



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Geoscienze

TESI DI LAUREA MAGISTRALE
IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RIFIUTI
SOLIDI URBANI NELLA DISCARICA IN
AMPLIAMENTO DI ESTE (PD)**

Relatore: Prof.ssa Simonetta Cola

Laureanda: Emanuela Ramazzotto

ANNO ACCADEMICO 2014 / 2015

Indice

Introduzione	7
1. Rifiuti Solidi Urbani	9
1.1 R.S.U. a livello mondiale	9
1.2 R.S.U. nell' Unione Europea	10
1.3 R.S.U. a livello nazionale	13
1.4 R.S.U. in Veneto	15
1.5 Settori di trattamento	16
1.5.1 Raccolta differenziata	16
1.5.2 Riciclaggio	18
1.5.3 Incenerimento	20
1.6 Smaltimento in discarica	21
2. Parametri geotecnici dei rifiuti	25
2.1 Peso dell'unità di volume	27
2.2 Contenuto di umidità	30
2.3 Permeabilità idraulica	32
2.4 Resistenza al taglio	36
2.5 Sforzo orizzontale	44
2.6 Proprietà dinamiche	45
2.7 Compressibilità	48
3. Normativa italiana	53
3.1 Excursus normativo	57
4. Descrizione del sito	59
4.1 Inquadramento generale	60
4.2 Inquadramento geomorfologico	61
4.3 Inquadramento geologico dell'area	64

4.4 Inquadramento idrogeologico dell'area	70
4.4.1 Idrografia superficiale	70
4.4.2 Modello idrogeologico locale	72
4.4 Clima	74
5. Polo Impiantistico Rifiuti presente in S.E.S.A	75
6. Discarica di Este gestita da S.E.S.A.	79
6.1 Autorizzazioni conseguite e stato attuale	80
6.2 Lotti e settori	82
6.2.1 Il nuovo ampliamento	84
6.3 Fondo	85
6.4 Coltivazione delle celle	88
6.5 Coperture	91
6.5.1 Copertura giornaliera	91
6.5.2 Copertura provvisoria	92
6.5.3 Copertura definitiva	92
6.6 Gestione del percolato	96
6.7 Gestione del Biogas	97
6.7.1 Teleriscaldamento	98
7. Cedimenti in discariche di R.S.U.	99
7.1 Tipologie di cedimenti	102
7.2 Effetti della copertura giornaliera	105
7.3 Studi sui cedimenti	106
8. Modelli per il calcolo dei cedimenti	111
8.1 Modello di Sowers (1973)	111
8.2 Modello di Bjarngard ed Edgers (1990)	113
8.3 Modello di Edil et al. (1990)	115
8.4 Modello di Gibson e Lo (1961)	116

8.5 Altri modelli	117
8.5.1 Basati sulla meccanica delle terre	117
8.5.2 Modelli empirici	118
8.5.3 Modelli che considerano la biodegradazione	120
8.5.4 Modelli costitutivi	124
9. Calcolo dei cedimenti nella discarica di Este	127
9.1 Parametri necessari al calcolo	128
9.2 Applicazione del modello di Sowers (1973)	132
9.2.1. Cedimenti ottenuti (Sowers)	138
9.3 Applicazione del modello di Bjarngard ed Edgers (1990)	141
9.3.1 Cedimenti ottenuti (Bjarngard ed Edgers)	148
9.4 Applicazione del modello di Edil et al. (1990)	151
9.4.1 Cedimenti ottenuti (Edil et al.)	155
9.5 Applicazione del modello di Gibson e Lo (1961)	158
9.5.1 Cedimenti ottenuti (Gibson e Lo)	162
10. Conclusioni	165
Bibliografia	167
Appendice	172

Introduzione

Nel 1999 la popolazione mondiale stimata era di 6 miliardi mentre nel 2011 era di 7 miliardi. Attualmente è di 7 miliardi e 320 milioni; mentre saranno previsti 8 miliardi di persone nell'estate del 2024.

Questo aumento comporterà una crescita notevole della produzione dei rifiuti.

Nei paesi più attenti alla conservazione ambientale, vengono raccolti, trattati e riciclati per riottenere in modo sostenibile le materie prime seconde, nuovamente commercializzabili. Questo processo mira a ridurre al minimo il materiale che viene stoccato in discarica.

La tipologia e la quantità di rifiuti che entrano nelle discariche sono molto variabili in funzione dell'efficienza dei cicli integrati dei rifiuti presenti, ma anche dei materiali prodotti e consumati localmente.

Il rifiuto è un materiale fortemente eterogeneo, anisotropo e altamente deformabile; queste caratteristiche comportano instabilità e cedimenti nelle discariche, che possono essere istantanei ma anche dilazionati nel tempo.

Lo scopo che si propone questa tesi è di stimare, attraverso il confronto di quattro modelli, i cedimenti nel tempo dei rifiuti solidi urbani che verranno apportati nell'ampliamento in progetto della discarica controllata di Este (PD), gestita da S.E.S.A. S.p.A. Il calcolo è in funzione delle caratteristiche geotecniche, delle metodologie di posa e delle quantità dei rifiuti stoccati nell'arco temporale 2012 - 2013 nella parte di discarica che era attiva. Con i volumi resi disponibili dai cedimenti dei rifiuti, si allunga la vita utile della discarica, ovvero il tempo di utilizzo della stessa, calcolato nella tesi.

Il calcolo dei cedimenti degli strati dei rifiuti è necessario nella progettazione di una discarica controllata, perché all'interno del corpo della stessa si possono verificare eventi distorsivi. Questi possono portare alla rottura dei dispositivi per la captazione e gestione del percolato, del biogas e della raccolta dell'acqua superficiale. Si potrebbe deformare anche la copertura finale e il tutto potrebbe rendere maggiormente complesso il recupero finale dell'area.

1. Rifiuti Solidi Urbani

1.1. R.S.U. a livello mondiale

La quantità di rifiuti urbani ed industriali prodotta annualmente a livello mondiale corrisponde a 4 miliardi di tonnellate. Ne vengono raccolti 2,74 e di questi 1,7 miliardi di tonnellate corrispondono a rifiuti urbani, mentre i restanti sono commerciali ed industriali.

Il quantitativo maggiore di R.S.U al mondo è prodotto dagli Stati Uniti con 226 milioni di tonnellate annuali, a seguire l'Europa con più di 225 milioni mentre lo stato emergente della Cina ne produce 148 milioni di tonnellate (*Chalmin P. e Gaillochet C., 2009*).

Per la produzione pro capite, si nota come i paesi maggiormente industrializzati siano i maggiori produttori; rimangono infatti nella prima posizione gli USA che contano 770 kg annuali.

L'Italia produce 500 kg/anno ed è inferiore della media mondiale di 572 kg/anno.

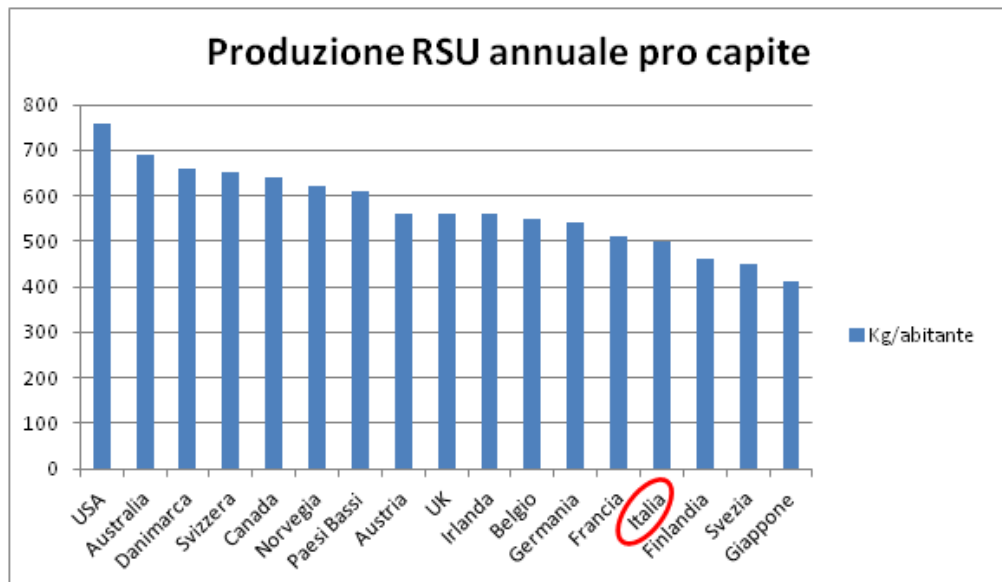


Fig. 1.1: Produzione mondiale pro capite di rifiuti solidi urbani
(www.nationmaster.com, 2000)

1.2. RSU nell'Unione Europea

Come si evince dal rapporto ISPRA del 2014, dal 2012, si è verificata una cospicua riduzione dei rifiuti solidi urbani da 253 milioni di tonnellate a 246,8 milioni di tonnellate, prodotti nei paesi membri dell'Unione Europea.

Sebbene il trend di produzione risulti in calo, occorre comprendere se questo sia dovuto alla crisi economica o se sia il risultato delle misure di prevenzione poste in essere nei paesi membri.

Dai dati di Eurostat risulta che nel periodo compreso fra il 2007 e il 2012, mentre la spesa per consumi finali delle famiglie diminuiva dello 0,7%, la produzione di rifiuti urbani invece si riduceva del 5,6 %.

I maggiori produttori (con un quantitativo di 165,8 milioni di tonnellate) fra gli stati membri dell'UE sono: Italia, Spagna, Regno Unito, Germania e Francia.

Per la gestione dei rifiuti urbani, nei 28 stati membri dell'Unione Europea, si adottano quattro sistemi:

- smaltimento in discarica;
- inceneritore con produzione di energia;
- riciclo;
- compostaggio e digestione anaerobica.

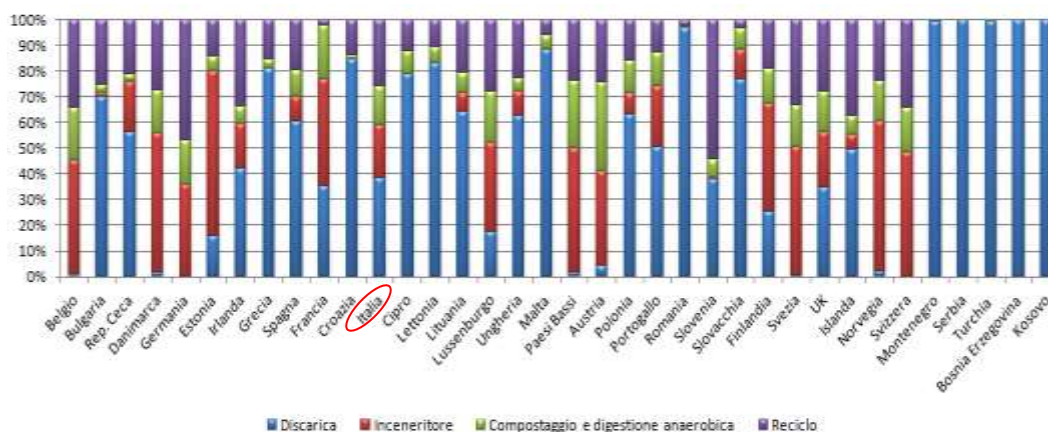


Fig. 1.2.1: Gestione RSU degli Stati Membri dell'Unione Europea del 2013

Come si nota dalla figura 1.2.1, lo stoccaggio in discarica è ancora la soluzione più utilizzata. Vi è una grandissima variabilità, ad esempio in Svizzera arriva in discarica meno dello 0,5% dei rifiuti urbani, la percentuale via via sale da Germania, Svezia, Belgio e Paesi Bassi fino al 99% della Romania (dati tratti da Eurostat, 2013).

Nella maggioranza dei Paesi con l'incremento delle pratiche di riciclo e compostaggio, pur restando elevata la quantità di rifiuti conferiti, è diminuita quella dei rifiuti destinati allo smaltimento in discarica, come si vede nella figura 1.2.2. La Francia invece ha incrementato l'uso della discarica come destinazione finale dei rifiuti urbani.

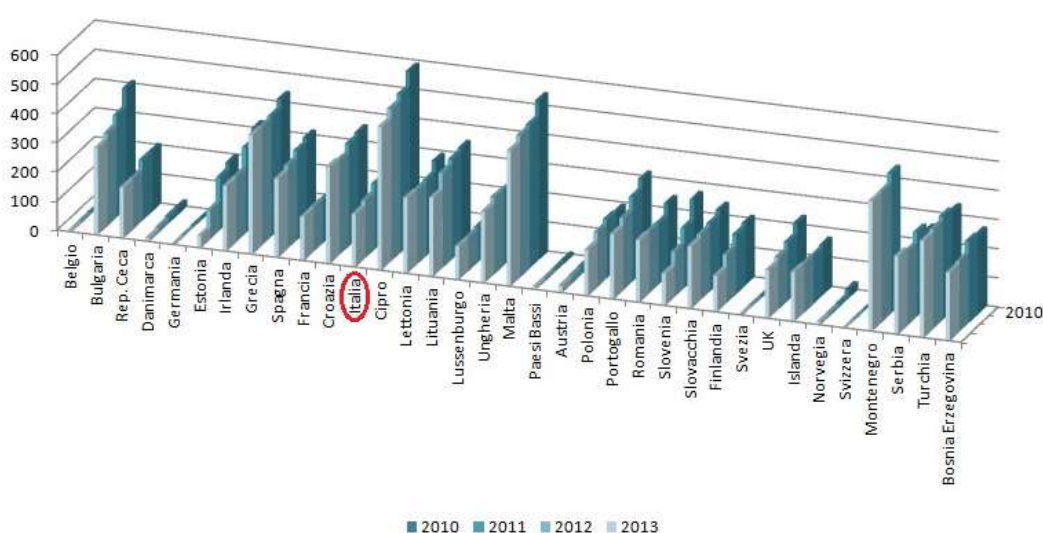


Fig. 1.2.2: Kg di RSU pro capite smaltiti in discarica degli Stati Membri dell'Unione Europea dal 2010 al 2013

Attualmente vengono destinati all'incenerimento 57 milioni di tonnellate di rifiuti urbani. Questa pratica viene adottata maggiormente dai Paesi del Nord Europa, di cui la Danimarca raggiunge il 54% dei rifiuti prodotti. Grecia, Bulgaria, Cipro, Romania e Lettonia non inceneriscono, invece Croazia, Lituania, Malta e Slovenia optano solo esiguamente per l'inceneritore.

In Europa 65,7 milioni di tonnellate di rifiuti urbani sono destinati al riciclaggio (ISPRA, 2014). Germania e Belgio sono gli stati che prevalgono con il riciclo.

Al compostaggio invece sono stati destinati 35,5 milioni di tonnellate di rifiuti urbani. L'Austria è il Paese che adotta maggiormente questa modalità.

Stando ai dati di Eurostat, al 2013, l'Italia stoccava in discarica il 38% dei rifiuti, valore congruo con la media europea. Ne inceneriva il 21% (contro il 23% della media), riciclava il 26% (contro il 24% di media) ed utilizzava il compostaggio e la digestione anaerobica per il 15% (come la media europea).

L'utilizzo delle discariche però dovrebbe avvenire solo per il conferimento di rifiuti stabilizzati ed il fine ultimo deve essere quello di minimizzarne l'apporto per giungere alla riduzione delle discariche.

1.3. RSU a livello nazionale

Nel 2013 la produzione italiana dei rifiuti solidi urbani si è ridotta di circa 400 mila tonnellate rispetto al 2012, passando a 29,6 milioni di tonnellate.

Questa contrazione, che segue i cali già registrati nel 2011 e nel 2012, porta a un decremento complessivo di 2,9 milioni di tonnellate rispetto al 2010 in cui ne venivano prodotti 32,5 milioni (ISPRA, 2014).

Dai dati ISTAT, l'andamento della produzione dei rifiuti urbani appare diversificato in tre periodi:

- 2002 - 2006, in cui la produzione di RSU è stata maggiore rispetto all'incremento del PIL e delle spese delle famiglie;
- 2007 - 2009 in cui si è verificato un calo minore della produzione di RSU rispetto alla diminuzione degli indicatori socio economici;
- 2009 e il 2012 in cui invece è avvenuta una decrescita maggiore della produzione degli RSU rispetto a PIL e delle spese delle famiglie.

Per quanto riguarda la variazione delle modalità utilizzate, da figura 1.3.1 si nota come la quantità di rifiuto stoccato in discarica sia diminuita sensibilmente, da un 74.6 % del 2000 ad un 46.2% del 2010.

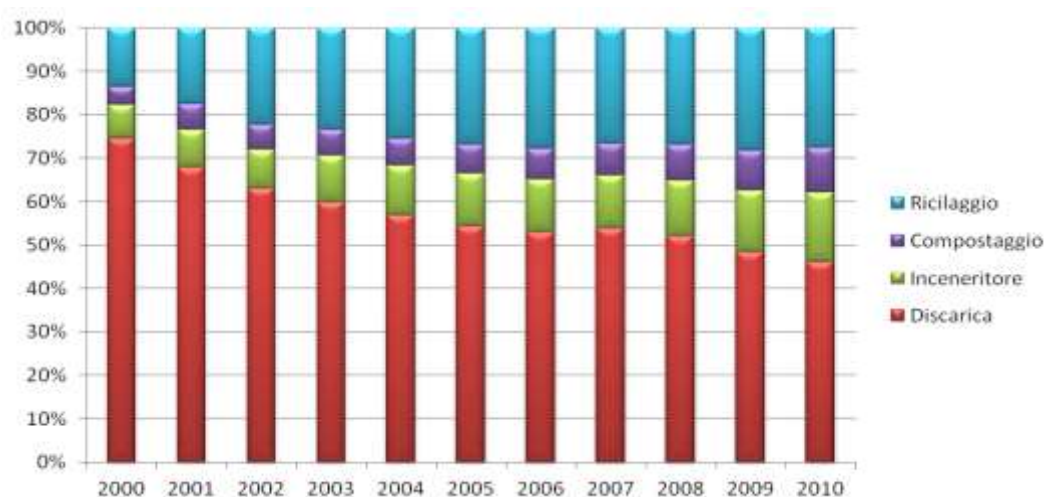


Fig. 1.3.1: Percentuali delle tecniche di gestione, nell'arco temporale dal 2000 al 2010

Se si considera la produzione pro capite di rifiuti solidi urbani, analizzando i dati ISPRA 2014, si riscontra in media un passaggio da 500 kg/abitanti anno del 2009, a 459 kg/abitanti anno del 2013.

Tra le diverse regioni, Emilia Romagna, Toscana e Valle d'Aosta presentano una media di produzione pro capite dal 2009 al 2013 più alta rispetto alle altre, con rispettivamente 657, 637 e 605 Kg mentre invece la produzione di rifiuti del Veneto è tra le più basse, con circa 470 kg/abitante (figura 1.3.2).

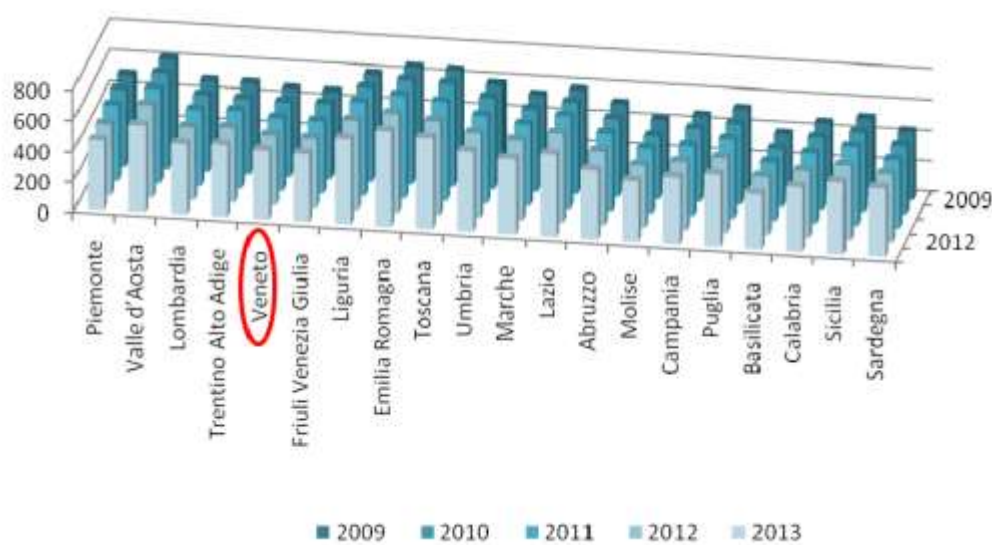


Fig. 1.3.1: Media della produzione pro capite, nell'arco temporale dal 2009 al 2013

1.4. RSU in Veneto

Dai dati ARPAV e ISPRA 2014, si evince che in Veneto dal 2007 al 2013 si è registrato sia un calo della produzione dei rifiuti ed una diminuzione del quantitativo stoccato in discarica a fronte di un aumento della raccolta differenziata (figura 1.4.1).

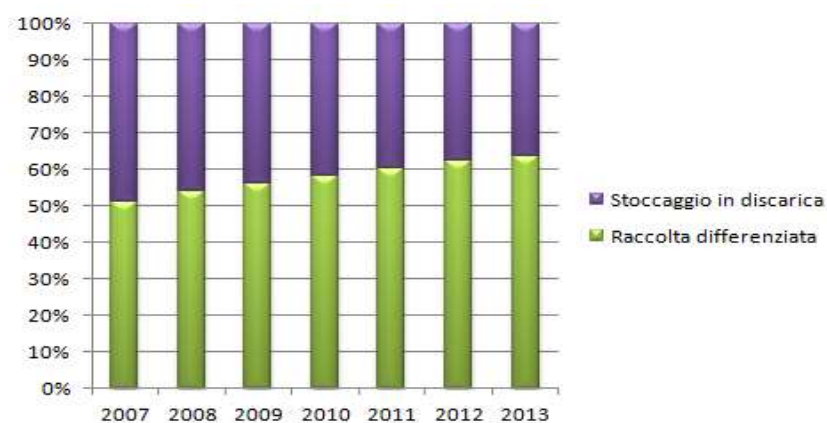


Fig. 1.4.1: Percentuali delle metodologie di gestione dei rifiuti solidi urbani in Veneto dal 2007 al 2013

Se si considerano invece le diverse provincie, lo stoccaggio in discarica degli RSU pro capite per l'anno 2013 varia da un minimo della provincia di Treviso con 86 kg/abitanti ad un massimo della provincia di Venezia con 248 kg/abitanti (ARPAV, 2013).

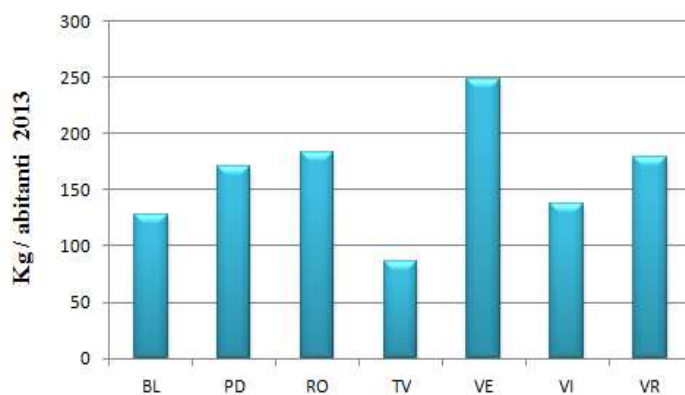


Fig. 1.4.2: RSU pro capite conferiti in discarica nell'anno 2013

1.5. Settori di trattamento

I settori comprendono: la raccolta differenziata, il riciclaggio con incluso il compostaggio, l'incenerimento e per ultimo lo stoccaggio in discarica.

Il settore nel quale viene convogliato il rifiuto dipende dalla propria tipologia.

I rifiuti solidi urbani (ciò che confluirà in discarica) rappresentano la tappa finale di tutto il processo che è volto alla valorizzazione della materia, al recupero energetico e alla minimizzazione dell'impatto ambientale.

Nelle diverse Regioni italiane varia la modalità di gestione a seconda di quelle privilegiate dalle politiche di pianificazione.

1.5.1 Raccolta differenziata

Le direttive del Parlamento e del Consiglio europeo individuano per la raccolta differenziata delle soglie da eguagliare o superare entro la fine dell'anno indicato:

- Obiettivo 2009 = 50%;
- Obiettivo 2011 = 60%;
- Obiettivo 2012 = 65%.

La raccolta differenziata è il primo passaggio per giungere al riciclaggio dei rifiuti. L'obiettivo del 2020 è di massimizzare la raccolta per al punto in cui metalli, plastica e vetro riciclati provenienti dai nuclei domestici (possibilmente anche di altra origine) valichino il 50% del peso.

A livello nazionale è evidente un grande ritardo dato che nel 2013 non era stato raggiunto l'obiettivo del 2008 (45%), nonostante che la percentuale di raccolta differenziata fosse cresciuta di due punti rispetto al 2012, arrivando al 42,3% della produzione italiana (figura 1.5.1).

Il quantitativo di rifiuti ottenuti dalla raccolta è in valore assoluto 12,5 milioni di tonnellate.

Se si suddivide l'Italia in macro aree, nel Nord la raccolta differenziata sfiora i 7,4 milioni di tonnellate, distanziandosi notevolmente dal Sud e Centro che invece raccolgono rispettivamente 2,7 milioni di tonnellate e 2,4 milioni di tonnellate.

In termini di raccolta pro capite, nel 2013 invece la media nazionale è di 206 kg/abitante, con valori di circa 266 kg/abitante nel Nord, 199 kg/abitante nel Centro e 129 kg/abitante nel Sud (ISPRA, 2014).

Nel 2013, a livello regionale, le percentuali della raccolta differenziata sono diverse da Nord a Sud.

Per il Nord, Veneto e Trentino Alto Adige registrano un 64,6%, seguono Friuli Venezia Giulia con 59,1%, Piemonte con 54,6%, Lombardia con 53,3% ed Emilia Romagna con 53%.

Al Centro Italia, in ordine decrescente si collocano Marche con 55,5%, Umbria con 45,9%, Abruzzo che sfiora il 43%, Toscana al 42% e Lazio con 26,1%.

Nelle regioni del Sud Italia e nelle Isole, la Sardegna si attesta un 51%, seguono Campania con 44% mentre al 25,8% per Basilicata, un 22% per Puglia ed agli ultimi posti si collocano Calabria e Sicilia con rispettivamente 14,7% e 13,4%.

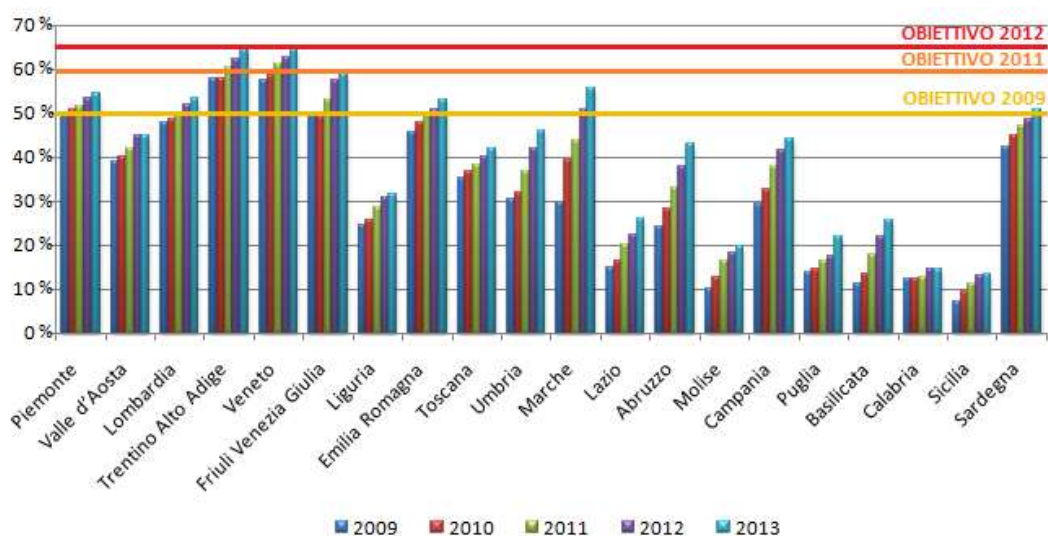


Fig. 1.5.1: Percentuali di raccolta differenziata nelle diverse regioni, rapportati agli obiettivi europei, nel periodo 2009 - 2013

1.5.2 Riciclaggio

Con riciclaggio si intende quel settore nel quale vengono convogliate le diverse frazioni che giungono dalla raccolta differenziata e dal trattamento meccanico biologico dei rifiuti, che si attesta il 38,7% della produzione (ISPRA, 2014).

Le diverse frazioni si suddividono nelle seguenti percentuali:

- 14,6%, dovuto al recupero della frazione organica;
- 18,2% giunge all'inceneritore;
- 1,9% viene utilizzato come combustibile per produrre energia, in altri impianti produttivi;
- 0,7% necessario per la copertura delle discariche;
- 1,7%, è destinato alla stabilizzazione;
- 1,6%, viene gestito in siti extranazionali.

Il trattamento meccanico viene utilizzato spesso prima dello smaltimento in discarica, per stabilizzare biologicamente i rifiuti, diminuirne l'umidità e i volumi, ma è anche un trattamento attuato prima dell'incenerimento poiché rendere più efficiente la combustione.

Con il compostaggio si recuperano 3,8 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, mentre con la digestione anaerobica 527 mila tonnellate.

Compostaggio

Nell'ambito del compostaggio, si registra un incremento costante di rifiuti trattati, dovuto maggiormente all'aumento delle quantità di rifiuti organici ricevuti dalla raccolta differenziata (figura 1.5.2).

Questa frazione organica, nel 2013 raggiungeva il 50,3% dei rifiuti trattati e il verde, al 2013 rappresentava il 30,9% del totale.

Dal 2012 al 2013 invece, è avvenuta una crescita sostanziale (2,5%) dei fanghi che si attestano 488 mila tonnellate, il 10,4% dei rifiuti trattati.

Nel 2013 dall'agro industria arrivano circa 394 mila tonnellate (8,4% del totale).

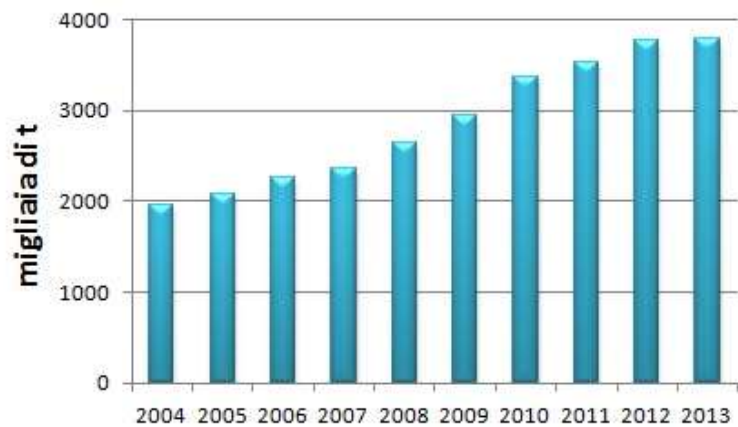


Fig. 1.5.2: Incremento dei rifiuti trattati negli impianti di compostaggio

Digestione anaerobica

Il processo di digestione anaerobica, trattando la frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata, registra al 2012, un aumento dei rifiuti in ingresso di circa un milione di tonnellate. La crescita è notevole dato che nel 2011 ne erano trattati il 40% in meno.

Trattamento meccanico biologico aerobico

Questo tipo di trattamento nel 2013 gestiva oltre 9 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, con un aumento dell'8,5% rispetto al 2012 (ISPRA, 2014).

Gli apporti si suddividono in: 7,9 milioni di tonnellate di indifferenziati urbani, 783 mila dovuti ai rifiuti urbani, 233 mila tonnellate derivano dai rifiuti speciali provenienti da varie industrie, mentre 28 mila tonnellate (lo 0,3% del totale dei rifiuti) derivanti dalla frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata.

In Italia gli impianti di trattamento meccanico biologico, sono autorizzati a trattare 13,6 milioni di tonnellate di rifiuti.

I rifiuti prodotti nel 2013 risultano essere 7,1 milioni di tonnellate, di cui 3,8 milioni (frazione secca, biostabilizzato, frazione organica non compostata e rifiuti misti da selezione e trito vagliatura) vengono smaltiti in discarica.

1,7 milioni di tonnellate di rifiuti (frazione secca, Combustibile Solido Secondario e rifiuti misti) verranno destinati agli impianti di incenerimento.

574 mila tonnellate (CSS e frazione secca) contribuiranno al recupero energetico in impianti produttivi.

372 mila tonnellate (frazione umida e organica non compostata) verranno indirizzati verso processi di biostabilizzazione.

202 mila tonnellate (biostabilizzato e bioessiccato) saranno utilizzati nella copertura delle discariche.

188 mila tonnellate, viene recuperato sotto forma di materia.

Altre destinazioni per esigui quantitativi di rifiuti prodotti dal trattamento meccanico biologico sono: depurazione, messa in riserva e deposito preliminare.

1.5.3 Incenerimento

Il prodotto del processo di incenerimento è complessivamente di 5,8 milioni di tonnellate. 2,5 milioni di queste, sono costituiti dai rifiuti urbani indifferenziati, 1,8 milioni sono dati dalla frazione secca, 1 milione da Combustibili Solidi Secondari, 418 mila tonnellate sono di rifiuti speciali ed infine 49 mila tonnellate di rifiuti speciali pericolosi.

Dai dati ISPRA (figura 1.5.3), nell' arco temporale dal 2003 al 2013 si nota che il quantitativo di rifiuti urbani che subiscono l'incenerimento presentano un incremento del 70,3%.

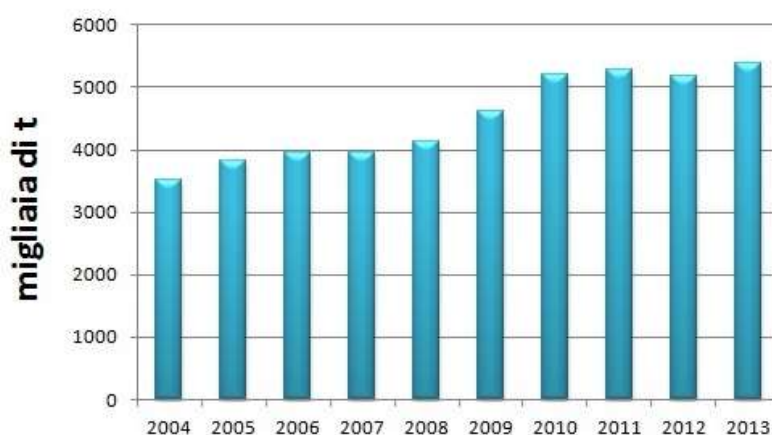


Fig. 1.5.3: Incremento dei rifiuti trattati negli impianti di incenerimento

Considerando la quantità pro capite di rifiuti inceneriti si nota una crescita progressiva fino a conquistare un 61%, nell'arco temporale 2003-2013, passando da 55,28 kg/abitante nel 2003 a 88,78 kg/abitante per anno del 2013.

La maggior parte degli impianti di incenerimento (28) si trovano nel Nord Italia, 8 sono disposti nel Centro e 8 nel Sud. La quantità maggiore di rifiuti inceneriti è nelle regioni settentrionali, con un 70,2% del totale italiano.

Dal 2003 al 2013 gli impianti di incenerimento hanno incrementato notevolmente il recupero energetico, da 1,8 milioni di MWh di energia elettrica generata nel 2003, a 4,2 milioni di MWh nel 2013.

Si distinguono due tipi di impianto:

- Impianti di incenerimento che sono muniti di sistemi di recupero energetico elettrico;
- Impianti dotati di cicli cogenerativi.

Ai primi sono stati inviate 3,4 milioni di tonnellate di rifiuti ed il recupero effettivo di energia elettrica è stato di 2,5 milioni di MWh.

Agli impianti con cicli cogenerativi invece sono state incenerite 2,4 milioni di tonnellate di rifiuti, recuperando circa 1,7 milioni di MWh di energia elettrica e circa 2,5 milioni di MWh di energia termica (ISPRA 2014).

1.6. Smaltimento in discarica

Lo smaltimento in discarica avviene unicamente per i rifiuti residuali e pretrattati, ovvero ciò che non può più essere riqualificato con le correnti tecnologie e sono identificati da determinati codici C.E.R..

La discarica controllata è un sito di stoccaggio, impermeabilizzato al fondo e sulle sponde con teli in HDPE che si collocano necessariamente su una barriera geologica, costituita da livelli argillosi che abbiano permeabilità $K_w < 10^{-9}$ m/s.

La protezione del suolo e delle acque avviene con un sistema di drenaggio del percolato e del biogas che si formano con la fermentazione dei rifiuti.

Per il percolato il drenaggio avviene tramite tubature posizionate a contatto con lo strato impermeabile sul fondo della discarica, in HDPE (forate o fessurate).

Il percolato captato viene condotto in un pozzetto di raccolta e da lì può essere immesso in un pozzetto di raccolta o andare direttamente al depuratore.

Il biogas viene captato poiché è costituito da metano e diossido di carbonio; le tubazioni fessurate sono allineate orizzontalmente e disposte su tutto il fondo e si collegano a pozzi verticali. Questi pozzi si connettono ad un collettore che fa confluire il biogas ad una torcia di combustione o a diversi sistemi che permettono il recupero energetico come il teleriscaldamento.

Le discariche si compongono di unità distinte che prendono il nome di lotti; i quali vengono riempiti uno per volta, per strati sovrapposti che vengono accuratamente pressati con compattatori dal peso variabile fra le 20 e le 50 tonnellate.

