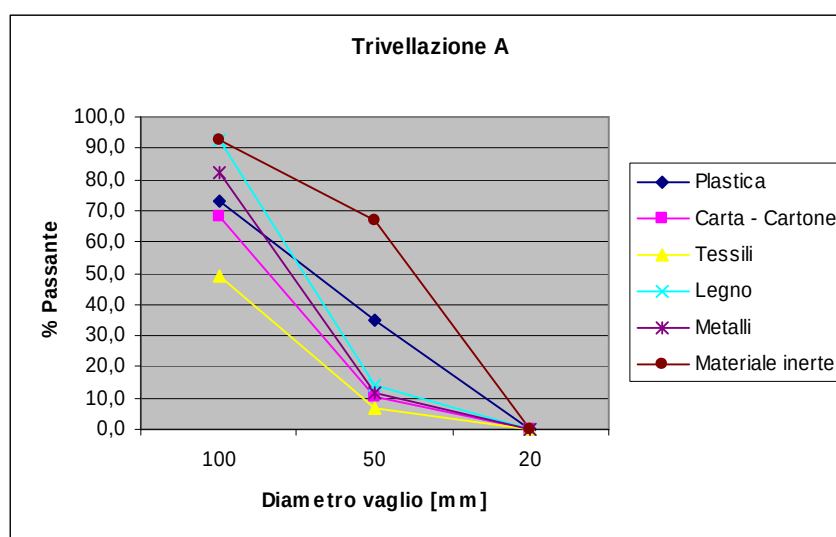


Figura 9.5. Distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati dalla trivellazione A. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

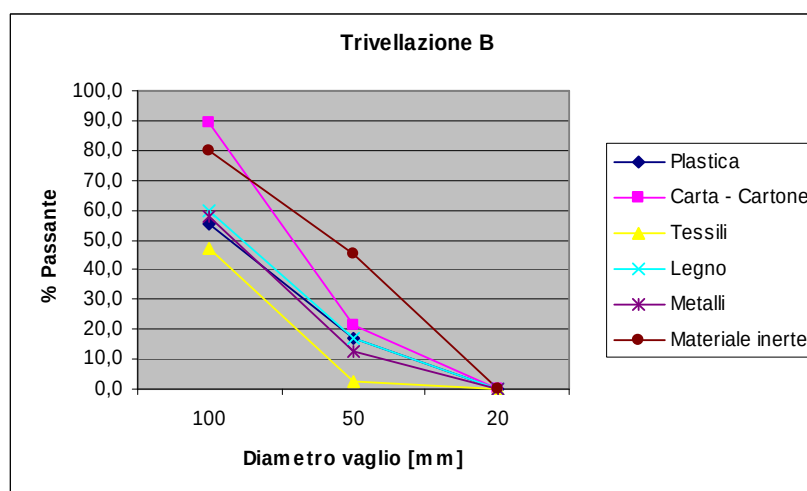


Figura 9.6. Distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati dalla trivellazione B. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

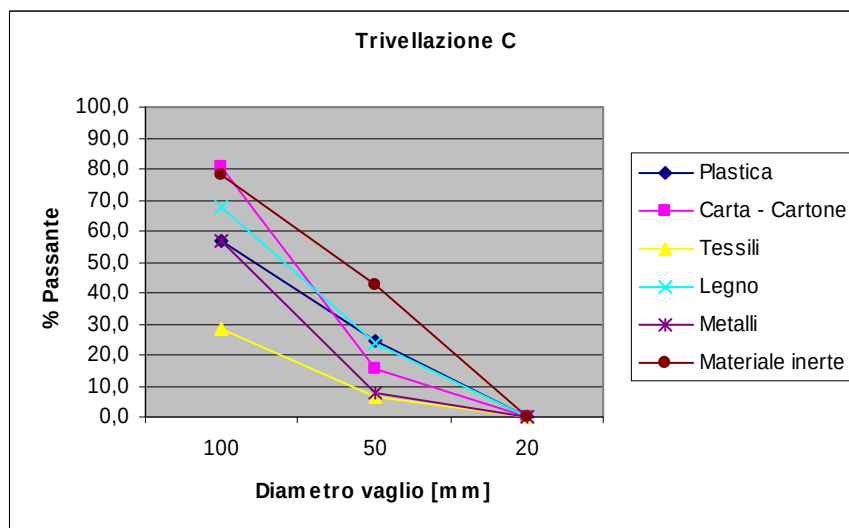


Figura 9.7. Distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati dalla trivellazione C. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

