

geol-alp.com/brianconnais/\_lieux\_Claree\_E/Chaberton.html; visitato in data 11/09/2017).

Mougin, P., 1914. Les torrents de la Savoie. Société d'Histoire Naturelle de Savoie, 1251 pp., Grands Etablissements de l'Imprimerie Générale, Grenoble.

Polino, R., Dela Pierre, F., Borghi, A., Carraro, F., Fioraso, G. & Giardino, M., 2002. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 132-152-153 Bardonecchia, Servizio Geologico d'Italia-Regione Piemonte.

Servizio Geologico d'Italia, 2002. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 132-152-153 Bardonecchia, Servizio Geologico d'Italia-Regione Piemonte.

Tropeano, D., Casagrande, A., Luino, F. & Cescon, F., 1996. Processi di mud-debris flow in Val Cenischia (Alpi Graie). Osservazioni nel bacino del T. Marderello. GEAM – Ge-

oingegneria Ambientale e Mineraria, Quaderni di studi e di documentazione, n. 20, suppl. a vol. 33 (2-3), p. 5-31, pubblicazione GNDCl n. 1796. Tropeano, D. & Turconi, L., 2003. "Geomorphic classification of alpine catchments for debris-flow hazard reduction"; Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment; Davos, 10-12 settembre 2003, Rickenmann & Chen (Eds), Millpress Science Publishers, Rotterdam, pp. 1221-1232, ISBN: 90-77017-78-X

Turconi, L., Coviello, V., Arattano, M., Savio, G. & Tropeano, D., 2014a. Monitoring Mud-Flows for Investigative and Warning Purposes: The Instrumented Catchment of Rio Marderello (North-Western Italy); G. Lollino et al. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory, Volume 3, DOI: 10.1007/978-3-319-09054-2\_17, ©Springer International Publishing Switzerland 2015, pp. 85-90.

Turconi, L., Coviello, V., Palladino, M.R., Arattano, M., Savio, G. & Tropeano, D., 2014b. Critical rainfall thresholds for debris flow initiation in a small catchment of Western Italian Alps; 15<sup>th</sup> Biennial Conference Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins, Oral Communication, Book of abstracts ERB 2014, 9-13 September, 2014, Coimbra, Portugal, M. Isabel P. de Lima and João L.M.P. de Lima (eds.), p. 40, ISBN: 978-989-98435-7-8.

Turconi, L., Kumar De, S., Tropeano, D. & Savio, G., 2010. Slope failure and related processes in the Mt. Roccamelone area (Cenischia Valley, Western Italian Alps). Geomorphology, Vol. 114, 3, 115-128.

Turconi, L. & Tropeano, D., 1999. "Evaluation of the potential debris supply in some catchments of the Western and Central Italian Alps", Wildbach und Lawinenverbau, 63, Heft 140, pp.37-47.

## Stima del coefficiente di conversione peso-volume dei rifiuti inerti con elevata umidità per il calcolo delle volumetrie abbancate in discarica

*Il calcolo delle volumetrie di rifiuti via via abbancate in discarica è una procedura necessaria per la corretta gestione dell'impianto. Poiché per norma i rifiuti in ingresso in discarica sono sottoposti a pesatura, nella pratica per convertire le quantità di rifiuti in volumi si utilizzano opportuni coefficienti di conversione da tonnellate a metri cubi, in modo da giungere progressivamente a stimare la Capacità Volumetrica Residua (CVR) della discarica. Risulta quindi di fondamentale importanza giungere ad una stima affidabile di tali coefficienti, dal momento che proprio in base ad essa, il gestore può stabilire la corretta volumetria residua, rispetto a quanto previsto nei provvedimenti autorizzativi.*

*Nel presente studio viene proposta una metodologia di stima del valore di tale coefficiente di conversione da associare ai rifiuti conferiti in discariche per inerti. La stima viene effettuata confrontando dati di letteratura con l'analisi statistica dei valori di umidità dei rifiuti conferiti in una discarica per inerti in esercizio a Roma. Tali considerazioni vengono infine validate attraverso il confronto dei valori dei volumi realmente abbancati nella discarica in esame, calcolati attraverso l'elaborazione in ambiente GIS dei risultati di rilievi topografici.*

*I risultati forniscono valori guida ragionevolmente coerenti ed attendibili del coefficiente di conversione peso-volume dei rifiuti conferiti in discarica per inerti, in base alla tipologia di rifiuto e più nello specifico alla sua umidità.*

**Parole chiave:** Coefficiente conversione peso-volume, Capacità Volumetrica Residua, discarica per inerti, umidità rifiuti inerti.