È necessario deporre una copertura giornaliera, costituita da inerti con specifici codici CER, per evitare la dispersione delle polveri e degli odori dal corpo della discarica.

Quando si è esaurito il volume si può predisporre una copertura provvisoria mentre è obbligatorio porre la copertura definitiva, che è costituita da strati con funzioni e spessori diversificati. Partendo dal basso verso l'alto si distinguono gli strati di: regolarizzazione, drenaggio, impermeabilizzazione e più superficialmente quello di supporto per la vegetazione.

Infine, dopo la chiusura della discarica deve avvenire il monitoraggio per un periodo massimo di 30 anni per la salvaguardia delle matrici ambientali.

Dal punto di vista numerico, le discariche per rifiuti non pericolosi hanno subito un decremento sostanziale; infatti, mentre al 2013 se ne contavano 180, nel 2012 ve ne erano 9 in più, mentre nel 2003 se ne contavano ben 286 in più (ISPRA, 2014).

Questa diminuzione può essere avvenuta per diversi motivi, tra i quali oltre alla chiusura, possono essere state avviate le necessarie operazioni di ripristino ambientale oppure una variazione della tipologia di rifiuti conferiti.

Si è registrata una riduzione anche del quantitativo dei rifiuti urbani stoccati in discarica, che al 2013, risultavano circa 11 milioni di tonnellate (37% dei rifiuti urbani prodotti).

Questo fatto è imputabile alla cospicua diminuzione della produzione dei rifiuti (367 mila tonnellate in meno) e al crescente utilizzo della raccolta differenziata, e degli altri settori di trattamento come l'incenerimento, il recupero di materia e di energia per i rifiuti che hanno subito trattamenti meccanici-biologici.

In Italia ci sono comportamenti diversi a seconda dell'area geografica, come si nota in figura 1.6.

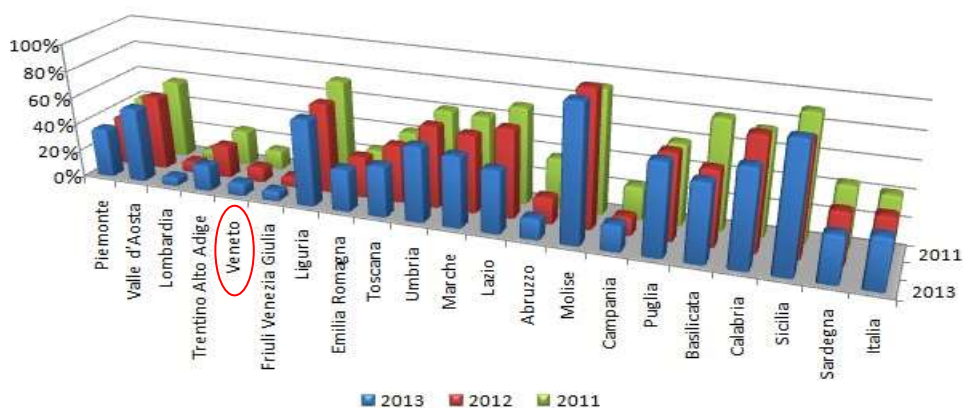


Fig. 1.6.1: Percentuali di rifiuti urbani stoccati in discarica rispetto al totale degli RSU trattati nel periodo 2011 - 2013

Nelle regioni del Nord, tranne nell'Emilia Romagna, si verificano riduzioni nello smaltimento in discarica.

L'eccellenza appartiene alla Lombardia che smaltisce in discarica solamente il 6% del totale dei rifiuti urbani generati; si collocano subito dopo Friuli Venezia Giulia con un 7% dei rifiuti prodotti, Veneto con 9%, e Trentino Alto Adige con 19%.

L'Emilia Romagna invece porta in discarica il 31% del totale dei rifiuti urbani prodotti.

Nelle regioni del Centro Italia, dai dati forniti dal rapporto dei rifiuti urbani 2014 dell'ISPRA, risulta che lo stoccaggio in discarica è ancora la scelta maggiormente adottata, si evidenzia che Umbria e Marche smaltiscono più del 50% del totale dei rifiuti. La chiusura di una discarica di Roma ad ottobre 2013 ha comportato una notevole riduzione dell'apporto di rifiuti nella regione del Lazio perché si è verificata la deviazione di ingenti quantità verso Piemonte, Molise, Emilia Romagna, Marche e Toscana.

Un lieve incremento (5.4%) si è verificato al Sud Italia poiché i rifiuti hanno cominciato ad essere gestiti regionalmente, mentre in precedenza parte di essi confluiva in impianti extra regionali.

In generale sono avvenuti miglioramenti in tutte le regioni; l'unico dato a se stante è quello della Sicilia in cui il 93% dei rifiuti urbani prodotti vengono stoccati in discarica.

L'articolo 182-bis del d.Lgs. n. 152/2006 stabilisce che lo smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi e il loro trattamento debba avvenire regionalmente, in autonomia; in realtà in tutta Italia, i rifiuti trattati vengono spesso spediti in regioni diverse da quelle di appartenenza (ISPRA, 2014).

Nell' articolo 7 del d.Lgs. n. 36/2003 viene imposto di trattare il rifiuto prima del conferimento in discarica ma nel 2013 il 42% dei rifiuti urbani viene condotto allo smaltimento senza trattamenti.

2. Parametri geotecnici dei rifiuti

I rifiuti possono essere assimilati ai terreni e sono definibili come mezzi porosi, polifasici e suddivisi nelle fasi solida, liquida e gassosa.

La fase solida è formata da tre principali categorie di materiali (Grisolia, 1994):

- Inerti stabili (vetri, metalli, materiali edilizi) che presentano un comportamento meccanico simile ad un terreno molto eterogeneo, a grana grossa.
- Materia altamente deformabile (carta, plastica, tessili) che rendono più complessi i modelli meccanici, in particolar modo la plastica in quanto può incapsulare fluidi e gas. Possono variare il comportamento meccanico dei rifiuti in quanto le loro proprietà meccaniche variano con il carico esercitato e a seconda del tempo.
- Sostanze biodegradabili (vegetali, scarti alimentari,..) che subiscono trasformazioni chimico-fisiche molto veloci, comportando considerevoli riduzione del volume, formazione di altri solidi (mineralizzazione della sostanza organica), fluidi e gas.

Nel caso in esame, la fase solida dei rifiuti che verranno stoccati, facendo riferimento a quelli che negli ultimi anni venivano conferiti alla discarica, sarà composta per lo più da inerti e in frazione marginale da materia altamente deformabile. Questo per l'effetto combinato dell'efficienza della raccolta differenziata e della selezione (che saranno descritti nel capitolo 5).

Le fasi fluida e gassosa tendono a rendere ulteriormente più complesso il sistema. La struttura del mezzo poroso costituito dall'ammasso dei rifiuti solidi urbani, viene analizzata per mezzo delle frazioni volumetriche presenti, da cui:

$$V = V_s + V_v \quad (2.1)$$

$$V_v = V'_g + V_{g(f)} + V'_w + V_{w(f)} \quad (2.2)$$

Dove V = volume totale, V_s = volume delle particelle solide, V_v = volume dei vuoti, V'_g = volume di gas trattenuto dalle particelle solide, $V_{g(f)}$ = volume di gas libero di muoversi, V'_w = volume di liquido trattenuto dalle particelle solide e $V_{w(f)}$ = volume di liquido libero di muoversi.

Per definire i rifiuti un parametro utile è la porosità, caratterizzata dalla stessa equazione usata per i terreni:

$$n = V_v / V_t \quad (2.3)$$

Dove n = porosità, V_v = volume dei vuoti e V_t = volume totale.

La porosità dipende soprattutto dalla distribuzione dei grani.

Un altro parametro utile è l'indice dei vuoti, definito dalla seguente equazione:

$$e = V_v / V_s \quad (2.4)$$

In cui e = indice dei vuoti, V_v = volume dei vuoti e V_s = volume occupato dalle particelle solide.

In generale si può assumere il sistema come non saturo e riconducendo il comportamento meccanico dei rifiuti a quello delle terre, si assume che la resistenza offerta al taglio, dipenda dalle tensioni efficaci che si verificano fra i grani.

La determinazione delle proprietà geotecniche dei rifiuti presenta dei punti critici a causa dell'eterogeneità e della distribuzione spaziale dei materiali considerati, inoltre le proprietà chimico-fisiche variano nel tempo. L'ottenimento di campioni rappresentativi dal punto di vista delle corrette condizioni ambientali e in termini di dimensioni risulta complesso e non esistono attualmente prove standard per il campionamento.

La variazione delle proprietà meccaniche avviene anche a causa del fenomeno della biodegradazione che risulta influenzato dal contenuto di umidità e organico iniziale, dal sistema di impermeabilizzazione e da quelli di estrazione del percolato e del biogas e non per ultime dalle condizioni ambientali.

2.1. Peso dell'unità di volume

Il peso dell'unità di volume medio dei rifiuti solidi urbani dipende da molteplici fattori quali:

- composizione dei rifiuti,
- spessore degli strati stoccati;
- grado di compattazione e modalità di gestione;
- presenza della copertura giornaliera;
- decomposizione biologica dei rifiuti organici;
- profondità

È un parametro che influenza la resistenza e la deformabilità dell'ammasso dei rifiuti.

Il peso dell'unità di volume medio è definito da:

$$\gamma = \lim_{\delta V \rightarrow 0} \left(\frac{\delta W}{\delta V} \right) \quad (2.5)$$

In cui γ = peso dell'unità di volume (kN/m^3), δW = variazione del peso (kN), δV = variazione del volume (m^3).

Il valore del peso di volume (γ) presenta un intervallo ampio, suddivisibile in quattro categorie, a seconda del rifiuto solido urbano considerato (Olivier, 2003):

- 2 – 6 kN/m³ per rifiuti non compattati, appena depositati;
- 6 – 8 kN/m³ per rifiuti freschi compattati;
- 8 – 10 kN/m³ per rifiuti mediamente sovraccaricati;
- 10 – 13 kN/m³ per rifiuti fortemente sovraccaricati.

Diversi autori hanno determinato il peso di volume e i valori registrati variano notevolmente.

Autori	γ (kN/m³)	Note
<i>Oweis e Khera (1990)</i>	4,9 - 11	Rifiuti in sito
<i>Beaven e Powrie (1995)</i>	3,2 - 7,5	Rifiuti freschi
<i>Zornberg et al. (1999)</i>	10 - 15	Rifiuti in sito a 8 e 50 m di profondità
<i>Gourc et al. (2001)</i>	7	Rifiuti in sito, superficiali
<i>Olivier (2003)</i>	6 - 13	Rifiuti in sito
<i>Wang et al. (2006)</i>	6,8 - 7,3	Rifiuti freschi e compattati
<i>Jun et al. (2007)</i>	11	Rifiuti freschi e compattati
<i>Olivier e Gourc (2007)</i>	10,3	Rifiuti freschi
<i>Zhan et al. (2008)</i>	3 - 12	Rifiuti in sito

Tab. 2.1: Pesì di volume presenti in letteratura

Sono stati registrati anche valori di 15.8 kN/m³ per rifiuti misti urbani ed industriali (Henkle, 1985) fino a 17 kN/m³ in rifiuti molto compattati e sovraccaricati.

I valori del peso di volume dei rifiuti di solito vengono calcolati come valori medi, in quanto si tengono in considerazione i diversi fattori influenti.

Un fattore da considerare è lo sforzo effettivo che aumenta linearmente con la profondità (Zekkos et al., 2005) dato che il rifiuto viene sottoposto a tensioni di confinamento crescenti.

Successivamente Manassero et al. nel 2011 proposero un'equazione iperbolica che tenesse conto della profondità:

$$\gamma = \gamma_i + \frac{z}{a + bz} \quad (2.6)$$

Di cui γ = peso di volume totale (kN/m^3), γ_i = peso di volume dei rifiuti vicini alla superficie (kN/m^3), z = profondità dal piano campagna (m), a = primo parametro di calibrazione (m^4/kN), b = secondo parametro di calibrazione (m^3/kN).

Un parametro molto influente è la compattazione in quanto l'effetto principale è la riduzione del numero dei vuoti presenti, che si ripercuote sullo spessore degli strati abbancati, con un conseguente aumento dello spazio disponibile. Fassett et al. (1994) condussero degli studi dettagliati sulla variazione dell'unità di volume in relazione alla compattazione.

	Bassa compattazione	Moderata compattazione	Buona compattazione
<i>Intervallo (kN/m^3)</i>	3,0 - 9,0	5,0 - 7,8	8,8 - 10,5
<i>Media (kN/m^3)</i>	5,3	7,0	9,6
<i>Deviazione Standard (kN/m^3)</i>	2,5	0,5	0,8
<i>Variazione (%)</i>	48	8	8

Tab. 2.1.2: Pesì di volume di rifiuti freschi, adattata da Fassett et al. (1994)

2.2. Contenuto di umidità

Dai dati di Manassero et al. (1996) il contenuto di umidità dipende da diversi fattori quali:

- composizione merceologica dei rifiuti;
- condizioni climatiche ambientali;
- sistema di captazione del percolato;
- metodologia di scarico e abbancamento dei rifiuti
- quantità di umidità prodotta dai processi biologici;
- capacità di campo;
- età dei rifiuti.

Nei rifiuti sono stati individuati i parametri specifici W , W_s , W_c e RV .

W rappresenta l'umidità reale (%), ovvero il quantitativo di acqua presente nei rifiuti che viene espressa in percentuale del peso secco o del peso umido o del volume.

W_s è la capacità di ritenzione (%) dei rifiuti, comprensiva del riempimento dei vuoti interparticellari.

W_c indica la capacità di campo, il quantitativo massimo d'acqua che può essere trattenuto dai rifiuti che dipende dal carico esercitato e dallo stato di decomposizione della sostanza organica.

RV è la capacità di assorbimento, data dalla differenza fra la capacità di campo e l'umidità reale. Si tratta di una misura della quantità d'acqua che può essere assorbita dai rifiuti, senza che avvenga la formazione del percolato.

Huitric (1981) e Tchobanoglous et al. (1993) studiarono delle discariche negli Stati Uniti e rilevarono un contenuto variabile di umidità dal 15 al 40% in funzione delle condizioni climatiche dei luoghi di appartenenza, della composizione dei rifiuti e della stagione dell'anno.

Dagli studi di Gabr e Valero (1995), Hettiarachchi et al. (2005), Itoh (2005) e Reddy et al. (2008) invece, il contenuto di umidità nelle discariche varia fra il 31 e il 70%.

Alcuni autori studiarono il contenuto di umidità in relazione al peso di volume come:

- Gabr e Valero (1995) studiarono rifiuti con età comprese fra i 15 e 30 anni e registrarono un peso di volume massimo di 9.3 kN/m^3 con un contenuto di umidità del 30%. La saturazione del campione sarebbe avvenuta approssimativamente al 70% del contenuto di umidità e a 8 kN/m^3 .
- Itoh (2005) fece uno studio su campioni ricostruiti di rifiuti compattati in laboratorio a bassi sforzi (550 kJ/m^3 rispetto ai 600 kJ/m^3 che si utilizzano normalmente) e registrò un peso di volume massimo di 5.9 kN/m^3 al 20% del contenuto di umidità. Lo studio venne eseguito anche per elevati sforzi (2500 kJ/m^3) e risultò una crescita del peso di volume che giunse a $7,8 \text{ kN/m}^3$ e una diminuzione del contenuto di umidità del 10%.
- Hettiarachchi (2005) realizzò uno studio simile a Itoh però con particelle sempre compattate ma di con dimensioni massime di 12,5 mm e ne determinò un peso di volume di $5,15 \text{ kN/m}^3$ al 62% del contenuto di umidità

2.3. Permeabilità idraulica

I rifiuti presenti nelle discariche devono essere opportunamente isolati dal substrato per mezzo di teli in polietilene ad alta densità, per impedire l'infiltrazione del percolato; inoltre questo deve essere captato con apposite tubazioni. La permeabilità influenza la distribuzione degli sforzi effettivi esercitati dal percolato sull'ammasso dei rifiuti e la resistenza al taglio.

Darcy nel 1856 determinò sperimentalmente la portata di filtrazione con un permeometro a carico costante e in condizioni sature.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = k A \frac{\Delta H}{L} \quad (2.7)$$

In cui Q = portata di filtrazione (m^3/s), $\Delta V / \Delta t$ = variazione di velocità nel tempo, k = coefficiente di permeabilità (m/s), A = sezione trasversale interessata dal flusso (m^2), ΔH = carico idraulico (m), L = percorso di filtrazione (m).

Il rifiuto però è in condizioni di parziale saturazione, di conseguenza i valori di permeabilità che sono stati registrati assumono una certa variabilità, che dipende anche dalla densità, dalla tipologia e dagli stress effettivi.

La permeabilità in generale può essere determinata in sito con prove di emungimento a carico costante o variabile e in falda freatica o artesiani, altrimenti con prove di dissipazione da piezocono.

Coefficiente di permeabilità k (m/s)

1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
ghiaie pulite	sabbie pulite e miscele di sabbia e ghiaia pulite			sabbie fini, limi sabbiosi e miscele di sabbia, limo e argilla			argille omogenee, limi argillosi (> 20 % argilla)				
argille essiccate o fessurate											

Fig. 2.3.1: Coefficiente di permeabilità in relazione alla granulometria

In laboratorio invece, si effettuano prove diverse a seconda della granulometria, quali il permeametro a carico costante o variabile (figura 5.3.2) e misure indirette dalla consolidazione.

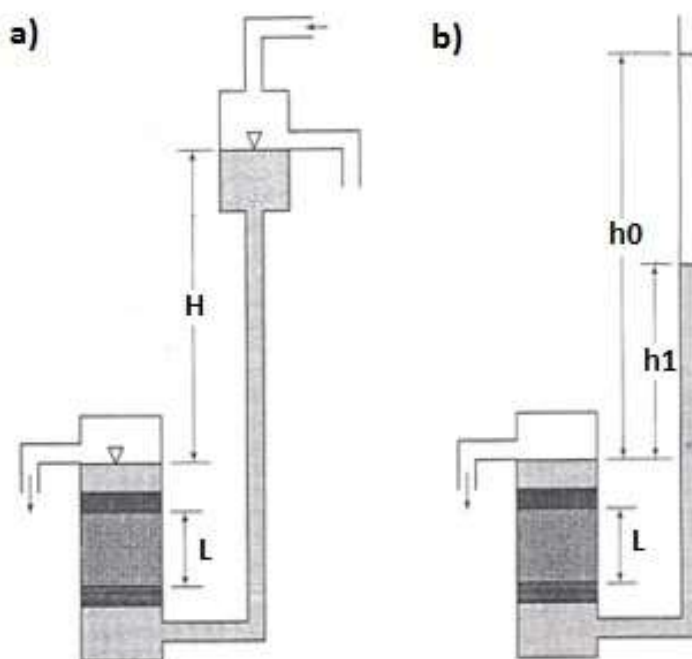


Fig. 2.3.2: a) permeametro a carico costante, b) permeametro a carico

Nei terreni si usa il permeametro a carico costante per terreni a grana grossa, i quali presentano un coefficiente di permeabilità variabile da un massimo di 1 m/s con le ghiaie pulite ad un minimo di 10^{-5} m/s con le sabbie pulite (figura 2.3.1).

Si misura la portata che filtra attraverso il campione di altezza L , mantenendo costante il dislivello idraulico H . Dalla legge di Darcy si ricava k .

$$k = \frac{QL}{AH} \quad (2.8)$$

In cui k = coefficiente di permeabilità (m/s), Q = portata (m³/s), L = altezza dei campioni (m), A = area della sezione (m²), H = carico idraulico (m).

Quando i terreni hanno una grana medio fine, presentano un coefficiente di permeabilità con un ordine di grandezza compreso fra i 10⁻⁵ m/s e i 10⁻⁸ m/s. In questi casi si usa il permeametro a carico variabile in cui si misurano i due livelli piezometrici h_0 e h_1 negli istanti t_0 e t_1 , dall'equazione di Darcy, si arriva a:

$$k = \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1} \quad (2.9)$$

Dove k = coefficiente di permeabilità (m/s), a = sezione dei tubi piezometrici che hanno un piccolo diametro (m), A = area del campione (m²), $t_1 - t_0$ = variazione di tempo in cui è avvenuta la variazione di carico (s), h_0 e h_1 = livelli piezometrici (m).

I permeametri a carico costante e variabile sono le prove maggiormente usate per la stima della permeabilità dei rifiuti; dagli studi di vari autori, la permeabilità è molto variabile e spazia da ordini di grandezza di 10⁻⁷ fino a 10⁻³.

Se si determina un valore medio del coefficiente di permeabilità, si giunge a quella corrispondente a sabbia grossolana e ghiaia pulite.

La variabilità dei valori è da attribuirsi a fattori specifici del sito che cambiano nel tempo e nello spazio quali: granulometria, struttura dell'ammasso, biodegradazione, quantitativo di gas prodotto, livello tensionale e anisotropia.

Molti autori hanno determinato la permeabilità idraulica:

Autori	Permeabilità (m/s)	Note
<i>Oweis e Khera (1986)</i>	$1,0 \times 10^{-5}$	Stima da dati in sito
<i>Oweis et al. (1990)</i>	$1,0 \times 10^{-5}$ $1,1 \times 10^{-5}$	Prove di pompaggio Prove in sito
<i>Landva e Clark (1990)</i>	$1,0 \times 10^{-5} - 4,0 \times 10^{-4}$	Prove in sito
<i>Gabr e Valero (1995)</i>	$1,0 \times 10^{-7} - 1,0 \times 10^{-5}$	Prove in laboratorio
<i>Blengino et al. (1996)</i>	$3,0 \times 10^{-7} - 3,0 \times 10^{-6}$	Sondaggi (30 - 40 m)
<i>Manassero et al. (1990)</i>	$1,5 \times 10^{-5} - 2,6 \times 10^{-4}$	Prove di pompaggio (15 - 20 m)
<i>Beaven e Powrie (1995)</i>	$1,0 \times 10^{-7} - 1,0 \times 10^{-4}$	Prove in laboratorio
<i>Brandl (1990)</i>	$2,0 \times 10^{-5} - 7,0 \times 10^{-4}$	Prove in sito
<i>Brandl (1994)</i>	$2,0 \times 10^{-6} - 3,0 \times 10^{-5}$	Prove in laboratorio
<i>Burrows et al. (1997)</i>	$3,9 \times 10^{-7} - 6,7 \times 10^{-5}$	Prove di pompaggio
<i>Beaven e Powrie (1999)</i>	$3,1 \times 10^{-6} - 2,8 \times 10^{-5}$	Prove in laboratorio
<i>Jain et al. (2006)</i>	$5,7 \times 10^{-8} - 1,9 \times 10^{-7}$	Sondaggi
<i>Durmusoglu et al. (2006)</i>	$4,7 \times 10^{-6} - 1,2 \times 10^{-4}$	Prove di carico variabile con rifiuto fresco
<i>Olivier e Gourc (2007)</i>	$5 \times 10^{-6} - 1,0 \times 10^{-5}$	Prove di carico variabile
<i>Staub et al. (2009)</i>	$4,6 \times 10^{-6} - 7,4 \times 10^{-5}$	Prove di carico variabile

Tab. 2.3.1: Valori di permeabilità idraulica presenti in letteratura

Il deflusso dell'acqua all'interno dei rifiuti ha un andamento molto complesso da descrivere ma la diffusione dipende dal grado di umidità il quale a sua volta dipende dalla permeabilità e dalla temperatura.

Dagli studi di Zekkos (2005) occorre tenere in considerazione il fatto che la permeabilità sia anisotropa, soprattutto per quanto concerne gli studi di stabilità.

Il rapporto fra i coefficiente di permeabilità orizzontale e verticale è molto variabile: Münnich et al. (2005) infatti registrarono valori su rifiuti trattati da 1 a 250. Buchanan et al. (2001) invece su rifiuti triturati con dimensione inferiore a 38 mm trovarono un rapporto compreso fra 1,2 e 2,3.

2.4. Resistenza al taglio

Per definire la resistenza al taglio dei rifiuti solidi urbani si tende ad applicare il criterio di rottura di Coulomb, però occorre tenere in considerazione alcune proprietà dei rifiuti stessi che lo rendono complesso:

- eterogeneità delle dimensioni dei costituenti;
- deformabilità di ciò che si considera lo scheletro solido;
- carattere non totalmente saturo dell'ammasso dei rifiuti;
- consolidazione primaria e secondaria ed eventuale mineralizzazione della sostanza organica;
- compressibilità spesso elevata;
- metodologie di messa in posa;
- grado di compattazione in sito.

Queste caratteristiche determinano una grande dispersione dei risultati, quindi spesso si usano dei valori medi ricavati dalla letteratura.

Dagli studi di J.W.Cowland et al. (1993), è possibile correlare la resistenza al taglio con il peso dell'unità di volume, la quale dipende dalla compattazione subita ma anche dal peso proprio dei rifiuti all'aumentare della profondità (Cancelli e Cossu, 1984) e dal tempo trascorso.

La rottura nelle discariche solitamente avviene al contatto fra lo strato impermeabilizzato del fondo e i rifiuti oppure tra il cumulo e la copertura finale. Difficilmente si arriva allo stato di rottura all'interno dell'ammasso.

Con la resistenza al taglio si determina il piano di rottura del materiale e i parametri geotecnici dell'angolo di attrito (ϕ') e la coesione (c').

ϕ' rappresenta l'angolo che determina la pendenza della curva del criterio di rottura, tangente al cerchio delle tensioni principali σ_1 e σ_3 nel punto di rottura.

C' invece rappresenta l'intercetta fra la curva del criterio di rottura e lo sforzo di taglio τ .

Il criterio di rottura utilizzato per i rifiuti solidi urbani è il criterio di Mohr-Coulomb, sebbene però la natura eterogenea dei rifiuti non possa permettere la loro completa caratterizzazione.

Manassero et al. (1996) hanno suddiviso il grafico dello sforzo normale sullo sforzo di taglio in tre parti a cui corrispondono determinati valori di c' e ϕ' :

- zona A con rifiuto “puramente coesivo” con σ'_v compreso fra 0 e 20 kPa e $c' = 20$ kPa;
- zona B sottoposta ad uno sforzo intermedio; con σ'_v è compreso nell'intervallo 20 - 60 kPa, mentre $\phi' = 38^\circ$;
- zona C in cui lo sforzo normale è elevato perché σ'_v risulta maggiore di 60 kPa, mentre $\phi' = 30^\circ$.

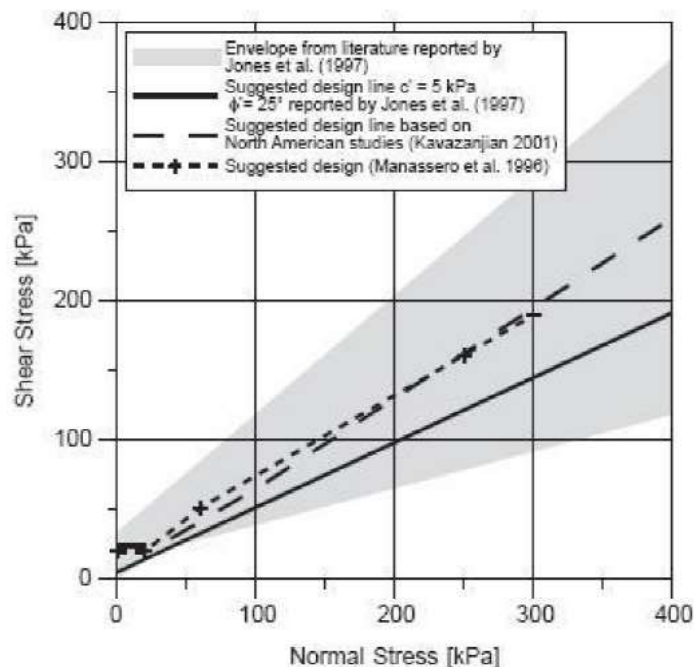


Fig. 2.4.1: Grafico $\sigma'_v - \tau$ relativo ai rifiuti solidi urbani

Molti altri autori hanno determinato valori di c' e ϕ' su campioni freschi che potevano essere pretrattati oppure non pretrattati e su rifiuti vecchi, come si può vedere nella tabella 2.4.2.

Riguardo ai differenti metodi d'indagine utilizzati occorre asserire però che non esiste attualmente una calibrazione delle procedure e i risultati ottenuti sono affetti da notevoli incertezze.

Autori	c' (kPa)	ϕ' (°)	Metodo di analisi	Note
<i>Landva e Clark (1986)</i>	19	42	Taglio diretto	Rifiuti vecchi
	16	38		Rifiuti vecchi
	16	33		Rifiuti vecchi
	23	24		Rifiuti freschi e triturati
	10	33,6		Rifiuti misti e scarti di legno
<i>Siegel et al. (1990)</i>	-	39 - 53	Prova triassiale CD	5 diverse composizioni di rifiuti
<i>Howland e Landva (1992)</i>	17	33	Taglio diretto	Rifiuti con età comprese tra i 10 e i 15 anni
<i>Cowland et al. (1993)</i>	10	25	Taglio diretto	Trincea profonda scavata fra i rifiuti
<i>Del Greco e Oggieri (1993)</i>	15,7	21	Taglio diretto	Test su rifiuti imballati a bassa densità
	23,5	22		Test su rifiuti imballati ad alta densità
<i>Jessemberger (1994)</i>	7	38	Non dichiarato	Riporta Gay e Kaiser (1981)
	10	15	Retro-analisi	Riporta Spillman (1980)
	10	17	Retro-analisi	Riporta Spillman (1980)
	-	30	Stimato	Da osservazioni dirette
	-	40	Stimato	Da osservazioni dirette
	7	42	Taglio diretto	Riporta Gay e Kaiser (1981). Rifiuti di 9 mesi
	28	26,5	Valore consigliato	Riporta Gay e Kaiser (1981). Rifiuti freschi
<i>Fasset et al. (1994)</i>	10	23	Valore consigliato	Proposto dagli autori
<i>Kölsch (1995)</i>	15	15	Valore consigliato	Proposto dagli autori
	18	22	Retro-analisi	Proposto dagli autori
<i>Gabr e Valero (1995)</i>	16,8	34	Prova triassiale CU	Rifiuto degradato
	0 - 27,5	20,5 - 39	Taglio diretto	Rifiuto degradato
<i>Benson et al. (1996)</i>	20	35	Valore consigliato	Proposto dagli autori
	24	42	Taglio diretto	Rifiuti bagnati ed umidi
<i>Kavazanjtan (2001)</i>	16 - 30	33 - 59	Taglio diretto	Rifiuti degradati
<i>Caceido et al. (2002)</i>	14	45	Prova triassiale CD	Rifiuti di un anno, non triturati
<i>Vilar e Carvalho (2004)</i>	20	22	Prova triassiale CD	Rifiuti di 15 anni
<i>Reddy et al. (2008)</i>	31 - 64	26-30	Taglio diretto	Rifiuti freschi e triturati
<i>Reddy et al. (2009)</i>	38	16	Prova triassiale CU	Rifiuti freschi e triturati
<i>Bray et al. (2009)</i>	15	36	Taglio diretto	Proposto dagli autori
<i>Reddy et al. (2011)</i>	18	11	Prova triassiale CU	Rifiuti freschi
<i>Manassero et al. (2011)</i>	-	39	Prova triassiale	Proposto dagli autori

Tab. 2.4.2: Parametri di resistenza la taglio presenti in letteratura

I valori dell'angolo d'attrito variano da 15° a 59°, con un valore medio di 30°, mentre la coesione è compresa fra 0 kPa e 64 kPa.

L'angolo d'attrito e la coesione variano molto a seconda dell'età del rifiuto e dalla composizione. Dagli studi di Landva e Clark (1986), condotti su campioni di rifiuti vecchi, risultano angoli d'attrito compresi fra 38° e 42° e coesione compresa fra 16 e 19 kPa. Negli studi condotti dagli stessi autori su rifiuti freschi, contenenti però materiale plastico, l'angolo d'attrito è di 24° mentre la coesione di 23 kPa. Quest'ultimo basso valore, viene attribuito alla presenza del materiale plastico.

Altri autori come Siegelat al. (1990) sottoposero provini di rifiuti vecchi del diametro di 13 cm e altezza fra i 7,6 e i 10,2 cm, alla prova del taglio diretto. Questi campioni provenivano da profondità variabili fra i 4 e i 25 m e le composizioni erano molto variabili. L'angolo d'attrito registrato assumeva valori compresi tra i 39 e i 53°; la coesione invece veniva assunta come nulla.

Gli studi di Howland e Landva (1992), invece furono condotti su campioni di età fra i 10 e i 15 anni, li sottoposero a prove triassiali drenate e registrarono valori di coesione di 17 kPa, e valori medi di angoli d'attrito di 33°.

Anche Gabr e Valero (1995) studiarono il comportamento di rifiuti con età comprese fra i 10 e i 15 anni però con prove di taglio diretto; i campioni misuravano 6,35 cm di diametro e 2,3 cm di spessore. I campioni venivano preventivamente vagliati e le particelle con dimensione maggiore di 6,3 mm venivano rimosse. L'angolo d'attrito misurato assumeva valori compresi fra 20 e 39°, mentre la coesione variava da 0 a 28 kPa. Gli stessi autori adottarono anche la prova triassiale consolidata e non drenata sui rifiuti solidi urbani e riportarono valori di coesione di 17 kPa e angoli d'attrito di 34°.

Thomas et al. (2000) utilizzarono la prova del taglio diretto per analizzare il comportamento dei rifiuti della discarica francese di Torcy e misurarono un angolo d'attrito di 29,6° e la coesione di 23,4 kPa. Anche questi autori dedussero che la resistenza al taglio è influenzata dalla presenza di materiali plastici nei campioni.

Pelkyat al. (2001) determinarono la resistenza al taglio di rifiuti provenienti da discariche canadesi e registrarono valori di angoli d'attrito dai 26° ai 35° e coesioni variabili fra 0 e 50 kPa.

Alcuni autori ipotizzarono che la resistenza al taglio varia con la decomposizione dei rifiuti. Landva e Clark (1986) analizzarono attraverso prove triassiali drenate dei vecchi rifiuti e misurarono inizialmente angoli d'attrito variabili fra i 38 e i 42° e coesioni dai 16 ai 19 kPa. I campioni subito dopo le misurazioni, furono immessi in container plastici e li vi rimasero per un anno, durante il quale vennero monitorati per verificare che avvenisse la decomposizione. Quando vennero analizzati, determinarono che l'angolo d'attrito di 33°, quindi era diminuito, lo stesso valeva per la coesione di 16 kPa. Gli autori conclusero che la diminuzione di resistenza al taglio fosse causata dalla decomposizione ma che la loro ipotesi richiedesse numerose ulteriori prove per essere validata.

Van Impe (1998) invece dedusse dai suoi studi che la resistenza al taglio assume elevati valori con rifiuti più datati, rispetto ai rifiuti giovani.

Pelky (2001) concluse che sarebbero necessari numerosissimi test per affermare l'una o l'altra ipotesi.

Molti autori rilevarono che la resistenza al taglio aumenta con la deformazione. Gabr e Valero (1995), analizzando rifiuti solidi urbani di età fra i 10 e 15 anni con prove di taglio diretto confutarono che la resistenza al taglio aumenta con la deformazione orizzontale di più del 10% del diametro del campione.

Jones (1997) analizzò rifiuti con composizione costituita dal 38% da carta, 18% da plastiche e 17% da tessili e registrarono un aumento dell'angolo d'attrito da 5° (con spostamento di 5 mm) a valori di 25 – 30° (con spostamenti di 100 mm), sottoposti ad una tensione normale fra i 100 e i 400 kPa.

Thomas et al. (2000) studiarono la resistenza al taglio della discarica francese di Torcy con prove di taglio diretto e affermarono che l'angolo d'attrito aumenta con la deformazione poiché i loro risultati furono angoli di 9,2° con 5 mm di spostamento mentre 29,6° con 180 mm.

Pelky et al. (2001) analizzarono i rifiuti solidi urbani della discarica statunitense di Blackfoot, dai quali risultarono angoli d'attrito che aumentano da 5°, con 5 mm

di spostamento a 29° con 100 mm di spostamento, sottoposti ad una tensione normale massima di 496 kPa.

L'uso del suolo come copertura aumenta l'eterogeneità e l'anisotropia della distribuzione della tensione.

Dalle prove di Jesseberg e Kockel (1993) effettuati su campioni ricostruiti in laboratorio su due provini di cui uno formato da rifiuti municipali triturati e l'altro da RSU privati degli elementi fibrosi, si è scoperto che l'angolo d'attrito aumenta con la deformazione.

Da studi di Singh e Murphy (1990) viene dimostrata una relazione fra la coesione e l'angolo d'attrito nei rifiuti, poiché un aumento dell'attrito è correlato con una diminuzione della coesione.

La coesione è determinata maggiormente dai rifiuti fibrosi che determinano la struttura dell'ammasso di rifiuti (Kockel e Jesseberg, 1995).

Le prove che vengono riadattate allo studio degli RSU si suddividono in:

- prove in campo: scissometro, pressiometro, penetrometriche statiche e dinamiche, carico su piastra e prove geofisiche;
- prove in laboratorio: compressione triassiale e taglio diretto;
- analisi a posteriori: osservando i fenomeni di rottura e deformazione in sito.

Le prove in campo sui rifiuti solidi urbani hanno dato una maggiore variabilità dei risultati mentre diversi autori a partire da Landva e Clarck (1986) fino a Manassero et al. (2011), ottennero risultati più mirati con i test in laboratorio.

Per Kavazanjian (2001) e Bray (2009) la prova più adatta per lo studio della resistenza al taglio dei rifiuti è il taglio diretto perché nelle prove triassiali il valore dell'angolo d'attrito risulta troppo elevato.