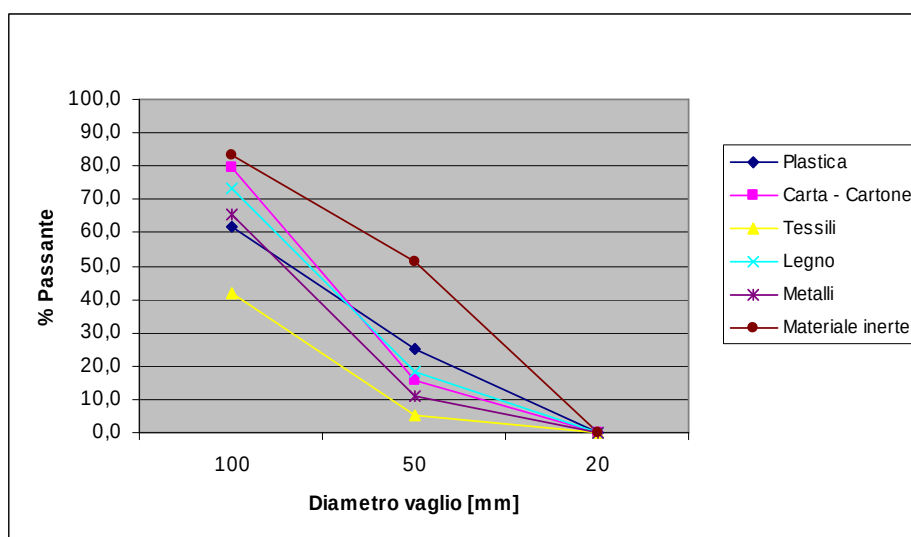


Figura 9.8. Distribuzione granulometrica media delle categorie merceologiche nei rifiuti prelevati analizzati (indagine marzo 2009). La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie.

Nei grafici riportati nelle Figure 9.9 – 9.11, vengono confrontate per ciascuna trivellazione le distribuzioni granulometriche di plastica, carta – cartone e materiale inerte. Si osserva una certa omogeneità in tale distribuzione solo per i rifiuti prelevati dalle trivellazioni B e C; nei campioni relativi alla trivellazione A, plastica e materiale inerte presentano una granulometria più fine, mentre carta – cartone più grossolana.

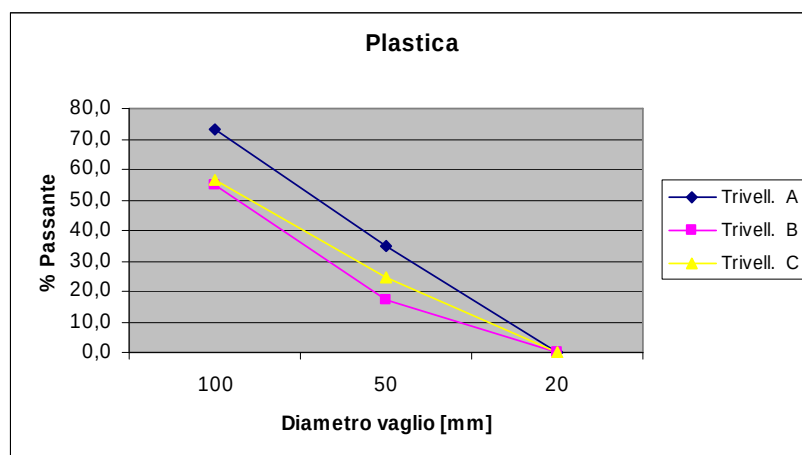


Figura 9.9. Distribuzione granulometrica del plastica nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

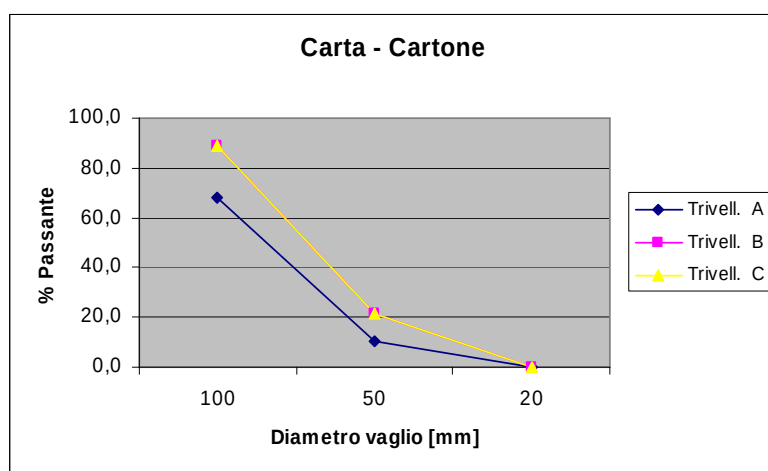


Figura 9.10. Distribuzione granulometrica dalla categoria merceologica carta - cartone nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

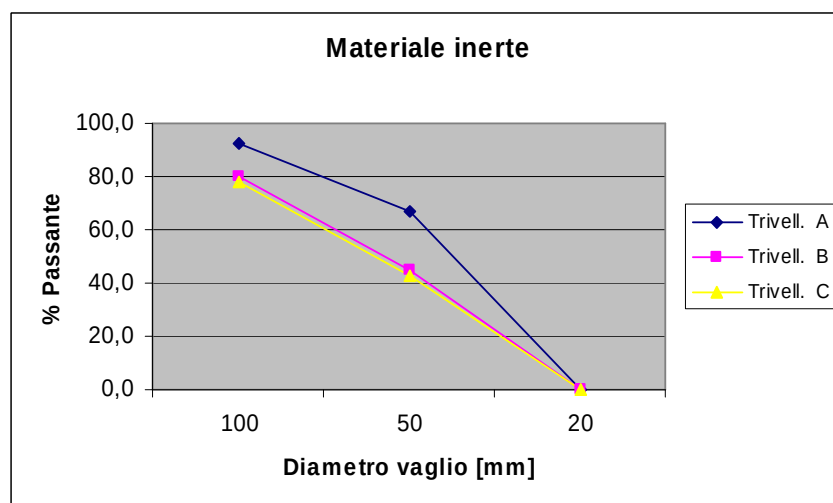


Figura 9.11. Distribuzione granulometrica del materiale inerte nei rifiuti prelevati da ciascuna trivellazione.