**Estimation of conversion factor weight-volume of inert waste with high humidity for the calculation of volumes put at landfill.** *The calculation of the stored waste volume is a necessary operation for the proper management of landfill. The waste in input in the landfill are subjected, for legislation, to weighting; in practice, people use the conversion factors from tons to cubic meters to derive the residual volumetric capacity of the landfill. It is therefore very important to correctly estimate these coefficients in order to correctly determine the residual volume than had been approved.*

*In this study, specifically, was estimated the value of the conversion coefficient for inert waste. The estimation is performed by comparing data from literature with the statistical analysis of moisture values of the waste deposited in a landfill for inert examined. These considerations are then compared and validated through the use of the actual values of the volumes stored in the landfill surveyed, which is calculated through topographic measurement (GIS).*

*The results achieved provide reference values of the conversion factor (weight - volume) of inert waste, depending on the type of waste and more specifically to its humidity, with fairly reliable and consistent values.*

**Keywords:** conversion factors from tons to cubic meters, inert waste unit weight, landfill for inert, volumetric capacity residual.

### 1. Introduzione

I rifiuti in ingresso in discarica sono sottoposti, per normativa, a pesatura. Al fine di poter calcola-

re la volumetria residua rispetto a quanto autorizzato, per tutte le discariche è consuetudine adottare un coefficiente di conversione che trasformi le tonnellate (dei rifiuti

Giuseppe Sappa\*  
Antonio Trotta\*\*  
Silvia Iacurto\*\*

\* Università La Sapienza di Roma, DICEA, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale  
\*\* SPE Ingegneria S.r.l., Roma

in ingresso) in metri cubi (dei rifiuti abbancati). Nel presente studio, nello specifico, è stato stimato il valore del coefficiente di conversione da associare ai rifiuti conferiti in una discarica per inerti in esercizio a Roma. La stima è stata effettuata confrontando dati di letteratura con l'analisi statistica dei valori di umidità dei rifiuti, conferiti presso la discarica per inerti in esame. I risultati ottenuti sono stati, infine, confrontati con i valori delle quantità di rifiuti effettivamente abbancati nei diversi anni di esercizio della discarica presa in esame nel presente articolo, ricavati attraverso l'analisi dei rilievi topografici eseguiti in situ e successivamente elaborati secondo la procedura descritta nel dettaglio nel presente lavoro.

I dati di letteratura riportano coefficienti di conversione pari a 1,5-1,6 t/m<sup>3</sup>, la cui variabilità è essenzialmente funzione della tipologia di materiale; per rifiuti caratterizzati da un tenore in umidità elevata, alcuni studi, indicano invece, valori del coefficiente di conversione più elevati, che raggiungono anche 2.3 (t/m<sup>3</sup>). Partendo da questi valori di riferimento, attraverso la metodologia meglio descritta di seguito, viene stimato il valore del coefficiente di conversione peso-volume da associare ai rifiuti conferiti in discariche per inerti.

### 2. Metodologia

Per effettuare la stima del coefficiente di conversione, secondo

quanto accennato nell'introduzione, oltre allo studio dei valori indicati in letteratura, sono stati presi in considerazione i dati relativi ad una discarica per inerti in esercizio a Roma. In tale discarica sono previste le seguenti operazioni di smaltimento:

1. D1 = deposito sul o nel suolo (ad esempio discarica);
  2. D15 = deposito preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D14 (escluso il deposito temporaneo prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti).
- In tale impianto, i rifiuti conferiti nei vari anni di attività (e quindi i certificati di analisi analizzati nel presente studio) sono relativi ai seguenti codici CER:
- 01 05 99 Rifiuti non specificati altrimenti (Fanghi di perforazione ed altri rifiuti di perforazione);
  - 17 01 01 Cemento;
  - 17 01 07 Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17 01 06;
  - 17 02 02 Vetro;
  - 17 05 04 Terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03;
  - 17 09 04 Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03;
  - 19 12 09 Minerali (per es. sabbia, rocce);
  - 19 13 02 Rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 01.