Dagli studi di Sanchez-Alciturri et al. (1993) data la condizione non satura dei rifiuti, risultano poco realistiche delle prove triassiali non drenate e non consolidate.

Le prove più utilizzate avvengono quindi in fase sia di compressione isotropa che in fase di taglio con i drenaggi aperti per far consolidare sotto la pressione di cella (compressione isotropa) e misurare le variazioni di volume (taglio per compressione assiale).

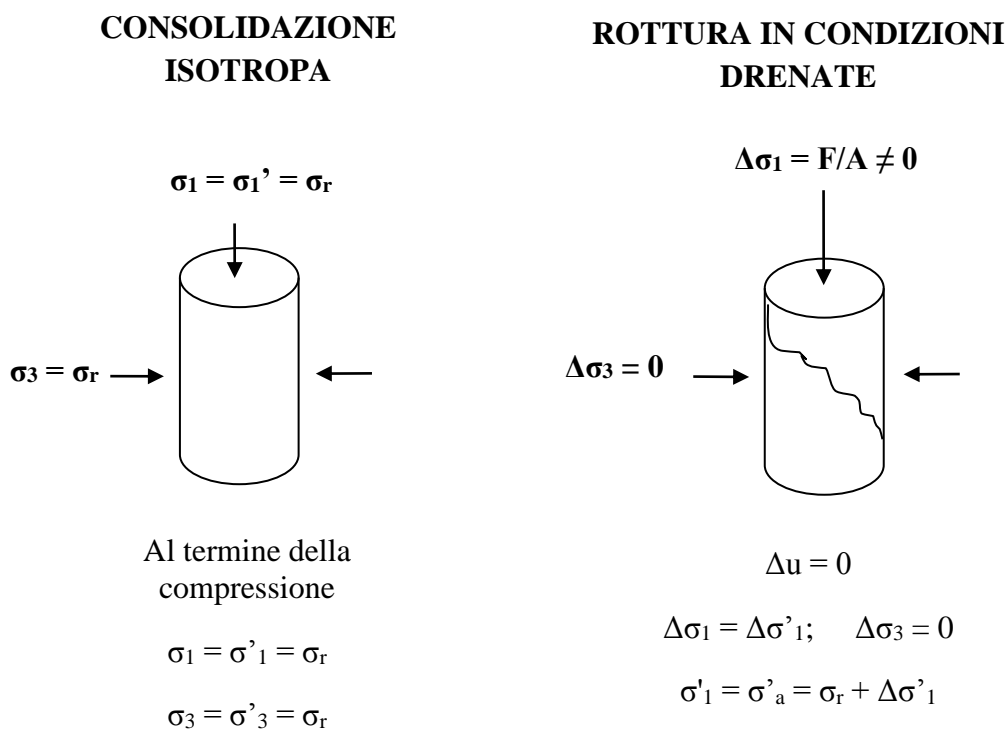


Fig. 2.4.2: Prova triassiale consolidata e drenata

Nei rifiuti, con le prove triassiali, si è registrato il picco di resistenza al taglio fino a deformazioni vicine al 50%, mentre per i terreni si arriva a deformazioni del 5%. Questo comportamento è dovuto alla componente “molto deformabile” degli RSU, composta da materiali come plastiche, tessili e carta che costituiscono

un'intelaiatura, la quale aumenta la resistenza meccanica, ma risulta comunque anisotropa, in quanto dipende dalla distribuzione degli stessi.

Questo tipo di comportamento è molto vicino ai terreni rinforzati in quanto semplificando il modello, la struttura può essere descritta da particelle con granulometria delle sabbie e delle ghiaie e da strati laminari formati dai rifiuti fibrosi.

La compattazione dei rifiuti e la loro distribuzione in strati orizzontali fa sì che le particelle fibrose si orientino orizzontalmente (Bray et al., 2009) e questo influenza la struttura degli strati.

I rifiuti fibrosi inizialmente non danno un grande contributo ma con il passare del tempo e l'aumentare dello sforzo applicato, sono i maggiori responsabili dell'incremento della resistenza (figura 2.4.3).

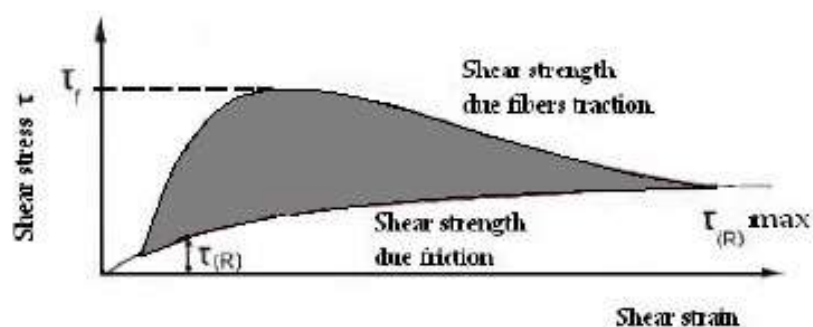


Fig. 2.4.3: Resistenza offerta dai materiali fibrosi, riadattata da Machado et al., 2008

Il grafico in figura 2.4.3 è suddivisibile in zone diverse; la prima arriva fino al punto in cui le due curve hanno andamenti diversi ed è una zona attritiva, la seconda invece giunge fino a τ_f , il massimo sforzo applicato, in cui avviene l'aumento della resistenza offerta dalle fibre ed è presente l'attrito. La terza invece si estende da τ_f a τ_{Rmax} in cui continua l'attrito mentre l'effetto dovuto alla fibre è ridotto; infine la quarta in cui agisce solamente l'attrito.

2.5. Sforzo orizzontale

Determinare lo sforzo efficace orizzontale assume importanza per le valutazioni della stabilità dei sistemi barriera sui pendii e per le strutture atte per la captazione di biogas e percolato.

Lo stress orizzontale efficace viene così definito:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \quad (2.10)$$

Dove σ'_v = tensione verticale efficace (kPa), K_0 = coefficiente di spinta a riposo.

Misurare questo parametro in modo corretto nei rifiuti è molto difficile poiché con l'inserimento degli strumenti di misura comporta un'alterazione degli sforzi che si andrebbero a misurare. Sono state comunque realizzate delle valutazioni del coefficiente di spinta a riposo con prove pressiometriche in sito e il risultato che ne è stato evinto è che non ci sia una relazione chiara fra la profondità e K_0 . Questo fatto è stato spiegato da Dixon e Jones (2005) dalle variazioni causate dall'inserimento del pressiometro e dalla eterogeneità dei rifiuti analizzati.

Anche le prove in laboratorio risultano molto complesse perché lo è riprodurre la disposizione delle particelle, la loro dimensione e la struttura generale. Queste caratteristiche assumono molta rilevanza sullo stress orizzontale efficace.

Landva et al. (2000) studiarono il comportamento dei rifiuti solidi urbani a lungo termine e a breve termine ed i risultati variavano in relazione al materiale fibroso.

A breve termine infatti, i valori registrati di K_0 variano da 0,24 a 0,34 fino a 0,40 se i rifiuti risultano rispettivamente composti da molto materiale fibroso per il primo valore, caso inverso per gli ultimi due valori che sono dovuti alla scarsa presenza di questo genere di materiale.

A lungo termine invece i valori del coefficiente di spinta a riposo è più elevato e giunge a valori compresi fra 0,47 e 0,49 a causa della degradazione del materiale fibroso.

2.6. Proprietà dinamiche

I parametri principali che permettono determinazioni della stabilità e delle deformazioni dovute a carichi ciclici sono:

- Modulo di elasticità longitudinale o di Young (E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

In cui σ = tensioni normali alla superficie (kPa), ε = deformazioni longitudinali.

- Rapporto di Poisson (ν)

$$\nu = - \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (2.12)$$

In cui ε_x , ε_y = deformazioni longitudinali lungo gli assi x ed y.

- Modulo della rigidezza al taglio (G)

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.13)$$

Dove τ = sforzo tangenziale (kPa), γ = deformazione angolare.

Questa formula è del modulo di taglio equivalente, valido per deformazioni di taglio $10^{-5} < \gamma < 10^{-3}$.

La determinazione della rigidità laterale assume importanza per la valutazione della stabilità della discarica in quanto serve a verificare la stabilità della barriera presente nei pendii.

La rigidità dipende sempre dalla tipologia di rifiuti, dalla loro disposizione, dalla densità e dallo sforzo a cui sono soggetti.

La prova che viene maggiormente utilizzata è la prova pressiometrica, utilizzata solitamente per terre e rocce, e riadattata in modo innovativo da Dixon e Jones (2005) per lo studio dei rifiuti solidi urbani.

Sono stati eseguiti 30 test, su campioni sia freschi che parzialmente degradati, posti alla profondità di 17 m. La rigidità laterale viene ottenuta calcolando la pendenza dei cicli di carico e scarico (figura 2.6).

Nel grafico ottenuto da questi test si nota un aumento della rigidità laterale con l'aumento del carico e i rifiuti con età comprese fra i 12 e i 15 anni appaiono meno rigidi di quelli giovani (1-5 anni) per gli stessi carichi.

La bassa rigidità è da attribuire alla differente composizione dei rifiuti dovuta alla degradazione dei più vecchi.

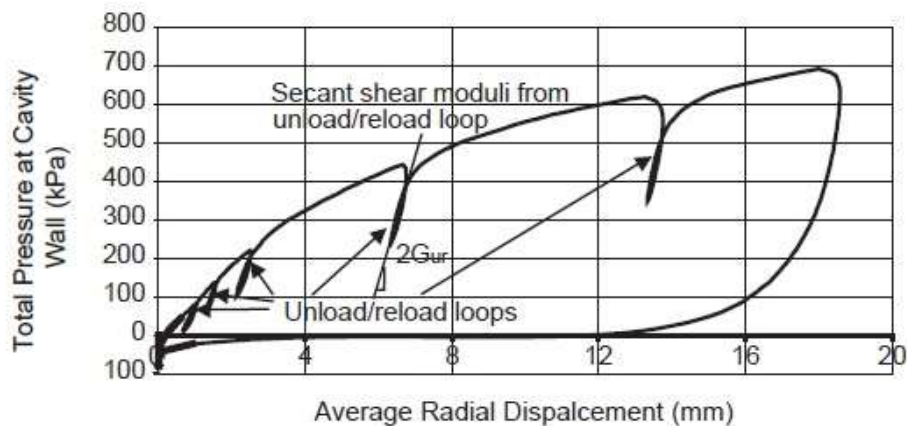


Fig. 2.6: Esempio dei risultati della prova pressiometrica (Dixon e Jones, 2005)

Il modulo elastico e la rigidezza laterale sono parametri esprimibili considerando le onde elastiche di taglio e di compressione:

$$E = 2V_s^2 \rho (1 + \nu) \quad (2.14)$$

$$\nu = \frac{2V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_c^2 - V_s^2)} \quad (2.15)$$

$$G = V_s^2 \rho \quad (2.16)$$

In cui V_s = velocità delle onde trasversali (m/s), V_p = velocità delle onde di compressione (m/s), ρ = densità del materiale attraversato (Kg/m^3).

Per determinare questi parametri esistono prove di laboratorio e in sito; è preferibile utilizzare quest'ultime per non variare le caratteristiche dei rifiuti.

Le prove più utilizzate nei rifiuti solidi urbani sono naturalmente prove geofisiche come l'uso della rifrazione, il cross-hole, down e up hole e SASW.

Nel metodo della rifrazione si misurano i tempi di ritorno delle onde elastiche emesse dalla sorgente, con stendimenti di geofoni allineati e se ne determinano le velocità.

Nel cross-hole viene posta la sorgente ad una profondità nota, mentre i geofoni sono posti in un secondo pozzo a varie profondità.

Nei metodi down e up-hole viene usato un solo geofono; nel down-hole la sorgente rimane ad una posizione fissa, mentre viene spostato il geofono a varie quote, mentre nell' up-hole viene spostata la sorgente.

Il metodo SASW è stato ideato da Kavazanjian et al. (1994) per non realizzare fori; la sorgente posta sul piano campagna emette onde Rayleigh e se ne registrano le accelerazioni a determinate distanze.

Sharma et al. (1990) applicarono il metodo Down-hole nella discarica di Richmond (California) per studiare le caratteristiche dinamiche dell'intero corpo dei rifiuti di 15 m e dei terreni presenti sotto alla discarica. La velocità riportata delle onde trasversali è di 198,3 m/s mentre delle onde di compressione risulta di 716,8 m/s. Sono stati analizzati anche i terreni con lo stesso metodo e con altri a confronto e il risultato è stata la validazione dei dati ottenuti.

Kavazanjian et al. (1994) sostengono che dai 30 ai 70 m di profondità dal top della discarica, le velocità delle onde trasversali oscillano fra i 75 e i 225 m/s. Gli autori dimostrano inoltre che per discariche datate ed a profondità ragguardevoli, le velocità delle onde s subiscono un incremento per lo "strainhardening" dovuto all'invecchiamento dei rifiuti e alla profondità.

L'Earth Technology con prove di down-hole e cross-hole ha registrato un valore medio per le velocità delle onde trasversali di 274 m/s. L'EMCOM invece ha registrato valori di 213 e 91 m/s nelle discariche di Richmond e Redwood.

2.7. Compressibilità

La compressibilità dei rifiuti solidi urbani dipende primariamente dalla composizione iniziale, comprendendo anche la forma delle particelle e la loro disposizione, dalla densità, dall'indice dei vuoti e dai pretrattamenti che hanno subito i rifiuti. Inoltre dipende anche dai cambiamenti biologici e chimici che possono manifestarsi, dai meccanismi di distorsione e riorientazione che subiscono le particelle.

Data la compressibilità elevata dello scheletro solido, le consolidazioni primaria e secondaria avvengono simultaneamente.

La consolidazione primaria che consiste di variazioni strutturali delle particelle e dell'ammasso di RSU come distorsioni, riorientazioni delle particelle, curvatura delle stesse, schiacciamento e rottura e si verifica appena vengono depositi i rifiuti e per poche settimane (Dixon e Jones, 2005).

Per calcolare il cedimento primario si utilizzano solitamente modelli incrementali lineari di compressione.

La deformazione da compressione primaria ε_i viene descritta come:

$$\varepsilon_i = C'_c \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \quad (2.17)$$

Dove C'_c = indice di compressione primaria, σ'_{v0} = tensione verticale efficace (kPa), $\Delta\sigma'_v$ = tensione efficace che in aggiunta provoca compressione (kPa).

La compressione secondaria invece comprende tutti gli effetti di creep, quindi la compressione meccanica dovuta al carico costante, e include anche gli effetti derivanti dalla degradazione, sia chimica che biologica.

Questa compressione perdura maggiormente nel tempo e comprende anche gli effetti tempo-dipendenti che generano ulteriori assestamenti come la riorientazione delle particelle, curvatura, schiacciamento ma anche lo sfilacciamento delle stesse (Dixon e Jones, 2005).

Le variabili che influenzano il cedimento secondario sono molteplici e comprendono la composizione dei rifiuti ma anche dal contenuto di umidità e dalle condizioni ambientali.

La compressione secondaria viene descritta con:

$$\delta_s = C_\alpha H \log \frac{t}{t_p} \quad (2.18)$$

Dove: δ_s = cedimento secondario (m), H = altezza conseguente alla compressione primaria (m), t = tempo al quale si calcolano i cedimenti ($t > t_p$); t_p = tempo necessario al completamento della compressione primaria; C_α = indice di compressione secondaria:

$$C_\alpha = \frac{\Delta\varepsilon}{\log t_2 - \log t_1} \quad (2.19)$$

In cui $\Delta\varepsilon$ = deformazione, t_1 = tempo di inizio monitoraggio (giorni), t_2 = tempo di fine monitoraggio (giorni).

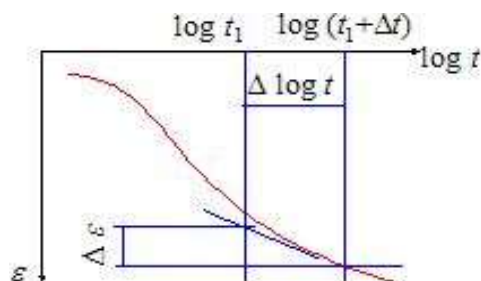


Fig. 2.7.1: Indice di compressione secondaria C_a

Il valori medi del rapporto di compressione CR varia da 0,2 a 0,5, sono dipendenti dal carico e con un coefficiente di compressione secondaria C_{ae} variabile nell'intervallo 0,2% - 3%.

Gabr e Valero (1995) analizzarono rifiuti vecchi (15 – 30 anni) e registrarono valori di CR fra 0,4 e 0,8, mentre il coefficiente di compressione primaria variava fra 0,4 e 0,8; il coefficiente di compressione secondaria risultava compreso fra 0,03 e 0,09.

Coumoulous (1999) valutò il coefficiente di compressione secondaria di 13 discariche e registrò valori compresi fra 0,02 e 0,07.

Sharma (1999), studiando rifiuti con età di 10 – 15 anni ebbe gli stessi identici valori per il coefficiente di compressione secondaria. El Fadel e Al Rashed (1998) invece, analizzando per 1576 giorni i cedimenti della discarica di Mountain View (California), ottennero un indice di compressione secondaria fra 0,1 e 0,32.

L'Earth TechConsultants (1999), studiando diverse discariche, ottennero valori del coefficiente di compressione secondaria variabili da 0,02 a 0,088 per l'Atlantic Lanfill, 0,006 – 0,035 per la Central Landfill e 0,18 – 0,26 per Crow-wingLandfill (che presentava un bioreattore).

Per quanto riguarda la compressione immediata dei rifiuti solidi urbani, solitamente si intende la compressione primaria in relazione ai principi della meccanica delle terre (Bareither et al., 2012).

Le discariche costruite negli ultimi anni sono progettate per rimanere in condizioni sottosature e la compressione primaria dei suoli corrisponderebbe alla consolidazione che avviene quando si dissipa la pressione nei pori delle particelle. Capire quando termina la compressione primaria non è semplice perché le teorie di Terzaghi e Casagrande sulla teoria monodimensionale non risultano totalmente applicabili sui rifiuti solidi urbani. Ciò avviene poiché i rifiuti non sono in condizioni sature e l'eccesso di pressione nei pori non viene dissipato. Per valutare la fine della compressione primaria è possibile adattare il metodo FORE, basato su un'equazione di prim'ordine e su un'equazione semilogaritmica, presenti negli studi di Handy (2002).

Con questo metodo, utilizzato da Breither et al. (2005), tutti i campioni con diversa composizione ma in genere con prevalenza di carta, ghiaia e materiale fine (passante in maglie da 4,75 mm) venivano sottoposti a tensioni da 8 kPa a 400 kPa. Questi campioni registravano forti deformazioni dopo l'aggiunta del carico (compressione primaria), mentre dopo avveniva una diminuzione del carico (creep meccanico).

La transizione fra la compressione primaria e il creep meccanico, come si nota in figura 2.7.2, avviene all'intersezione fra FORE e l'equazione semilogaritmica (Bareither et al. 2012).

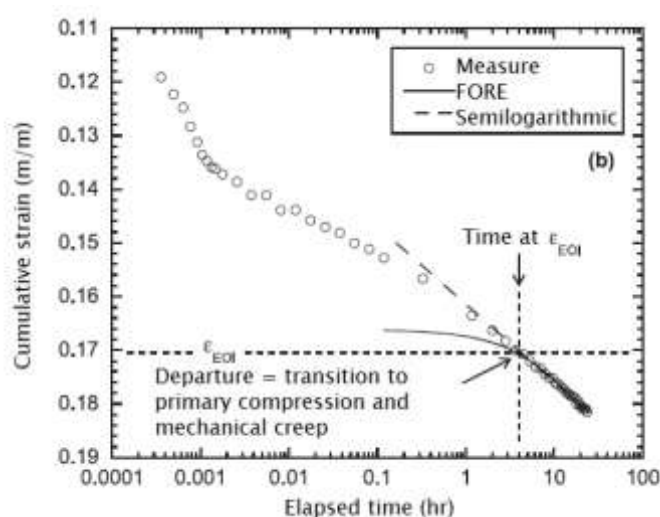


Fig. 2.7.2: Transizione fra la compressione primaria e il creep meccanico (Bareither et al., 2012)

Dagli studi di Sowers (1973) e di Chen et al. (2009), l'indice di compressione primaria diminuisce con la riduzione della frazione organica e con l'aumento del contenuto di materiali incomprimibili (Dixon et al., 2008).

Per autori come Chen et al. (2009) e Landva et al. (2000), il coefficiente di compressione primaria diminuisce con l'aumento della densità e della profondità alla quale si trovano i rifiuti ma anche con l'età e la decomposizione. Inversamente Hossain et al. (2003) ottenne una proporzionalità diretta fra l'aumento dei processi di decomposizione e l'incremento del coefficiente di compressione primaria.

Reddy et al. (2009) riportarono alti valori di C'_c per rifiuti con alti contenuti d'acqua.

Gabr e Valero (1995) studiarono rifiuti con età compresa fra 15 e 30 anni e ne misurarono un indice di compressibilità primaria variabile da 0,166 a 0,200.

Vilar e Carvalho (2004) analizzarono rifiuti di 15 anni provenienti da discariche brasiliane e C'_c assumeva valori variabili da 0,222 e 0,325.

Chen et al. (2009) analizzarono rifiuti cinesi a differenti profondità e con un contenuto organico variabile dal 22% al 43% e riscontrarono valori molto variabili di C'_c che risulta compreso fra 0,072 e 0,307.

Reddy et al. (2009) studiarono rifiuti con età massima di 5 anni, di discariche statunitensi ed ottennero il coefficiente di compressione primaria con valori compresi fra 0,190 e 0,241.

Gli stessi autori, nel 2009 studiarono anche campioni ricostruiti che simulavano la composizione tipica delle discariche statunitensi e i valori di C'_c che ne ottennero variavano da 0,117 a 0,331.

Chen et al. (2010) simularono la composizione media dei rifiuti presenti in Cina e ne derivarono coefficienti di compressione primaria compresi fra 0,204 e 0,315.

Stoltz et al. (2010) analizzarono rifiuti provenienti da discariche francesi e registrano valori di C'_c variabili da 0,268 a 0,333; questi rifiuti presentavano un contenuto organico pari al 54% del volume.

3. Normativa italiana

Nell' articolo n. 183 del decreto legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 viene definito come rifiuto:

“qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi od abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi”

I rifiuti vengono classificati sulla base della provenienza in Urbani e Speciali e poi ulteriormente suddivisi in Pericolosi e Non pericolosi.

I rifiuti urbani comprendono:

- Rifiuti domestici (inclusi gli ingombranti);
- Rifiuti assimilabili agli urbani, quindi assimilabili come quantità e qualità;
- Rifiuti che derivano dallo spazzamento stradale;
- Rifiuti di qualunque provenienza e natura che sono posti su strade, aree pubbliche e private, spiagge e rive dei corsi d'acqua;
- Rifiuti di tipo vegetale prodotti dalla manutenzione di giardini, aree verdi, parchi, cimiteri.
- Rifiuti dovuti ad esumazioni ed estumazioni od altri rifiuti provenienti dalle aree cimiteriali.

Sono classificati come rifiuti speciali:

- Rifiuti provenienti da attività agricole o agro industriali;

- Rifiuti formati con demolizioni e costruzioni, compresi i pericolosi che derivano dagli scavi;
- Rifiuti da attività industriale, artigianale, sanitaria e commerciale;
- Rifiuti derivanti da attività di smaltimento dei rifiuti;
- Macchinari;
- Veicoli a motore.

Tutti i rifiuti rientrano nel Catalogo Europeo dei Rifiuti e sono contrassegnati da uno specifico codice C.E.R., a sei cifre. Le prime due indicano il processo da cui deriva il rifiuto, la seconda coppia ne identifica l'attività di produzione mentre l'ultima specifica univocamente il rifiuto.

Tutti i rifiuti, esclusi gli urbani raccolti dall'ente pubblico preposto e i non pericolosi trasportati dal produttore in modo occasionale, devono essere accompagnati durante il trasporto dal Formulario di Identificazione.

In questo documento sono specificate nome, indirizzo e autorizzazioni del produttore e del trasportatore, nome ed indirizzo dell'impianto di destinazione, mentre per quanto concerne il rifiuto devono esserci CER, descrizione e quantità.

Negli impianti di produzione e in quelli di raccolta e trasporto devono essere presenti registri di carico e scarico in cui sono delineate le caratteristiche qualitative e quantitative dei rifiuti che vengono utilizzate per la comunicazione annuale MUD al Catasto dei Rifiuti.

Per il controllo della tracciabilità dei rifiuti, dal 9 Febbraio 2012 è presente il SISTRI che è gestito dal Comando dei Carabinieri, che garantisce agli enti istituzionali l'accesso ai dati sui rifiuti.

3.1. Excursus normativo

Legge n. 336 del 20 marzo 1941: prima legge su rifiuti con esclusiva provenienza da abitazioni civili, che regolava le azioni di raccolta, trasporto e smaltimento per la tutela dell'igiene, dell'economia e del decoro.

Decreto del Presidente della Repubblica n. 915 del 10 settembre 1982: classificava i rifiuti in urbani, speciali e tossico/nocivi ed ha introdotto il Formulario di Identificazione del Rifiuto.

Legge n. 441 del 29 ottobre 1987: conteneva delle disposizioni definite urgenti in materia dello smaltimento dei rifiuti.

Decreto ministeriale n. 559 del 28 dicembre 1987: definiva i criteri per la realizzazione di nuovi impianti e dei Piani regionali per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani.

Decreto ministeriale n. 457 del 22 ottobre 1988: conteneva delle disposizioni relative all'esportazione ed importazione dei rifiuti.

Direttiva della Comunità Economica Europea n.156 del 18 marzo 1991: vengono introdotti i cicli integrati dei rifiuti al fine della loro riduzione quantitativa per un conferimento alle discariche del rifiuto non più valorizzabile. Sono promossi il riciclo e il recupero dei materiali e l'utilizzo dei rifiuti per la produzione di energia.

Decreto legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997: vengono attuate le norme della Comunità Europea sui rifiuti pericolosi e non e sul materiale da imballaggio. Si imposero delle percentuali minime nazionali, relative alla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani, del 15% entro il 1999, del 25% entro il 2001 e del 35% dal 2003. Vengono abrogate la precedente legge 366/1941 e il D.P.R. 915/82.

Decreto legislativo n. 389 del 8 novembre 1997: ha apportato delle variazioni al D.Lgs. 22/1997.

Decreto ministeriale n. 141 del 11 marzo 1998: vengono delineati i criteri per lo smaltimento nelle discariche dei rifiuti solidi urbani.

Direttiva europea n.31 del 26 aprile 1999: impone una riduzione dei rifiuti di natura organica portati in discarica del 25% entro il 2006, del 50% nel 2009 e del 65% entro il 2016. Inoltre suddivide le discariche in tre tipologie (per rifiuti pericolosi, per non pericolosi e per inerti). I rifiuti prima del conferimento devono essere trattati

Decisione n. 532 della Comunità Europea del 3 maggio 2000: vengono delineati i criteri per l'assegnazione dei codici C.E.R. che ammettono più tipologie di rifiuti rispetto al D.Lgs. 22/1997.

Legge n. 93 del 23 marzo 2001: stabiliva sanzioni per il traffico illecito dei rifiuti e disposizioni relative alla gestione delle terre da scavo, ai rifiuti vegetali e in merito alla bonifica dei siti inquinati.

Decreto legislativo n. 36 del 30 gennaio 2003: introduceva misure per contrastare gli effetti dell'inquinamento sulle acque superficiali e sotterranee, sul suolo e nell'aria. La manutenzione e il monitoraggio delle discariche devono verificarsi costantemente anche dopo la chiusura, con analisi del percolato, biogas e delle acque.

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 30 del 13 marzo 2003: stabiliva il controllo delle emissioni dei gas serra.

Testo Unico Ambientale, decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006: composto di 6 parti di cui la prima conteneva disposizioni comuni, la seconda introduceva le procedure per la valutazione dell'impatto ambientale (VIA, VAS, IPPC) e la terza comprendeva disposizioni sulla tutela

delle acque e del suolo. La quarta parte si occupava della gestione dei rifiuti e della bonifica dei siti contaminati, la quinta della tutela dell'aria e della riduzione delle emissioni in atmosfera, mentre la sesta imponeva delle sanzioni a chi provocasse danni ambientali.

Nella parte relativa alla gestione dei rifiuti solidi urbani, viene imposto che tutti i soggetti coinvolti a partire dalla produzione delle materie prime, seguano i principi di cooperazione, precauzione e proporzione. Dove con proporzione veniva inteso che le misure adottate fossero commisurate al rischio ambientale.

L'articolo 181 inoltre poneva l'attenzione sul riciclo dei rifiuti e sulla produzione di energia dagli stessi.

Decreto legislativo n. 4 del 16 gennaio 2008: modificava il Testo Unico Ambientale nelle parti relative a VAS e VIA.

Decreto ministeriale n. 100 del 17 dicembre 2009: decretava l'entrata in funzione del sistema che monitora la tracciabilità dei rifiuti da parte del Comando dei Carabinieri.

Decreto ministeriale del 9 luglio 2010: apportava delle modifiche al D.M. 10/2009.

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 161 del 10 agosto 2012: determinava i criteri per i quali terre e rocce da scavo potessero essere considerati come sottoprodotti anziché rifiuti.

Decreto del ministero dell'Ambiente del 29 luglio 2013: delineava dei criteri riguardanti lo stoccaggio del mercurio metallico nelle discariche.

Decreto legislativo n. 136 del 10 dicembre 2013: istituiva il reato di combustione illecita di rifiuti e introduceva disposizioni per contrastare l'emergenza ambientale.

Regolamento della Commissione Europea n. 592 del 3 giugno 2014: riguardava l'uso di sottoprodotti di origine animale ad uso di combustibile negli impianti di combustione.

Regolamento della Commissione Europea n. 1357 del 18 dicembre 2014: suddivideva i rifiuti pericolosi nelle categorie: esplosivi, comburenti, irritanti, tossici, cancerogeni, infettivi, mutageni, sensibilizzanti e ecotossici.

Legge n. 68 del 22 maggio 2015: istituiva le pene (compresa la reclusione da 2 a 6 anni, fino 20 nel caso di morte di persone) per chi comprometta le matrici ambientali.

4. Descrizione del sito

L'impianto di smaltimento di rifiuti solidi urbani di proprietà della S.E.S.A. S.p.A. è ubicato nel Comune di Este, in provincia di Padova, al confine con il territorio comunale di Ospedaletto Euganeo, nella località di Via Comuna.



Fig. 4.1: Inquadramento geografico

4.1. Inquadramento generale

Il sito d'interesse si colloca nella Media pianura veneto-atesina (Marcolongo e Zaffanella,1987) che rappresenta la terminazione orientale della Pianura Padana.

La Pianura veneto-atesina si colloca sulla microplacca Adria, la quale è presente anche nel mar Adriatico e rappresenta l'avampaese dei sovrascorrimenti Appennico, Alpino e Dinarico.

Dal punto di vista strutturale, il Veneto ha subito deformazioni dovute alla tettonica Paleozoica, Mesozoica ed Alpina. Le conseguenze della prima non sono individuabili con facilità, poiché essendo distensiva si è verificato il magmatismo e oltre a ciò, le fasi di deformazione sono avvenute singeneticamente a quelle di deposizione.

Con la tettonica Mesozoica si formarono molte faglie listriche sinsedimentarie. Con la fase Alpina invece si depose il flysh (Massari et al.,1986) e nella prima fase compressiva terziaria si crearono sovrascorrimenti e pieghe, sud vergenti.

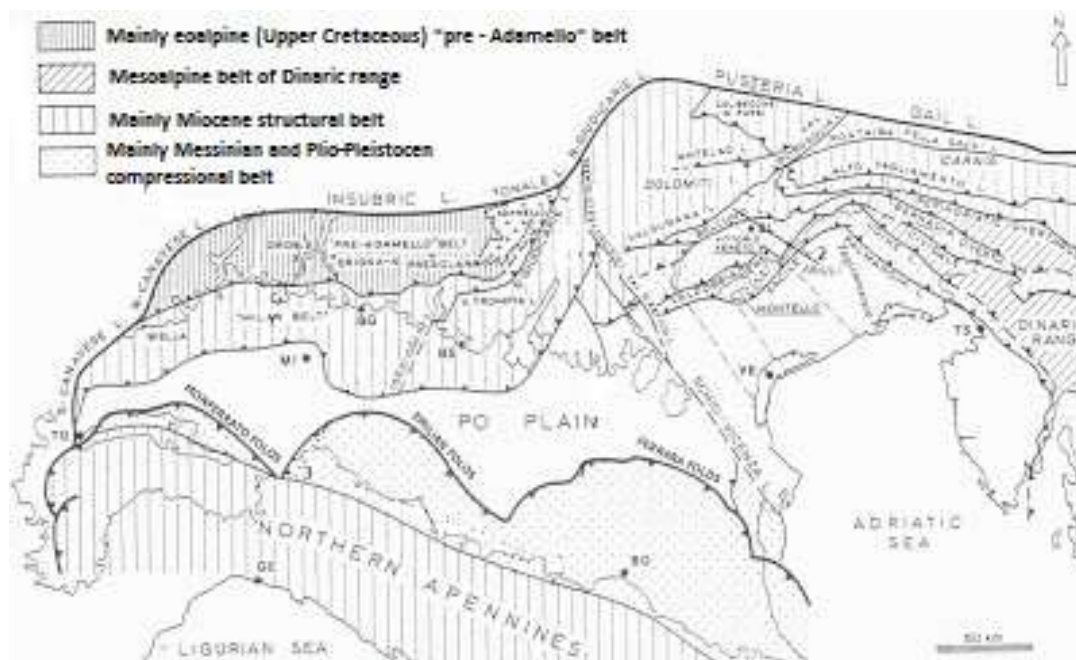


Fig. 4.1: Schema strutturale della Pianura Padana, Sud Alpino e degli Appennini (Castellarin et al., 2005)

Nella parte più a meridione della Pianura Veneta sono presenti dei tilting con immersione verso Sud, rilevabile anche a Venezia (Carminati et al., 2003), dovuti all'attività espansiva dell'avampese appenninico. Gli appennini, con il loro carico, hanno causato subsidenza.

Nella Pianura sono presenti varie faglie con andamento NNW-SSE. Tra queste la più rilevante anche nel Quaternario risulta essere la Schio Vicenza, perché le altre non avrebbero provocato dislocazioni alla base del Pliocene (Zanferrari, 2007).

Nel Miocene, la chiusura dello stretto di Gibilterra portò all'abbassamento del livello del Mediterraneo di centinaia di metri e quindi alla regressione e successiva erosione.

4.2. Inquadramento geomorfologico

Il sito si colloca ad un'altimetria di 12 m s.l.m. e nella la porzione di Pianura Padana definita come bassa pianura, la quale degrada da nord-ovest a sud-est con una pendenza del 1‰.

La bassa pianura si differenzia dalla alta e media per la granulometria dei depositi alluvionali; si possono distinguere quindi:

- L'alta pianura che si colloca nella zona pedemontana e che risulta formata da ghiaie prevalentemente grossolane, depositate ad opera fluviale (fiumi principali Piave, Brenta, Astico e Adige) o fluvioglaciale (Dal Prà et al., 2003).

L'Alta Pianura contiene l'area di ricarica (figura 4.2.1) e l'acquifero viene definito indifferenziato e freatico.

- La media pianura è formata da alternanze di strati ghiaioso-sabbiosi, ma soprattutto sabbiosi-limosi che suddividono l'acquifero dell'alta pianura in numerose falde artesiane e che determinano i fontanili e la fascia delle risorgive.

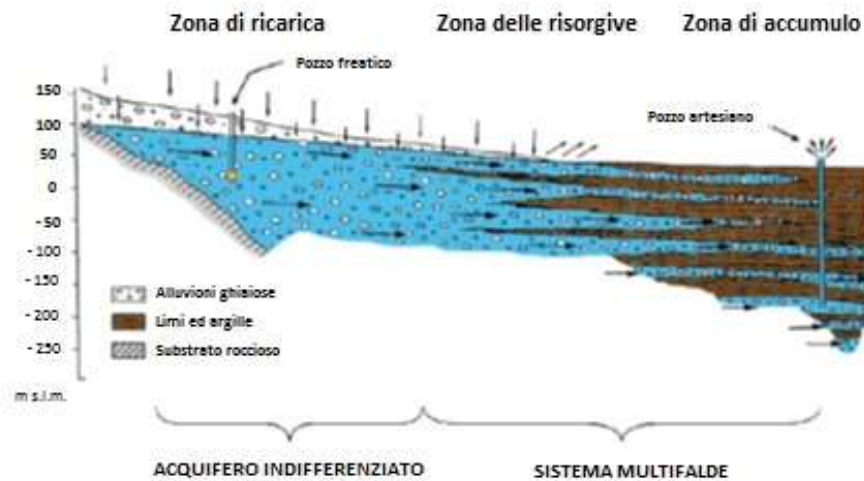


Fig. 4.2.1: Schema idrogeologico dell'Alta e della Media Pianura Veneta (A.Dal Prà, 1971)

- La bassa pianura si è formata nel Pleistocene a causa di alluvioni dei fiumi Adige, Piave, Tagliamento e Bacchiglione. La parte più a sud della bassa pianura è invece di età Olocenica. I sedimenti della Bassa Pianura, come quelli della Media, sono alternanze di depositi fluviali, marini, lacustri e palustri (Dal Prà et al., 2000).

Questa fascia si colloca a sud delle risorgive ed è formata da una fitta alternanza di sedimenti sabbiosi e argilloso-limosi. I livelli ghiaiosi sono presenti in profondità e hanno piccoli spessori (Dal Prà et al., 2000). Con questo genere di struttura sedimentaria si sono originate più falde acquifere, differenziate in termini di dimensioni e anche di profondità.