9.1.3. Interpretazione dei dati in funzione della profondità

Elaborando i dati risultanti dall'analisi merceologica e granulometrica integrativa in funzione della profondità di prelievo dei campioni di rifiuto (5 m, 10 m e 15 m da p.c.), è stato possibile ottenere per ciascuna classe merceologica i valori medi riportati in Tabella 9.12 e rappresentati in Figura 9.12.

Come si può notare, all'aumentare della profondità di prelievo dei campioni, la percentuale in peso di plastica, carta – cartone e tessili rilevata nel rifiuto analizzato diminuisce, mentre aumenta la percentuale in peso di sottovaglio e di materiali inerti. Per quanto riguarda legno e metalli, invece, la loro percentuale rimane pressoché invariata.

Tabella 9.12. Valori medi ottenuti per le componenti merceologiche nei rifiuti depositati alle profondità di 5, 10 e 15 m da p.c..

	5 m da p.c.	10 m da p.c.	15 m da p.c.
Tessili	3,5%	5,4%	2,2%
Legno	1,5%	1,4%	2,2%
Carta - Cartone	4,2%	3,0%	1,4%
Plastica	33,5%	23,9%	21,9%
Metalli	3,3%	3,6%	2,8%
Materiale inerte	9,4%	9,2%	14,0%
Sottovaglio 20 mm	44,6%	53,5%	55,5%

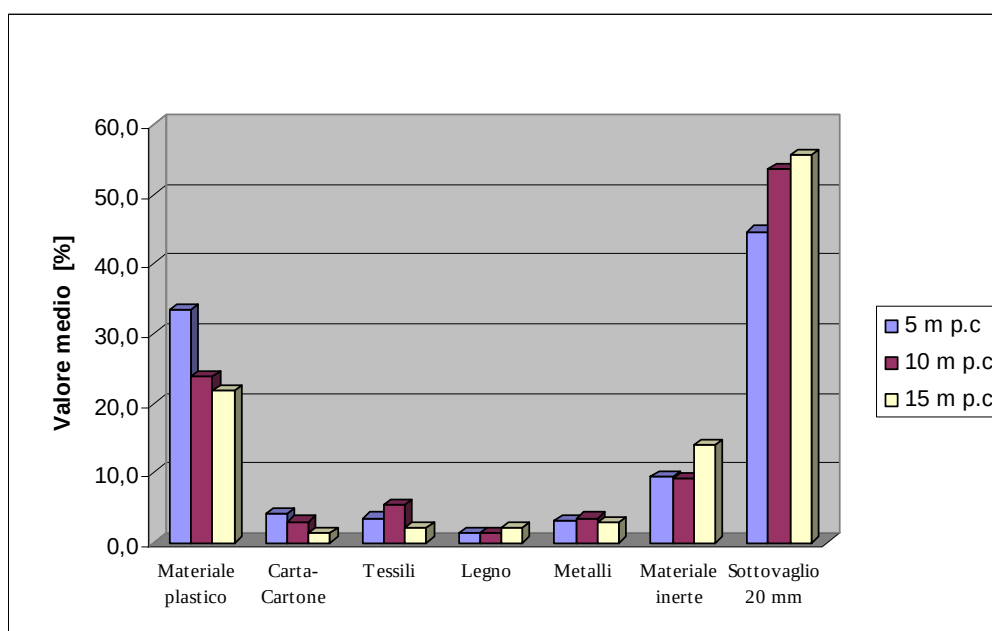


Figura 9.12. Valori medi ottenuti per ciascuna componenti merceologiche nei rifiuti depositati alle profondità di 5, 10 e 15 m da p.c..

Le curve granulometriche riportate in Figura 9.13, relative ai rifiuti prelevati rispettivamente alle profondità di 5 m, 10 m, 15 m da p.c., evidenziano l'aumento della frazione fine costituente il rifiuto al crescere della profondità.

Dalle curve relative alla distribuzione granulometrica delle categorie merceologiche considerate alle diverse profondità d'indagine (Figure 9.14 – 9.18), si osserva come con la profondità aumenti in esse la frazione fine.

Si è tralasciata la curva relativa alla distribuzione granulometrica dei metalli in quanto non ritenuta significativa.