**2.1. Trattamento dati di umidità**

**Certificati analizzati**

Allo scopo di stimare il coefficiente di conversione peso-volume e di quantificare il materiale abbancato in una discarica di inerti, sono stati analizzati i valori di umidità (%) riportati nei certificati

di laboratorio relativi ai rifiuti conferiti presso l'impianto di smaltimento in questione. Nello specifico, sono stati esaminati i certificati relativi all'intero periodo di attività dell'impianto, che copre l'intervallo temporale che va dal 2009 al 2016; tali certificati sono stati suddivisi in tre classi tipologiche:

- Certificati analisi delle Omologhe;
- Controanalisi;
- Certificati di scarico.

I "Certificati analisi delle Omologhe" sono relativi alle analisi che ogni produttore di rifiuti è tenuto ad effettuare prima di conferire il rifiuto all'impianto, con lo scopo, tra gli altri, di assegnare al rifiuto il relativo codice CER. In particolare, la caratterizzazione di base di ciascuna categoria di rifiuti conferiti in discarica consiste nella determinazione delle caratteristiche dei rifiuti, realizzata con la raccolta di tutte le informazioni necessarie per uno smaltimento finale in condizioni di sicurezza.

Le "Controanalisi", invece, sono le analisi effettuate dal gestore della discarica, onde verificare la corretta caratterizzazione del rifiuto, che deve essere conferito presso il proprio impianto, secondo il sistema di accettazione dei materiali in ingresso, approvato dall'apposito atto autorizzativo.

Tab. 1. Tabella riassuntiva certificati analisi 2009-2016. Summary table of Analysis Certificates 2009-2016.

Rifiuti 2009-2016			
Codice CER	n° Certificati Omologhe	Controanalisi	Certificati di Scarico
01 05 99	333	82	98
17 01 01	34	10	-
17 01 07	25	6	-
17 02 02	2	2	-
17 05 04	240	139	-
17 09 04	22	13	-
19 12 09	1	-	-
19 13 02	1	-	-

Infine, i "certificati di scarico" sono le analisi effettuate sempre dal gestore dell'impianto sui rifiuti che, una volta terminato il trattamento (D15) nell'impianto adiacente alla discarica stessa (il periodo di stoccaggio dura anche diversi mesi), devono essere smaltiti in discarica (D1): i rifiuti in esame sono quelli relativi al solo codice CER 01 05 99 "Rifiuti non specificati altrimenti, fanghi di perforazione e altri rifiuti di perforazione".

In prima istanza, allo scopo di analizzare al meglio i valori di umidità riscontrati nei diversi certificati, le analisi di laboratorio sono state suddivise in base all'anno di ricezione, alle caratteristiche del rifiuto in entrata (ossia al codice CER di appartenenza), alla destinazione di smaltimento (D1 o D15) e alla classe tipologica di certificato precedentemente descritta. Nella Tab. 1 si riporta il numero di certificati analizzati per ogni codice CER e per ogni classe tipologica prima descritta.

**Elaborazione statistica**

Come si può notare dalla Tab. 1, solo per i rifiuti identificati con il codice CER 01 05 99 "Rifiuti non specificati altrimenti, fanghi di perforazione e altri rifiuti di perforazione",

si hanno a disposizione i certificati di analisi per tutte le tre classi tipologiche esaminate. In particolare, sono presenti sia i certificati del produttore del rifiuto (Certificati Omologhe), sia le analisi di verifica del gestore della discarica (Controanalisi), sia le analisi effettuate a valle del trattamento nell'impianto adiacente e prima del conferimento presso la discarica (Certificati di scarico). Si evidenzia, ulteriormente, che l'intervallo temporale dello stoccaggio all'interno dell'impianto di trattamento va da un minimo di un mese fino a un massimo di circa 8-10 mesi.

Solo per tale codice CER, che si sottolinea essere nel caso in esame sostanzialmente relativo a rifiuti derivanti da scavi effettuati con TBM (Tunnel Boring Machine), si hanno quindi dei valori di umidità sia del rifiuto nel momento di ingresso all'impianto sia dei valori di umidità dello stesso rifiuto (stesso codice CER), dopo essere stato trattato e stoccato, anche per diversi mesi, presso le celle di maturazione dell'afferente impianto di trattamento.