Solitamente la prima falda in bassa pianura ha caratteristiche freatiche, ed è spesso influenzata dalla presenza dei canali di irrigazione superficiali. A profondità comprese tra i 300 e i 350 metri, si trovano falde in pressione alloggiate su banchi sabbiosi.

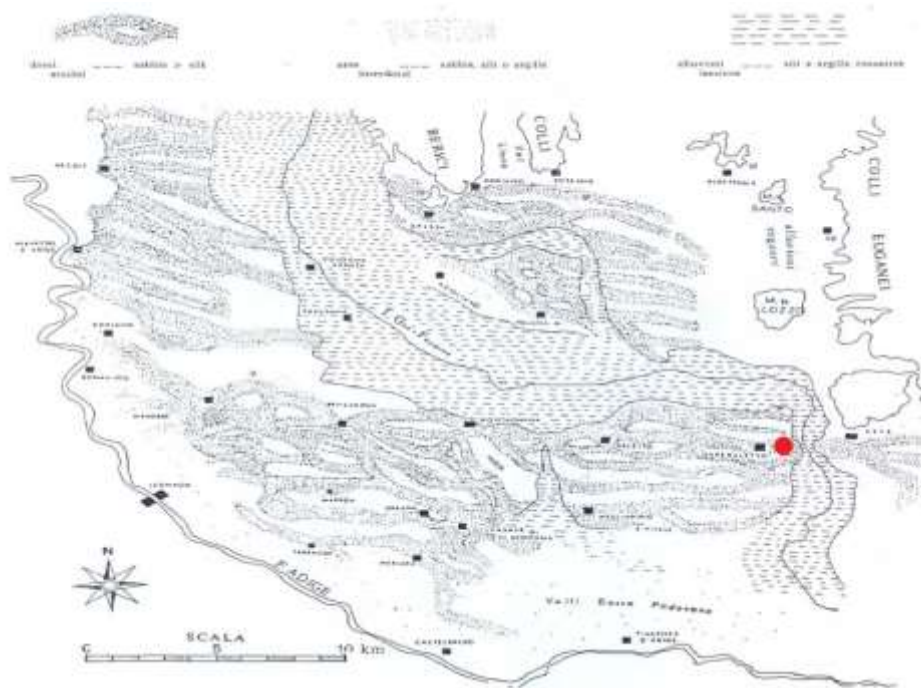


Fig. 4.2.2: Inquadramento geomorfologico dell'area di interesse, evidenziata in rosso, tratto da P.A.T.I. dell'Estense

Il periodo post-glaciale e l'Olocene hanno determinato processi di erosione di deposizione e sedimentazione, a seguito di variazioni eustatiche e della subsidenza. Come è possibile notare dalla figura 4.3.2, con questi processi ed avendo un alveo mobile, i fiumi hanno rimodellato la superficie erodendola e depositando sedimenti.

Nell'area dell'Estense sono presenti dossi fluviali e paleoalvei, dovuti ai cambi di direzione del fiume Adige e a seguire del Frassine; sono state segnalate inoltre delle dune eoliche al confine fra Este ed Ospedaletto Euganeo (Zangheri et al., 1990).

4.3. Inquadramento geologico dell'area

L'area in cui verrà costruito il nuovo ampliamento è stata sottoposta nel tempo alle seguenti indagini:

- Sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 15 metri dal piano campagna;
- Sondaggio con piezometro con filtri posti tra i 14 e i 20 metri;
- Sondaggio a distruzione con piezometro con filtri tra 2 e 7 metri.

L'ubicazione delle prove eseguite è visibile nella figura 4.3.1

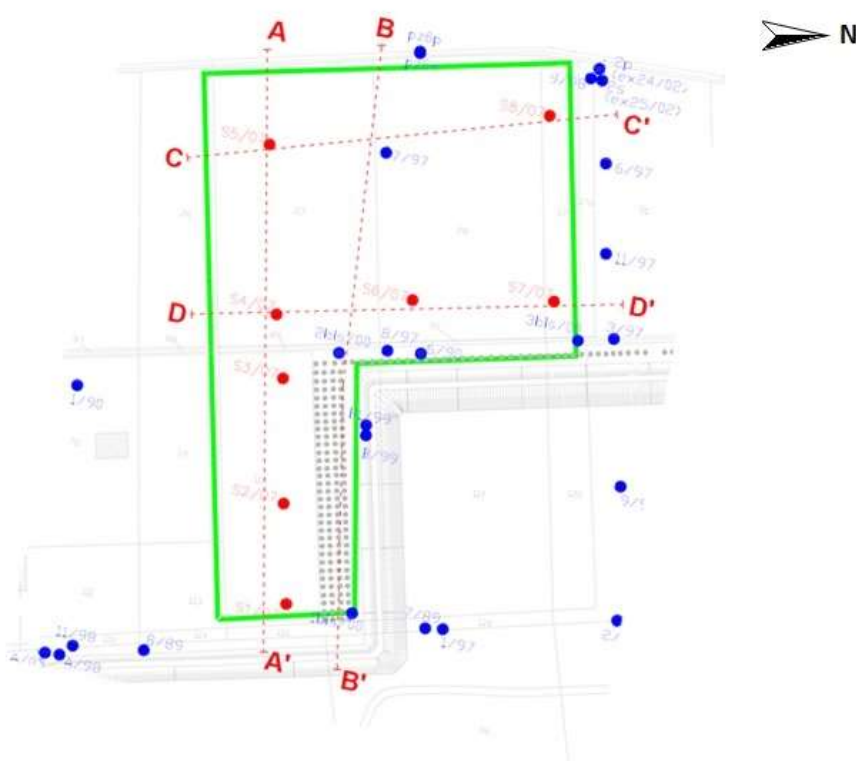


Fig. 4.3.1: Ubicazione di sondaggi e sezioni stratigrafiche (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

Con i dati pervenuti dai sondaggi sono state realizzate le sezioni e la successione litologica ricavata (visibile da figura 4.3.2 a 4.3.5), si compone di:

- Alternanze di livelli limoso-argillosi, dal piano campagna ad una profondità variabile fra i 3,60 m e i 4,50 m. All'interno di questo strato è stato anche rilevato un'intercalazione di limo sabbioso con spessore variabile compreso fra i 60 cm e 1,5 m e ad una profondità tra i 30 e gli 80 cm, riferiti al piano campagna.

Questo strato risulta essere sempre presente

- Banco di sabbia fine debolmente limosa, dallo strato sovrastante fino a profondità massime di 6,90 m; lo spessore varia fra 70 cm e i 3,15 m. In un solo sondaggio il livello di sabbia inizia a 3,15 m dal piano campagna, per finire a 3,40 m e poi ripresentarsi nuovamente da 5,60 m a 6,00 m.

- Alternanze fra livelli limosi e argillosi in profondità comprese fra 6,90 m e 14 m dal piano campagna, spesso sono presenti in termini misti, eccezione fatta per un sondaggio nel quale questo livello inizia a 12,50 m.

Tranne che nell'area più settentrionale dell'ampliamento, stati riscontrati livelli torbosi con spessore massimo di 20 cm con profondità variabile fra i 5,00 e 8,50 m.

- Banco di sabbia fine limosa, dai 14 m fino ad un minimo di 20 m di profondità dal piano campagna.

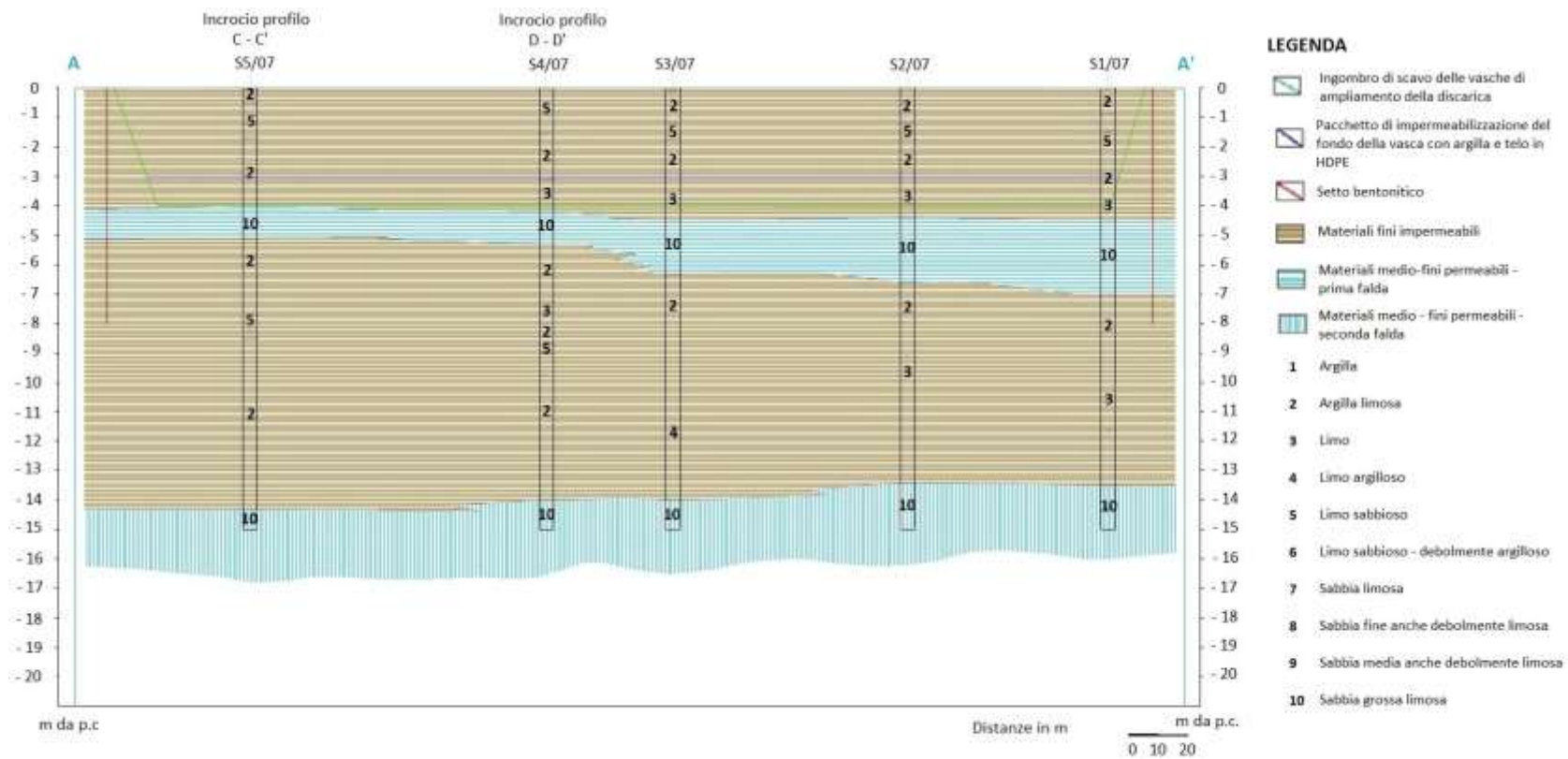


Fig. 4.3.2: Sezione stratigrafica A – A' (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

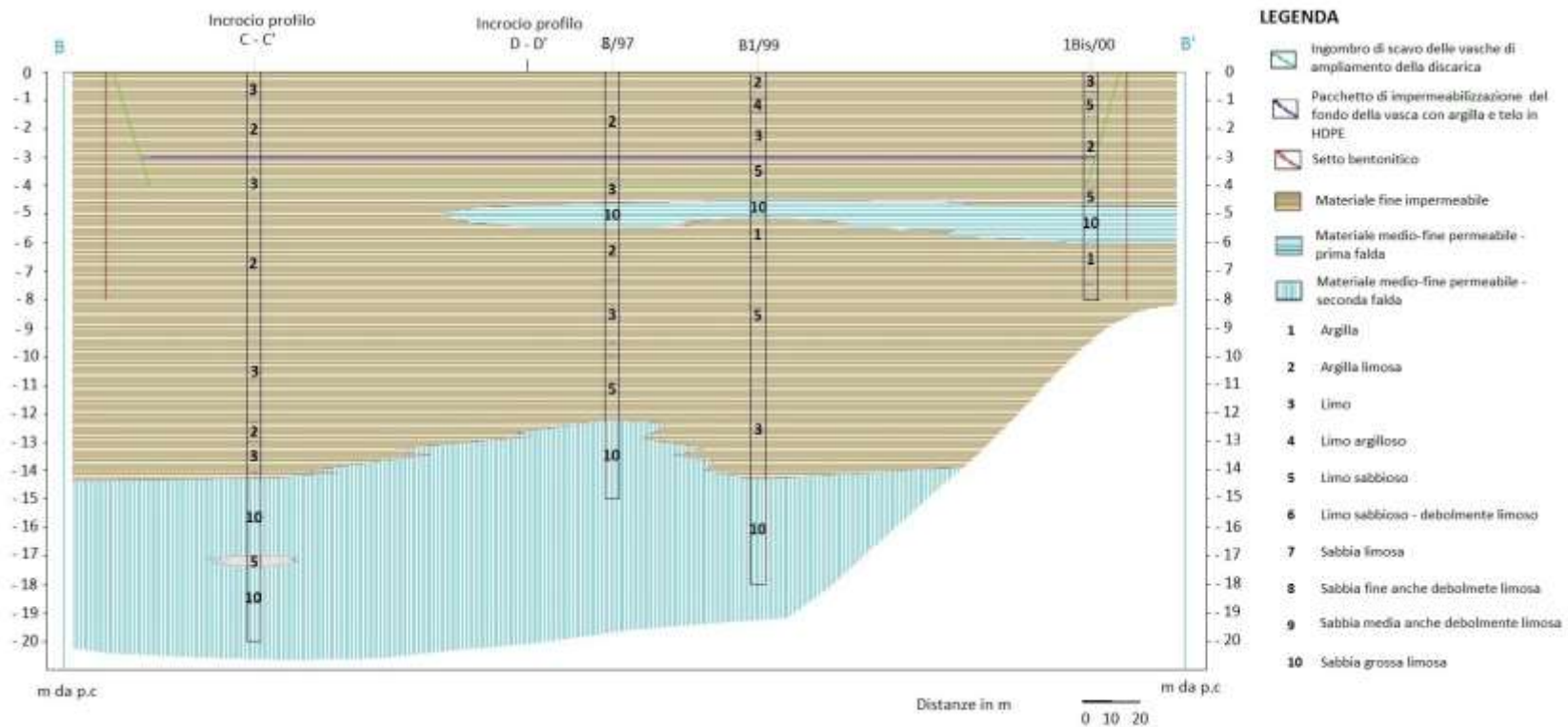


Fig. 4.3.3: Sezione stratigrafica B – B' (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

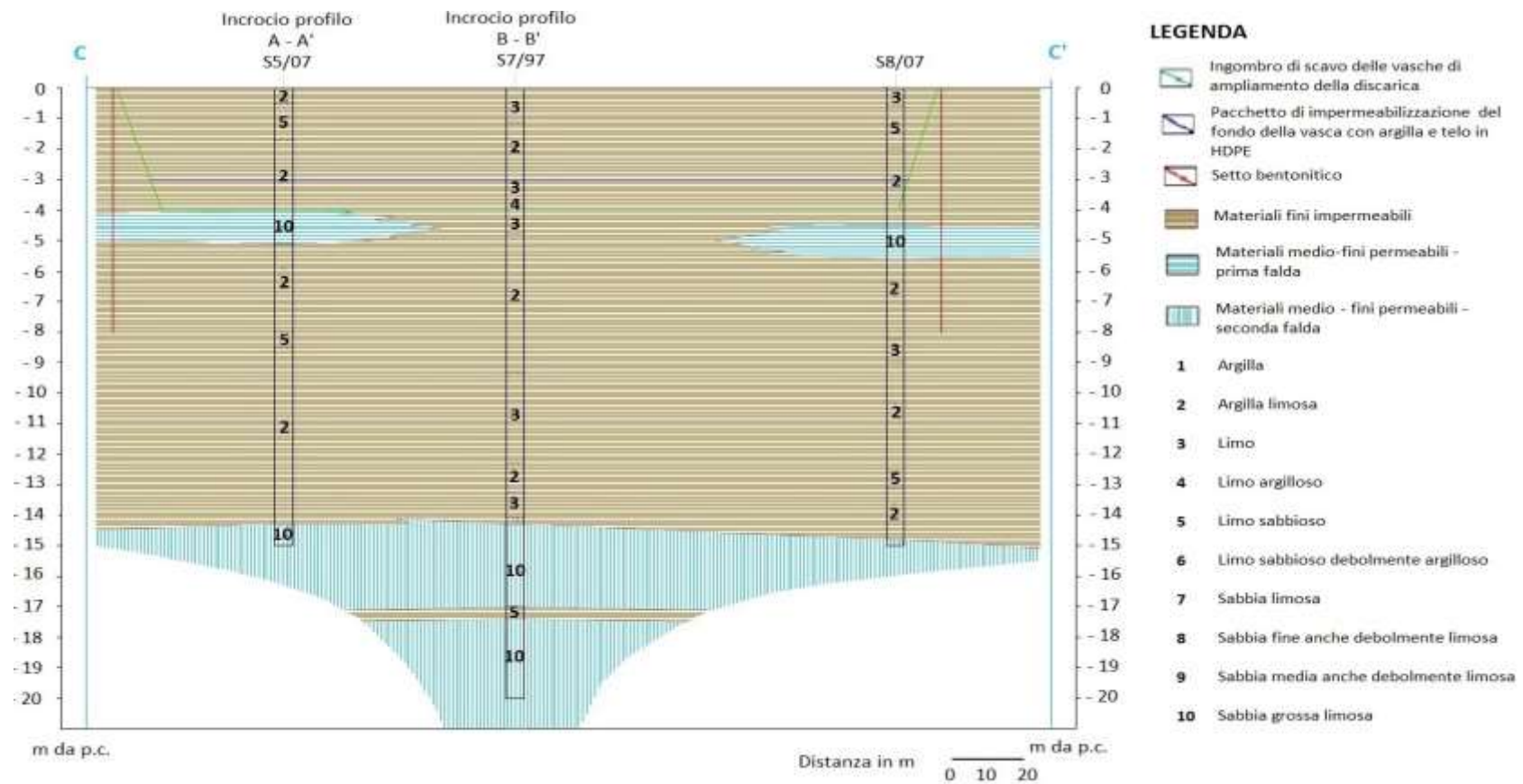


Fig. 4.3.3: Sezione stratigrafica C – C' (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

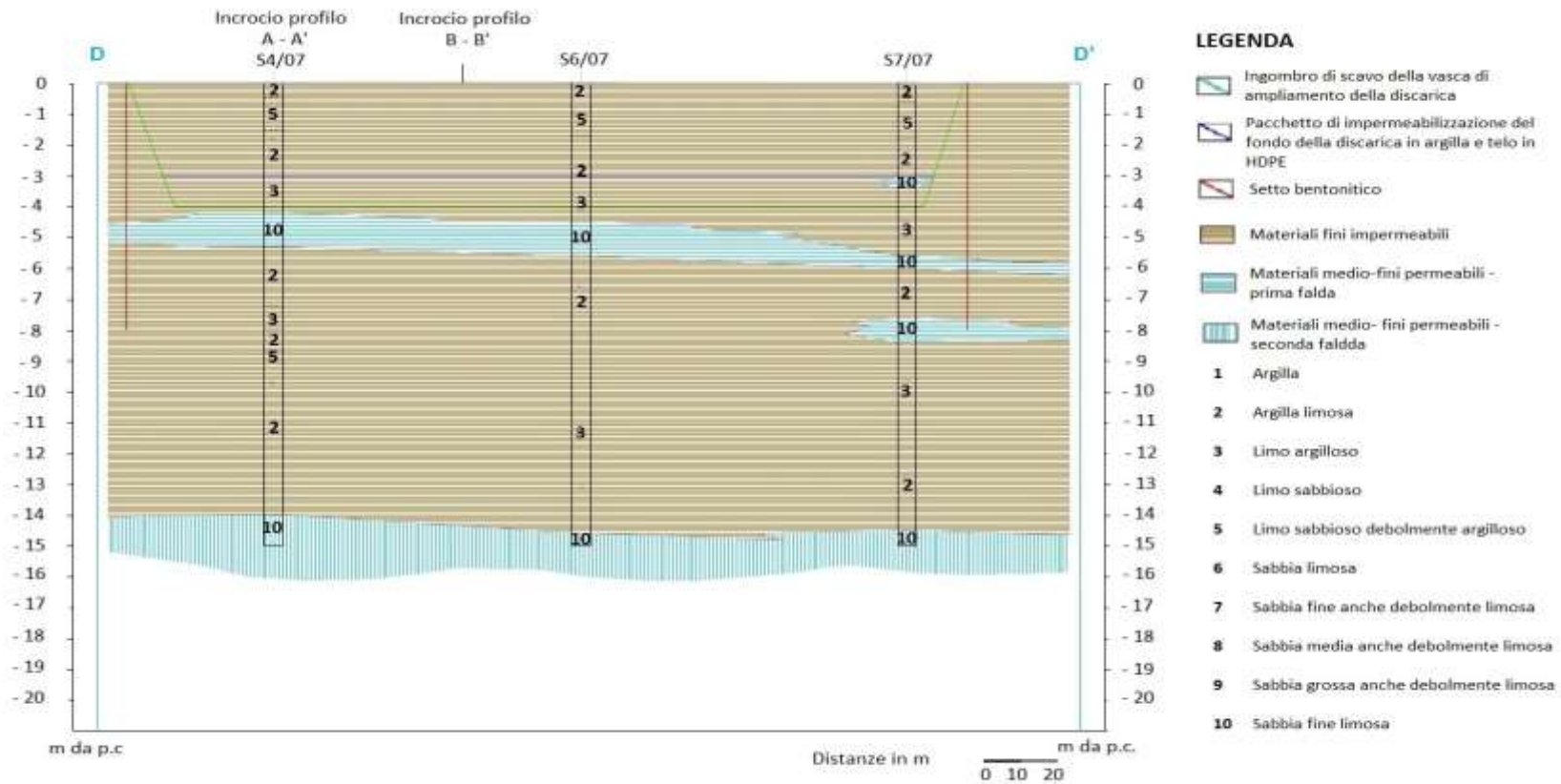


Fig. 4.3.3: Sezione stratigrafica D – D' (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

4.4. Inquadramento idrogeologico dell'area

Il deflusso sotterraneo delle acque nella bassa pianura e nel sito dell'ampliamento avviene in direzione NW-SE, con la falda freatica a pochi metri di profondità e con gradienti di circa 0.1% ed ad Este ne sono stati registrati di ancora inferiori.

La falda freatica, contenuta in acquiferi a granulometria sabbiosa, nella bassa pianura risulta meno spessa rispetto ad alta e media pianura e discontinua lateralmente. Sottostante a quest'ultima, si trova una pluralità di falde confinate, che si collegano a quelle della media pianura.

4.4.1 Idrografia superficiale

L'area in cui avverrà l'ampliamento delle nuove vasche è pianeggiante, ed è attraversata da canali e scoli.

Il canale più rilevante nel sito è il Brancaglia che scorre a 800 m ad est dell'impianto di smaltimento. Per quanto riguarda invece gli scoli, a 250 m a SE, è presente lo Scolo delle Monache, mentre nelle immediate vicinanze del lato ovest della discarica, si trova lo Scolo Meggiotto. A 20 metri da quest'ultimo, è presente lo Scolo Maceratoi. La loro profondità varia fra i 3 e i 5 metri, misurati dal piano campagna, mentre la larghezza massima sfiora i 4 metri.

Il deflusso è concordante con quello della bassa pianura, quindi con direzione NW-SE.

Nel lato a settentrione e in quello a meridione dell'impianto di smaltimento, sono presenti alcuni fossati con profondità massime di 50 e 80 cm e che sono soventemente asciutti.

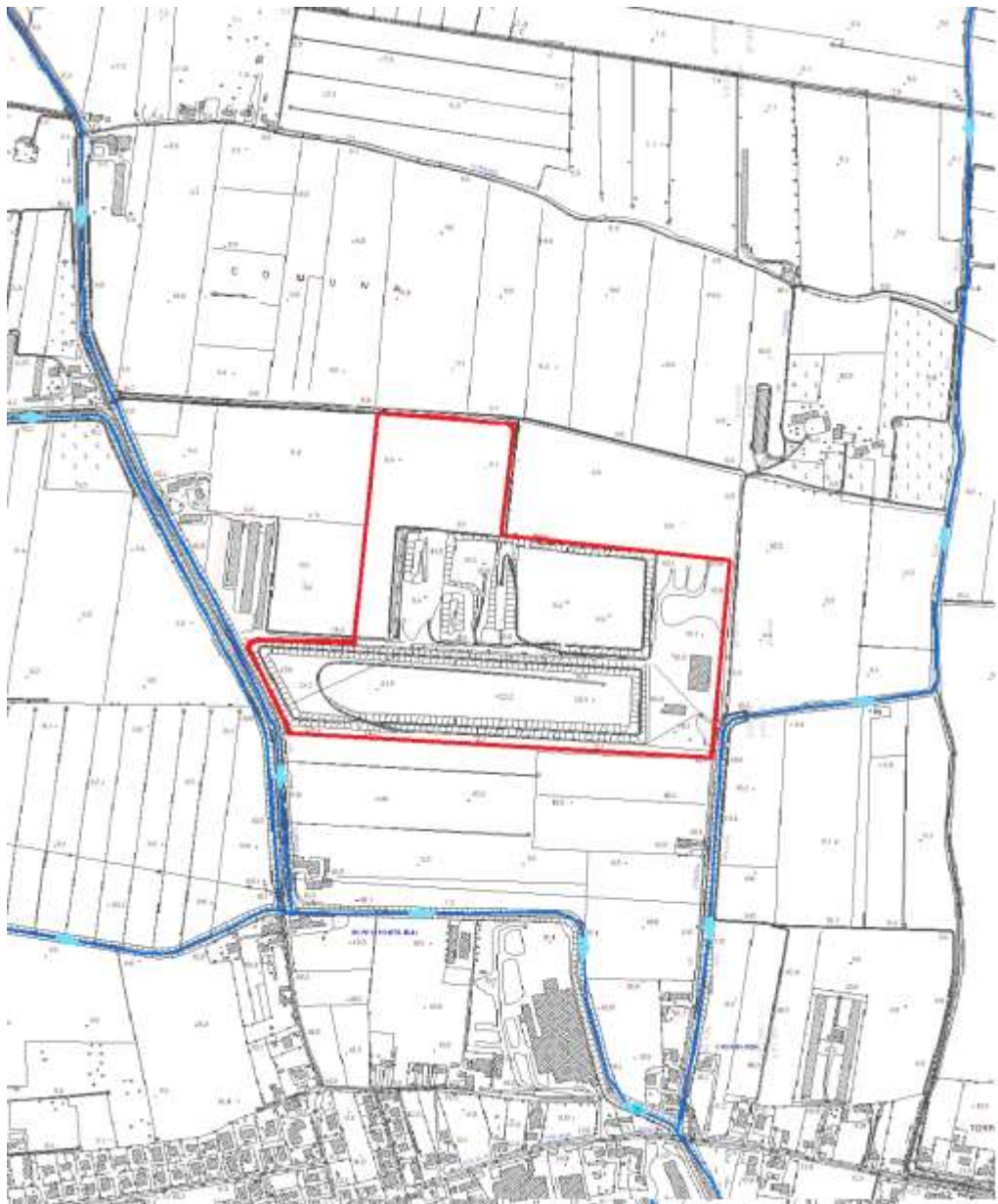


Fig. 4.4.1: Direzione di deflusso dei principali canali (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

4.4.2 Modello idrogeologico locale

Con i diversi sondaggi eseguiti, lo studio incaricato ha ricostruito un modello idrogeologico del sottosuolo compreso fra il piano campagna e i 20 metri di profondità.

Come si riscontra dalle sezioni stratigrafiche, sono state individuate due falde:

- Prima falda, ospitata da un banco di sabbia fini, spesso limose con una certa discontinuità laterale; infatti non è presente nei sondaggi relativi alla sezione B-B'.

Lo spessore è variabile e la profondità in cui si rileva dal piano campagna inizia dai -4 metri e termina a -7 metri.

- Seconda falda, interna a un banco di sabbia fine, limosa, che si inizia a riscontrare dai -14 metri dal piano campagna.

Per la prima falda è stato notato un carattere di leggera risalienza ed è stato misurato un livello statico compreso fra 1 e 4 metri di profondità.

L'oscillazione osservata nella sezione nord dell'impianto è di 1 metro, mentre a sud si pone fra i 30 cm e gli 80 cm.

Questa differenza è stata spiegata con la presenza del diaframma in bentonite, ammorsato a 7 metri di profondità dal piano campagna, che segue il perimetro delle vasche. Questo diaframma porterebbe ad un accumulo della falda nella zona che corrisponde al monte idrogeologico, quindi a nord, mentre invece ne causerebbe una diminuzione nell'area posta a valle idrogeologica.

Data la presenza di fattori come il diaframma bentonitico, i canali utilizzati per l'irrigazione, il fatto che l'area era stata sottoposta a bonifica e le stagionalità, viene fatto presente che la direzione di deflusso della prima falda è variabile.

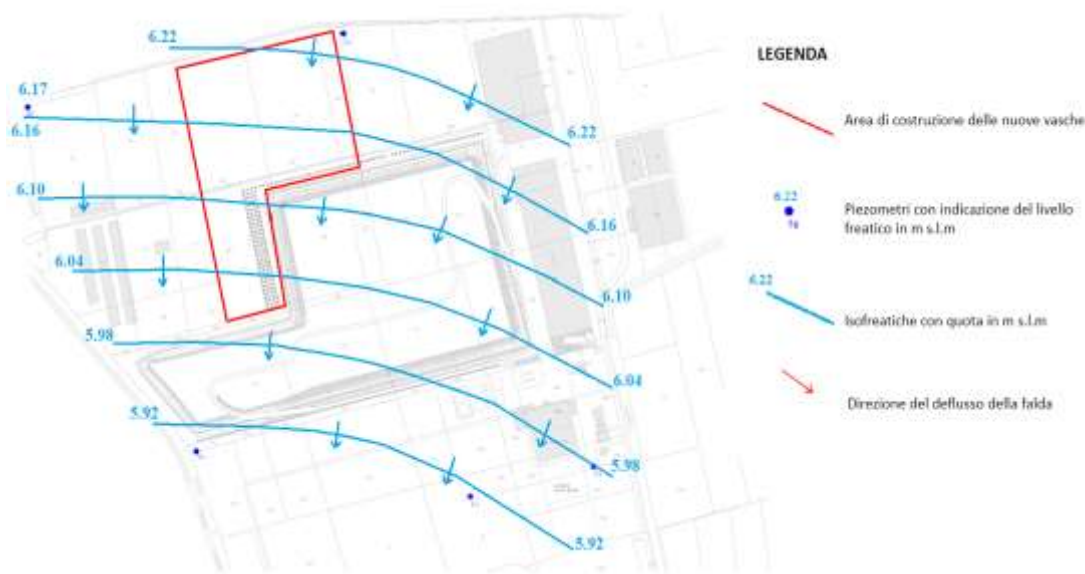


Fig. 4.4.2: Carta delle isofreatiche (Relazione geologica dell'ampliamento dell'impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi)

Con una serie di test idraulici, sono stati ricavati i valori di permeabilità per la prima falda che risultano essere sempre diversi fra la zona a monte idrogeologico e quella a valle. Infatti per la zona a nord dell'impianto di smaltimento:

- $k = 7,74 \times 10^{-6}$ m/s;
- Gradiente idraulico medio di 0,1%;
- Porosità efficace del 10,7%.

Per la zona sud, diversamente:

- $k = 5,53 \times 10^{-6}$ m/s;
- Gradiente idraulico medio di 0,1%;
- Porosità efficace del 18,3%

Mentre la velocità reale della falda a nord risulta di $7,2 \times 10^{-8}$ m/s, corrispondenti a 2.1 m l'anno, quella effettiva della falda a sud dell'impianto è di $3,02 \times 10^{-6}$ m/s,

quindi di 95 cm l'anno. Il valore medio del deflusso dell'area risulta essere di 1,57 m/anno.

L'oscillazione registrata varia da 41 cm a 81 cm e non ci sono differenze di valori fra i vari piezometri, a differenza della prima.

Il deflusso, ricavato da un valore di permeabilità sperimentale di $k = 5,6 \times 10^{-6}$ m/s e utilizzando la legge di Darcy, risulta essere di 2 metri l'anno.

4.5. Clima

Da una media, i dati ARPAV del Centro meteorologico di Teolo dal 1995, indicano per l'area di Este temperature massime estive che sfiorano i 30 °C nei mesi di Luglio ed Agosto mentre temperature minime tendenti a 0 °C a Gennaio.

L'andamento delle precipitazioni invece è bimodale, con un picco nei mesi di Maggio ed Aprile e l'altro a Novembre, in cui si raggiungono 86 mm (figura 4.5).

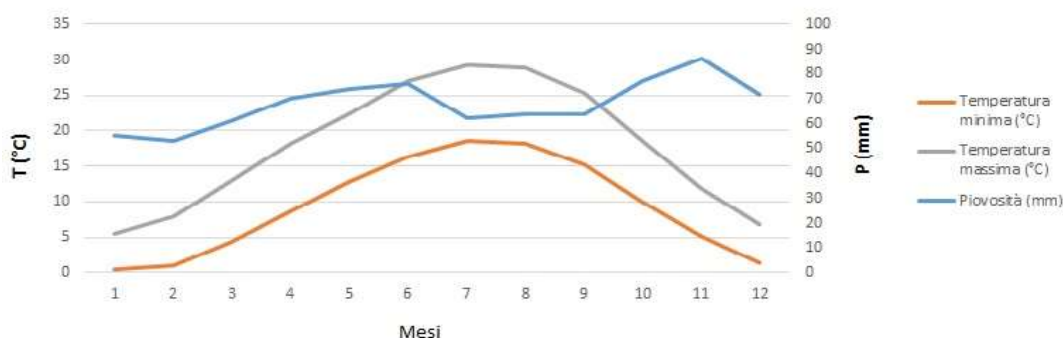


Fig. 4.5: Piovosità e temperatura ad Este (dati tratti da ARPAV)

Secondo il metodo Thornthwaite (1948) il clima è stato definito di tipo C1, ovvero da subumido a subarido. Per quanto riguarda i suoli, secondo la classificazione della Soil Taxonomy, il regime di umidità ad Este, come tutta la parte meridionale del Veneto, risulta ustico, quindi con siccità discontinua e con la sezione di controllo secca per più di 45 giorni continuativi, nel periodo estivo (ARPAV).

5. Polo Impiantistico Rifiuti presente in S.E.S.A.

Attualmente sono presenti i seguenti impianti:

- I. di compostaggio;
- I. di biodigestione anaerobica;
- I. di depurazione delle acque;
- I. di stoccaggio di ingombranti;
- I. di selezione del secco;
- I. di smaltimento degli R.S.U. e R.S.A.

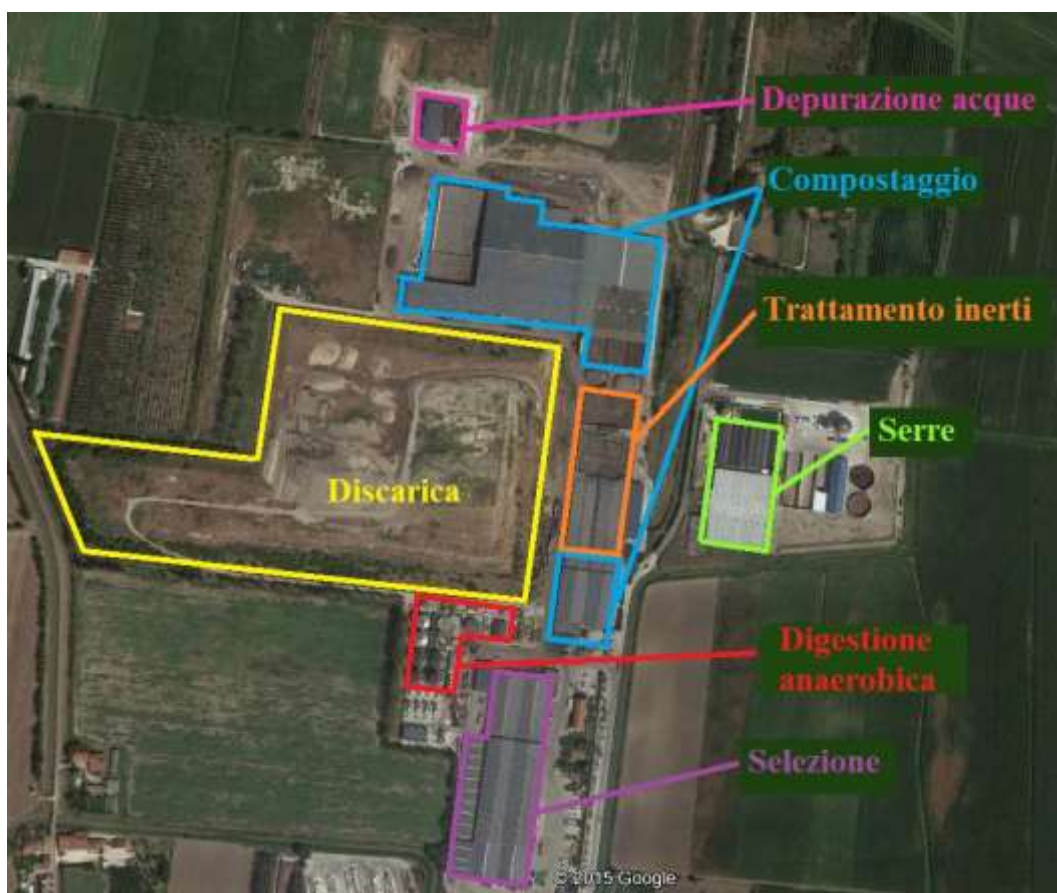


Fig. 5.1: Foto aerea del Polo Impiantistico Rifiuti di S.E.S.A.