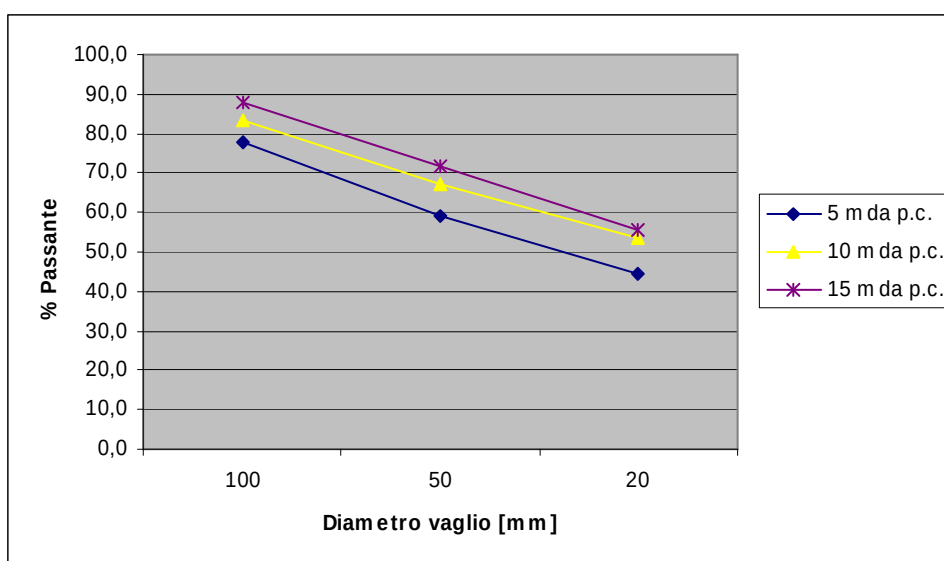


Figura 9.13. Curve granulometriche rappresentative dei rifiuti prelevati rispettivamente alle profondità di 5 m, 10 m, 15 m rispetto al p.c. La percentuale (in peso) di materiale passante è riportata in relazione alla spaziatura tra le maglie (mm) dei vagli adottati.

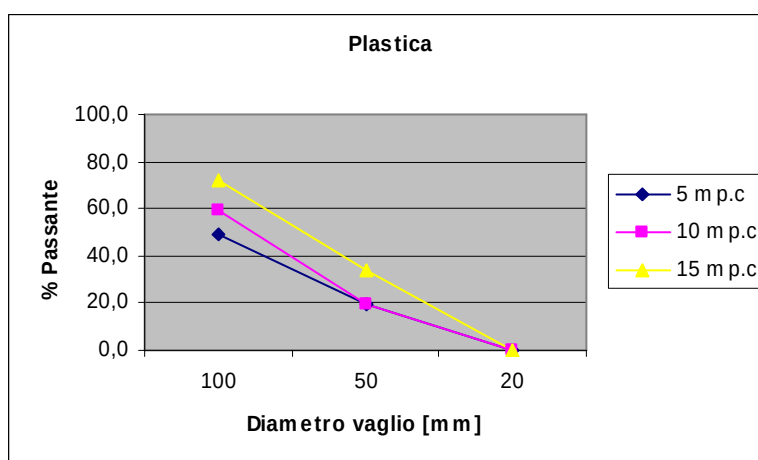


Figura 9.14. Distribuzione granulometrica della plastica nei rifiuti prelevati alle varie profondità.

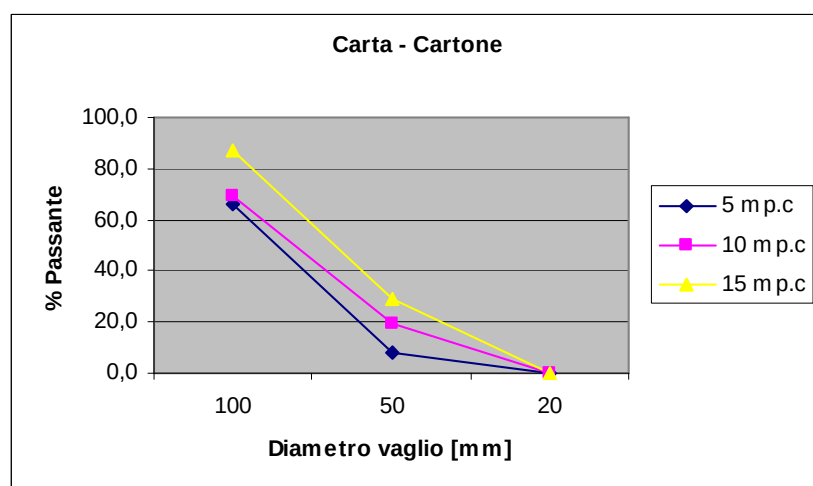


Figura 9.15. Distribuzione granulometrica della categoria merceologica relativa alla carta – cartone nei rifiuti prelevati alle varie profondità.

