

**Tesi di laurea magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, anno accademico 2015/2016**

**“PROPRIETA’ PETROFISICHE E COMPORTAMENTO DEI MATERIALI COESIVI DI COPERTURA DI DISCARICHE RSU ALLE SOLLECITAZIONI TERMICHE”**

**Autrice: Gioia Marcato**

**Relatore: Dott. Antonio Galgaro; Correlatore: Ing. Giorgia Dalla Santa, Dott. Matteo Cultrera**

Il tema delle discariche e dei relativi sistemi di copertura è ampiamente trattato a livello scientifico. Il presente lavoro di tesi ha però lo scopo di colmare una carenza di conoscenze riguardanti la caratterizzazione termica e i processi di trasporto termico che avvengono all’interno del sistema di copertura superficiale di discariche per rifiuti solidi urbani (RSU), che deve mantenere nel tempo determinate caratteristiche meccaniche ed idrauliche, in modo da garantire le condizioni di sicurezza dell’impianto di conferimento.

La barriera di copertura superficiale di discariche per rifiuti solidi urbani è composta, dal basso verso l’alto, da uno strato di regolarizzazione (spessore medio di 20 cm), un geotessile tessuto, uno strato di drenaggio del biogas (spessore  $\geq 50$  cm), un geotessile non tessuto, uno strato impermeabile (spessore  $\geq 50$  cm), un geotessile non tessuto, uno strato di drenaggio delle acque meteoriche (spessore  $\geq 50$  cm), un geotessile tessuto e uno strato di terreno vegetale (spessore  $\geq 100$  cm, dei quali i 20-30 centimetri superiori atti all’inerbimento). Gli spessori riportati fra parentesi sono fissati dal D. Lgs. 36/2003, che rappresenta tutt’oggi la normativa guida in campo discariche.

Secondi alcuni studi, in una discarica per RSU oltre il 40% dei cedimenti avvengono ad opera della degradazione biologica dei rifiuti durante il primo anno di esercizio. Se la barriera di copertura superficiale venisse completata entro un anno dal conferimento dei rifiuti, essa subirebbe una riduzione delle pendenze e la formazione di depressioni localizzate a seguito degli assestamenti della massa rifiuti, con prevedibili conseguenze sul deflusso delle acque ipodermiche. La sistemazione di questi avvallamenti richiederebbe notevoli apporti di nuovo materiale, dispendio di ampie somme di denaro e mano d’opera. Per ovviare a ciò, è buona prassi procedere con la creazione di una copertura provvisoria costituita, dal basso verso l’alto, dallo strato di regolarizzazione, dal geotessile tessuto, dallo strato di drenaggio del biogas, dal geotessile nontessuto, dallo strato impermeabile e da un geotessuto in HDPE (*Fig.1*). Seguendo la procedura di creazione della copertura provvisoria, con durata di almeno un anno dal conferimento dei rifiuti, le prevedibili depressioni causate dai cedimenti della massa rifiuti potranno essere compensate senza eccessivi costi. Inoltre la maturazione del corpo rifiuti di almeno un anno consentirà una migliore valutazione delle correzioni da apportare alla superficie di posa degli altri strati.



*Fig.1 Rappresentazione schematica della copertura provvisoria (spessori degli strati non in scala. Non rappresentato il sottile geotessuto superficiale in HDPE, il quale funge solo da contenimento degli odori e da protezione, evitando il diretto contatto dello strato impermeabile con l’acqua meteorica, con gli animali e con l’uomo).*

I materiali coesivi che costituiscono lo strato impermeabile risentono quindi sia di stress meccanici legati alle eterogeneità del materiale conferito, che possono causare assestamenti differenziali (Grisolia et al. (1995); Monassero et al. (1996); Watts e Charles (1999)), sia di sollecitazioni termiche, in particolare durante il periodo di esposizione all'aria (copertura provvisoria) (Hanson e Yesiller (2010)): cicli di gelo-disgelo e cicli di bagnatura-essiccazione causano in un terreno coesivo una perdita del contenuto d'acqua e la formazione di fessure, con conseguente aumento della sua permeabilità (Campanella e Mitchell (1968), Konrad (1980)). Questo rappresenta un aspetto molto importante in quanto il Decreto Legislativo 36/2003 indica, per la barriera impermeabile dello strato di copertura di una discarica, una conducibilità idraulica massima pari a  $k \leq 10^{-8}$  m/s. Lo scopo di questo lavoro di tesi è quindi quello di indentificare la possibile presenza di danni irreversibili sulla barriera impermeabile a seguito delle sollecitazioni termiche dovute all'esposizione alle fluttuazioni termiche dell'aria e alle alte temperature endogene prodotte, all'interno del corpo di discarica, dalla biodegradazione dei rifiuti. La possibile formazione di fessure all'interno dello strato impermeabile potrebbero comportare l'aumento della conducibilità idraulica anche in maniera non trascurabile, non rispettando più i parametri limite indicati da normativa.