Impianto di compostaggio

All'impianto di compostaggio giungono la Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano (F.O.R.S.U.), i Sottoprodotti di Origine Animale (S.O.A.), fanghi e la frazione del verde, i quali vengono preventivamente pesati.

Per le ramaglie e il verde in generale, avviene la triturazione e il pretrattamento nelle platee insufflate; dopo, insieme alle altre frazioni precedentemente elencate, subiscono vagliatura e spremitura.

La parte liquida viene inviata all'impianto di digestione anaerobica mentre il compost che ne rimane completa i processi di: biostabilizzazione, biossiazione, igienizzazione ed infine matura e viene confezionato.

Dall'impianto di compostaggio vengono prodotti compost per la grande distribuzione e compost di qualità.



Fig. 5.2: Impianto di compostaggio

Impianto di biodigestione anaerobica

La biodigestione anaerobica avviene nella frazione liquida, proveniente dall'impianto di compostaggio e consta di tre fasi:

1. Catalisi da parte dei microrganismi del materiale biodegradabile e successiva idrolisi delle molecole a struttura complessa (i carboidrati vengono scissi in zuccheri semplici, le proteine in aminoacidi e i grassi in glicerolo e acidi grassi).

2. Degradazione della sostanza organica, da parte dei batteri anaerobi acidofili, in acidi organici volatili (propionico, acetico e butirrico).
3. Degradazione delle molecole organiche, attuata da batteri metanigeni, con produzione di CO₂ e CH₄.

I gas prodotti all'interno dei digestori, vengono impiegati per la produzione di energia elettrica e termica con l'utilizzo di quattro impianti di cogenerazione.

L'energia elettrica viene autoconsumata e in parte ceduta alla rete urbana, mentre l'acqua calda, ottenuta dal recupero termico dei fumi di scarico, viene utilizzata per il teleriscaldamento.

Un impianto di cogenerazione è presente anche per la gestione del biogas in discarica e verrà descritto nel capitolo 6.



Fig. 5.2: Impianto di digestione anaerobica

Impianto di depurazione delle acque

Il digestato in esubero dopo la disidratazione, le acque reflue e provenienti dai piazzali e dal lavaggio merci, e il percolato (che ha subito trattamento chimico-fisico), vengono trattati biologicamente e denitrificati. Successivamente queste acque vengono ultrafiltrate con una serie di membrane ed infine subiscono osmosi inversa. Il risultato è un'acqua potabile, che viene riutilizzata all'interno degli impianti.

Impianto di stoccaggio degli ingombranti

Gli ingombranti, allo stato attuale, vengono prima pesati, successivamente stoccati ed infine trattati da terzi autorizzati.

Per gli inerti invece verranno costruiti impianti per il trattamento di quelli utilizzati nella gestione della discarica come: terre da scavo, le terre da spazzamento e rifiuti da demolizioni.

Impianto di selezione del secco

All'impianto di selezione confluiscono i rifiuti provenienti dalla raccolta differenziata urbana (R.S.U.) e i rifiuti assimilabili agli urbani (R.S.A.).

Vengono pesati prima dell'entrata mentre poi subiscono un controllo qualità e se l'esito risultasse negativo, viene stoccato negli scarti non recuperabili. Se invece l'esito fosse positivo, i selettori ottico-pneumatici permettono il recupero dei materiali riciclabili che prima di confluire al mercato delle materie prime, vengono pressati e stoccati.



Fig. 5.3: Impianto di selezione ottico-pneumatica

Impianto di smaltimento degli R.S.U. e R.S.A.

In discarica confluiscono gli scarti di lavorazione dall'impianto di selezione, e dallo stesso, il materiale che ha ricevuto esito negativo; giungono anche le terre da scavo e da spazzamento e gli inerti da demolizione che vengono frantumati e trattati. Quest'impianto verrà approfondito adeguatamente nel capitolo 6.

6. Discarica di Este gestita da S.E.S.A. S.p.A.

La discarica di Este era attiva dagli anni '70 ma è nel 1984 che viene autorizzata per il conferimento di rifiuti solidi urbani (RSU) e rifiuti assimilabili agli urbani (RSA), non pericolosi.

In discarica il conferimento medio annuale è diminuito sostanzialmente fino ad arrivare a solamente 15.000 tonnellate negli ultimi anni, pari a circa il 30% delle 48.000 permesse per legge.

Questi bassi quantitativi sono dovuti alla raccolta differenziata e all'innovativo impianto di selezione della frazione secca, dotato di lettori ottici e magneti.

La raccolta avviene in 37 Comuni degli ex bacini Padova 3 e Padova 4 che mediamente arrivano a recuperare il 70% dei rifiuti e superando il 65%, si attestano l'appellativo di "Comuni Ricicloni" da parte di Legambiente con il patrocinio del Ministero dell'Ambiente. Il materiale recuperato come i vari tipi di carta, plastica, metalli, viene reinserito nel mercato delle materie prime.

L'area occupata attualmente dalla discarica è di 130.000 m², corrispondente ad un volume di 1.520.000 m³, mentre il nuovo settore in progetto sarà di 44.500 m², con un volume finale di 566.000 m³.

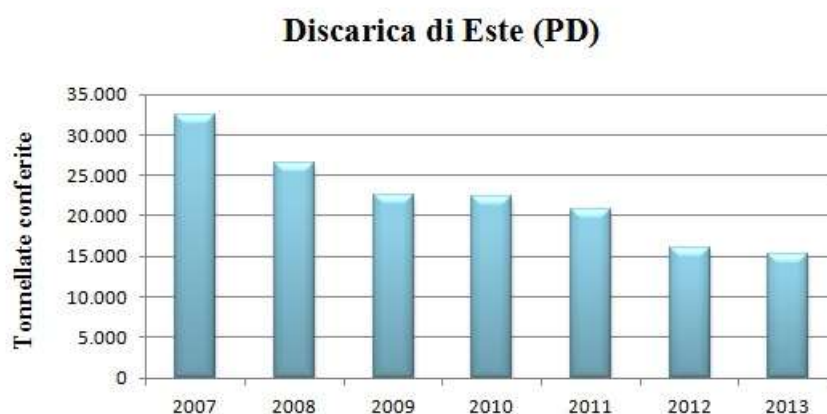


Fig. 6.0: Tonnellate di rifiuti conferiti nella discarica di Este nel lasso temporale dal 2007 al 2013

6.1. Autorizzazioni conseguite e stato attuale

La società S.E.S.A. S.p.A. gestisce dal 1995 la discarica per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani, nel Comune di Este, che risulta attiva dagli anni '70.

La vecchia discarica (denominata "lotto1") è stata costruita dopo il Decreto della Regione Veneto n. 117/AMB del 16/07/1986 e ha subito un adeguamento per il completamento e la sistemazione successivamente all'approvazione del Decreto della Regione Veneto n. 508 del 22/02/1991.

Con l'approvazione del Consiglio del Comune di Este n. 56 del 03/06/1991 e la D.G.R.V. n. 701 del 12/02/1992, è stato realizzato il "lotto 2".

Nel maggio del 1997, con la Delibera di Giunta Regionale del Veneto n. 1813 è stato approvato l'accorpamento dei due lotti realizzati.

Con la D.G.R.V n. 791 del 17/03/1998 è stato approvato il "progetto Ecosistema" ("lotto 3") che con la Delibera di Giunta Regionale del Veneto n. 1696 in data 16/06/2000 viene messo in sicurezza l'impianto smaltimento per RSU e RSA.

La Delibera della Giunta Regionale del Veneto n. 3032 emanata al 10/10/2003 ha autorizzato:

- l'esercizio di una centrale di produzione di energia elettrica e termica che viene alimentata dal biogas dell'impianto di smaltimento degli RSU;
- l'installazione ed esercizio di una centrale di produzione di energia elettrica e termica che invece viene alimentata dal biogas prodotto dall'impianto di stoccaggio colatici di FORSU presso la discarica RSU.

Successivamente il "lotto 3" ha subito un ampliamento di 95.000 m³, con il Provvedimento della Provincia di Padova n. 4941/EC/2004 del 30/12/2004.

L'autorizzazione all'esercizio della discarica per rifiuti non pericolosi è stata ottenuta in data 08/08/2005 con il Provvedimento della Provincia di Padova n. 4999/EC/2005 e poi integrata con un altro Provvedimento della Provincia (n. 5011/EC/2005 del 17/10/2005).

Con tre Provvedimenti (n. 60/IPPC/2008, 96/IPPC/2008, 131/IPPC/2010) ai sensi del D.Lgs. n. 36/2003 è stata ottenuta l'Autorizzazione Integrata Ambientale.

Per il successivo ampliamento dell'impianto di smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi, la Giunta Provinciale con la Delibera n. 256 del 29/05/2009, ha espresso giudizio favorevole di compatibilità ambientale. Con la Valutazione di Impatto Ambientale vengono conferite nella discarica solo i rifiuti solidi urbani non pericolosi residui, nel limite massimo di 48.000 tonnellate/anno, da quelli trattati nell'impianto di Selezione (attuali 98.000 tonnellate annue).

L'ampliamento doveva essere coerente con il Piano Provinciale della gestione rifiuti urbani n. 42 del 27/7/2000, approvato con la Delibera del Consiglio regionale n. 63 al 22/11/2004, per il lasso temporale tra il 2000 e il 2009. In questo Piano la gestione dei rifiuti avveniva con l'utilizzo degli impianti sia esistenti che in costruzione, includendo eventuali ampliamenti.

Nel 2012, con la Delibera del Consiglio Provinciale, attuando la legge Regionale n. 3/2000 e la Delibera della Giunta Regionale del Veneto n. 791/2009, è stato attuato il Piano Provinciale per l'arco temporale 2010-2019. Questo ha approvato l'ampliamento per la discarica di Este, con un aumento di volume di 350.000 m³ utili.

La conferma per l'ampliamento si è avuta con il Piano Regionale adottato con D.G.R. n. 264 del 05/03/2013.

Il 29 Aprile 2015 è stato approvato in Consiglio Regionale del Veneto un nuovo Piano di gestione dei rifiuti.

Allo stato attuale i lotti "Nord" ed "Ovest" non sono stati realizzati.

6.2.Lotti e settori

La discarica ha una forma sommariamente trapezoidale ed occupa una superficie di 130.000 m² (in azzurro nella figura 5.2) mentre l'ampliamento che comprenderà i lotti Nord ed Ovest, coprirà una superficie di 44.500 m² (in giallo nella figura).



Fig. 6.2.1: Visione aerea della discarica di Este e dell'ampliamento

Come risulta dalle figura 6.2.2, la discarica viene suddivisa in lotti e poi in settori.

Il lotto 1 copre un'area di 72.000 m² ed un volume di 750.000 m³ ed è stato coltivato dagli anni '70 fino alla presa in gestione da parte di S.E.S.A. S.p.A.

Il lotto 2 è di forma rettangolare, copre 32.000 m² ed un volume di 251.000 m³. Il progetto è stato redatto nel 1991 come ampliamento del primo lotto, dal lato Nord dello stesso. È suddiviso in tre settori e ciascuno di questi in 4 vasche rettangolari: A, B, C, D; ed ognuna di queste misura 43 m nel lato minore mentre 62 m in quello maggiore.

Dall' agosto del 1995, con la Delibera Regionale del Veneto n. 701/92, sono iniziati i lavori; il conferimento dei rifiuti invece è cominciato dalle vasche A e B del settore 1 a fine 1995.

Nel 1997, con la "Variante tecnica", approvata con D.G.R. n. 1813/97, è stato realizzato l'accorpamento dei due lotti che ha portato ad un incremento di volume di 69.300 m³.

Il lotto 3, il cui progetto è stato denominato "ECOSISTEMA", ha una pianta rettangolare e copre un'area di 20.000 m² e con l'accorpamento al lotto 1, il volume utile risultava di 355.000 m³.

Nel 2000 nel lotto 3 venivano costruiti due settori e ciascuno dei quali è suddiviso nelle vasche A e B. Per il settore 1, entrambe le vasche rettangolari misurano 86 m nel lato di maggior lunghezza e 66 m nel lato inferiore.

Nel secondo settore invece le vasche hanno dimensioni di 54 m nel lato corto mentre 86 m nel lato lungo.

Nel 2007 invece è stato costruito un terzo lotto (indicato con "Am" nella figura 5.2.2 e 5.2.3) con superficie di 6.000 m², sempre suddiviso in due vasche rettangolari i cui lati misurano 35 m e 86 m.

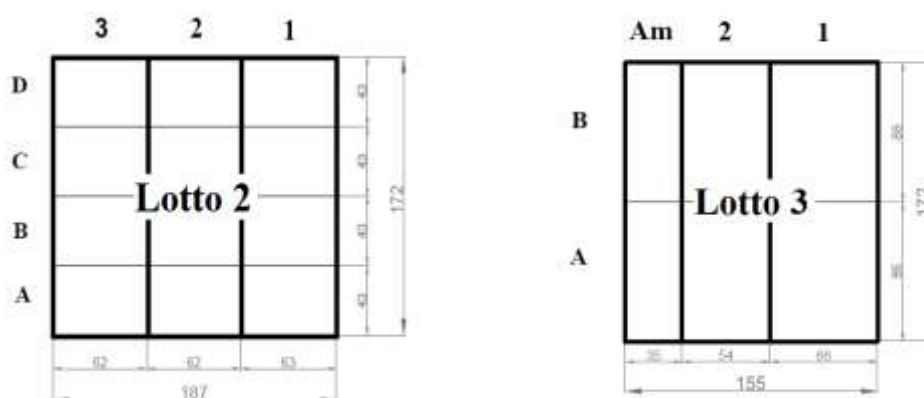


Fig. 6.2.2: Settori e vasche dei lotti 2 e 3

6.2.1 Il nuovo ampliamento

Il nuovo ampliamento è stato autorizzato con il giudizio positivo di compatibilità ambientale al 29/05/2009 e sarà realizzato ad occidente e a settentrione della discarica esistente (figura 5.2.3).

È suddiviso in due sezioni:

- Lotto Ovest: sarà rettangolare e coprirà una superficie di 10.500 m².
- Lotto Nord: la cui pianta sarà sempre rettangolare e verrà suddiviso in tre settori che complessivamente copriranno una superficie di 34.000 m².

La superficie totale sarà di 44.500 m² e le altezze massimali, con la copertura definitiva, saranno di 14 m mentre di 11.50 m lungo gli argini perimetrali. Il volume finale dei lotti Nord ed Ovest, risulterà circa di 643.000 m³.

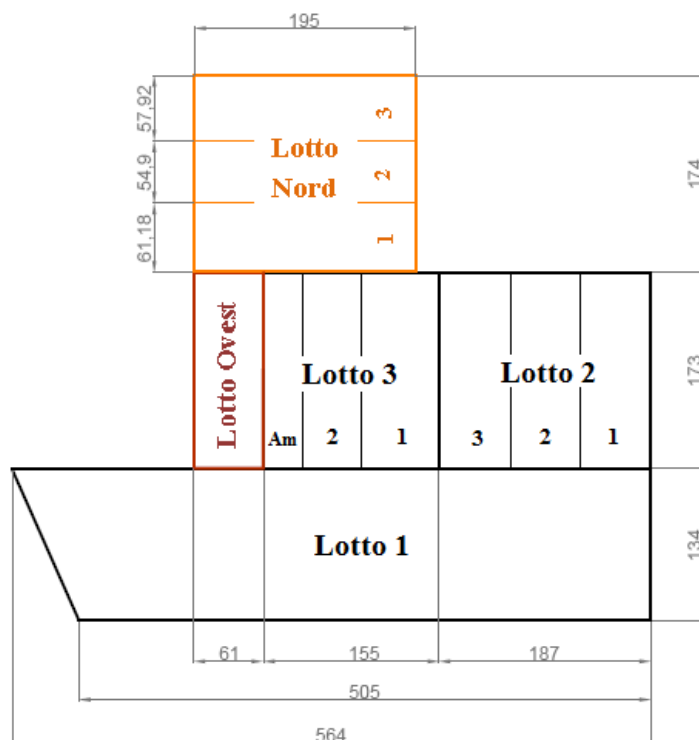


Fig. 6.2.3: Planimetria della discarica comprensiva del nuovo ampliamento, divisa nei diversi lotti e settori

6.3.Fondo

Il fondo della discarica è protetto in modi molto diversi in quanto questa è costituita da molteplici lotti, progettati in anni differenti.

Il lotto 1 consiste nella parte che è stata presa in carico dalla S.E.S.A. S.p.A. quando questa era già esaurita e che risultava attiva dagli anni '70. Al tempo, l'assenza di una specifica legislazione permetteva la posa dei rifiuti sullo stato argilloso compatto e continuo, presente in sito.

Il lotto 2 e il lotto 3, invece mostrano un sistema di isolamento basale con stratificazione complessa (visibile nella figura 6.3.1).

Si distinguono, partendo dal basso:

- strato di argilla naturale dello spessore di 50 cm, con permeabilità $k \leq 10^{-9}$ m/s;
- geomembrana in HDPE di 2 mm;
- strato di argilla di riporto con permeabilità $k \leq 10^{-9}$ m/s;
- geotessile;
- strato di drenaggio con granulometria ghiaiosa nel quale sono collocati le tubazioni per la captazione del percolato, avvolte da ghiaia.

I lotti Nord ed Ovest saranno impermeabilizzati con lo stesso tipo di isolamento.

Per la protezione delle matrici ambientali è stato realizzato una barriera perimetrale costituita da un diaframma verticale bentonitico con spessore di 25 cm, che si ammorsa ad uno strato argilloso ad una profondità di 7 metri.

L'infissione è stata realizzata mediante vibroflottazione di camicie di acciaio con incastri atti a mantenere una perfetta continuità del diaframma. Il processo veniva guidato da telai metallici che consentivano di mantenere il corretto allineamento. Anche la nuova barriera, che si innesterà con la vecchia in due punti, verrà realizzata tramite infissione di casseri d'acciaio da parte di un vibratore idraulico ad alta frequenza che permette la compattazione del terreno. I casseri che verranno utilizzati avranno superiormente una tramoggia con chiusura ermetica. Verrà immessa internamente aria alla pressione adeguata per resistere alle spinte del terreno. Questo permetterà di garantire lo spessore adeguato del diaframma anche in fase di estrazione del cassero con il vibratore idraulico.

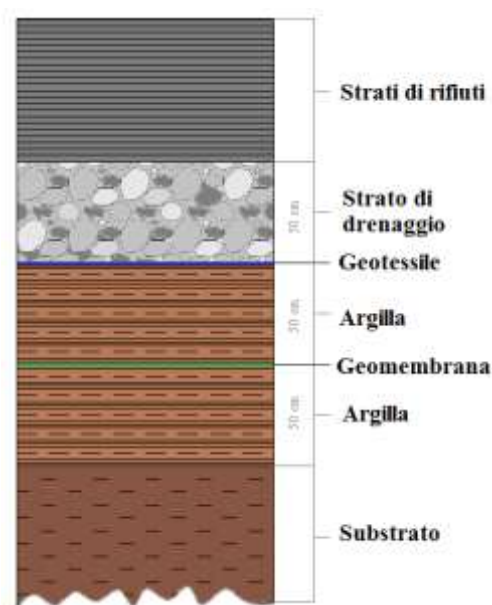


Fig. 6.3.1: Colonna stratigrafica dell'impermeabilizzazione basale dei lotti 2 e 3

È presente inoltre una barriera idraulica di monitoraggio realizzata nel 2003, composta da 9 piezometri, con passo di circa 50 m.

I piezometri sono dotati di pompa ad immersione e del collegamento ad una centralina che controlla le singole pompe.

La barriera idraulica di monitoraggio intercetta nel lato a sud della vecchia discarica la prima falda detta superficiale.

L'attuale barriera idraulica è stata realizzata soprattutto per fini di monitoraggio e si prevede di aumentare l'efficienza con nuovi pozzi tali che i coni di depressione, prodotti dal pompaggio nei singoli pozzi, si intersechino in modo da creare uno sbarramento senza soluzione di continuità. Quando verranno ottenute le necessarie autorizzazioni, i pozzi attuali saranno integrati con altri nuovi, in grado di garantire lo sbarramento idraulico tenuto conto della bassa permeabilità dell'acquifero e delle basse portate emungibili dalla falda.

Con questo potenziamento della barriera idraulica, si andrebbe a contrastare in efficacemente gli eventuali inquinamenti della falda con un sistema di emungimento well-point.

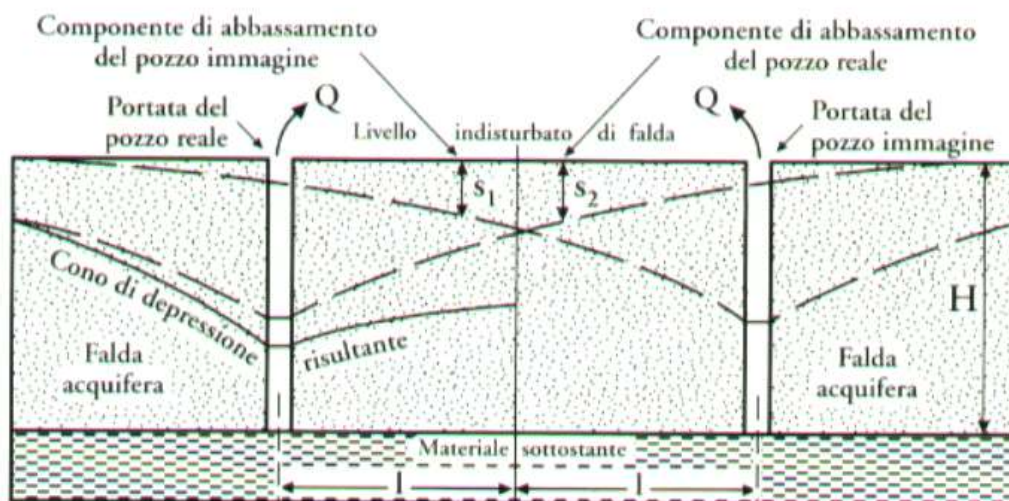


Fig. 6.3.2: Sistema di emungimento well-point

6.4. Coltivazione delle celle

I rifiuti prima del conferimento vengono controllati tramite il ritiro e controllo della documentazione, la pesatura, seguono ispezioni e verifica dei codici CER. Nel caso non risultasse idoneo, il rifiuto viene classificato non conforme e di conseguenza respinto.

I codici CER che potrebbero essere smaltiti in impianto sono molteplici:

Codice CER	Descrizione
20 01 01	Carta e cartone
20 01 02	Vetro
20 01 08	Rifiuti biodegradabili di cucine e mense
20 01 10	Abbigliamento
20 01 11	Prodotti tessili
20 01 28	Vernici, inchiostri, adesivi e resine diversi da quelli di cui alla voce 20 01 27
20 01 30	Detergenti diversi da quelli di cui alla voce 20 01 29
20 01 38	Legno, diverso da quello di cui alla voce 20 01 37
20 01 39	Plastica
20 01 41	Rifiuti prodotti dalla pulizia di camini e ciminiere
20 01 99	Altre frazioni non specificate altrimenti
20 02 01	Rifiuti biodegradabili
20 02 02	Terra e roccia
20 02 03	Altri rifiuti non biodegradabili
20 03 01	Rifiuti urbani non differenziati
20 03 02	Rifiuti dei mercati
20 03 03	Residui della pulizia stradale
20 03 04	Fanghi delle fosse settiche
20 03 06	Rifiuti della pulizia delle fognature
20 03 07	Rifiuti ingombranti
20 03 99	Rifiuti urbani non specificati altrimenti
03 01 01	Scarti di corteccia e sughero
03 03 01	Scarti di corteccia e legno
03 03 07	Scarti della separazione meccanica nella produzione di polpa da rifiuti di carta e cartone
04 01 01	Carniccio e frammenti di calce
04 01 09	Rifiuti delle operazioni di confezionamento e finitura
04 02 09	Rifiuti da materiali compositi (fibre impregnate, elastomeri, plastomeri)
04 02 15	Rifiuti da operazioni di finitura, diversi da quelli di cui alla voce 04 02 14
04 02 21	Rifiuti da fibre tessili grezze
04 02 22	Rifiuti da fibre tessili lavorate

Codice CER	Descrizione
08 01 12	Pitture e vernici di scarto, diverse da quelle di cui alla voce 08 01 11
08 02 01	Polveri di scarto di rivestimenti
08 03 18	Toner per stampa esauriti, diversi da quelli di cui alla voce 08 03 17
08 04 10	Adesivi e sigillanti di scarto, diversi da quelli di cui alla voce 08 04 09
15 01 01	Imballaggi in carta e cartone
15 01 02	Imballaggi in plastica
15 01 03	Imballaggi in legno
15 01 04	Imballaggi metallici
15 01 05	Imballaggi in materiali compositi
15 01 06	Imballaggi in materiali misti
15 01 07	Imballaggi in vetro
15 01 09	imballaggi in materia tessile
15 02 03	Assorbenti, materiali filtranti, stracci e indumenti protettivi, diversi da quelli di cui alla voce 15 02 02
16 01 03	Pneumatici fuori uso
16 01 12	Pastiglie per freni, diverse da quelle di cui alla voce 16 01 11
16 01 19	Plastica
16 01 20	Vetro
16 03 04	Rifiuti inorganici, diversi da quelli di cui alla voce 16 03 03
16 03 06	Rifiuti organici, diversi da quelli di cui alla voce 16 03 05
17 02 01	Legno
17 02 03	Plastica
17 04 11	Cavi, diversi da quelli di cui alla voce 17 04 10
17 06 04	Materiali isolanti diversi da quelli di cui alle voci 17 06 01 e 17 06 03
17 08 02	Materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17 08 01
19 08 01	Vaglio
19 08 02	Rifiuti dell'eliminazione della sabbia
19 08 05	Fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane
19 08 12	Fanghi prodotti dal trattamento biologico delle acque reflue industriali, diversi da quelli di cui alla voce 19 08 11
	alla voce 19 08 11
19 08 14	Fanghi prodotti da altri trattamenti delle acque reflue industriali, diversi da quelli di cui
	alla voce 19 08 13
19 12 12	Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi
	da quelli di cui alla voce 19 12 11

Tabella 6.4.1: Rifiuti conferibili in impianto, tratti dall' Autorizzazione Integrata Ambientale 2010

Con la selezione invece, i rifiuti conferiti realmente in discarica si riducono molto.

Codice CER	Descrizione
20 02 03	Altri rifiuti non biodegradabili
20 03 01	Rifiuti urbani non differenziati
20 03 03	Residui della pulizia stradale
20 03 06	Rifiuti della pulizia delle fognature
15 01 06	Imballaggi in materiali misti
19 08 01	Sottovaglio
19 08 02	Rifiuti dell'eliminazione della sabbia
19 08 05	Fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane
19 08 12	Fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue industriali
19 12 12	Rifiuti prodotti dal trattamento meccanico

**Tabella 6.4.2: Tipologia di rifiuti stoccati in discarica nel periodo
2007 - 2014**

Dal 2007 ad ora il quantitativo di fanghi conferiti è diminuito notevolmente fino a scomparire. Lo stesso è avvenuto per quanto riguarda la varietà dei rifiuti stoccati che negli ultimi anni risultano per lo più prodotti dal trattamento meccanico e residui della pulizia stradale.

I rifiuti vengono prima stesi omogeneamente con pale cingolate in strati sottili dello spessore dei 30 cm e poi costipati ripetutamente con compattatori a ruote dentate dal peso di 46 tonnellate. Tutto ciò avviene in giornata e all'interno di celle con dimensioni di circa 2.000 m².

Per la realizzazione dei nuovi settori, lo scarico dei rifiuti inizierà appena verrà ultimata l'esecuzione dei settori anche per singoli stralci; contemporaneamente allo stoccaggio potrà avvenire la predisposizione delle successive vasche.

6.5. Coperture

6.5.1 Copertura giornaliera

Al termine della giornata lavorativa, viene coperto il fronte di avanzamento dei rifiuti con terreno vegetale e rifiuti identificati con i codici CER in tabella 6.5.1, con un limite massimale di 15.000 tonnellate annue.

I materiali utilizzati per la copertura giornaliera possono essere lasciati come base per il giorno successivo oppure, molto più probabilmente, tolti e accumulati alla sommità della discarica per essere riutilizzati per interventi di emergenza.

Codice CER	Descrizione
10 01 01	Ceneri pesanti, scorie e polveri di caldaia (tranne le polveri di caldaia di cui alla voce 10 01 04)
10 01 02	Ceneri leggere di carbone
10 01 17	Ceneri leggere prodotte dal coincenerimento, diverse da quelle di cui alla voce 10 01 16
17 05 04	Terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03
19 01 12	Ceneri pesanti e scorie, diverse da quelle di cui alla voce 19 01 11
19 01 16	Polveri di caldaia, diverse da quelle di cui alla voce 19 01 15
19 05 01	Parte di rifiuti urbani e simili non compostata
19 05 03	Compost fuori specifica
19 09 02	Fanghi prodotti dai processi di chiarificazione dell'acqua
19 09 03	Fanghi prodotti dai processi di decarbonatazione
19 12 12	Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11
19 13 02	Rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 01
19 13 04	Fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 03
19 13 06	Fanghi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 05
20 03 03	Residui della pulizia stradale

Tabella 6.5.1: rifiuti utilizzabili per la copertura giornaliera

6.5.2 Copertura provvisoria

Prima della copertura finale è possibile stenderne una provvisoria, con struttura semplice, volta a minimizzare l'infiltrazione delle acque meteoriche, limitare l'evapotraspirazione e di ridurre la formazione di percolato.

La copertura provvisoria è presente nei lotti 2 e 3, tranne che nell'ampliamento che risulta attualmente in uso.

Per i lotti Nord ed Ovest sarà costituita (come nei lotti già coperti) al 50% da uno strato di un metro di compost e per il restante 50% da uno strato drenante formato da frammenti di vetro.

Il limite imposto dall' Autorizzazione Integrata ambientale è di 150.000 tonnellate per la copertura provvisoria.

Quando verrà realizzata la copertura finale, il capping dovrà essere rimosso e il materiale potrà essere riutilizzato per la copertura definitiva.

6.5.3 Copertura definitiva

La copertura finale del lotto attivo dagli anni Sessanta fino ai Novanta presenta una copertura più semplice rispetto a quella che verrà realizzata nei lotti 2, 3 e futuri lotti Ovest e Nord.

Questo perché la legislazione ai tempi della chiusura del lotto 1 era diversa e poi è stato necessario un adeguamento al D.Lgs. n. 36/2003.

È stato aggiunto allo strato a bassa permeabilità, costituito da argilla, uno strato di compost di 50 cm e uno strato finale di 100 cm, formato da terreno vegetale e compost per l'attecchimento delle piante. È in progetto anche una risagomatura della vecchia discarica che comporterà la sostituzione dell'attuale copertura definitiva con quella che verrà realizzata anche negli altri lotti.

Conformemente al D.Lgs. 36/2006, nei lotti 2, 3, Nord ed Ovest la copertura definitiva sarà costituita, partendo dalla massa dei rifiuti, dai seguenti strati:

- Strato di regolarizzazione: è lo strato che sarà direttamente a contatto con gli strati di rifiuti o per il lotto 1, a contatto con il precedente strato di regolarizzazione. Verrà costruito con le terre di scavo dei nuovi lotti, eventualmente anche da compost e da terre di bonifica (CER 17 05 04). Potranno essere anche utilizzati i rifiuti in tabella 5.5.3.1.

	Codice CER	Descrizione
Rifiuti prodotti da centrali termiche	10 01 01	Ceneri pesanti, scorie e polveri di caldaia (tranne le polveri di caldaia di cui alla voce 10 01 04)
	10 01 02	Ceneri leggere di carbone
	10 01 17	Ceneri leggere prodotte dal coiscenerimento, diverse da quelle di cui alla voce 10 01 16
Terre da bonifica	17 05 04	Terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03
Rifiuti da incenerimento di rifiuti	19 01 12	Ceneri pesanti e scorie, diverse da quelle di cui alla voce 19 01 11
	19 01 16	Polveri di caldaia, diverse da quelle di cui alla voce 19 01 15
Residui della pulizia stradale	20 03 03	Residui della pulizia stradale
Rifiuti prodotti nell'attiguo impianto di compostaggio	19 05 01	Parte di rifiuti urbani e simili non compostata
	19 05 03	Compost fuori specifica
Rifiuti prodotti dalla potabilizzazione dell'acqua	19 09 02	Fanghi prodotti dai processi di chiarificazione dell'acqua
	19 09 03	Fanghi prodotti dai processi di decarbonatazione
Rifiuti prodotti dalle operazioni di bonifica	19 13 02	Rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 01
	19 13 04	Fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 03
	19 13 06	Fanghi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 19 13 05
Rifiuti prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti	19 12 12	Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11

Tabella 6.5.3.1: Rifiuti utilizzabili per lo strato di regolarizzazione

- Strato di drenaggio: questo strato conterrà le tubazioni per il biogas, sarà composto da ghiaia e avrà uno spessore di 50 cm. Sarà protetto inferiormente e superiormente da strati antitasamento, costituiti da compost, con spessore dai 5 ai 10 cm.

- Strato minerale a bassa permeabilità: sarà formato prevalentemente di argilla e avrà uno spessore di almeno 50 cm. La sua funzione è di minimizzare l'entrata delle acque meteoriche nella massa dei rifiuti e allo stesso tempo di accumularle negli strati sovrastanti dai quali verrà rimossa per evapotraspirazione.
- Strato drenante: la sua funzione è di impedire la formazione di un battente idraulico al di sopra dello strato minerale a bassa permeabilità. Come lo strato di drenaggio, sarà protetto superiormente e inferiormente da due strati antintasamento. Avrà uno spessore di 50 cm e sarà costituito da ciottoli oppure sabbia o dai materiali presenti in tabella 6.5.3.2.

	Codice CER	Descrizione
Rifiuti di costruzione e demolizione	17 01 01	Cemento
	17 01 03	Mattonelle e ceramiche
	17 01 07	Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 17 01 06
	17 05 08	Pietrisco per massicciate ferroviarie, diverso da quello di cui alla voce 17 05 07
	17 08 02	Materiali da costruzione a base di gesso diversi da quelli di cui alla voce 17 08 01
Vetro di tutti i tipi	10 11 03	Scarti di materiale in fibra a base di vetro
	10 11 12	Rifiuti di vetro diversi da quelli di cui alla voce 10 11 11
	17 02 02	Vetro
Rifiuti dalla fabbricazione di materiali da costruzione	10 12 01	Scarti di mescole non sottoposti a trattamento termico
	10 12 08	Scarti di ceramica, mattoni, mattonelle e materiali da costruzione (sottoposti a trattamento termico)
	10 13 11	Rifiuti della produzione di materiali compositi a base di cemento, diversi da quelli di cui alle voci 10 13 09 e 10 13 10
	10 13 14	Rifiuti e fanghi di cemento
Rifiuti da estrazione di materiali da cava o miniera	01 01 02	Rifiuti da estrazione di minerali non metalliferi
	01 04 08	Scarti di ghiaia e pietrisco, diversi da quelli di cui alla voce 01 04 07
	01 04 13	Rifiuti prodotti dalla lavorazione della pietra, diversi da quelli di cui alla voce 01 04 07
Sovvallo	19 05 01	Parte di rifiuti urbani e simili non compostata
	19 12 04	Plastica e gomma
	19 12 05	Vetro
	19 12 12	Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11

Tabella 6.5.3.2: Rifiuti utilizzabili per lo strato drenante

- Strato di copertura vegetale: avrà uno spessore di almeno 100 cm ed ha la funzione di favorire la crescita della vegetazione che sarà autoctona.

La composizione sarà di terreno vegetale, compost ed eventualmente terreno derivante dallo scavo dei nuovi lotti.

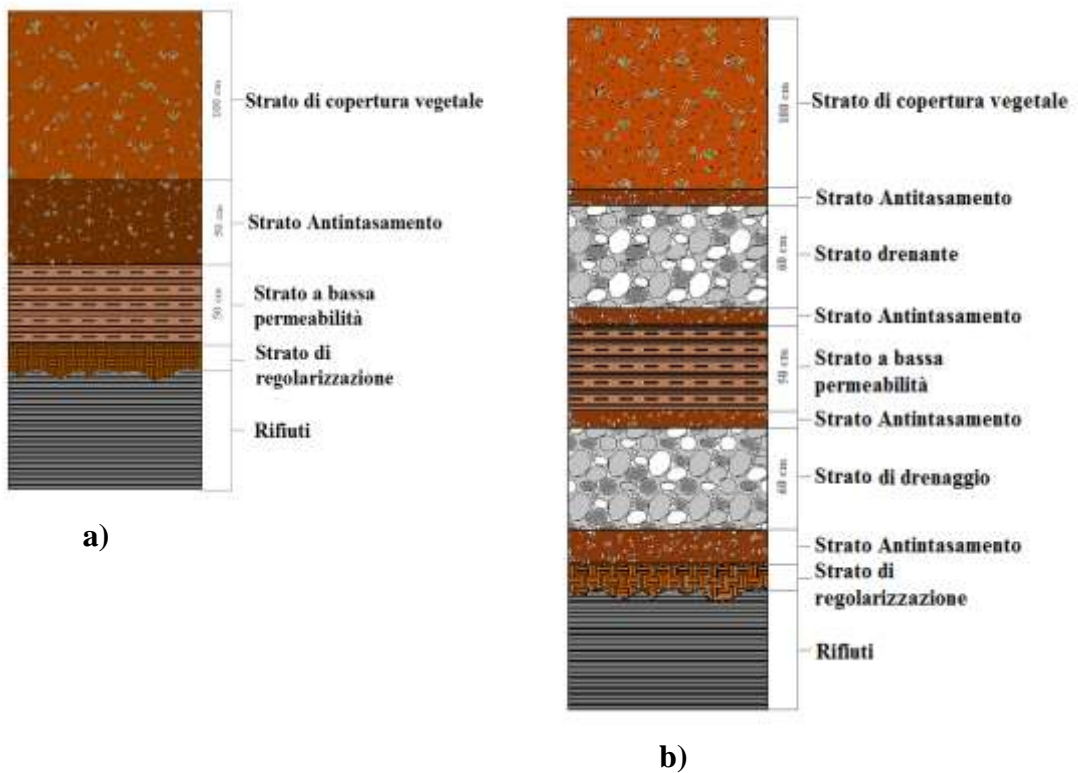


Fig. 6.5.3.3: a) Copertura definitiva dell'attuale lotto 1; b) Copertura definitiva prevista per tutti i lotti della discarica

6.6 Gestione del percolato

Il fondo della discarica presenta un'inclinazione dell'1% dal centro di ogni vasca verso i lati, per far confluire agevolmente il percolato verso i punti di raccolta.