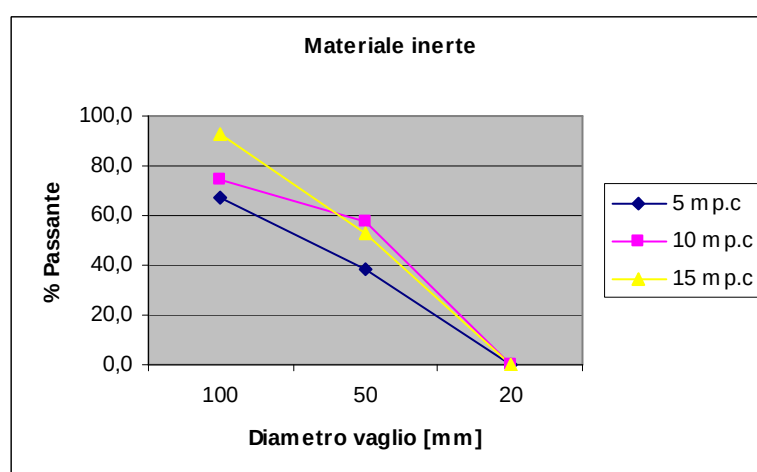


Figura 9.16. Distribuzione granulometrica del materiale inerte nei rifiuti prelevati alle varie profondità.

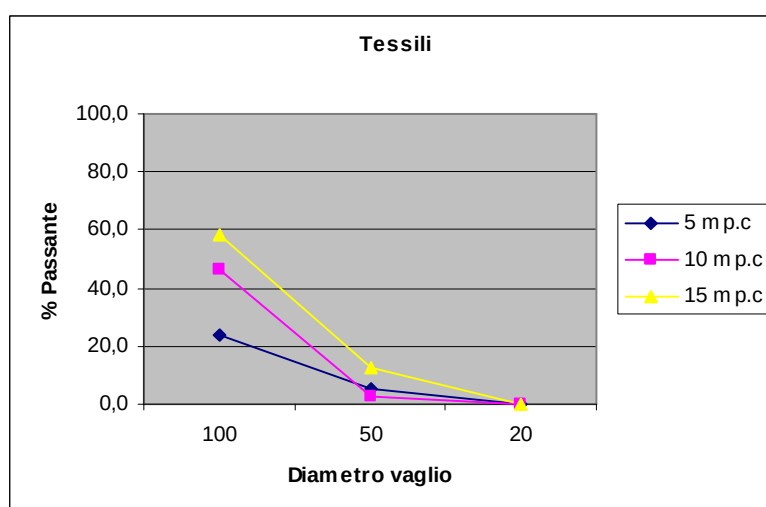


Figura 9.17. Distribuzione granulometrica della categoria merceologica relativa ai tessuti nei rifiuti prelevati alle varie profondità.

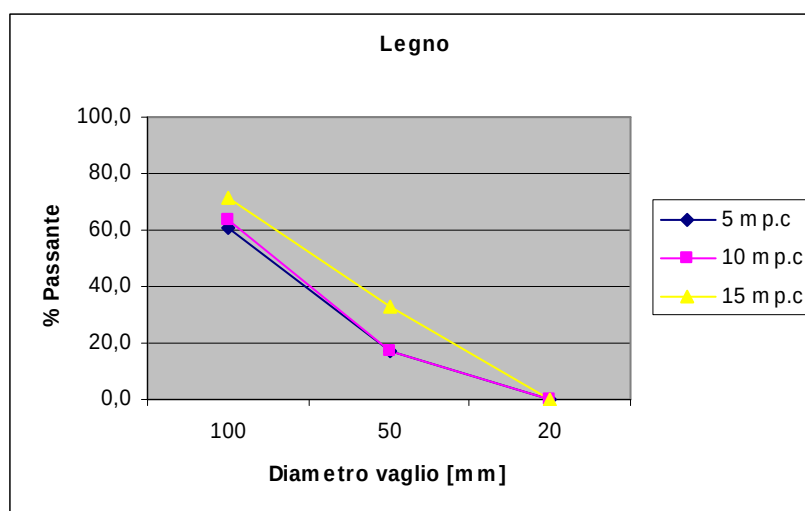


Figura 9.18. Distribuzione granulometrica della categoria merceologica relativa al legno nei rifiuti prelevati alle varie profondità.

9.2 Determinazione del potere calorifico inferiore (PCI)

Alla luce di un eventuale intervento di bonifica della discarica attraverso *Landfill Mining* e del successivo invio a recupero energetico delle frazioni combustibili selezionate meccanicamente, è risultato d'interesse effettuare la determinazione del potere calorifico inferiore (PCI), relativo alle categorie merceologiche identificate nei campioni di rifiuto prelevati alle profondità di 5 m, 10 m, 15 m da p.c. durante le trivellazioni dei primi tre nuovi pozzi per l'estrazione del biogas in discarica (trivellazioni A, B, C).

In particolare, tale determinazione è stata condotta sulle seguenti frazioni merceologiche:

- plastica con granulometria >100 mm;
- plastica con granulometria >50 mm;
- plastica con granulometria >20 mm;
- legno;
- tessili;
- carta – cartone;
- sottovaglio a 20 mm.

Nella Tabella 9.13 si riportano gli intervalli di variazione del potere calorifico inferiore e dell'umidità ottenuti dalle analisi sulle suddette frazioni merceologiche in corrispondenza delle diverse profondità di prelievo dei campioni di rifiuto, espressi con diverse unità di misura.