Non è stato possibile effettuare un'elaborazione statistica e un confronto tra i valori di umidità del codice CER 01 05 99 all'ingresso in impianto (Certificati Omologhe e Certificati Controanalisi) e dopo il trattamento (Certificati Scarico) per i seguenti motivi:

- I "Certificati di scarico" non contengono il riferimento all'omologa, ovvero alla scheda di caratterizzazione del rifiuto redatta dal produttore del rifiuto: non essendo possibile associare un "Certificato di scarico" all'omologa corrispondente, non è neanche possibile associare i valori di umidità dei due certificati. Tutti i rifiuti, infatti, identificati con codice CER 01 05 99, "maturano" nell'impianto di trattamento in vari lotti (divisi per file) senza distinzione tra omologhe; rifiuti relativi a diverse

omologhe (provenienti da produttori diversi) vengono trattati e miscelati contemporaneamente perdendo, però, traccia della loro diversa provenienza.

- Sui "Certificati di scarico" è indicata solamente la data di prelievo del campione nell'impianto di trattamento. Per tale motivo, poiché il tempo di permanenza dei rifiuti nell'impianto di trattamento è estremamente variabile, non è stato possibile effettuare il confronto tra i valori di umidità delle due classi di certificati, suddiviso per anno.
- Durante il periodo di stoccaggio (all'interno dell'impianto di trattamento), i rifiuti sono esposti alle condizioni atmosferiche: ciò può cambiare il valore di umidità riscontrato nelle analisi e può rendere il dato poco rappresentativo.

Per i motivi sopra esposti si è quindi deciso di effettuare il trattamento statistico dei valori di umidità utilizzando solo i dati relativi ai "Certificati analisi delle Omologhe", scartando i "Certificati di scarico". Naturalmente, ai fini della massima rappresentatività dei risultati, sono stati analizzati i valori di umidità relativi ai vari anni di esercizio dell'impianto e

sono stati elaborati solamente i codici CER, per i quali si disponeva di un numero di analisi di laboratorio statisticamente significativo. Tali rifiuti (Tab. 2) identificati con i codici CER 01 05 99 e CER 17 05 04, costituiscono, infatti, più del 90% del peso totale di rifiuti in ingresso alla discarica analizzata.

L'elaborazione statistica suddetta ha permesso di analizzare la distribuzione dei valori di umidità, registrati nei vari certificati di analisi, cioè la frequenza con cui determinati valori si sono ripetuti nel tempo. Per una migliore lettura circa le differenze riscontrate tra i valori di umidità dei due codici CER presi in considerazione (ovvero tra il codice CER 01 05 99 e il codice CER 17 05 04) è stato elaborato il grafico 1, che rappresenta la distribuzione dei valori di umidità rilevati nei rifiuti appartenenti ai due codici CER presi in esame.

Dall'analisi della Fig. 1 e dei dati statistici riportati nella Tab. 3 emerge quanto segue:

- Il valore medio dell'umidità dei rifiuti identificati con il codice CER 01 05 99 è di 24,99 (%) e il valore della mediana è di 22,6 (%); per quanto riguarda i rifiuti relativi al codice CER 17 05 04,

Tab. 2. Tabella riassuntiva Certificati Omologhe 2009-2016. Summary table of "Omologhe" Certificates 2009-2016.

2009-2016			
Codice CER	n° Certificati Omologhe	Peso rifiuto in ingresso (t)	% Rifiuto in ingresso
01 05 99	333	1.135.275,56	54,29%
17 01 01	34	32538,12	1,56%
17 01 07	27	116065,96	5,55%
17 02 02	4	214,36	0,01%
17 05 04	240	781589,33	37,38%
17 09 04	22	24872,22	1,19%
19 12 09	1	78,34	0,00%
19 13 02	1	370,90	0,02%
<b>Tot.</b>		2.091.004,79	100,00%