Le tubazioni sono formate dalla coestrusione di due pareti concentriche di cui quella interna e liscia è in LDPE, mentre quella esterna si presenta corrugata ed è in HDPE. Sono microfessurate ed esternamente hanno un diametro di 200 mm. Sono disposte a spina di pesce nei diversi settori e sono avvolte da ghiaia e ciottoli di fiume (con diametro massimo di 80 mm).

Le linee di drenaggio di ogni settore confluiscono in pozzetti per la raccolta del percolato in cui sono immerse delle pompe. I pozzi risultano costituiti da moduli in calcestruzzo impilati che aumentano numericamente con la crescita in altezza della discarica. Nei pozzi si attua lo spurgo automatico e di conseguenza il livello interno viene mantenuto basso.

Il percolato viene pompato tramite elettropompe sommerse e fisse verso cisterne di raccolta in acciaio inox. Da questo punto viene inviato, tramite condotte, all'impianto di trattamento chimico, fisico e biologico internamente agli impianti di S.E.S.A.

Nell'impianto chimico-fisico, vengono rimossi i solidi sospesi e le sostanze colloidali, queste agendo attraverso la flocculazione mentre vengono tolti i metalli pesanti (in particolar modo Piombo, Rame, Zinco e Nichel) per precipitazione, in forma di idrossidi.

È dotato di un sistema di misurazione automatico e continuo che permette la registrazione dei dati di portata, pH e conducibilità sia in ingresso che in uscita.

Attualmente il fluido così pretrattato viene inviato ad un impianto di depurazione biologico.

Il percolato viene sottoposto ad analisi trimestralmente.

6.6 Gestione del biogas

Dal 1997 sono state eseguite le prime trivellazioni per i pozzi di drenaggio del biogas, la rete di captazione e l'impianto di recupero energetico.

Dato l'elevato potere energetico del biogas, viene recuperato nell'alimentazione dei gruppi di cogenerazione dell'energia elettrica; questa viene poi ceduta alla rete urbana.

L'estrazione del biogas avviene tramite pozzi di captazione, visibile nella figura 6.6.1, che contengono scaricatori di condensa e sistemi di drenaggio, che si collegano alle stazioni di regolazione tramite linee di trasporto in HDPE.



Fig. 6.6.1: Foto di uno dei pozzi per la captazione del biogas posizionato nella scarpata sud della discarica

Le stazioni di regolazione (presente in figura 6.6.2) riuniscono le linee che provengono dalle stesse aree così da poter regolare separatamente ogni singola linea o pozzo, tramite il controllo della depressione mediante valvole.



Fig. 6.6.2: Foto di una stazione di regolazione del biogas

Dalle stazioni si diparte il collettore principale che si collega all'impianto di cogenerazione che produce energia elettrica.

La rete di aspirazione del biogas viene continuamente monitorata tramite valvole di intercettazione, un sistema automatico di regolazione della depressione ed uno di scarico automatico della condensa e un'unità di deumidificazione. Inoltre sono presenti un sistema di regolazione della pressione del biogas in entrata ai gruppi elettrogeni ed uno di alimentazione dell'aria.

L'Azienda inoltre controlla pozzetti e linee giornalmente, effettua un'analisi quantitativa e qualitativa settimanale di metano, ossigeno e anidride carbonica presenti nel biogas ed effettua annualmente un'analisi qualitativa del biogas in entrata alla centrale di aspirazione e cogenerazione.

6.6.1 Teleriscaldamento

Dal raffreddamento dei motori della centrale di cogenerazione del biogas, si produce energia termica, la quale viene sfruttata tramite l'impianto del teleriscaldamento in cui fluisce l'acqua che arriva ad una temperatura di 85° C.

Negli impianti in cui non è presente alcuna rete per il teleriscaldamento, quest'energia termica, corrispondente all'80% dell'energia prodotta, viene dispersa in atmosfera.

In questo modo vengono riscaldate tutte le utenze aziendali e parte del comune di Este ed Ospedaletto Euganeo che hanno installato degli scambiatori di calore a piastra, possono ridurre la dipendenza dalla rete urbana, abbattendo inoltre i costi di gestione.

La rete del teleriscaldamento è attualmente in ampliamento.

7. Cedimenti in discariche di R.S.U.

A causa della natura fortemente eterogenea dei rifiuti solidi urbani, la compressibilità dei rifiuti appena deposti risulta elevata (Sowers, 1973). Le particelle sono raggruppabili in elementi inerti stabili, elementi particolarmente deformabili ed elementi degradabili. Queste particelle si dispongono lasciando fra di esse dei vuoti che vengono riempiti da gas e da liquidi, che possono essere il percolato in via di formazione e l'acqua. Tutti questi elementi interagiscono fra di loro. L'interazione, secondo Edil et al. (1990) e Grisolia et al. (1995) avviene tra fattori quali la composizione iniziale, il contenuto di sostanza organica, l'età e l'altezza del cumulo di rifiuti. Altri fattori influenti sono: la densità, l'impermeabilizzazione della discarica e la gestione di percolato e biogas, i fattori ambientali (temperatura, precipitazioni, umidità), come vengono disposti i rifiuti, in particolare lo spessore degli strati e se vengono pretrattati (figura 7.0).

Per favorire la compattazione dei rifiuti vengono adottati accorgimenti come compattatori con pesi che variano dalle 30 alle 50 tonnellate, pretrattamenti di tipo meccanico o biologico, adeguati sistemi per la captazione di percolato e biogas ed infine la disposizione per strati.

Dagli studi di Manassero et al. (1996), con l'applicazione del carico, le particelle che costituiscono il cumulo di rifiuti subiscono prima distorsione, si piegano e si riorientano. Successivamente con lo spostamento delle particelle con granulometria più fine verso i vuoti, subiscono un primo cedimento, mentre a seguito delle reazioni chimiche, avviene un indebolimento e rottura nei collegamenti fra le particelle, con conseguente cedimento. Questa conseguenza si verifica anche dopo reazioni di biodegradazione e per il carico dei rifiuti sovrastanti.

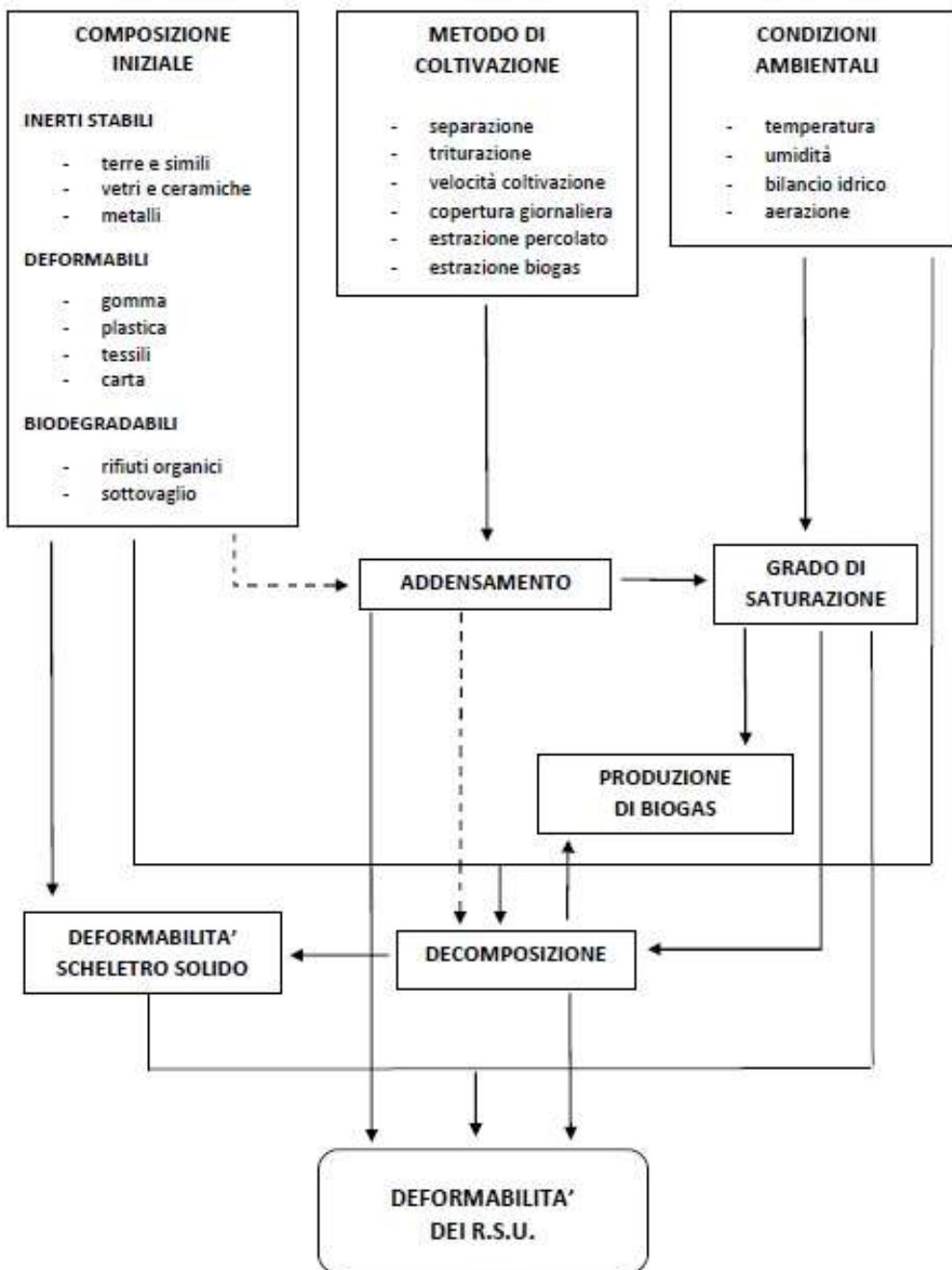


Fig. 7.0: Fattori che influenzano la deformabilità dei rifiuti (Grisolia et al., 1995)

Sivakumar Babu et al. (2010) individuano come processi che portano ai cedimenti:

- Fisico – meccanici: si manifestano molto nella fase iniziale e sono causati dall'aumento dello sforzo verticale dovuto all'aggiunta di carichi e dal peso dei rifiuti stesso.
- Chimico – biologici: avvengono la corrosione delle sostanze ferrose e la degradazione delle particelle organiche. Quest'ultima è dovuta a processi di decomposizione, con la produzione del percolato e biogas (fasi liquida e gassosa).
- Dissolutivi: con una riduzione delle dimensioni degli elementi che costituiscono il rifiuto, con una conseguente compattazione in seguito all'assestamento delle particelle.

7.1. Tipologie di cedimenti

I cedimenti che si verificano nei rifiuti solidi urbani sono divisibili in tre tipologie:

- Cedimenti istantanei
- Cedimenti primari
- Cedimenti secondari

I cedimenti istantanei si verificano appena posto sopra ai rifiuti un carico. I rifiuti appena depositi presentano il più alto indice dei vuoti e quindi di compressibilità a causa dei pori presenti e della deformabilità delle particelle (Watts e Charles, 1999).

Appena viene posizionato il carico, avvengono spostamenti fra le frazioni solide dei rifiuti, deformazioni volumetriche delle particelle solide, compressione dei gas e rottura delle componenti più fragili.

I cedimenti primari sono dovuti anch'essi alla compattazione meccanica generata dagli strati sovrastanti che viene calcolata in modo monodimensionale; con l'incremento dello sforzo verticale efficace, ne deriva una deformazione immediata.

Con i cedimenti primari nei rifiuti solidi urbani avviene la dissipazione da parte della frazione liquida dai pori e della frazione gassosa dai vuoti.

Solitamente per caratterizzare la compressione primaria viene utilizzata la Teoria di Terzaghi per le terre coesive sature (1943), con prova edometrica standard, in quanto nel provino con l'aggiunta del sovraccarico si incrementa la pressione neutrale, con una conseguente espulsione dell'acqua e quindi la consolidazione.

Il problema dell'applicazione di questa teoria è che i rifiuti non sono in condizione di saturazione data la copertura. Inoltre il coefficiente di permeabilità dei rifiuti risulta essere simile ai terreni granulari e con un carico sovrastante le pressioni neutre vengono dissipate rapidamente con l'espulsione immediata dell'acqua (Favaretti, 1998).

Vengono definiti come cedimenti rapidi in quanto avvengono generalmente nel primo mese (Gourc, 2007) seppur si siano registrati cedimenti primari anche dopo 5 anni dalla chiusura della discarica.

Secondo autori con Powrie et al. (2009), nel cedimento primario si verificherebbe una variazione della struttura della matrice solida del rifiuto, con conseguente redistribuzione delle particelle, dovuto a causa delle distorsioni subite e dello scivolamento nei vuoti (sliding). Vengono menzionati anche altri eventi di tipo secondario come la compressione (crushing) degli elementi solidi e la rottura dei contatti fra le particelle (softening).

Con la costruzione della discarica, quindi con l'aggiunta dei vari strati, soprattutto se numerosi, la deformazione che si registra è lieve ma dato l'aumento ingente dello sforzo verticale medio, come si può vedere nella seguente equazione, il modulo di elasticità di Young aumenta.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Dove E = Modulo di elasticità di Young (KN/m²), $\Delta\sigma$ = variazione della tensione verticale (kN/m²), $\Delta\varepsilon$ = variazione della deformazione verticale.

I cedimenti secondari secondo Powrie et al. (2009) sono causati da:

- frammentazione meccanica delle particelle solide di maggiori dimensioni;
- migrazione delle particelle più fini (ravelling);
- biodegradazione della sostanza organica.

La biodegradazione della componente organica implica cambiamenti nel corpo dei rifiuti, quindi nei punti di contatto e la produzione di percolato e biogas (fase fluida e fase gassosa). I processi biologici dipendono oltre che dalla composizione iniziale del rifiuto più o meno organico e quindi dall'efficienza e virtuosità dei processi di selezione, anche dai fattori ambientali (principalmente temperatura, precipitazioni) e dall'entità dello sforzo applicato.

Grisolia et al. (1995) suddividono i cedimenti secondari in tre categorie: secondario intermedio, secondario a lungo termine e secondario residuo.

I cedimenti secondari intermedi sono causati dalle deformazioni lente sotto carico costante (creep) e dalla compressione del rifiuto più durevole; i cedimenti secondari a lungo termine invece sono dovuti alla biodegradazione della sostanza organica e sono rapidi. I cedimenti secondari residui si manifestano in seguito a tutti quei processi che si prolungano nel tempo risultando ritardati, come ad esempio la risistemazione di alcune particelle solide o la biodegradazione delle particelle meno velocemente degradabili.

Il cedimento secondario può continuare a manifestarsi anche 50 anni dopo la chiusura della discarica (Coduto, 1990).

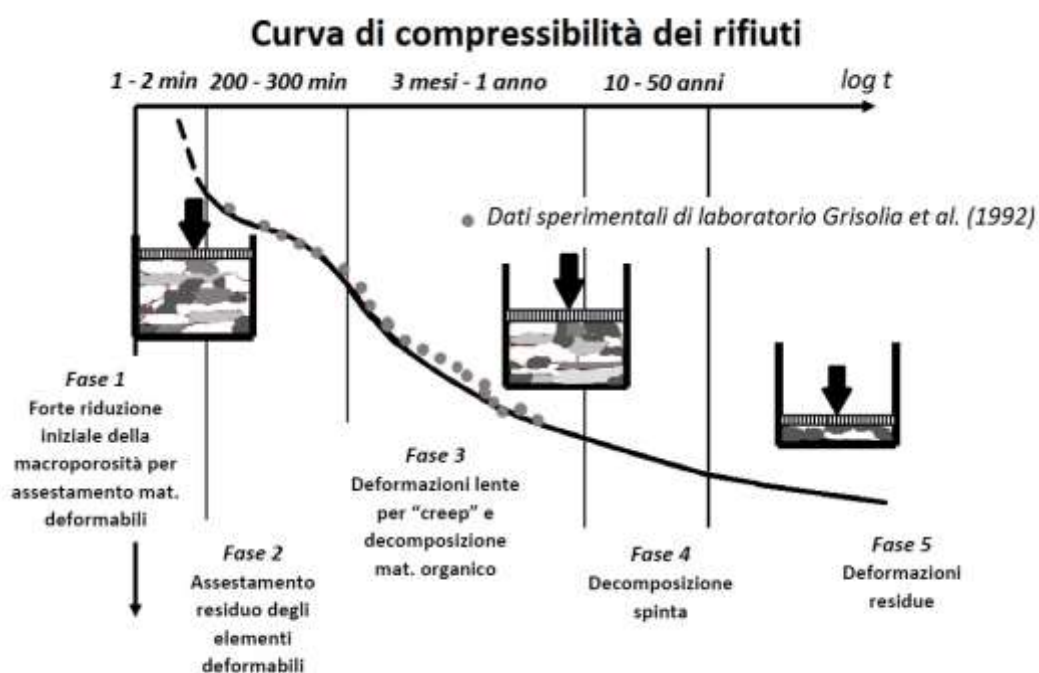


Fig. 7.1: Curva di compressibilità dei rifiuti (Grisolia et al., 1995)

7.2. Effetti della copertura giornaliera

Al termine della giornata lavorativa i rifiuti solidi urbani disposti nelle discariche vengono coperti con spessori variabili di materiali granulari, fra cui anche compost, terre di spazzamento, sovvalli (A.I.A., 2010).

Il metodo della copertura giornaliera è stato adottato per prevenire la dispersione dei rifiuti ad opera del vento e di animali. Nella giornata successiva si può rimuovere o lasciare.

Il materiale che costituisce la copertura giornaliera generalmente occupa il 20% del volume totale della discarica; con il fluire del tempo e con l'aggiunta di carichi, diminuisce. Questo processo avviene perché la compressibilità di questo strato risulta inferiore a quello dei rifiuti e poiché il materiale granulare di cui è composto si dispone all'interno dei vuoti presenti, in quanto subisce il carico dei rifiuti sovrastanti e il proprio. Dal 20% iniziale si passa così al 5% del volume totale (Morris et al., 1990).

Durante la coltivazione della discarica, la presenza dello strato di copertura fa sì che la densità aumenti dalle due alle quattro volte e causa cedimenti maggiori per carico inferiore sui rifiuti. La migrazione delle particelle all'interno dei vuoti genera una diminuzione della compressibilità nel momento in cui viene messa la copertura finale (Favaretti et al., 1998).

7.3. Studi sui cedimenti

Gourc et al. (2007) nei loro studi compararono i risultati prodotti dall'applicazione del modello di Sowers su diverse discariche francesi.

Il metodo utilizzato consisteva nel suddividere la discarica in strati di ugual spessore, nei quali venivano calcolati i cedimenti distintamente dagli altri strati, seguendo la sequenza di costruzione. Il numero di strati considerati corrispondeva a 24.

Nel calcolo veniva considerato anche il carico dato dalla copertura provvisoria con un peso di volume $\gamma = 18 \text{ kPa}$.

Il peso di volume dei rifiuti considerati era di 8 kN/m^3 .

Il coefficiente di compressione primaria (C_R) scelto era di 0,20, mentre quello di compressione secondaria ($C_{\alpha\epsilon}$) considerato assumeva il valore di 0,08.

Sono stati considerati due casi: il primo in cui il tempo di costruzione era di 12 mesi mentre il secondo in cui era 24 mesi.

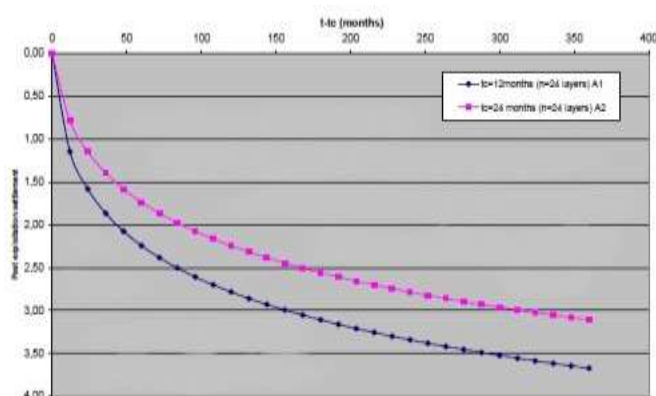


Fig. 7.3.1: Cedimenti secondari in funzione del tempo (Gourc et al., 2007)

Gli autori poi suddivisero la discarica in due fasi:

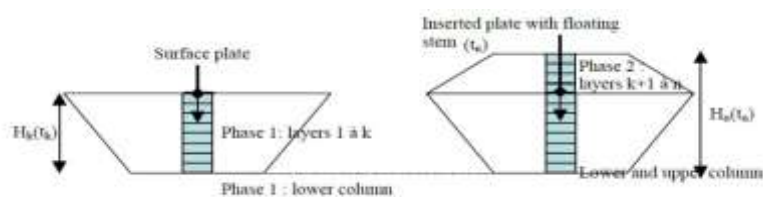


Fig. 7.3.2: Suddivisione in due fasi

La prova di carico su piastra ha messo in evidenza che con la piastra posizionata al top della fase 1, il cedimento totale è dato unicamente dal secondario, in quanto il primario si è già espresso al tempo t_k . Invece il cedimento totale alla fase 2 è dato dall'aliquota del cedimento primario e da quella del cedimento secondario.

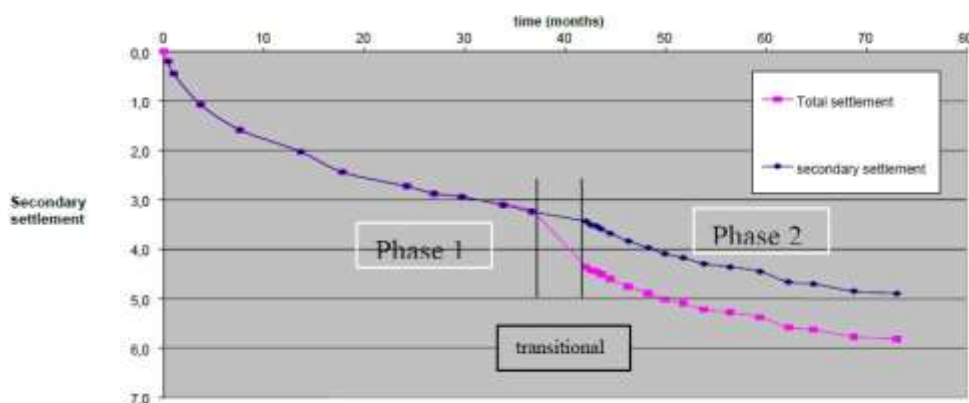


Fig. 7.3.3: Cedimento totale (Gourc et al., 2007)

La considerazione finale degli autori è stata che il coefficiente di compressione secondaria $C_{\alpha\epsilon}$ fosse indipendente dal carico.

Anche altri autori, come Ouvry et al. (2005), utilizzarono il modello di Sowers per la determinazione del cedimento secondario, ancora su discariche francesi. Lo spessore dei rifiuti considerati variava da 20 a 30 m e il peso di volume scelto per i rifiuti solidi urbani analizzati era di 8 kN/m^3 .

Questi autori non utilizzarono un solo indice di compressione secondaria ma ben due, avvicinandosi quindi ai principi che portarono al modello di Bjarngard ed Edgers.

I due coefficienti $C_{\alpha\epsilon 1}$ e $C_{\alpha\epsilon 2}$ sono dati dalle due diverse pendenze della curva nel grafico sforzi – logaritmo del tempo. $C_{\alpha\epsilon 2}$ ha inizio dal tempo t_k .

I risultati che ottennero sono visibili in figura 7.3.4.

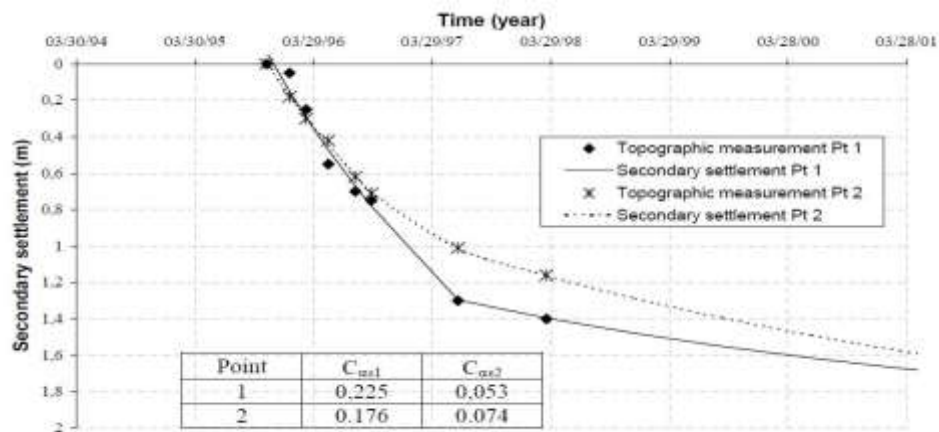


Fig. 7.3.4: Cedimento secondario (Ouvry et al., 2005)

Sivakumar Babu et al. (2010) applicarono tutti i modelli presenti in letteratura per la stima dei cedimenti. La stima è stata effettuata a 30 anni dalla costruzione di una discarica di rifiuti solidi urbani di 30 m d'altezza che venne suddivisa in 10 strati. Il peso di volume γ dei rifiuti considerati era di $7,5 \text{ kN/m}^3$. I dati ottenuti sono rappresentati in figura 7.3.5, mentre in tabella 7.3.6 è possibile vedere i parametri scelti dall'autore, oltre che i cedimenti, per i vari modelli. Nella tabella 7.3.6, nei modelli in cui compare l'asterisco, i cedimenti calcolati sono solo secondari, mentre negli altri sono i totali.

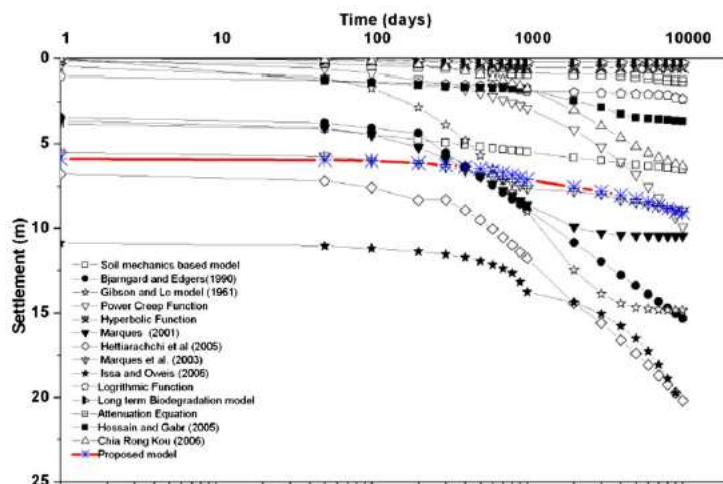


Fig. 7.3.5: Cedimenti (Sivakumar Babu et al., 2010)

Modelli	Parametri scelti	Cedimenti (m)
<i>Sowers (1973)</i>	$C'_c = 0,106$ $C'_\alpha = 0,035$	6,54
<i>Bjarngard ed Edgers (1990)</i>	$C'_c = 0,106$ $C'_{\alpha 1} = 0,035$ $C'_{\alpha 2} = 0,215$	15,34
<i>Hossain e Gabr (2005) *</i>	$C'_{\alpha i} = 0,03$ $C'_{\alpha f} = 0,022$ $C'_\beta = 0,19$	3,65
<i>Yen e Scanlon (1975) *</i>	$\alpha = 0,0386$ $\beta = 0,0156$	2,35
<i>Edil et al. (1990)</i>	$m = 1,7 \times 10^{-5} \text{kPa}$ $n = 0,5$	9,92
<i>Ling et al. (1998) *</i>	$p_0 = 0,001 \text{ m/giorno}$ $S_{ult} = 1,140 \text{ m}$	0,53
<i>Coumoulos e Koryalos (1997) *</i>	$C'_\alpha = 0,02$ $C'_\alpha = 0,07$ $C'_\alpha = 0,25$	1,33
<i>Gibson e Lo (1961)</i>	$a = 0,0001$ $b = 0,00305$ $\lambda b = 0,0009$	14,84
<i>Park e Lee (1997) *</i>	$C'_\alpha = 0,005$ $\epsilon_{tot \text{ dec}} = 6,65\%$	0,242
<i>Hettiarachchi et al. (2009)</i>	$f_{si} = 0,15 - 0,25 - 0,35$ $G_{si} = 1,637$ $G_{sj} = 1 - 1,2 - 2 - 3$ $\lambda_j = 0 - 10^{-5} - 10^{-4} - 10^{-3}$	20,18
<i>Marques, modello reologico (2001)</i>	$C'_c = 0,106$ $b = 5,72 \times 10^{-4}$ $c = 1,79 \times 10^{-3}$ $d = 1,14 \times 10^{-3}$ $E_{dg} = 0,159$	10,45
<i>Marques, modello di compressibilità (2003)</i>	$C'_c = 0,106$ $E_{dg} = 0,159$ $d = 1,14 \times 10^{-3}$	8,97
<i>Oweis (2006)</i>	$C'_c = 0,106$ $C'_\alpha = 0,02$ $\beta = 0,02$	19,74

Modelli	Indici scelti	Cedimenti totali (m)
<i>SivakumarBabu et al. (2010)</i>	$C'_c = 0,106$	9,09
	$\lambda = 0,046$	
	$\kappa = 0,0046$	
	$\Phi' = 24$	
	$b = 5,72 \times 10^{-4}$	
	$c = 1,79 \times 10^{-3}$	
	$d = 1,14 \times 10^{-3}$	
	$E_{dg} = 0,158$	

Fig. 7.3.6: Parametri scelti e cedimenti ottenuti da Sivakumar Babu et al (2010)

Autori come Nur Irfah et al. (2010), applicarono per una discarica in Malesia i modelli di Sowers, Bjarngard ed Edgers, Edil e Ling ed ottennero gli stessi identici risultati di Sivakumar Babu et al. Ovvero cedimenti rispettivamente di 6,54 m, 15,34 m, 9,92 m e 0,53 m.

Come si denota dalla figura 7.3.6, applicando i più svariati modelli alla stessa discarica, i valori di cedimento ottenuti sono diversi. I modelli dai quali l'autore ha ottenuto valori che si discostano molto dalla media sono di Hettiarachchi et al. (2009) e di Oweis (2006) che considerano congiuntamente la compressione meccanica e la compressione dovuta alla biodegradazione.

8. Modelli per il calcolo dei cedimenti

Non esiste attualmente un modello riconosciuto universalmente per lo studio dei cedimenti nei rifiuti solidi urbani.

Esistono invece vari modelli proposti:

- Basati sulla meccanica delle terre, ideati da autori come Sowers (1973), Bjarngard e Edgers (1990) e Hossain e Gabr (2005);
- Modelli empirici, formulati da Yen e Scanlon (1975), Edil et al (1990) e Coumoulos e Koryalos (1997);
- Modelli reologici, realizzati da Gibson e Lo (1961);
- Modelli che considerano la biodegradazione come quelli di Park e Lee (1997), Marques et al. (2001, 2003) e Hettiarachchi et al. (2009);
- Modelli costitutivi, che incorporano anch'essi la biodegradazione, ideati da autori come Machado et al. (2008) e Sivakumar Babu et al. (2010).

A seguire verranno descritti brevemente i modelli maggiormente applicati per l'analisi dei cedimenti.

8.1. Modello di Sowers (1973)

Questo modello è stato il primo basato sulla meccanica delle terre, ottenuto a seguito dell'osservazione di una vecchia discarica per 2080 giorni. Si basa sui concetti relativi alla compressione edometrica dunque, viene considerata la sola deformazione verticale, riadattata ai rifiuti.

Il cedimento viene suddiviso in cedimento primario, più rapido e originato a causa della compressione primaria e cedimento secondario, dovuto alla compressione secondaria.

La compressione primaria dipende principalmente dall'espulsione di acqua e gas dai vuoti che sono presenti fra le particelle e per descriverla è usuale utilizzare le ipotesi di Terzaghi per la consolidazione monodimensionale.

Considerando i cedimenti nel tempo, la componente primaria agisce in maniera preponderante sulla seconda, specie inizialmente; di conseguenza l'entità dei cedimenti secondari viene mascherata nei primi tempi.

Il cedimento primario viene calcolato con la seguente formula:

$$\Delta H_p = H_i C'_c \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (8.1)$$

In cui:
$$C'_c = \frac{C_c}{1+e_0} \quad (8.2)$$

Dove ΔH_p = cedimento primario (m), H_i = altezza iniziale dello strato di rifiuti (m), C'_c = coefficiente di compressione primaria, σ'_0 = tensione verticale efficace agente alla metà dello strato (kPa), $\Delta \sigma'$ = incremento di tensione (kPa), C_c = indice di compressione primaria, e_0 = indice dei vuoti iniziale.

Per la scelta dell'indice di compressione primario C_c , Sowers individua i valori minimi e massimi in base al contenuto organico dei rifiuti:

- $C_c = 0,03 e_0$ per una bassa concentrazione di sostanza organica;
- $C_c = 0,55 e_0$ per un'alta concentrazione di sostanza organica.

Anche per l'indice dei vuoti e_0 viene individuato un intervallo di valori compresi fra un minimo ed un massimo:

- $e_0 = 2$ in rifiuti ben compattati;
- $e_0 = 15$ in rifiuto poco compattati

Il cedimento secondario invece viene calcolato con:

$$\Delta H_s = H_p C' \alpha \log\left(\frac{t}{t_p}\right) \quad (8.3)$$

In cui:

$$C' \alpha = \frac{C \alpha}{1 + e_p} \quad (8.4)$$

Dove ΔH_s = cedimento secondario (m), H_p = altezza dello strato dopo aver subito la compressione primaria (m), $C' \alpha$ = coefficiente di compressione secondaria, t = tempo a cui si vuole calcolare il cedimento (giorni), t_p = tempo per espletare la compressione primaria (giorni), $C \alpha$ = indice di compressione secondaria, e_p = indice dei vuoti dopo la compressione primaria.

Anche per la scelta dell'indice di compressione secondaria $C \alpha$, Sowers fornisce valori in base alle condizioni ambientali più o meno favorevoli alla decomposizione della sostanza organica:

$C \alpha = 0,03 e_p$ (con condizioni non favorevoli)

$C \alpha = 0,09 e_p$ (con condizioni favorevoli)

8.2. Modello di Bjarngard ed Edgers (1990)

È stato formulato a seguito dell'osservazione di ventidue discariche che divergono sia nel tipo di rifiuti stoccati che nelle modalità di gestione.

Il cedimento primario viene trattato come nel modello di Sowers (8.1), mentre il cedimento secondario viene suddiviso in due sottofasce ovvero il cedimento secondario intermedio e il cedimento secondario a lungo termine.

Il cedimento totale è riassumibile con la seguente formula:

$$\Delta H = \Delta H_p + \Delta H_{s_1} + \Delta H_{s_2} \quad (8.5)$$

Dove:

$$\Delta H_p = H i C'c \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (8.6)$$

$$\Delta H_{s_1} = H C'\alpha_1 \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (8.7)$$

$$\Delta H_{s_2} = H C'\alpha_2 \log \left(\frac{t_3}{t_2} \right) \quad (8.8)$$

In cui: ΔH = cedimento totale (m), ΔH_p = cedimento primario (m), ΔH_{s_1} = cedimento secondario intermedio (m), ΔH_{s_2} = cedimento secondario a lungo termine (m).

H = altezza iniziale dello strato di rifiuti (m), $C'c$ = coefficiente di compressione primaria, $C'\alpha_1$ = coefficiente di compressione secondaria intermedia, t_2 = tempo affinché si espleti la compressione secondaria intermedia (giorni). t_1 = tempo necessario alla compressione iniziale (giorni), $C'\alpha_2$ = coefficiente di compressione secondaria a lungo termine, t_3 = tempo al quale si vuole calcolare il cedimento (giorni).

I valori tipici dei parametri di questo modello sono:

$C'c$	205
$C'\alpha_1$	0,003 – 0,0038
$C'\alpha_2$	0,017 – 0,510
t_1	1- 30(giorni)
t_2	200 (giorni)

8.3. Modello di Edil et al. (1990)

Il modello di Edil et al. è stato realizzato su una discarica attiva dagli anni Settanta, con rifiuti con peso di volume medio di 10.7 kN/m^3 e con dati rilevati in due anni (1986 – 1988).

Questo modello è del tipo empirico ed è una relazione per la deformazione meccanica che risulta essere dipendente dal tempo che avviene sotto uno ad uno sforzo costante (creep).