Tabella 9.13. Intervalli di variazione del potere calorifico inferiore e di umidità riscontrati per le frazioni merceologiche analizzate alle varie profondità.

Classi merceologiche	Profondità	Intervallo variazione PCI		Intervallo variazione U [%]
		[kcal/kg]	[kJ/kg]	
Plastica > 20 mm	5 m	1.280-3.445	5.359-14.424	35,5-44,2
	10 m	1.330-2.636	5.568-11.036	36,3-42,3
	15 m	1.630-3.966	6.824-16.605	31,1-33,2
Plastica > 50 mm	5 m	2.220-4.440	9.295-18.589	34,2-37,4
	10 m	1.550-2.659	6.490-11.133	34,5-39,7
	15 m	3.134-4.310	13.121-18.045	8,8-33,3
Plastica > 100 mm	5 m	3.560-4.910	14.905-20.557	25,8-28,6
	10 m	2.110-3.811	8.834-15.956	32,7-50,9
	15 m	3.300-6.906	13.816-28.914	17,7-27,5
Carta - Cartone	5 m	2.860-3.027	11.974-12.673	60,0
	10 m	2.352-3.070	9.847-12.853	52,4
	15 m	2.544-3.520	10.651-14.738	60,7
Legno	5 m	3.134-3.240	13.121-13.565	51,1
	10 m	2.486-3.610	10.408-15.114	73,6
	15 m	3.300-3.411	13.816-14.281	40,5
Tessili	5 m	2.614-3.900	10.944-16.329	47,7
	10 m	3.069-3.230	12.849-13.523	43,3
	15 m	2.208-3.170	9.244-13.272	39,8
Sottovaglio < 20 mm	5 m	556-1.500	2.328-6.280	20,8-32,6
	10 m	723-1.815	3.027-7.599	23,7-33,5
	15 m	760-1.568	3.182-6.565	16,8-25,2

L'elaborazione dei risultati acquisiti ha permesso di calcolare, per ciascuna delle frazioni merceologiche analizzate, i valori medi del PCI, riportati in Tabella 9.14 e nella Figura 9.19 insieme ai corrispondenti valori di umidità media rilevati.

Tabella 9.14. Valori medi di PCI (espressi in kcal/kg e kJ/kg) calcolati per le frazioni merceologiche analizzate sulla base dei dati acquisiti. Viene indicata anche l'umidità media (%) rilevata nei campioni esaminati.

Classi merceologiche	PCI medio		U media [%]
	[kcal/kg]	[kJ/kg]	
Plastica	3.300	13.820	32,7
Legno	3.225	13.500	52,7
Tessili	3.100	12.980	44,0
Carta - Cartone	2.880	12.060	57,5
Sottovaglio < 20 mm	870	3.640	26,5

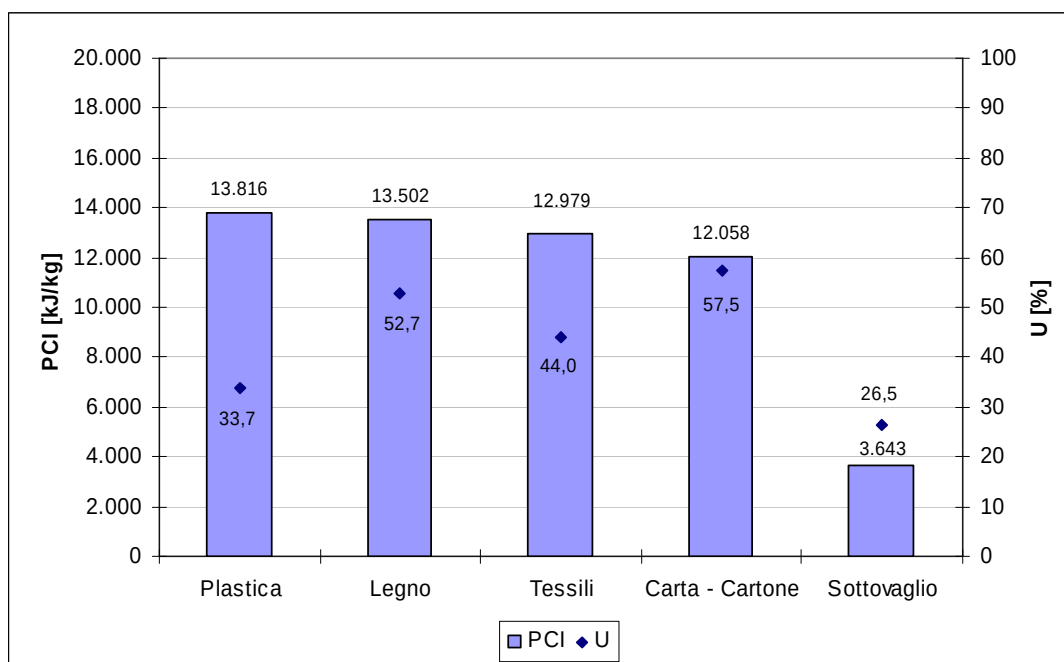


Figura 9.19. Rappresentazione dei valori medi di PCI (kJ/kg) e umidità U (%) per le classi merceologiche analizzate.