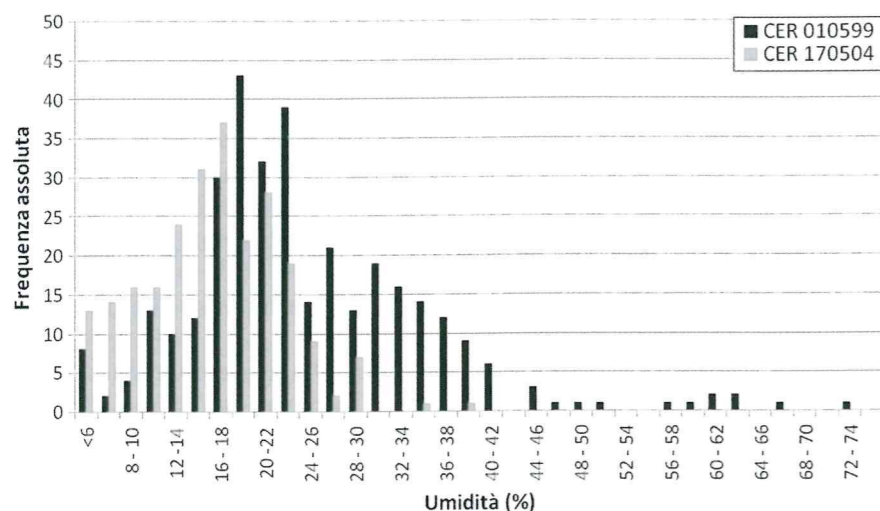


Fig. 1. Confronto Distribuzione dei valori di umidità, Certificati Omologhe 2009-2016. Compare Distribution of humidity values, "Omologhe" Certificates.

Tab. 3. Dati statistici CER 01 05 99 e CER 17 05 04. Statistics CER 01 05 99 and CER 17 05 04.

CER 010599		CER 170504	
Media	24,99	Media	16,26
Mediana	22,6	Mediana	16,35
max	79,9	max	38,9
min	1,9	min	1
dev. Standard	11,45	dev. Standard	6,25

invece, il valore medio dell'umidità è di 16,26 (%) mentre la mediana è pari a 16,37 (%).

- La differenza tra le medie dei valori di umidità relativi ai due codici CER è di 8,7 punti percentuali, ossia i rifiuti derivanti dagli scavi effettuati con TBM (CER 01 05 99) hanno un valore medio dell'umidità più alto di 8,7 punti percentuali rispetto al valore medio di umidità relativo ai rifiuti derivanti da altre tipologie di scavo (CER 17 05 04).
- Dal confronto dei dati statistici, relativi ai rifiuti appartenenti ai due codici CER presi in considerazione, si evince la differenza sostanziale riscontrata tra i valori massimi dell'umidità (%). I rifiuti identificati dal codice CER 01 05 99 hanno un valore massimo di umidità di 41 punti

percentuali più alto rispetto ai rifiuti relativi al codice CER 17 05 04.

- La Fig. 1 descrive, per ogni classe di umidità presa in considerazione, la frequenza con cui è stato riscontrato, nei certificati di analisi, un valore di umidità contenuto nella classe di umidità in esame. Dal suddetto grafico si evince che i certificati relativi al codice CER 17 05 04 hanno una frequenza maggiore di valori di umidità appartenenti alle classi con umidità inferiore, ossia fino alla classe 16-18 (%) rispetto ai certificati relativi al codice CER 01 05 99. Le analisi di laboratorio relative ai rifiuti di codice CER 01 05 99 hanno, invece, una frequenza maggiore di valori di umidità appartenenti a tutte le classi di umidità maggiori alla classe 16-18 (%) rispetto ai certificati relativi ai rifiuti identificati con il secondo codice CER in esame (17 05 04).

Sulla base di quanto rappresentato ed esposto è possibile affermare che ci sono variazioni tra i valori di umidità (%) relativi ai rifiuti provenienti dagli scavi effettuati con TBM (CER 01 05 99) e i valori di umidità (%) dei rifiuti relativi alle terre e rocce provenienti da altre tipologie di scavi.

È inoltre possibile affermare che i rifiuti in ingresso all'impianto, identificati con il codice CER 01 05 99 presentano una umidità maggiore di quelli relativi al secondo codice CER preso in considerazione; tali rifiuti, poi, sono proprio quelli che, prima della messa a dimora finale in discarica, vengono sottoposti al trattamento (D15), vengono cioè stoccati per diversi mesi nell'impianto adiacente la discarica in esame. È quindi ragionevole assumere che il materiale, che già inizialmente ha un'umidità maggiore rispetto al resto del rifiuto presente in discarica (come indicato dall'elaborazione statistica precedentemente descritta), nei mesi in cui viene stoccato nell'impianto di trattamento perderà una parte di tale umidità e quindi si ridurrà in peso. La riduzione di umidità (%) non può essere stimata a causa di quanto precedentemente esposto, ma questo aspetto va tenuto presente nel calcolo delle quantità e quindi delle volumetrie di rifiuto abbancate in discarica.