Il cedimento non è distinto in primario e secondario e viene calcolato con la seguente formula:

$$\Delta H = H \Delta\sigma' m \left(\frac{t}{tr}\right)^n \quad (8.9)$$

In cui ΔH = cedimento osservato (m), $\Delta\sigma'$ = incremento della tensione verticale efficace (kPa), m = compressibilità di riferimento (1/kPa), n = tasso di compressione, t = tempo al quale si desidera calcolare il cedimento (giorni), tr = tempo necessario per rendere adimensionale il rapporto (giorni).

Per quanto riguarda le variabili che caratterizzano questo modello, m viene definita come sito specifica ed influenza maggiormente il risultato globale di n . Quest'ultima invece corrisponde alla velocità di compressione e varia a seconda dell'età del rifiuto e della metodologia di posa (Edil et al., 1990).

I valori tipici per il modello di Edil et al sono:

m	$1,6 \times 10^{-5} - 5,8 \times 10^{-5}$ (/ kPa)
n	0,5 - 0,67
tr	1 giorno

8.4. Modello di Gibson e Lo (1961)

Questo modello è basato su studi reologici e ha posto le basi per quello di Edil et al. (1990). Non distingue il cedimento in primario e secondario.

Viene utilizzata un'analogia che rappresenta il cedimento primario, comprensivo dell'istantaneo, con una molla di Hooke, dotata di costante elastica a , che risulta indipendente dallo sforzo applicato.

Il cedimento secondario invece è rappresentato tramite il corpo di Kelvin, che è costituito da un'ulteriore molla di Hooke, disposta in parallelo con un ammortizzatore di Newton il quale ha una viscosità λ/b (figura 8.4).

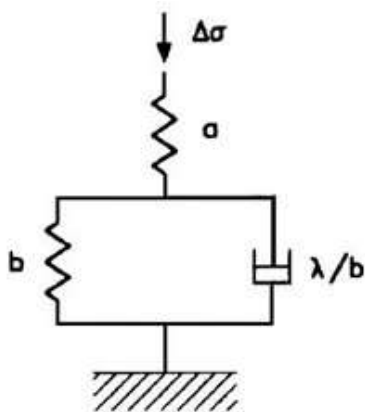


Fig. 8.4: Modello di Gibson e Lo (1961)

La formula per il calcolo è la seguente:

$$\Delta H = H \Delta\sigma' \left[a + b \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{b}t} \right) \right] \quad (8.10)$$

Dove ΔH = cedimento al tempo t (m), H = altezza iniziale (m), $\Delta\sigma'$ = tensione verticale efficace (kPa), a = parametro di compressione primaria (/kPa), b =

parametro di compressione secondaria (/kPa), λ/b = velocità di compressione secondaria (giorni⁻¹), t = tempo al quale si vuole calcolare il cedimento (/giorni).

I valori proposti sono i seguenti:

a	$8,0 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-4}$ (kPa)
b	$2,0 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-2}$ (kPa)
λ/b	$1,4 \times 10^{-4} - 9,0 \times 10^{-4}$ (/giorni)

8.5. Altri modelli

8.5.1 Basati sulla meccanica delle terre

Hossain e Gabr (2005) analizzarono la compressione secondaria, che causa i cedimenti a lungo termine e la suddivisero in tre termini:

$$\frac{\Delta H}{H} = C_{\alpha i} \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) + C_{\beta} \log \left(\frac{t_3}{t_2} \right) + C_{\alpha f} \log \left(\frac{t_4}{t_3} \right) \quad (8.11)$$

In cui ΔH = cedimento dovuto alla consolidazione primaria e secondaria (m), H = spessore iniziale dello strato di rifiuti (m), $C_{\alpha i}$ = coefficiente di compressione primaria, t_1 = tempo necessario al completamento della compressione iniziale (giorni), t_2 = tempo per cui verrà valutata la compressione (giorni), C_{β} = coefficiente di biodegradazione, t_3 = durata della degradazione biologica (giorni), $C_{\alpha f}$ = coefficiente relativo al creep, t_4 = tempo in cui verranno valutati creep e degradazione biologica (giorni).

Non sono considerati la compressione meccanica generata dal carico imposto o dal peso proprio dei rifiuti.

Quando si verifica la biodegradazione, la materia organica viene convertita in gas, aumenta l'indice dei vuoti e si verifica un aumento nei cedimenti. Il livello di biodegradazione raggiunto è valutabile dal rapporto di cellulosa ed emicellulosa sul quantitativo di lignina.

I tempi t_1 , t_2 , t_3 e t_4 invece sono ricavati dalla curva di emissione di biogas presente in tale modello.

8.5.2 Modelli empirici

Il modello di Yen e Scanlon (1975) è stato formulato in base a dati relativi a tre discariche vicine a Los Angeles e viene calcolata la velocità di deformazione (8.12) dalla quale si ottiene il cedimento dei rifiuti (8.13).

Esiste un determinato valore temporale, denominato T_{ult} (8.14) oltre il quale il cedimenti divengono negativi; questo è un fattore determinante che influisce sull'affidabilità del modello.

$$r = \frac{1}{h(t_c)} \frac{\Delta H}{\Delta t} = \alpha - \beta \log T \quad (8.12)$$

$$\frac{\Delta H}{h(t_c)} = \int_{T=t_c}^T (\alpha - \beta \log T) dT = T \left[\alpha - \frac{\beta}{\ln(10)} (\ln T - 1) \right]_{t_c/2}^T \quad (8.13)$$

$$T_{ult} = t - \frac{t_c}{2} = 10^{\frac{\alpha}{\beta}} \quad (8.14)$$

In cui r = tasso di deformazione (giorni⁻¹), $h(t_c)$ = massima altezza dei rifiuti a fine costruzione (m), t_c = tempo di costruzione (giorni), t = tempo dall'attività di inizio stoccaggio nella discarica, $t_c/2$ = tempo medio (giorni), α = parametro di calibrazione della velocità di deformazione (= 0,00095 H_f + 0,00969), β = parametro di calibrazione relativo alla velocità di deformazione (= 0,00035 H_f + 0,00501).

Nel modello di Coumoulos e Koryalos (1997) viene proposta una equazione di attenuazione in cui i cedimenti secondari vengono approssimati con una linea retta, dipendente dal logaritmo del tempo (8.15).

Il vantaggio che viene riconosciuto a questo modello è che dati provenienti da qualsivoglia punto della discarica possono essere riuniti e si possono stabilire delle comparazioni fra di loro.

$$Y = \frac{d(\Delta H/H)}{dt} = \frac{0,434 C_{\varepsilon\alpha}}{t_c + (t/2)} \quad (8.15)$$

Dove:

$C_{\varepsilon\alpha} =$	0,02	per	$1 < t < 20$ mesi
$C_{\varepsilon\alpha} =$	0,07	per	$40 < t < 60$ mesi
$C_{\varepsilon\alpha} =$	0,25	per	$t > 80$ mesi

In cui Y = velocità di deformazione (%/mese o %/anno), t = tempo trascorso (mesi o anni), t_c = tempo di stoccaggio (generalmente un mese), $C_{\varepsilon\alpha}$ = coefficiente di compressione secondaria.

Nel modello di Ling et al. (1998) i cedimenti vengono descritti con un'equazione iperbolica, da dati sperimentali raccolti in tre discariche.

La relazione è la seguente:

$$\Delta H = h \frac{t}{(h/\rho_0) + (h/\Delta h_{ult}) t} \quad (8.16)$$

In cui ΔH = cedimento totale (m), t = tempo in cui viene calcolato il cedimento (giorni), ρ_0 = tasso di cedimento iniziale (= 0,0001 m/giorni), Δh_{ult} = cedimento ultimo (m).

$m = 1/\Delta h_{ult}$ e $c = 1/\rho_0$ vengono interpolati dal grafico $t/\Delta H$ in funzione del tempo t , che rappresenta una retta, di cui m ne costituisce la pendenza, mentre c ne rappresenta l'intercetta sull'asse delle ordinate. Il valore del cedimento risulta ottenibile anche dall'equazione:

$$\Delta H = mt + c \quad (8.17)$$

8.5.3 Modelli che considerano la biodegradazione

Nel modello di Park e Lee (1997) il tasso di cedimento viene considerato come proporzionale alla subsidenza generata dal quantitativo di solidi organici che vengono solubilizzati.

La solubilizzazione è inserita in una reazione cinetica di primo ordine e da questa reazione, integrata si ottiene la velocità di cedimento. Purtroppo però, determinare i coefficienti della cinetica, le costanti di idrolisi e le loro variazioni in rapporto alle condizioni ambientali, risulta molto complesso.

La deformazione totale è data dalla somma delle seguenti deformazioni:

$$\varepsilon(t)_{mec} = C'_\alpha \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (8.18)$$

$$\varepsilon(t)_{dec} = \varepsilon_{tot_dec} (1 - e^{-kt}) \quad (8.19)$$

$\varepsilon(t)_{mec}$ = deformazione meccanica (%), C'_α = coefficiente di compressione secondaria, $\varepsilon(t)_{dec}$ = deformazione dovuta alla biodegradazione (%), ε_{tot_mec} = ammontare totale della compressione dovuta dalla decomposizione della materia organica (%).

Gli autori hanno proposto degli intervalli per i parametri k e ε_{tot_mec} :

k	2,37 - 1,35 (/anno)
-----	---------------------

$$\varepsilon_{\text{tot_mec}} \quad 6.1\% - 7,2\%$$

Il modello di Marques (2001) parte da un modello reologico nel quale le compressioni primaria e secondaria sono dominate dai parametri reologici tra cui viene messa in risalto la biodegradazione.

La compressione primaria è intesa come una “compressione istantanea”, indipendente dal tempo e basata sul principio che segua un andamento lineare, in base ai grafici indice dei vuoti e tensione applicata.

$$\frac{\Delta H}{H} = C'_c \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) + \Delta\sigma b (1 + e^{-ct'}) + E_{dg} (1 - e^{-dt''}) \quad (8.20)$$

In cui ΔH = cedimento (m), H = spessore iniziale dello strato di rifiuti (m), C'_c = coefficiente di compressione primaria, b = coefficiente di compressione secondaria (/kPa), c = tasso di compressione secondaria (/giorni), d = tasso di compressione secondaria dovuto alla biodegradazione (/giorni) t' = tempo dall'applicazione del carico (giorni), t'' = tempo dallo stoccaggio dei rifiuti (giorni), E_{dg} = deformazione dovuta alla degradazione della sostanza organica.

Il modello di Marques et al. (2003) presenta una compressibilità definita come composita in quanto è formata dalla risposta istantanea al carico, dal creep e dalla biodegradazione.

Dato che i rifiuti sono disposti in strati, questo modello propone la visione dei siti di stoccaggio come una successione di strati, disposti giorno per giorno e che andrebbero a rappresentare le celle giornaliere.

Il cedimento totale viene descritto dalla seguente equazione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^N H_i [\varepsilon_{pi} + \varepsilon_{ci}(t) + \varepsilon_{bi}(t)] \quad (8.21)$$

In cui ΔH = cedimento (m), H_i = spessore iniziale dello strato di rifiuti compattato (m), ε_{pi} = deformazione dello strato dovuta alla risposta istantanea con l'applicazione del carico, $\varepsilon_{ci}(t)$ = deformazione dello strato in relazione al tempo, determinata dal creep, $\varepsilon_{bi}(t)$ = deformazione dello strato in relazione al tempo, causata dalla risposta biodegradazione.

e deformazioni ε_{pi} , $\varepsilon_{ci}(t)$ e $\varepsilon_{bi}(t)$ sono determinabili dalle seguenti equazioni:

$$\varepsilon_{pi} = C'_c \log \left(\frac{(1/2)\gamma_i H_i + \sum_{j=i+1}^N \Delta\sigma_{ij}}{(1/2)\gamma_i H_i} \right) \quad (8.22)$$

$$\varepsilon_{ci}(t) = b \left[\frac{1}{2} \gamma_i H_i (1 - e^{-c(t-t_i)}) + \sum_{j=i+1}^N \Delta\sigma_{ij} (1 - e^{-c(t-t_j)}) \right] \quad (8.23)$$

$$\varepsilon_{bi}(t) = E_{dg} (1 - e^{-d(t-t_i)}) \quad (8.24)$$

Dove C'_c = rapporto di compressione, γ_i = peso di volume dello strato i-esimo (kN/m^3), $\Delta\sigma_{ij}$ = variazione tensione verticale (kPa) dovuto allo strato j-esimo sullo strato i-esimo con $j > i$, t_i e t_j = tempo in cui sono stati stoccati rispettivamente lo strato i e lo strato j (giorni), t = tempo di costruzione della discarica (giorni), c e b = indici del creep meccanico, d = costante di biodegradazione, E_{dg} = deformazione dovuta alla degradazione della sostanza organica.

Gli autori hanno proposto dei valori tipici per i parametri presenti nel modello:

C'_c	0,0732 – 0,320
b	$2,9 \times 10^{-4} - 7,3 \times 10^{-4}$ (/kPa)
c	$9,7 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-3}$ (/giorni)
d	$6,8 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-3}$ (/giorni)
E_{dg}	0,131 – 0,214

Nel modello di Hettiarachchi et al. (2009) viene assunto che la decomposizione biologica della sostanza organica segua reazioni cinetiche di prim'ordine.

Il cedimento totale è dovuto a quello realizzato ad opera della compressione meccanica (8.27) e al cedimento che si origina con l'azione dei processi di biodegradazione (8.26).

L'altezza finale del corpo dei rifiuti è definito dalla seguente equazione:

$$H_f = H_i - (\Delta H)_b - (\Delta H)_m \quad (8.25)$$

$$(\Delta H)_b = H_i \left[\frac{M_{si}}{\rho_w} \sum_{j=1}^4 \frac{f_{sj}}{G_{sj}} (1 - e^{-\lambda_j t}) \right] \quad (8.26)$$

$$(\Delta H)_m = H_i C'_c \log \left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma'}{\sigma'} \right) \quad (8.27)$$

H_f = altezza finale (m), H_i = altezza iniziale del cumulo di rifiuti (m), $(\Delta H)_b$ = cedimento dovuto alla compressione meccanica (m), $(\Delta H)_m$ = cedimento dovuto alla biodegradazione (m), M_{si} = massa iniziale della componente solida (Kg), ρ_w = densità dell'acqua (kg/m^3). C'_c = coefficiente di compressibilità primaria, σ' = stress efficace (kPa), $\Delta\sigma'$ = variazione della tensione verticale efficace (kPa), f_{sj} = frazione solida iniziale di ciascuna componente dei rifiuti, G_{sj} = densità iniziale di ciascuna componente j , λ_j = costante della cinetica di prim'ordine del gruppo j (/giorni).

Gli autori hanno proposto dei valori per i parametri presenti nel modello:

C'_c	0,174 – 0,205
f_{sj}	0,15 – 0,35
G_{sj}	1 – 3
λ_j	0 – 0,001 (/giorni)

8.5.4 Modelli costitutivi

Nel modello di Machado et al. (2008) i rifiuti vengono suddivisi in due classi: materiali fibrosi (come plastiche e tessili) e materiale non fibroso, rappresentato dalla componente organica e dal resto dei rifiuti.

Viene ipotizzato che la maggior parte dello sforzo deviatorico q sia sostenuto dal materiale fibroso, mentre la tensione verticale σ agisca indipendentemente dal materiale e questo vale anche per le deformazioni al taglio. Le altre assunzioni sono che l'indice dei vuoti e venga assegnato solo al materiale fibroso e che le deformazioni volumetriche avvengano solamente nei materiali non fibrosi e siano dovute al creep e alla biodegradazione.

Le relazioni di tale modello sono le seguenti:

$$d\varepsilon_v = d\varepsilon_{vd} + d\varepsilon_{vp}V_e \left(\frac{1 + e_p}{1 + V_e e_p} \right) \quad (8.28)$$

$$d\varepsilon_{vd} = \left[\frac{C_\alpha}{(1 + e_0) \ln(10) t} - \left(\frac{\gamma_{s0}}{\gamma_{sp}} \right) \left(\frac{1}{1 + e_0} \right) \left(1 - \alpha \frac{\Delta m_s}{m_{s0}} \right) \left(\frac{\delta m_s}{\delta t} \right) \left(\frac{1}{m_{s0}} \right) \right] dt \quad (8.29)$$

$$d\varepsilon_s = d\varepsilon_{sp}V_p + d\varepsilon_{sf}V_f(d\varepsilon_{sf} - d\varepsilon_{sp}) \quad (8.30)$$

$$d\varepsilon_{sp} = \frac{\frac{dq - (q_f - q_p)}{3 V_f} \frac{dV_f}{dt} - \frac{\delta G_f}{\delta t} dt \varepsilon_{sf}^e}{(G_p V_p)/V_f + G_f f_m} \quad (8.31)$$

$$d\varepsilon_{sf}^e = f_m d\varepsilon_{sp} \quad (8.32)$$

$$f_m = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{q}{\sigma} \right)^2 \quad (8.32)$$

In cui p al pedice indica il materiale non fibroso, f invece si riferisce al materiale fibroso. $d\varepsilon_{vd}$ = deformazione volumetrica causata dal creep e dalla biodegradazione, V_e = rapporto tra l'indice dei vuoti del rifiuto e l'indice del materiale non fibroso, e_0 = indice dei vuoti iniziale, γ_{so} = peso di volume della componente solida iniziale (kN/m^3), γ_{sp} = peso di volume della componente solida del materiale non fibroso (kN/m^3), α = tasso di incremento della compressione secondaria, m_{s0} = massa dei solidi (kg), Δm_{s0} = variazione della massa dei solidi (kg). $d\varepsilon_s$ = deformazione al taglio, V_f e V_p = rapporto fra il volume rispettivo della componente fibrosa o della non fibrosa sul volume totale, f_m = funzione relativa al movimento delle fibre, q = sforzo deviatorico (kPa), σ = tensione verticale (kPa), G = modulo di rigidezza al taglio.

Nel modello di Sivakumar Babu et al. (2010) si fa riferimento alla meccanica delle terre. Il cedimento varia in funzione del modulo elastico di Young e del modulo di rigidezza al taglio.

I rifiuti vengono descritti con un comportamento di tipo elasto - plastico e segue la teoria degli stati ultimi a rottura.

La compressione secondaria viene considerata l'effetto generato dal creep (8.34) e dalla degradazione della sostanza organica (8.35):

$$\varepsilon_c = b \Delta\sigma' (1 - e^{-ct'}) \quad (8.34)$$

$$\varepsilon_b = E_{dg} (1 - e^{-dt''}) \quad (8.35)$$

$$\sigma = M\sigma' \sqrt{\left\{ \left[\left(\frac{\sigma'_0}{\sigma'} \right)^\lambda \exp \left\{ \left[\left(\frac{e_0 - e}{1 + e_0} \right) + b \Delta\sigma' e^{-ct'} + E_{dg} e^{-dt''} \right] (1 + e) \right\} \right]^{\frac{1}{\lambda - \kappa}} - 1 \right\}} \quad (8.36)$$

In cui ε_c = deformazione dovuta al creep, b = coefficiente di creep (/kPa), $\Delta\sigma'$ = variazione di tensione verticale efficace (kPa), c = velocità di creep (/anni), t' = tempo dall'aumento del carico (anni), E_{dg} = deformazione totale dovuta alla biodegradazione (%), d = indice di decadimento da biodegradazione (/anni), t'' = tempo dallo stoccaggio in discarica (anni) σ' = tensione efficace verticale (kPa), σ'_0 = tensione efficace di consolidazione (kPa), M = costante di attrito, λ e κ = pendenze dei tratti di carico e scarico nel diagramma $e - \ln p'$.

9. Calcolo dei cedimenti nella discarica di Este

L'area interessata al calcolo è un ampliamento laterale della discarica già esistente, che verrà realizzato prossimamente. Allo stato attuale i lavori non sono stati avviati e per questo in discarica, attualmente, non vengono conferiti rifiuti solidi urbani, poiché sono stati esauriti i volumi disponibili.

Per la stima dei cedimenti, in questa tesi, si fa riferimento ai dati forniti da S.E.S.A. S.p.A., relativi alle ultime annate in cui venivano conferiti i rifiuti provenienti dall'intero bacino di raccolta gestito dall'azienda e trattati all'interno del polo impiantistico.

Negli anni 2012 e 2013 il quantitativo di rifiuti solidi urbani stoccati in discarica corrispondeva a 15.000 tonnellate annue. Merceologicamente la loro composizione è data dagli scarti provenienti dall'impianto di selezione e dalla frazione proveniente in origine dalle terre di scavo e materiale da demolizione di materiali non recuperabili. La tipologia di materiale è definita come materiale non biodegradabile (C.E.R. 20 02 03) e materiale proveniente dal trattamento meccanico dei rifiuti (C.E.R. 19 12 12).

Per la stima dei cedimenti si è deciso di applicare metodi che non tengano conto della biodegradazione, data la tipologia dei rifiuti stoccati e per il quantitativo di 15.000 tonnellate annue, contro le 48.000 tonnellate consentite. Questi due fattori sono dovuti all'efficienza del ciclo integrato dei rifiuti. La quale dipende dall'accuratezza della selezione dei materiali, necessaria in quanto l'Azienda ne trae vantaggio attraverso il trattamento e la reimmissione nel mercato.

I cedimenti dei rifiuti solidi urbani in questione, sono calcolati con quattro modelli diversi, di cui due basati sui principi della meccanica delle terre, uno di tipo reologico e un altro di tipo empirico.

Nella presente tesi è stato calcolato l'andamento nel tempo dei cedimenti di ogni singolo strato, dovuto all'aggiunta del carico dato dagli strati sovrastanti. L'aliquota del cedimento immediato, essendo minoritaria, viene inglobata nel calcolo del cedimento primario.

Il calcolo è eseguito in vista della costruzione della discarica, e comprende il momento in cui verrà posta la copertura provvisoria, che potrà permanere fino a quando verrà messa la copertura definitiva.

9.1. Parametri necessari al calcolo

Il volume totale dei rifiuti con la copertura provvisoria è stato calcolato essere di 494.016 m³. Il quantitativo di rifiuti che verranno stoccati in discarica si stima continuerà ad essere di 15.000 tonnellate annue, corrispondenti a 16.950 m³ e che saranno depositate su strati, che una volta compattati, avranno un'altezza di 45,6 cm ciascuno.

Il corpo dei rifiuti, comprensivo di capping, potrà avere un'altezza massima consentita di 10,8 m dal piano campagna, mentre al di sotto del piano campagna si approfondirà per 2,5 m, per un'altezza totale di 13,3 m (figura 9.1).

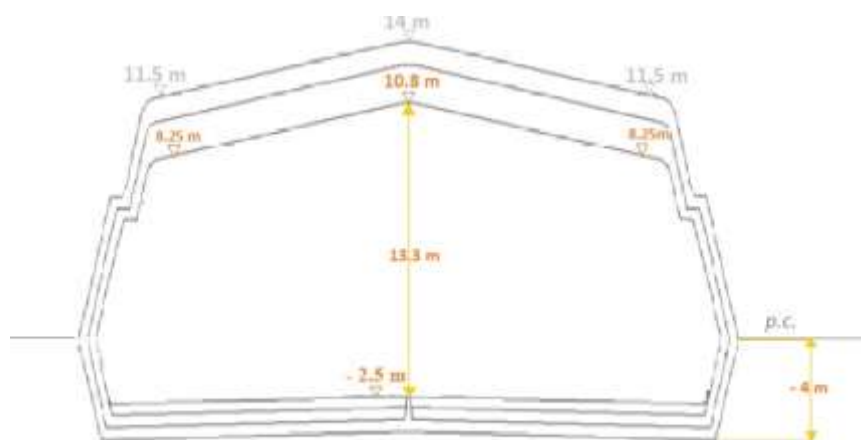


Fig. 9.1: Sezione dell'ampliamento in progetto con le relative quote in arancione

Il tempo di riempimento della discarica, valutato senza tener conto del volume reso disponibile dal verificarsi dei cedimenti stessi, corrisponderebbe a 29 anni e 2 mesi. Questo dato è stato ottenuto rapportando l'altezza totale con l'altezza di uno strato compattato. Si è scelto di calcolare i cedimenti in intervalli di 2 mesi

(substrati) così da avere una maggior precisione; in totale il deposito è suddiviso in 175 substrati.

In questo modo è possibile avere i cedimenti totali anno per anno e volendo anche ogni due mesi.

In mancanza di apposite misure sui rifiuti allocati nella futura discarica, una stima di minimo dei cedimenti è ottenuta adottando i parametri di compressibilità minimi dei modelli sviluppati da diversi autori. La stima del valore massimo è stata ottenuta ipotizzando una variazione del 15% degli indici di compressibilità introdotti nei diversi modelli.

La variazione del 15% pare essere ragionevole tenendo conto del processo di stabilizzazione che subiscono i rifiuti: adottare valori di compressibilità maggiori avrebbe sicuramente portato ad una stima eccessivamente alta dei cedimenti stessi.

Per valutare l'influenza dei parametri di compressibilità sui cedimenti, oltre alla variazione del 15%, si è adottata anche una variazione del 2%.

Naturalmente, per avere stime più precise sarebbe opportuno disporre di prove di compressibilità eseguite su un numero rappresentativo di campioni di rifiuto.

Nell'applicare i diversi modelli di calcolo, sono state realizzate delle tabelle Excel che riportano i cedimenti nel tempo del primo strato e i cedimenti di tutti gli strati della discarica, relazionati al tempo di deposizione del primo strato.

Per ciascun modello viene calcolata anche la vita utile della discarica, ovvero il tempo di utilizzo della stessa, mantenendo come limite i 10,8 m consentiti di altezza dal piano campagna e considerando i cedimenti. Sono stati presi in considerazione anche i cedimenti dovuti alla consolidazione dei terreni di fondazione, cioè degli strati di terreno sottostanti la base della discarica. Anche in questo caso, il calcolo è solo indicativo in quanto allo stato attuale non sono disponibili dati circa le proprietà geotecniche dei terreni di fondazione.

Dalle stratigrafie rese disponibili da S.E.S.A., si osserva che tra -4 m e -14 m dal piano campagna è presente un'argilla avente limite liquido (W_L) di 38,9% e un limite plastico (W_P) di 18,8%, classificabile così come argilla inorganica a bassa

plasticità. Per tale materiale si è ipotizzato un peso di volume di 18 kN/m^3 , un indice dei vuoti di 0,8 e un indice di compressione di 0,26.

Quest'ultimo ottenuto dalla relazione:

$$C_c = 0,009 (W_L - 10)$$

Si è considerata la presenza della prima falda da -4 m (quota della fondazione) e utilizzato un peso di volume dell'acqua pari a $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

Si è utilizzata la seguente formula:

$$\Delta H = H C' c \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (9.1)$$

I risultati sono visibili dalla tabella 9.1.1:

Profondità dal p.c. (m)	σ'_0 (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	$\log ((\sigma'_0 + \Delta\sigma') / \sigma'_0)$	ΔH (m)
-14	112	74,3	0,2210	0,3192

Tab. 9.1.1: Calcoli per il terreno di fondazione

Nella quale:

σ'_0 = tensione verticale efficace iniziale a metà strato (kN/m²)

$$= (\gamma_{\text{terreno}} \times H/2) + [\gamma_w \times (H/2 - \text{quota della falda})]$$

$\Delta\sigma'$ = incremento di tensione verticale al quale è sottoposto il terreno di fondazione (kN/m²) a seguito dello scavo fino a -4 m e alla realizzazione della discarica, valutato come:

$$= (\gamma_{\text{RSU}} \times H_{\text{RSU}}) - (\gamma_{\text{terreno}} \times \text{quota fondazione})$$

Riassumendo, nel presente capitolo, per ogni modello, saranno presentati i cedimenti ottenuti dai seguenti casi:

- A = intervallo ottenuto considerando una vita utile di 29 anni e 2 mesi.

- B = intervallo ottenuto calcolando la vita utile della discarica, considerando un cedimento del terreno di fondazione di 0,32 m.

Il peso di volume dei rifiuti solidi urbani della discarica di Este ammonta a 11 kN/m³, che dalla classificazione di Olivier (2003), rientra nella categoria dei “rifiuti fortemente sovraccaricati”, quindi si possono definire già in partenza come ben compattati. Di conseguenza diventa possibile eseguire i calcoli, considerando tutti i parametri relativi alla compressibilità, come minimi.

Il capping, che verrà collocato al di sopra dei rifiuti, avrà uno spessore di 1 m e sarà costituito da: 50% di compost con $\gamma = 6.9 \text{ kN/m}^3$ per lo strato di regolarizzazione e da 50% di frammenti di vetro con $\gamma = 26,5 \text{ kN/m}^3$ per lo strato drenante.

Nei calcoli è stato considerato un valore medio del peso di volume di 17 kN/m³.

9.2. Applicazione del modello di Sowers (1973)

Come si è visto nel capitolo 8 della presente tesi, Sowers interpreta il cedimento con la seguente equazione:

$$\Delta H = H_i C'c \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) + H_p C'\alpha \log\left(\frac{t}{t_p}\right) \quad (9.2)$$

In cui:

ΔH = cedimento totale

H_i = altezza iniziale dello strato (m)

$C'c = \frac{Cc}{1+e_0}$ = coefficiente di compressione primaria

σ'_0 = tensione verticale efficace agente alla metà dello strato considerato (kPa)

$\Delta\sigma'$ = incremento di tensione verticale dovuta alla posa del nuovo strato (kPa)

H_p = spessore dello strato dopo la compressione primaria (m)

$C'\alpha = \frac{C\alpha}{1+e_p}$ = coefficiente di compressione secondaria

t = tempo al quale si calcola il cedimento (giorni)

t_p = tempo necessario affinché abbia termine la compressione primaria (giorni)

I valori dei parametri adottati sono i seguenti:

Parametri adottati	Range	Note
$Cc = 0,15 e_0 - 0,21 e_0$	$0,15 e_0 - 0,55 e_0$	Basso contenuto organico - Alto contenuto organico
$e_0 = 2 - 3$	2 - 15	Alta compattazione - Bassa compattazione
$C'c = 0,1 - 0,163$	0,1 - 0,52	
$C'\alpha = 0,015 - 0,045$	0,015 - 0,350	Poco biodegradabile - Molto biodegradabile
$t_p = 15$ giorni	0 - 30 giorni	

Tab. 9.2.1: Parametri adottati per i calcoli con il modello di Sowers

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,8426	0,0032
	2	120	1,254	0,836	0,2218	0,001686	0,0760	0,0017	2,8401	0,0032
	3	180	2,09	0,836	0,1461	0,001111	0,0743	0,0028	2,8376	0,0032
	4	240	2,926	0,836	0,1091	0,000829	0,0732	0,0036	2,8351	0,0031
	5	300	3,762	0,836	0,0872	0,000662	0,0724	0,0043	2,8325	0,0031
	6	360	4,598	0,836	0,0726	0,000551	0,0717	0,0048	2,8299	0,0030
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	0,000472	0,0712	0,0053	2,8274	0,0030
	8	480	6,27	0,836	0,0544	0,000413	0,0707	0,0057	2,8248	0,0030
	9	540	7,106	0,836	0,0483	0,000367	0,0703	0,0061	2,8222	0,0030
	10	600	7,942	0,836	0,0435	0,000330	0,0699	0,0064	2,8195	0,0030
	11	660	8,778	0,836	0,0395	0,000300	0,0696	0,0067	2,8169	0,0029
	12	720	9,614	0,836	0,0362	0,000275	0,0693	0,0070	2,8142	0,0029
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	0,000254	0,0690	0,0073	2,8116	0,0029
	14	840	11,286	0,836	0,0310	0,000236	0,0687	0,0075	2,8089	0,0029
	15	900	12,122	0,836	0,0290	0,000220	0,0685	0,0077	2,8062	0,0029
	16	960	12,958	0,836	0,0272	0,000206	0,0683	0,0079	2,8035	0,0029
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	0,000194	0,0681	0,0081	2,8007	0,0029
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	0,000183	0,0679	0,0083	2,7980	0,0028
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	0,000174	0,0677	0,0085	2,7952	0,0028
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	0,000165	0,0675	0,0086	2,7924	0,0028
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	0,000157	0,0674	0,0088	2,7896	0,0028
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	0,000150	0,0672	0,0089	2,7868	0,0028
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	0,000144	0,0671	0,0091	2,7839	0,0028
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	0,000138	0,0669	0,0092	2,7810	0,0028
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	0,000132	0,0668	0,0094	2,7782	0,0028
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	0,000127	0,0666	0,0095	2,7752	0,0028
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	0,000122	0,0665	0,0096	2,7723	0,0028
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	0,000118	0,0664	0,0097	2,7694	0,0028
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	0,000114	0,0663	0,0098	2,7664	0,0028
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	0,000110	0,0662	0,0099	2,7634	0,0027

Tab. 9.2.2: Esempio dell'applicazione del modello di Sowers per il primo strato

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
1	0,0000	0,0032	0,0032	0,0032
	0,0017	0,0032	0,0065	0,0082
	0,0045	0,0032	0,0096	0,0141
	0,0081	0,0031	0,0128	0,0209
	0,0124	0,0031	0,0158	0,0282
	0,0172	0,0030	0,0189	0,0361
2	0,0225	0,0030	0,0219	0,0444
	0,0283	0,0030	0,0249	0,0532
	0,0344	0,0030	0,0279	0,0622
	0,0408	0,0030	0,0308	0,0716
	0,0475	0,0029	0,0338	0,0813
	0,0545	0,0029	0,0367	0,0912
3	0,0618	0,0029	0,0396	0,1013
	0,0693	0,0029	0,0425	0,1117
	0,0770	0,0029	0,0454	0,1223
	0,0849	0,0029	0,0482	0,1331
	0,0930	0,0029	0,0511	0,1441
	0,1013	0,0028	0,0539	0,1552
4	0,1097	0,0028	0,0568	0,1665
	0,1184	0,0028	0,0596	0,1780
	0,1272	0,0028	0,0624	0,1896
	0,1361	0,0028	0,0652	0,2013
	0,1452	0,0028	0,0680	0,2132
	0,1544	0,0028	0,0708	0,2252
5	0,1638	0,0028	0,0736	0,2374
	0,1732	0,0028	0,0764	0,2496
	0,1828	0,0028	0,0791	0,2620
	0,1925	0,0028	0,0819	0,2745
	0,2024	0,0027	0,0847	0,2870
	0,2123	0,0027	0,0874	0,2997

Tab. 9.2.3: Esempio dell'applicazione del modello di Sowers per i cedimenti totali

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,9542	0,0034
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,001771	0,0760	0,0018	2,9523	0,0034
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,001146	0,0742	0,0029	2,9504	0,0033
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000849	0,0731	0,0038	2,9484	0,0032
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000675	0,0722	0,0044	2,9465	0,0032
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000560	0,0716	0,0050	2,9445	0,0032
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000479	0,0710	0,0055	2,9425	0,0031
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000418	0,0705	0,0059	2,9405	0,0031
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000371	0,0701	0,0063	2,9385	0,0031
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000333	0,0697	0,0066	2,9365	0,0031
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000303	0,0694	0,0069	2,9345	0,0031
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000277	0,0691	0,0072	2,9325	0,0030
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000256	0,0688	0,0074	2,9304	0,0030
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000237	0,0686	0,0077	2,9284	0,0030
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000221	0,0683	0,0079	2,9263	0,0030
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000208	0,0681	0,0081	2,9243	0,0030
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000195	0,0679	0,0083	2,9222	0,0030
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000184	0,0677	0,0085	2,9201	0,0030
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000175	0,0675	0,0087	2,9180	0,0030
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000166	0,0673	0,0088	2,9159	0,0029
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000158	0,0672	0,0090	2,9138	0,0029
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000151	0,0670	0,0091	2,9117	0,0029
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000144	0,0669	0,0093	2,9096	0,0029
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000138	0,0667	0,0094	2,9074	0,0029
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000133	0,0666	0,0095	2,9053	0,0029
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000127	0,0665	0,0097	2,9031	0,0029
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000123	0,0663	0,0098	2,9009	0,0029
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000118	0,0662	0,0099	2,8987	0,0029
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000114	0,0661	0,0100	2,8965	0,0029
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000110	0,0660	0,0101	2,8943	0,0029

Tab. 9.2.4: Esempio dell'applicazione del modello di Sowers al primo strato per l'altezza massima finale consentita.