Come risulta dai calcoli riportati in Tabella 9.15, il valore medio pesato del PCI della miscela delle frazioni merceologiche combustibili, considerando tra queste anche quelle caratterizzate da un potere calorifico inferiore medio - basso come il sottovaglio, risulta di 7.535 kJ/kg (1.800 kcal/kg). Considerando che il PCI secco del sottovaglio varia tra 6.280 e 7.535 kJ/kg (ovvero tra 1.500 e 1.800 kcal/kg), il PCI complessivo della miscela, a seguito dell'aerazione in situ che ridurrà l'umidità del sottovaglio, risulterà più alto.

La quantità complessiva della frazione combustibile risulta di 1.635.516 t di rifiuti, pari all'85,6% dei rifiuti depositati in discarica.

Considerando, invece, l'ipotesi di non mandare a recupero energetico il sottovaglio, il PCI medio dei rifiuti in ingresso all'impianto risulterebbe pari a 13.563 kJ/kg (3.240 kcal/kg): tale valore sarebbe addirittura troppo elevato e il materiale quindi inadatto ad essere bruciato in un tradizionale impianto di incenerimento rifiuti.

Tabella 9.15. Quantità, potere calorifico e carichi giornalieri associati al *Landfill Mining*, delle diverse frazioni di rifiuto depositate nella discarica di Brissogne. Si considera una durata di *Landfill Mining* pari a 25 anni, una quantità totale di 1.910.650 t ed un volume totale di 1.855.000 m³ di rifiuti depositati nei lotti in coltivazione (ipotesi alla base dello Studio Genon-Ziviani).

Parametri Frazioni	Quantità		PCI		Carico giornaliero LFM		
	[t]	[%]	[kcal/kg]	[kJ/kg]	[t/d]	[10 ³ kcal/d]	[10 ³ kJ/d]
PLastica	491.037	25,7	3.300	13.820	53,8	177.581	743.494
Legno	32.481	1,7	3.225	13.500	3,6	11.480	48.063
Tessili	68.783	3,6	3.100	12.980	7,5	23.368	97.835
Carta e cartone	51.588	2,7	2.880	12.060	5,6	16.282	68.169
Sottovaglio	991.627	51,9	870	3.640	108,7	94.544	395.838
Totale frazione combustibile	1.635.516	85,6	1.800	7.535	179,2	322.622	1.350.756
Inerti	213.993	11,2	/	/	23,4	/	/
Metalli	61.141	3,2	/	/	6,7	/	/
Totale frazione non combustibile	275.134	14,4	/	/	30,1	/	/
TOTALE RIFIUTI	1.910.650	100,0	/	/	209,3	/	/

9.2.1 Interpretazioni dei dati in funzione della profondità

L'andamento del PCI medio e dell'umidità delle frazioni merceologiche considerate in funzione della profondità in discarica è evidenziato nella Figura 9.20.

Si nota che il valore minimo del PCI medio relativo alle frazioni combustibili, pari a 6.346 kJ/kg (1.516 kcal/kg), si ottiene alla profondità di 10 m, in corrispondenza del valore medio di umidità più elevato, pari a 34,6% circa. A tale profondità è probabile la presenza di una lente di percolato.

Negli strati più superficiali (5 m da p.c.) il PCI medio presenta, invece, il valore massimo, pari a 8.837 kJ/kg (2.111 kcal/kg), nonostante l'umidità media sia piuttosto elevata (32,9%): a predominare non è più il fattore legato all'umidità media delle frazioni combustibili analizzate ma il fatto che a tale profondità si trova una rilevante percentuale in peso di plastica, pari a circa 33,5 % (vedi Paragrafo 9.1.3), caratterizzato da un elevato potere calorifico inferiore.

Si osserva, inoltre, che alla profondità di 15 m, il potere calorifico inferiore medio assume il valore intermedio pari a 7.690 kJ/kg (1.837 kcal/kg), nonostante il valore dell'umidità media sia il più basso tra quelli calcolati: a tale profondità è presente, infatti, un'elevata percentuale in peso di sottovaglio, pari a 55,5% (vedi Paragrafo 9.1.3), materiale avente un PCI medio - basso.