### 2.2. Il coefficiente di conversione peso-volume

Come detto nell'introduzione, è pratica comune per i gestori delle discariche utilizzare un coefficiente di conversione che trasformi le tonnellate in metri cubi per determinare la Capacità Volumetrica Residua (CVR) della discarica. Sia in fase progettuale che in quella gestionale l'adozione di un determinato valore del coefficiente di conversione è funzione sicuramente della compattazione del materiale e della perdita di umidità (%) a cui il rifiuto è sottoposto dopo esser stoccato in discarica. Per discariche di inerti, i dati di letteratura, come è facilmente riscontrabile in diversi elaborati di progetto, relativi a discariche di questa tipologia, riportano coefficienti di conversione

stimati di 1,5-1,6 t/m<sup>3</sup>. A tale proposito si ritiene opportuno riportare in Tab. 4 le risultanze dello studio commissionato dal "Government of Western Australia - Department of Environment (DoE)" (G. Busby, 2006). Tale lavoro è stato redatto proprio per stimare, attraverso misure e calcoli, il peso specifico dei terreni inerti, ossia il fattore di conversione espresso in t/m<sup>3</sup>. I risultati di questo studio portano alla determinazione di un coefficiente di conversione confrontabile con quanto riscontrato in molti elaborati di progetto relativi a discariche di inerti, con valori che variano da 1,4 a 1,66 (Tab. 4). Tali risultati sono in accordo anche con quanto riportato in uno studio di Anon nel 2005, in cui si indica un fattore di conversione da metri cubi a tonnellate pari a 1,5 per i rifiuti inerti ("inactive or inert waste"), e confermato da Kelly A. nel 2015 e da quanto riportato dall'EPA (United States Environmental Protection Agency) nel 2012. Si ritiene poi opportuno sottolineare che Langdon L. (2010) indica un fattore di conversione da metri cubi a tonnellate per i rifiuti inerti pari a 1,9.

Tab. 4. Risultati dello studio "Report for Waste Measurement" (2006). Results of the study "Report for Waste Measurement" (2006).

Data del test	Peso specifico inerti (t/m <sup>3</sup> )
21/03/2006	1,58
22/03/2006	1,57
23/03/2006	1,4
31/03/2006	1,66
Fattore di conversione	1,55

Il valore del fattore di conversione è quindi molto variabile in funzione della tipologia di rifiuti inerti presa in considerazione; nello specifico, esso tende ad aumentare se si analizzano terreni (rifiuti) con un'umidità elevata. A

tale proposito si riporta in Tab. 5 un estratto del libro "La stima sintetica del costo di costruzione" (Gianni Utica, Maggioli Editore, 2011): dall'analisi della suddetta tabella si può notare la variazione del coefficiente di conversione (t/m<sup>3</sup>) in base alla tipologia di materiale e in particolare la differenza tra i coefficienti di conversione relativi ai materiali secchi e a quelli umidi. Per rifiuti caratterizzati da un tenore in umidità elevata, il coefficiente di conversione raggiunge valori di 2.3 (t/m<sup>3</sup>).

Tab. 5. Valori del fattore di conversione dal libro "La stima sintetica del costo di costruzione". Values of the conversion factor from the book "La stima sintetica del costo di costruzione".

Coefficiente di conversione peso-volume	
Sostanza	Peso (t/m <sup>3</sup> )
sabbia, creta, calcare (asciutti)	1,6
sabbia, creta, calcare (bagnati)	2,1
terra silicea leggera	1,5
terra ghiaiosa asciutta	1,6
terra ghiaiosa umida	1,8
terra argillosa secca	2,0
terra argillosa umida	2,3
terra mista a ciottoli	1,8 - 2,2
terra vegetale	1,7

Da quanto fin qui esposto si può ragionevolmente pensare di utilizzare, nelle discariche per inerti, differenti coefficienti di conversione (peso-volume) se i rifiuti in ingresso hanno caratteristiche, e nello specifico umidità, molto differenti. Nel caso della discarica presa in considerazione in questo studio, il codice CER 01 05 99, caratterizzato dai rifiuti provenienti dagli scavi eseguiti con TMB, ossia da rifiuti con una percentuale di umidità elevata, avrà quindi un coefficiente di conversione maggiore rispetto agli altri rifiuti in ingresso, caratterizzati, mediamente, da percentuali di umidità inferiori.

### 2.3. Stima volumi abbancati da rilievo topografico

Per la discarica presa in esame, allo scopo di verificare quanto appena esposto sui coefficienti di conversione e quindi di validare quanto desunto dall'elaborazione statistica dei dati e dai valori indicati in letteratura, è stato possibile calcolare la volumetria abbancata nei diversi anni attraverso l'utilizzo di n° 4 piani quotati, messi a disposizione dal gestore dell'impianto e validati dall'autorità competente:

- Rilievo anno 2009 (stesa teli);
- Rilievo anno 2011;
- Rilievo anno 2014;
- Rilievo anno 2016.