Per rappresentare l'assetto termodinamico dello strato impermeabile durante il periodo di esposizione in questa configurazione provvisoria, è stato creato un modello numerico di supporto mediante uno dei software più avanzati per la modellazione 2D e 3D del trasporto di massa e calore in un mezzo poroso: Feflow (Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media). I parametri di input richiesti dal modello sono stati ricavati da bibliografia o da apposite analisi di laboratorio condotte su campioni di materiale ghiaioso e materiale fine prelevato direttamente da una discarica di RSU situata in provincia di Verona. Il materiale relativo alla barriera impermeabile è stato classificato mediante prove di granulometria, aerometria, diffrattometria ai raggi X, limiti di Atterberg, determinazione del contenuto organico e peso specifico dei grani. Il materiale grossolano dello strato di drenaggio del biogas è stato vagliato per poterlo classificare dal punto di vista granulometrico. In seguito sono state condotte prove di conducibilità termica utilizzando, per ciascun tipo di materiale, la tipologia di strumento più adatta, in modo da avere un adeguato contatto tra sonda e campione. Il materiale fine della barriera impermeabile è stato testato in diverse condizioni di temperatura, anche a temperature minori di 0°C, utilizzando lo strumento ISOMET 2114 secondo procedure standard (CEI EN 61010). Per il campione ghiaioso, costituente lo strato di drenaggio del biogas, è stato utilizzato lo strumento a piastra calda e anello di contenimento situato presso il laboratorio IUAV di Mestre (VE), appositamente modificato.

Sono state quindi create quattro simulazioni considerando le diverse condizioni di sollecitazioni termiche alle quali è sottoposta la copertura temporanea a seconda delle variazioni stagionali (1.2°C per le simulazioni 1 e 2 condotte nel mese invernale; 25.77°C per le due simulazioni 3 e 4 condotte nel mese estivo) e della fase di biodegradazione del corpo rifiuti (30°C nella simulazione 1 e 3 e 70°C nella simulazione 2 e 4), ottenendo l'effettiva distribuzione della temperatura all'interno della copertura temporanea.

Dalle quattro simulazioni numeriche condotte sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- il gradiente termico nello strato impermeabile è più elevato rispetto al gradiente termico presente nei sottostanti strati di materiali inerti. In quest'ultimi prevale infatti la convezione rispetto alla conduzione, testimoniata dalla presenza di moti convettivi che consentono una sorta di omogeneizzazione della temperatura in quelle aree dove tali moti di fluido si sviluppano;
- grazie all'alta conducibilità termica equivalente degli strati a granulometria grossolana, la sollecitazione termica dei rifiuti ha influenza diretta sulla base dello strato impermeabile indipendentemente dalla temperatura media

stagionale dell'aria: se i rifiuti sono a 30°C, lo strato impermeabile risente di circa 28°C, mentre se la massa in fase di biodegradazione è a 70°C, lo strato impermeabile risente di una temperatura dal basso di circa 65°C;

- le temperature presenti negli strati più superficiali risentono maggiormente delle variazioni stagionali dell'aria rispetto alle temperature degli strati più profondi, così come testimoniamo anche gli studi condotti da Hanson e Yesiller (2003);
- considerando i -2°C come la temperatura di congelamento indicativa, si può affermare che durante la Simulazione 1 i primi 18 mm di terreno vanno incontro a congelamento una decina di volte. Il fenomeno del congelamento si può verificare fino alla profondità di 46 mm dalla superficie, per un numero di volte minore rispetto al precedente. In corrispondenza di una temperatura dell'aria pari a -10.6°C, l'isoterma -2°C raggiunge anche i 74 mm di profondità. In quest'ultimo caso, probabilmente, non si verifica la nucleazione di lenti di ghiaccio dato il limitato intervallo di tempo in cui si attestano temperature inferiori ai -2°C (solo per 3 ore) (Fig.2; Fig.3).
- durante la Simulazione 2, nonostante una temperatura della massa rifiuti pari a 70°C, riescono a congelare solamente i primi 18 mm di terreno;