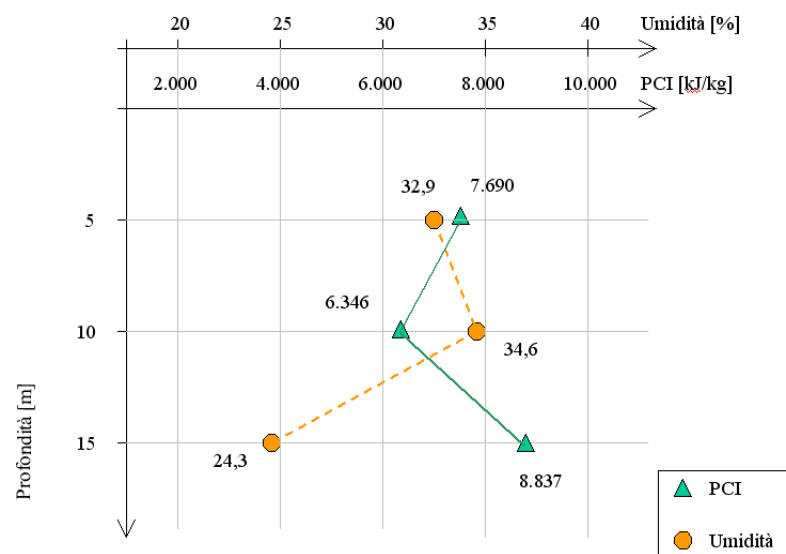


Figura 9.20. Rappresentazione dei valori del PCI medio(kJ/kg) e dell'umidità media relativi alle frazioni merceologiche combustibili analizzate, al variare della profondità di prelievo dei campioni.

9.2.2 Interpretazioni dei dati in funzione della granulometria

Per la plastica è risultato d'interesse valutare l'andamento del PCI medio e dell'umidità media in funzione della granulometria (frazione >20 mm, >50 mm, >100 mm). I risultati ottenuti sono riportati in Figura 9.24.

Si può notare che maggiori sono le dimensioni del rifiuto plastico, maggiore è il potere calorifico inferiore ad esso associato.

Il PCI medio minore è stato riscontrato in corrispondenza della frazione di materiale compresa tra i 50 mm e i 20 mm ed è pari a 10.254 kJ/kg (2.450 kcal/kg). Il grado di umidità massimo si rileva, invece, in corrispondenza della frazione compresa tra i 100 e i 50 mm, per la quale il PCI assume il valore intermedio di 17.316 kJ/kg (4.137 kcal/kg).

Questo è dovuto al fatto che il materiale di dimensioni inferiori risulta caratterizzato da un maggiore grado di impurità.

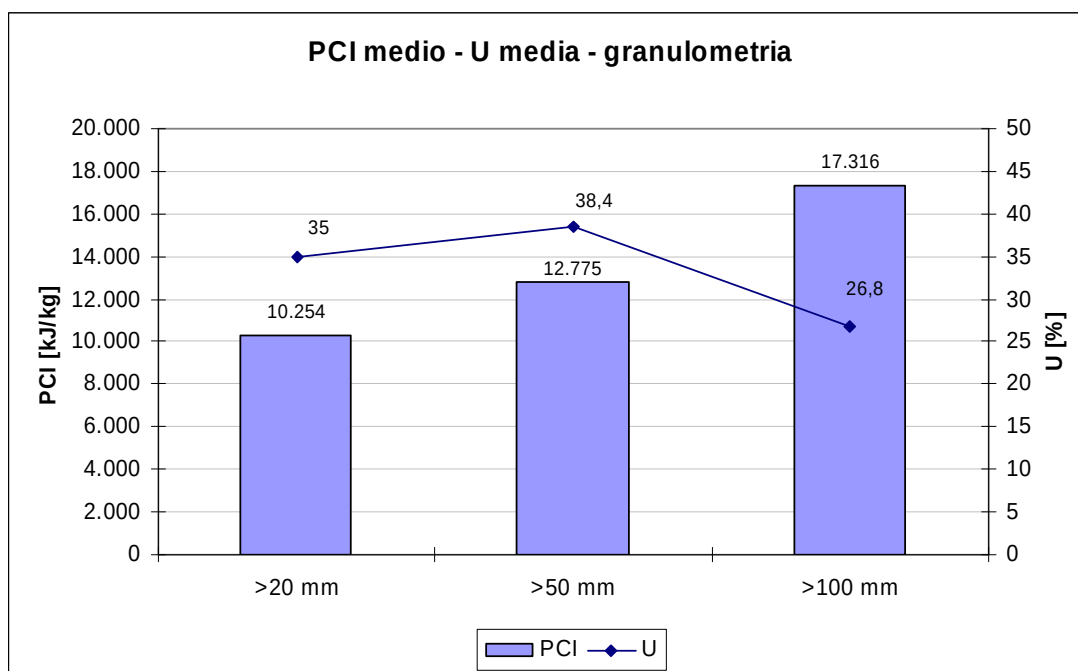


Figura 9.24. Rappresentazione dei valori di PCI medio (kJ/kg) e di umidità media (%) al variare della granulometria del materiale.

BIBLIOGRAFIA

- Andreottola G. and Cannas P. (1992). *Chemical and biological characteristics of landfill leacheate*.
In: Landfilling of waste: leacheate (Christensen, Cossu and Stegmann eds.), Elsevier Applied Science, Belfast, 65-88.
- Cossu R. (1998). Dispense dl corso di Impianti di trattamento dei rifiuti solidi, Padova.
- APAT, IRSA-CNR (2003). *Manuali e Linee Guida 29/2003. Metodi analitici per le acque*.
- Rettemberger G. (1995). *Results from a Landfill Mining demonstration project*. Atti del “Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium”, 2-6 ottobre 1995, S. Margherita di Pula (Ca), III 827.
- Butti L., Cossu R. (2009). *La discarica sostenibile*. CISA Publisher (in pubblicazione).