In particolare, dopo la necessaria georeferenziazione (Sistema di georiferimento: European Data 1950 - ED50), con apposito software, è stato esportato il layer relativo ai vari piani quotati (2009, 2011, 2014 e 2016) in formato shapefile.

Successivamente, ciascun shapefile è stato importato all'interno del software ArcMap, con cui è possibile svolgere qualsiasi operazione GIS. La principale peculiarità dei software GIS rispetto ai CAD, infatti, risiede nella capacità di elaborare e trasformare i dati spaziali per rispondere a specifiche esigenze di analisi ed interrogazione, oltre che di elaborare dati cartografici univocamente georeferenziati.

L'operazione successiva è consistita nella creazione di un TIN (Triangular Irregular Network), cioè un modello vettoriale del terreno, ottenuto attraverso la triangolazione di punti quotati della superficie, che fornisce una rappresentazione approssimata della superficie del suolo, ottenuta attraverso la giustapposizione di una serie di triangoli non sovrapposti. In tal modo è stato generato in ambiente GIS il TIN relativo ai rilievi prima citati.

Al fine di stimare la volumetria di rifiuti, abbancati in un determi-

nato anno, è necessario confrontare le superfici quotate del rilievo di quello specifico anno, con il rilievo "base", costituito dal rilievo effettuato nel 2009, su incarico del committente, prima dell'inizio dell'abbancamento.

Poiché il rilievo del 2009 è stato eseguito prima della posa in opera del pacchetto di impermeabilizzazione, dello spessore di 1 m, alle quote altimetriche di tale rilievo è stato aggiunto 1 m ed è stato prodotta una rappresentazione virtuale della discarica, all'inizio dell'abbancamento, con il solo fine di giungere attraverso il confronto fra i due rilievi, alla stima dei volumi abbancati.

L'operazione in esame è stata eseguita in ambiente GIS attraverso la funzione "cut/fill", con cui è possibile calcolare i volumi di variazione tra due superfici aventi la stessa estensione spaziale ma che sono state modificate attraverso addizioni o rimozioni di materiale di superficie.

Operazione preliminare è costituita nella creazione del file "Raster" del piano quotato di riferimento a partire dal relativo TIN. Il risultato di una operazione di cut/fill tra due superfici che descrivono la superficie del suolo in due diversi periodi, produce un tema raster attraverso il quale calcolare il volume dei rifiuti ad oggi abbancati.

Attraverso la procedura appena descritta sono stati ottenuti i Volumi abbancati di seguito elencati:

- a) Volumi abbancati anno 2011 = 568142.7 mc;
- b) Volumi abbancati anno 2014 = 825777.5 mc;
- c) Volumi abbancati anno 2016 = 979520.5 mc.

### 3. Risultati

Dalla Tab. 6 si evince come la stima delle volumetrie abbancate attraverso la procedura prima de-

scritta, ossia sulla base dei rilievi GIS, sia in accordo con quanto ipotizzato attraverso lo studio statistico dei dati di umidità e attraverso l'analisi dei valori di letteratura del coefficiente di conversione peso-volume.

Dall'analisi della suddetta tabella si può infatti affermare che i Volumi Abbancati stimati sulla base dei rilievi GIS (in grigio) risultano essere confrontabili con i valori stimati (in bianco) utilizzando i differenti coefficienti di conversione (t/m<sup>3</sup>) riportati in tabella. L'utilizzo dei differenti coefficienti di conversione è giustificato dal fatto che le quantità di rifiuto, relative ad ogni codice CER, variano di anno in anno.