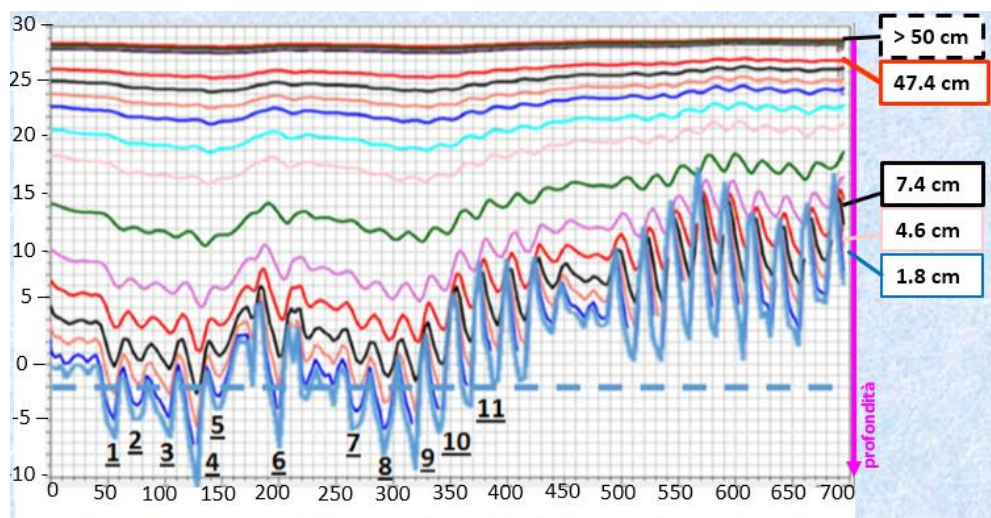


Fig.2 Grafico temperatura-tempo: i numeri rappresentano le n-volte in cui sono presenti temperature inferiori ai -2°C in corrispondenza degli Observation Points n.1 (profondo 1.8 cm), n.2 (profondo 4.6 cm) e n.3 (profondo 7.4 cm) (Simulazione 1 nella quale è stata imposta  $T_{aria}=1.2^{\circ}C$  e  $T_{rifiuti}=30^{\circ}C$ ). La curva azzurra rappresenta l'andamento della temperatura dell'aria nel mese di febbraio 2012.

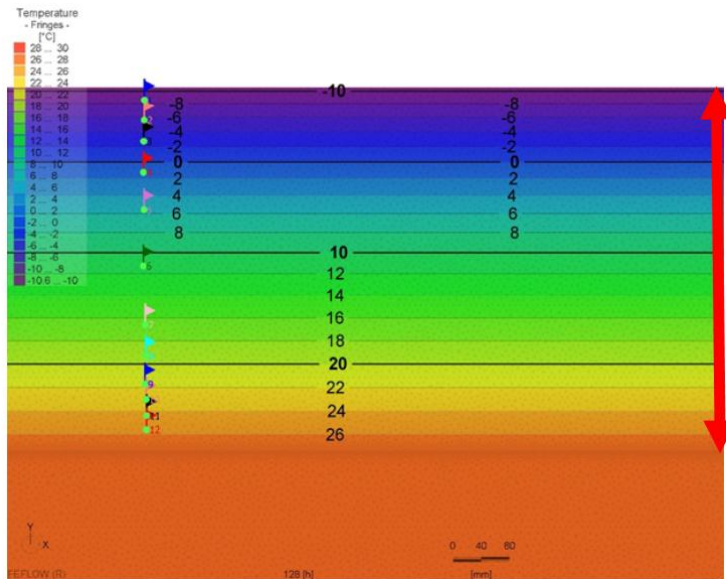


Fig.3 Andamento delle isoterme all'interno dello strato impermeabile in corrispondenza di una temperatura dell'aria pari a  $-10.6^{\circ}\text{C}$  (dato Arpav) (la freccia rossa indica lo sviluppo verticale dello strato impermeabile spesso 50 cm da normativa).

- la fonte calda sottostante la barriera di contenimento superficiale, rappresentata dal corpo rifiuti in biodegradazione, causa la migrazione dell'acqua verso le zone più fredde in superficie. Nello strato impermeabile si verifica quindi il graduale impoverimento del suo contenuto d'acqua;
- nello strato impermeabile, che risente del fenomeno dell'essiccazione nei mesi estivi e del fenomeno del congelamento nei mesi invernali, si formano fessure verticali, che causano l'incremento della conducibilità idraulica e la sua diminuzione del potere impermeabilizzante. Le fessure da ritiro possono approfondirsi dopo ogni ciclo termico, generando l'aumento dei fenomeni di infiltrazione delle acque meteoriche, con conseguente incremento della quantità di percolato oltre i limiti di progetto.

Questo studio si pone quindi come base di partenza per un possibile e auspicabile adeguamento normativo specifico e per fornire indicazioni utili alle buone pratiche di posa e gestione dei materiali di copertura, valutando la possibilità di impiego di nuove soluzioni di copertura basate sull'utilizzo di materiali naturali, artificiali o misti meno sensibili alle variazioni di permeabilità termoindotte.