La scelta del coefficiente di conversione tra peso e volume dipende dalle caratteristiche del rifiuto e più nello specifico dalla sua umidità. Nei primi anni di attività dell'impianto in esame, ossia negli anni 2009, 2010, e 2011 la percentuale di rifiuto identificato con il codice CER 01 05 99 risulta essere predominante e pari, rispettivamente al 25%, 64% e 80% del totale; ciò giustifica l'assunzione di un valore più alto del coefficiente di conversione. A tale proposito si ritiene opportuno ricordare che i rifiuti relativi al codice CER prima citato, come descritto nell'elaborazione statistica effettuata, sono rifiuti con elevata umidità (fanghi di perforazione), ciò autorizza ad associare ad essi un coefficiente di conversione che va da 1.8 a 2.3. Negli anni 2012 e 2013, invece, non ci sono stati conferimenti in impianto di rifiuti derivanti da scavi con TMB (CER 01 05 99); i rifiuti in entrata in questi anni sono quindi assimilabili ad inerti e, come si evince in tabella, hanno un valore del coefficiente di conversione che si attesta intorno ad 1.5, valore più volte riscontrato in letteratura come ampiamente descritto nel paragrafo 2.2. Negli anni 2014 e 2015 invece, si registrano nuovamente dei quantitativi

in ingresso di rifiuti relativi al codice CER 01 05 99, ma con quantità, in percentuale molto ridotta, rispetto al totale dei rifiuti in entrata: il coefficiente di conversione risulta, quindi, ragionevolmente essere pari a 1.6, tipico delle discariche per inerti. In base a tali risultati, si può quindi affermare che il coefficiente di conversione peso-volume dei rifiuti inerti varia a seconda della tipologia di rifiuto: i rifiuti inerti costituiti da terreno misto con bassa percentuale di umidità hanno un coefficiente che varia tra 1.5 e 1.8 (t/m<sup>3</sup>) mentre, i rifiuti costituiti da una percentuale di umidità elevata, hanno un coefficiente di conversione maggiore, che può essere stimato di circa 2.3 (t/m<sup>3</sup>).

### 4. Conclusioni

Con le metodologie espone, ed i risultati cui si è pervenuti, si ritiene possibile stimare il coefficiente di conversione peso-volume dei rifiuti, conferiti in discarica per inerti, in base alla tipologia di rifiuto e più nello specifico alla sua umidità, con valori ragionevolmente coerenti ed attendibili. Si ribadiscono di seguito i risultati della stima effettuata:

- a) Rifiuti inerti umidi (ad es. provenienti da scavi fatti con TMB, codice CER 01 05 99) hanno un coefficiente di conversione peso-volume compreso nel range 1.8-2.3 (t/m<sup>3</sup>);
- b) Rifiuti inerti (terreno misto con bassa percentuale di umidità) hanno un coefficiente di conversione peso-volume compreso tra 1.5 e 1.8 (t/m<sup>3</sup>).

Tali risultati, basati su dati di campo, portano ad una stima affidabile dei coefficienti di conversione peso-volume dei rifiuti inerti, e quindi della volumetria residua, cosa di fondamentale importanza per la gestione di una discarica.

Tab. 6. Stima della CVR in funzione del coef. di compattazione e confronto con i valori ricavati da GIS. Estimate of the remaining volumetric capacity as a function of the conversion coefficient and comparison with the values obtained from the GIS.

		2009	2010	sett 2011	2011	2012	2013	2014	2015
Coeff. compattazione		2,3	2,35	2,35	2,35	1,5	1,5	1,6	1,6
Volumi Abbancati [mc]	0,00	213.862,60	181.632,80	172.796,66	181.718,78	51.947,16	63.609,35	138.568,51	145.387,35
Volumi Abbancati Cumulati [mc]	0,00	213.862,60	395.495,40	568.292,06	577.214,18	629.161,34	692.770,69	831.339,20	976.726,55
Volumi Abbancati da Rilievo GIS [mc]				568.143,00				825.777,50	979.520,50
Capacità Volumetrica Residua [mc]	1.100.000,00	886.137,40	704.504,60	531.857,00				274.222,50	120.479,50
				531.707,94	522.785,82	470.838,66	407.229,31	268.660,80	123.273,45
				Rilievo settembre 2011				Rilievo 12-15 gennaio 2015	Rilievo febbraio 2016

### Bibliografia

Anon, 2005. *Tax Memo 2005-2006*, London F L Memo Ltd.  
 Busby, G., 2006. *Report for Waste Measurement Model*, (GHD Pty Ltd).  
 EPA (Environmental Protection Agen-

cy), 2012. *Waste Licending, Application Guidance Notes for Waste Soils Recovery Facilities*  
 Kelly, A. Minister for the Environment, Community and Local Government, 2015. *Waste Managemnet (Landfill Levy) Regulations 2015*.

Langdon, L., 2010. *Spon's Civil Engineering and Higway Works Price Book 2011*, Routledge.  
 Utica, G., 2011. *La stima sintetica del costo di costruzione*, Maggioli Editore.