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	0,0000	0,0034	0,0034	0,0034	-2,75
	0,0018	0,0034	0,0067	0,0085	-2,68
	0,0047	0,0033	0,0100	0,0147	-2,61
	0,0085	0,0032	0,0132	0,0217	-2,54
	0,0129	0,0032	0,0164	0,0293	-2,47
	0,0179	0,0032	0,0196	0,0375	-2,40
2	0,0234	0,0031	0,0227	0,0461	-2,33
	0,0293	0,0031	0,0258	0,0551	-2,27
	0,0355	0,0031	0,0289	0,0645	-2,20
	0,0422	0,0031	0,0320	0,0742	-2,13
	0,0491	0,0031	0,0351	0,0841	-2,07
	0,0562	0,0030	0,0381	0,0943	-2,00
3	0,0637	0,0030	0,0411	0,1048	-1,94
	0,0714	0,0030	0,0441	0,1155	-1,87
	0,0793	0,0030	0,0471	0,1264	-1,81
	0,0874	0,0030	0,0501	0,1375	-1,74
	0,0957	0,0030	0,0531	0,1488	-1,68
	0,1041	0,0030	0,0561	0,1602	-1,61
4	0,1128	0,0030	0,0590	0,1718	-1,55
	0,1216	0,0029	0,0620	0,1836	-1,48
	0,1306	0,0029	0,0649	0,1955	-1,42
	0,1397	0,0029	0,0678	0,2076	-1,36
	0,1490	0,0029	0,0707	0,2198	-1,29
	0,1584	0,0029	0,0736	0,2321	-1,23
5	0,1680	0,0029	0,0765	0,2445	-1,16
	0,1777	0,0029	0,0794	0,2571	-1,10
	0,1875	0,0029	0,0823	0,2698	-1,04
	0,1974	0,0029	0,0852	0,2826	-0,97
	0,2074	0,0029	0,0881	0,2955	-0,91
	0,2176	0,0029	0,0909	0,3085	-0,85

Tab. 9.2.5: Esempio dell'applicazione del modello di Sowers per i cedimenti totali per l'altezza massima

LEGENDA

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato considerato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{RSU}) / 2$$

$$\sigma' \text{ (kN/m}^2\text{)} = \sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace

$$= \gamma_{RSU} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$$

ΔH Primario (m) = cedimento primario

$$= \text{spessore iniziale del substrato} \times C'_c \times \log 1$$

H_p (m) = spessore iniziale del substrato - ΔH Primario

ΔH Primario cumulato (m) = ΔH Primario cumulato _(t-1) + ΔH Primario

$$\log 2 = \log ((\text{tempo massimo} - \text{tempo}) / t_p)$$

ΔH Secondario (m) = cedimento secondario

$$= H_p \times C' \alpha \times \log 2$$

ΔH Primari in t (m) = ΔH Primario cumulato $_{(t-1)}$ + ΔH Primario

ΔH Secondari in t (m) = $H_p \times C' \alpha \times \log ((\text{tempo massimo} - t_p - \text{tempo}) / t_p)$

ΔH Secondari cumulati (m) = ΔH Secondari cumulati $_{(t-1)}$ + ΔH Secondario

ΔH TOTALE (m) = ΔH Primari in t + ΔH Secondari cumulati

H da p.c (m) = altezza della discarica riferita al piano campagna

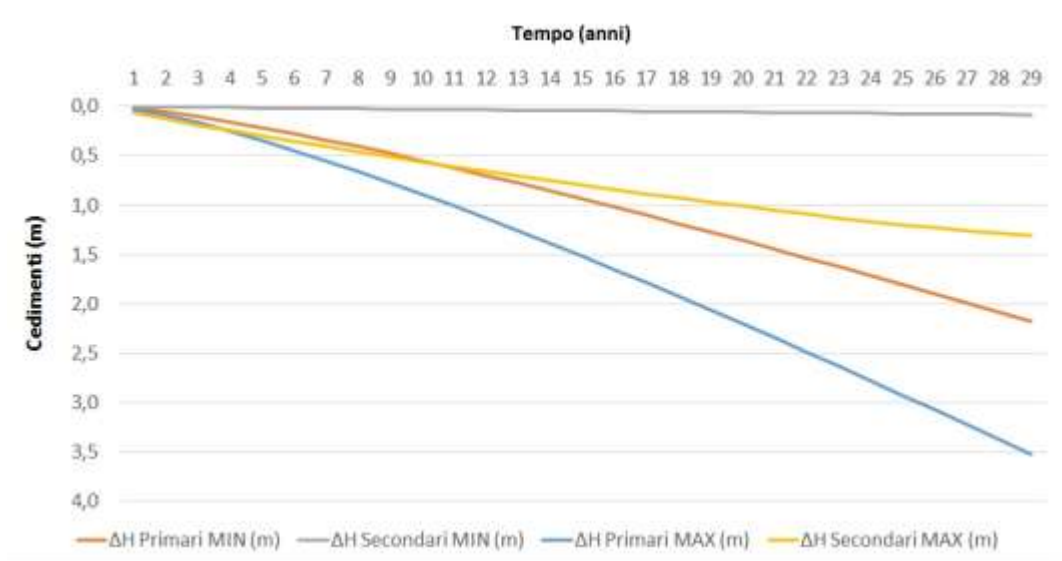
$$= (\text{altezza iniziale di un substrato} \times \text{Substrati}) - (\Delta H \text{ TOTALE} + \\ + \text{quota di fondazione della discarica} + \text{cedimenti del terreno di} \\ \text{fondazione})$$

9.2.1 Cedimenti ottenuti (Sowers)

Intervallo	Cedimenti primari (m)	Cedimenti secondari (m)	Cedimenti totali (m)	Vita utile
A	2,19 – 3,57	0,40 – 1,07	2,59 – 4,64	Imposta di 29 anni e 2 mesi
B	2,99 – 6,90	0,53 – 1,85	3,60 – 8,75	37 anni e 8 mesi – 49 anni

Tab. 9.2.1.1: Risultati ottenuti con il modello di Sowers

Intervallo A:



Intervallo B:

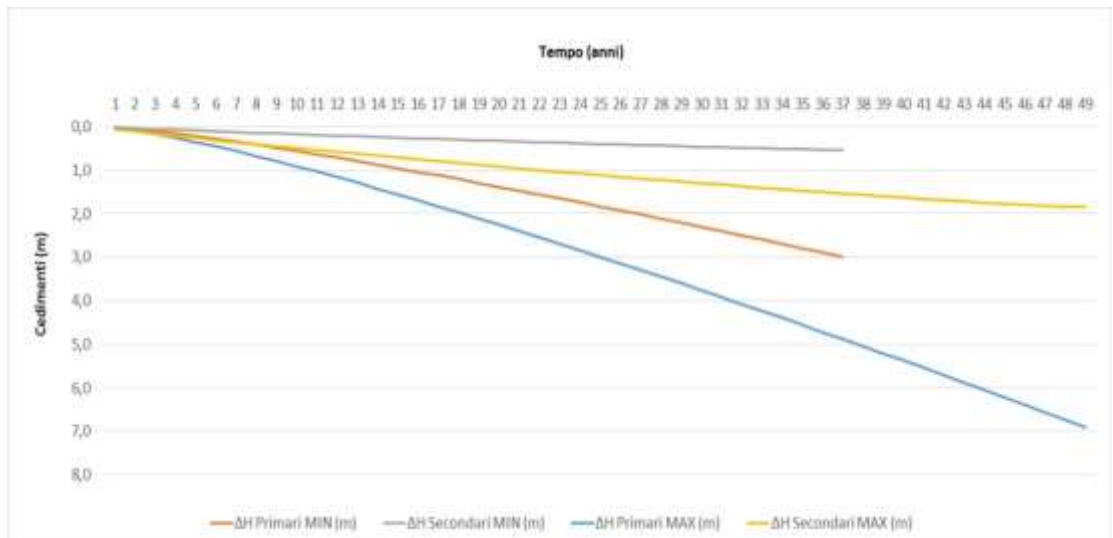


Figura 9.2.1.2: Cedimenti ottenuti nei casi A e B

Come già detto viene anche analizzato l'effetto di una variazione del 2% dei parametri di compressibilità proposti da Sowers. Il calcolo è quindi ripetuto con: $C'c = 0,11$ e $C'\alpha = 0,022$.

I cedimenti totali ottenuti sono di 2,99 m considerando solo i rifiuti e di 4,02 m calcolando sul tempo di utilizzo, o vita utile, della discarica.

Vengono distinti i cedimenti primari (2,39 m e 3,41 m), e i cedimenti secondari (0,54 m e 0,58m).

Dalla seguente figura 9.2.1.3, inserendo i parametri minimi e questa proposta con la variazione del 2%, si vedrà il confronto fra i risultati ottenuti sui cedimenti dei rifiuti e sul calcolo della vita utile.

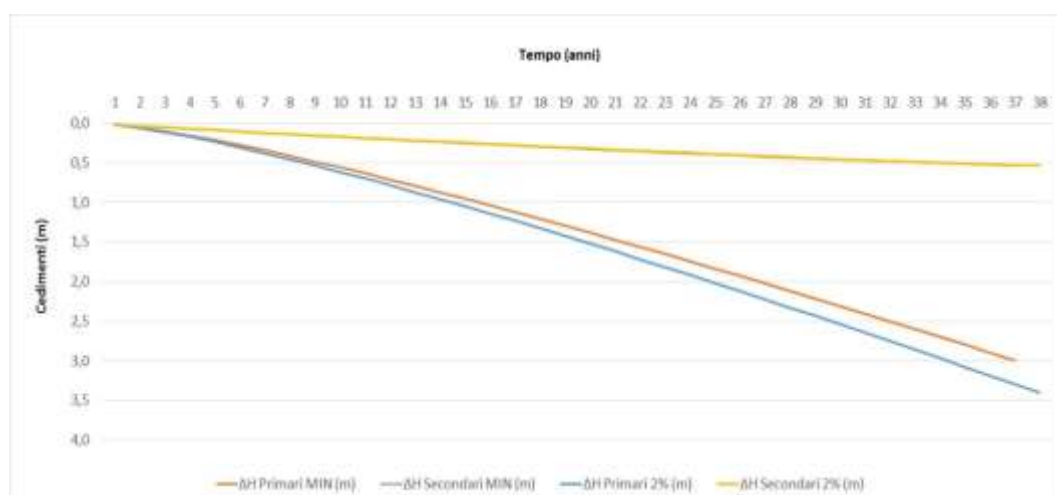
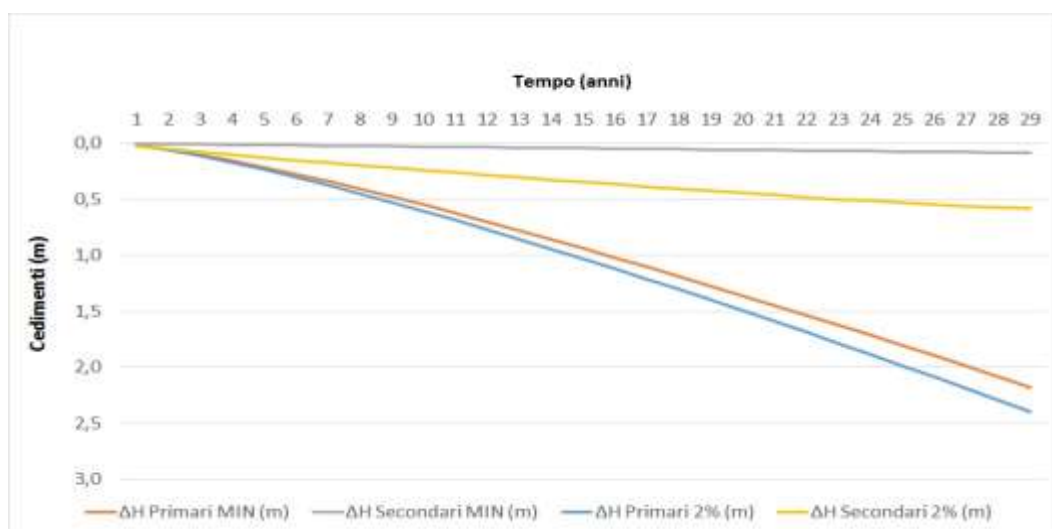


Figura 9.2.1.3: Risultati ottenuti con un variazione del 2% sui parametri di compressibilità

9.3. Applicazione del modello di Bjarngard ed Edgers (1990)

Il modello di Bjarngard ed Edgers, distingue i contributi al cedimento totale in primario, secondario intermedio e secondario a lungo termine:

$$\Delta H = H_i C'c \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) + H C'\alpha_1 \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) + H C'\alpha_2 \log\left(\frac{t_3}{t_2}\right) \quad (9.3)$$

In cui:

ΔH = cedimento totale (m)

H_i = altezza dei rifiuti precedente alla compressione primaria (m)

$C'c$ = coefficiente di compressione primaria

σ'_0 = tensione verticale efficace agente alla metà dello strato considerato (kPa)

$\Delta\sigma'$ = incremento di tensione verticale efficace (kPa)

H = spessore dello strato dopo la compressione primaria (m)

$C'\alpha_1$ = coefficiente di compressione secondaria intermedia

t_1 = tempo necessario affinché abbia termine la compressione iniziale (giorni)

t_2 = tempo necessario alla compressione secondaria intermedia (giorni)

$C'\alpha_2$ = indice di compressione secondaria a lungo termine

t_3 = tempo al quale si desidera calcolare i cedimenti (giorni)

I valori assegnati ai parametri di questo modello sono i seguenti:

Parametri adottati	Range
$C'c = 0,1 - 0,163$	0,1 - 0,52
$C'\alpha_1 = 0,003 - 0,0083$	0,003 - 0,038
$C'\alpha_2 = 0,017 - 0,091$	0,017 - 0,510
$t_1 = 15$ giorni	0 - 30 giorni
$t_2 = 200$ giorni	200 giorni

Tab. 9.3.1: Parametri adottati per i calcoli con il modello di Bjarngard ed Edgers

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	AH Primario (m)	H _p (m)	AH Primario cumulato (m)	log2	AH S. Intermedio (m)	log3	AH S. a lungo termine (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,8336	0,00065	1,7177	0,0022
	2	120	1,254	0,836	0,2218	0,001686	0,0760	0,0017	2,8310	0,00065	2,8401	0,0037
	3	180	2,09	0,836	0,1461	0,001111	0,0743	0,0028	2,8284	0,00063	2,8376	0,0036
	4	240	2,926	0,836	0,1091	0,000829	0,0732	0,0036	2,8259	0,00062	2,8351	0,0035
	5	300	3,762	0,836	0,0872	0,000662	0,0724	0,0043	2,8233	0,00061	2,8325	0,0035
	6	360	4,598	0,836	0,0726	0,000551	0,0717	0,0048	2,8206	0,00061	2,8299	0,0034
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	0,000472	0,0712	0,0053	2,8180	0,00060	2,8274	0,0034
	8	480	6,27	0,836	0,0544	0,000413	0,0707	0,0057	2,8154	0,00060	2,8248	0,0034
	9	540	7,106	0,836	0,0483	0,000367	0,0703	0,0061	2,8127	0,00059	2,8222	0,0034
	10	600	7,942	0,836	0,0435	0,000330	0,0699	0,0064	2,8100	0,00059	2,8195	0,0034
	11	660	8,778	0,836	0,0395	0,000300	0,0696	0,0067	2,8073	0,00059	2,8169	0,0033
	12	720	9,614	0,836	0,0362	0,000275	0,0693	0,0070	2,8046	0,00058	2,8142	0,0033
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	0,000254	0,0690	0,0073	2,8019	0,00058	2,8116	0,0033
	14	840	11,286	0,836	0,0310	0,000236	0,0687	0,0075	2,7991	0,00058	2,8089	0,0033
	15	900	12,122	0,836	0,0290	0,000220	0,0685	0,0077	2,7963	0,00057	2,8062	0,0033
	16	960	12,958	0,836	0,0272	0,000206	0,0683	0,0079	2,7936	0,00057	2,8035	0,0033
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	0,000194	0,0681	0,0081	2,7908	0,00057	2,8007	0,0032
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	0,000183	0,0679	0,0083	2,7879	0,00057	2,7980	0,0032
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	0,000174	0,0677	0,0085	2,7851	0,00057	2,7952	0,0032
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	0,000165	0,0675	0,0086	2,7822	0,00056	2,7924	0,0032
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	0,000157	0,0674	0,0088	2,7794	0,00056	2,7896	0,0032
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	0,000150	0,0672	0,0089	2,7765	0,00056	2,7868	0,0032
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	0,000144	0,0671	0,0091	2,7735	0,00056	2,7839	0,0032
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	0,000138	0,0669	0,0092	2,7706	0,00056	2,7810	0,0032
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	0,000132	0,0668	0,0094	2,7677	0,00055	2,7782	0,0032
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	0,000127	0,0666	0,0095	2,7647	0,00055	2,7752	0,0031
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	0,000122	0,0665	0,0096	2,7617	0,00055	2,7723	0,0031
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	0,000118	0,0664	0,0097	2,7587	0,00055	2,7694	0,0031
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	0,000114	0,0663	0,0098	2,7556	0,00055	2,7664	0,0031
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	0,000110	0,0662	0,0099	2,7526	0,00055	2,7634	0,0031

Tab. 9.3.2: Esempio dell'applicazione del modello di Bjarngard - Edgers per il primo strato

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	AH Primari cumulati in t (m)	AH S. Intermedi in t (m)	AH S. Intermedi cumulati (m)	AH S. a lungo termine in t (m)	AH S. cumulati a lungo termine (m)	AH TOTALE (m)
1	0,0000	0,0006	0,0006	0,0022	0,0022	0,0029
	0,0017	0,0006	0,0013	0,0022	0,0044	0,0074
	0,0045	0,0006	0,0019	0,0022	0,0066	0,0130
	0,0081	0,0006	0,0025	0,0021	0,0087	0,0194
	0,0124	0,0006	0,0032	0,0021	0,0108	0,0264
	0,0172	0,0006	0,0038	0,0021	0,0129	0,0339
2	0,0225	0,0006	0,0044	0,0021	0,0150	0,0419
	0,0283	0,0006	0,0050	0,0020	0,0170	0,0502
	0,0344	0,0006	0,0056	0,0020	0,0190	0,0590
	0,0408	0,0006	0,0061	0,0020	0,0211	0,0680
	0,0475	0,0006	0,0067	0,0020	0,0231	0,0773
	0,0545	0,0006	0,0073	0,0020	0,0250	0,0869
3	0,0618	0,0006	0,0079	0,0020	0,0270	0,0967
	0,0693	0,0006	0,0085	0,0020	0,0290	0,1067
	0,0770	0,0006	0,0090	0,0020	0,0309	0,1169
	0,0849	0,0006	0,0096	0,0019	0,0329	0,1274
	0,0930	0,0006	0,0102	0,0019	0,0348	0,1380
	0,1013	0,0006	0,0108	0,0019	0,0368	0,1488
4	0,1097	0,0006	0,0113	0,0019	0,0387	0,1597
	0,1184	0,0006	0,0119	0,0019	0,0406	0,1709
	0,1272	0,0006	0,0124	0,0019	0,0425	0,1821
	0,1361	0,0006	0,0130	0,0019	0,0444	0,1935
	0,1452	0,0006	0,0136	0,0019	0,0463	0,2050
	0,1544	0,0006	0,0141	0,0019	0,0482	0,2167
5	0,1638	0,0006	0,0147	0,0019	0,0501	0,2285
	0,1732	0,0006	0,0152	0,0019	0,0519	0,2404
	0,1828	0,0006	0,0158	0,0019	0,0538	0,2524
	0,1925	0,0005	0,0163	0,0019	0,0556	0,2645
	0,2024	0,0005	0,0169	0,0018	0,0575	0,2768
	0,2123	0,0005	0,0174	0,0018	0,0593	0,2891

Tab. 9.3.3: Esempio dell'applicazione del modello di Bjarngard - Edgers per i cedimenti totali

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	H_p (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	ΔH S. a lungo termine (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,9453	0,00067	1,8274	0,0024
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,001771	0,0760	0,0018	2,9433	0,00067	1,8254	0,0024
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,001146	0,0742	0,0029	2,9413	0,00065	1,8235	0,0023
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000849	0,0731	0,0038	2,9394	0,00064	1,8215	0,0023
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000675	0,0722	0,0044	2,9374	0,00064	1,8195	0,0022
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000560	0,0716	0,0050	2,9353	0,00063	1,8176	0,0022
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000479	0,0710	0,0055	2,9333	0,00062	1,8156	0,0022
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000418	0,0705	0,0059	2,9313	0,00062	1,8136	0,0022
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000371	0,0701	0,0063	2,9292	0,00062	1,8116	0,0022
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000333	0,0697	0,0066	2,9272	0,00061	1,8096	0,0021
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000303	0,0694	0,0069	2,9251	0,00061	1,8075	0,0021
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000277	0,0691	0,0072	2,9231	0,00061	1,8055	0,0021
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000256	0,0688	0,0074	2,9210	0,00060	1,8035	0,0021
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000237	0,0686	0,0077	2,9189	0,00060	1,8014	0,0021
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000221	0,0683	0,0079	2,9168	0,00060	1,7993	0,0021
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000208	0,0681	0,0081	2,9147	0,00060	1,7973	0,0021
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000195	0,0679	0,0083	2,9126	0,00059	1,7952	0,0021
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000184	0,0677	0,0085	2,9104	0,00059	1,7931	0,0021
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000175	0,0675	0,0087	2,9083	0,00059	1,7910	0,0021
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000166	0,0673	0,0088	2,9062	0,00059	1,7889	0,0020
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000158	0,0672	0,0090	2,9040	0,00059	1,7868	0,0020
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000151	0,0670	0,0091	2,9018	0,00058	1,7846	0,0020
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000144	0,0669	0,0093	2,8996	0,00058	1,7825	0,0020
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000138	0,0667	0,0094	2,8974	0,00058	1,7803	0,0020
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000133	0,0666	0,0095	2,8952	0,00058	1,7782	0,0020
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000127	0,0665	0,0097	2,8930	0,00058	1,7760	0,0020
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000123	0,0663	0,0098	2,8908	0,00058	1,7738	0,0020
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000118	0,0662	0,0099	2,8886	0,00057	1,7716	0,0020
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000114	0,0661	0,0100	2,8863	0,00057	1,7694	0,0020
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000110	0,0660	0,0101	2,8840	0,00057	1,7672	0,0020

Tab. 9.3.4: Esempio dell'applicazione del modello di Bjarngard - Edgers per i cedimenti totali per l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	AH Primari cumulati in t (m)	AH S. Intermedi in t (m)	AH S. Intermedi cumulati (m)	AH S. a lungo termine in t (m)	AH S. a lungo termine cumulati (m)	AH TOTALE (m)	Altezza (m)
1	0,0000	0,0007	0,0007	0,0024	0,0024	0,0030	-2,75
	0,0018	0,0007	0,0013	0,0024	0,0047	0,0078	-2,68
	0,0047	0,0007	0,0020	0,0023	0,0070	0,0137	-2,61
	0,0085	0,0006	0,0026	0,0023	0,0093	0,0204	-2,54
	0,0129	0,0006	0,0033	0,0022	0,0115	0,0277	-2,47
	0,0179	0,0006	0,0039	0,0022	0,0137	0,0355	-2,40
2	0,0234	0,0006	0,0045	0,0022	0,0159	0,0438	-2,33
	0,0293	0,0006	0,0052	0,0022	0,0181	0,0525	-2,26
	0,0355	0,0006	0,0058	0,0022	0,0203	0,0616	-2,20
	0,0422	0,0006	0,0064	0,0021	0,0224	0,0709	-2,13
	0,0491	0,0006	0,0070	0,0021	0,0245	0,0806	-2,06
	0,0562	0,0006	0,0076	0,0021	0,0267	0,0905	-2,00
3	0,0637	0,0006	0,0082	0,0021	0,0288	0,1006	-1,93
	0,0714	0,0006	0,0088	0,0021	0,0309	0,1110	-1,87
	0,0793	0,0006	0,0094	0,0021	0,0330	0,1216	-1,80
	0,0874	0,0006	0,0100	0,0021	0,0350	0,1324	-1,74
	0,0957	0,0006	0,0106	0,0021	0,0371	0,1433	-1,67
	0,1041	0,0006	0,0112	0,0021	0,0392	0,1545	-1,61
4	0,1128	0,0006	0,0118	0,0021	0,0412	0,1658	-1,54
	0,1216	0,0006	0,0124	0,0020	0,0433	0,1773	-1,48
	0,1306	0,0006	0,0129	0,0020	0,0453	0,1889	-1,41
	0,1397	0,0006	0,0135	0,0020	0,0473	0,2006	-1,35
	0,1490	0,0006	0,0141	0,0020	0,0494	0,2125	-1,28
	0,1584	0,0006	0,0147	0,0020	0,0514	0,2245	-1,22
5	0,1680	0,0006	0,0153	0,0020	0,0534	0,2367	-1,16
	0,1777	0,0006	0,0158	0,0020	0,0554	0,2489	-1,09
	0,1875	0,0006	0,0164	0,0020	0,0574	0,2613	-1,03
	0,1974	0,0006	0,0170	0,0020	0,0594	0,2738	-0,97
	0,2074	0,0006	0,0176	0,0020	0,0614	0,2864	-0,90
	0,2176	0,0006	0,0181	0,0020	0,0634	0,2991	-0,84

Tab. 9.3.5: Esempio dell'applicazione del modello di Bjarngard - Edgers per i cedimenti totali per l'altezza massima

LEGENDA

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato considerato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{\text{RSU}}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace

$$= \gamma_{\text{RSU}} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

ΔH Primario (m) = cedimento primario

$$= \text{spessore iniziale del substrato} \times C'_c \times \log 1$$

H_p (m) = spessore iniziale del substrato - ΔH Primario

ΔH Primario cumulato (m) = ΔH Primario cumulato_(t-1) + ΔH Primario

$\log 2 = \log ((\text{tempo massimo} - \text{Tempo} - t_2 - t_1) / t_1)$

$\Delta H S.$ Intermedio (m) = cedimento secondario intermedio

$$= H_p \times C' \alpha_1 \times \log 2$$

$$\log 3 = \log ((\text{tempo massimo} - \text{Tempo}) / t_2)$$

$\Delta H S.$ a lungo termine (m) = cedimento secondario a lungo termine

$$= H_p \times C' \alpha_2 \times \log 3$$

ΔH Primari cumulati in t (m) = ΔH Primari cumulati in t_(t-1) + ΔH Primario
cumulato

$\Delta H S.$ Intermedi in t (m) = $H_p \times C' \alpha_1 \times \log ((\text{tempo massimo} - \text{Tempo} - t_2 - t_1) / t_1)$

$\Delta H S.$ Intermedi cumulati (m) = $\Delta H S.$ Intermedi in t + $\Delta H S.$ Intermedi
cumulati_(t-1)

$\Delta H S.$ a lungo termine in t (m) = $H_p \times C' \alpha_2 \times \log ((\text{tempo massimo} - \text{Tempo}) / t_2)$

$\Delta H S.$ cumulati a lungo termine (m) = $\Delta H S.$ cumulati a lungo termine_(t-1) +
+ $\Delta H S.$ a lungo termine in t

ΔH TOTALE (m) = ΔH Primari in t + $\Delta H S.$ Intermedi cumulati + $\Delta H S.$
cumulati a lungo termine

H da p.c (m) = altezza della discarica riferita al piano campagna

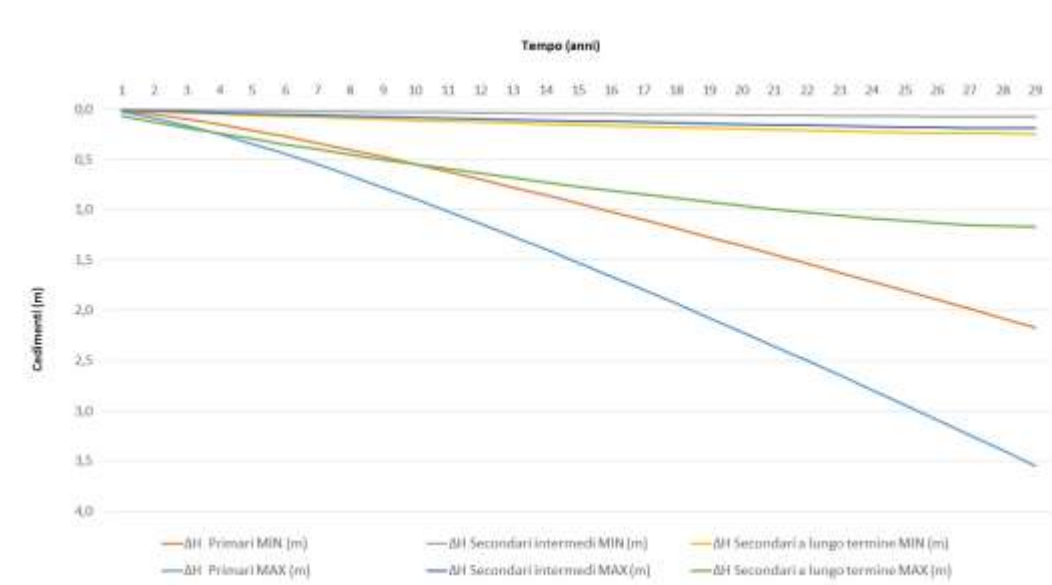
= (altezza iniziale di un substrato × Substrati) – (ΔH TOTALE +
+ quota di fondazione della discarica + cedimenti del terreno di
fondazione)

9.3.1 Cedimenti ottenuti (Bjarngard - Edgers)

Intervallo	Cedimenti primari (m)	Cedimenti secondari Intermedi (m)	Cedimenti secondari a lungo termine (m)	Cedimenti totali (m)	Vita utile
A	2,19 – 3,57	0,08 – 0,19	0,25 – 1,17	2,52 – 4,93	Imposta di 29 anni e 2 mesi
B	3,05 – 7,25	0,10 – 0,36	0,34 - 2,32	3,49 – 10,07	37 anni e 6 mesi – 51 anni e 10 mesi

Tab. 9.3.1.1: Risultati ottenuti con il modello di Bjarngard ed Edgers

Intervallo A:



Intervallo B:

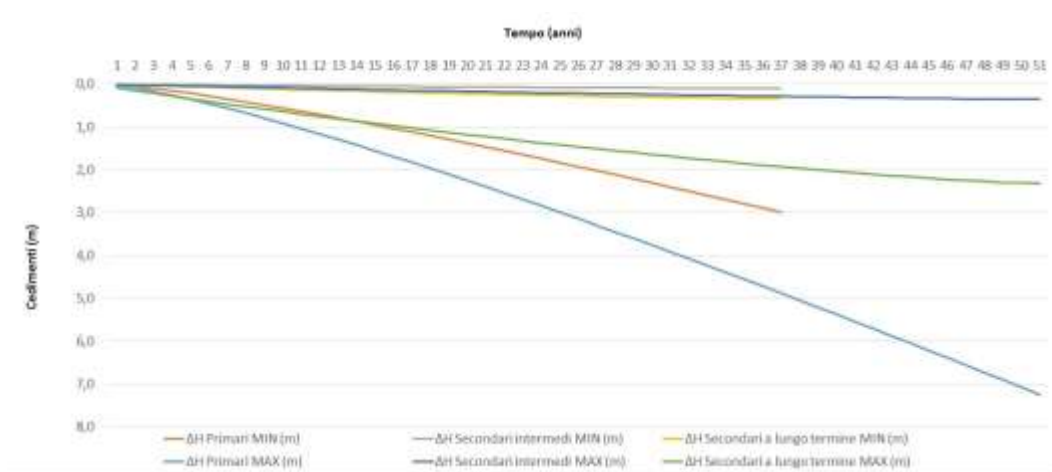


Figura 9.3.1.2: Cedimenti ottenuti nei casi A e B

Viene analizzato l'effetto di una variazione del 2% dei parametri di compressibilità proposti dagli autori. Il calcolo è quindi ripetuto con:

$C'c = 0,11$, $C'\alpha1 = 0,0037$ e $C'\alpha2 = 0,027$.

I cedimenti totali ottenuti sono di 2,89 m considerando solo i rifiuti e di 3,79 m calcolando sulla vita utile della discarica.

Vengono distinti i cedimenti primari (2,39 m e 3,10 m), i cedimenti secondari intermedi (0,10 m e 0,13 m) e i cedimenti secondari a lungo termine (0,38 m e 0,55 m).

Dalla seguente figura 9.3.1.3, inserendo i parametri minimi e questa proposta con la variazione del 2%, si vedrà il confronto fra i risultati ottenuti sui cedimenti dei rifiuti e sul calcolo della vita utile.

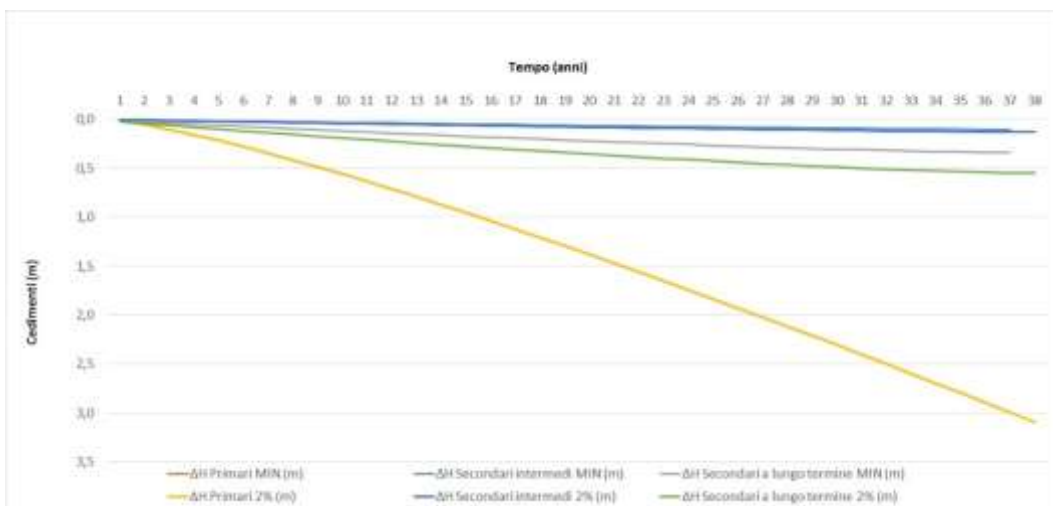
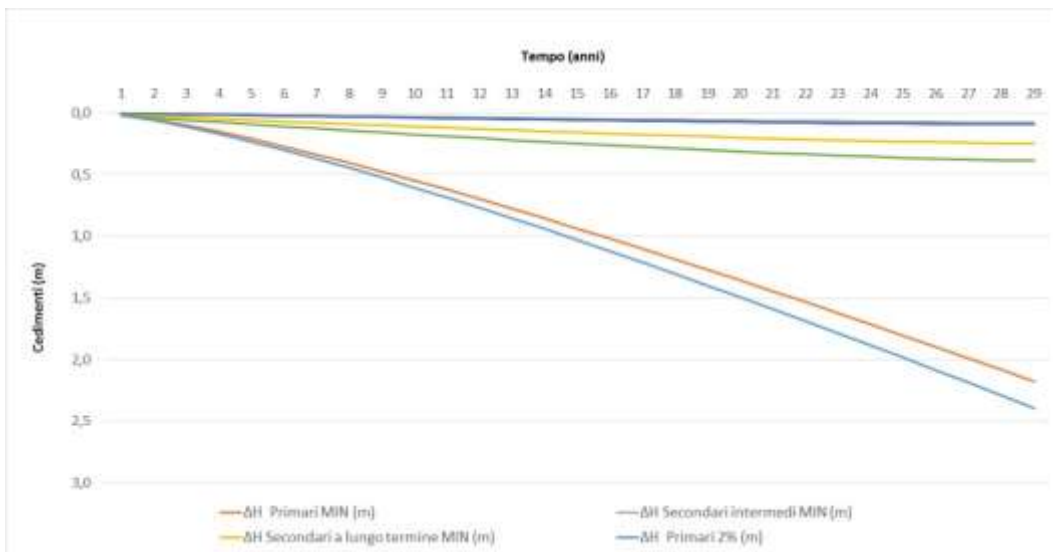


Figura 9.3.1.3: Risultati ottenuti con un variazione del 2% sui parametri di compressibilità

9.4. Applicazione del modello di Edil et al. (1990)

Nel modello di Edil et al., il cedimento non è suddiviso in aliquote:

$$\Delta H = H \Delta\sigma' m \left(\frac{t}{tr}\right)^n \quad (9.4)$$

In cui:

ΔH = cedimento totale (m)

H = altezza dei rifiuti precedente alla compressione primaria (m)

$\Delta\sigma'$ = incremento di tensione verticale efficace esercitato sulla metà dello strato (kPa)

m = compressibilità di riferimento (/kPa)

n = velocità di compressione

t = tempo al quale si desidera calcolare il cedimento (giorni)

tr = tempo per rendere adimensionale l'equazione (giorni)

I valori per i parametri utilizzati nel modello sono i seguenti:

Parametri adottati	Range	Note
$m = (1,6 - 2,2) \times 10^{-5}$ (/kPa)	$1,6 \times 10^{-5} - 5,8 \times 10^{-5}$ (/kPa)	Alta compattazione - Bassa compattazione
$n = 0,50 - 0,53$	0,50 - 0,67	Alta compattazione - Bassa compattazione
$tr = 1$ (giorni)	1	

Tab. 9.4.1: Parametri adottati per i calcoli con il modello di Edil et al.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	102,1763	0,000000	0,0000	0,0000
	2	120	1,254	0,836	0,2218	101,8823	0,000104	0,0001	0,0001
	3	180	2,09	0,836	0,1461	101,5874	0,000103	0,0002	0,0003
	4	240	2,926	0,836	0,1091	101,2917	0,000103	0,0003	0,0006
	5	300	3,762	0,836	0,0872	100,9950	0,000103	0,0004	0,0010
	6	360	4,598	0,836	0,0726	100,6976	0,000102	0,0005	0,0015
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	100,3992	0,000102	0,0006	0,0022
	8	480	6,27	0,836	0,0544	100,1000	0,000102	0,0007	0,0029
	9	540	7,106	0,836	0,0483	99,7998	0,000101	0,0008	0,0037
	10	600	7,942	0,836	0,0435	99,4987	0,000101	0,0009	0,0046
	11	660	8,778	0,836	0,0395	99,1968	0,000101	0,0010	0,0056
	12	720	9,614	0,836	0,0362	98,8939	0,000101	0,0011	0,0068
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	98,5901	0,000100	0,0012	0,0080
	14	840	11,286	0,836	0,0310	98,2853	0,000100	0,0013	0,0093
	15	900	12,122	0,836	0,0290	97,9796	0,000100	0,0014	0,0107
	16	960	12,958	0,836	0,0272	97,6729	0,000099	0,0015	0,0123
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	97,3653	0,000099	0,0016	0,0139
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	97,0567	0,000099	0,0017	0,0156
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	96,7471	0,000098	0,0018	0,0174
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	96,4365	0,000098	0,0019	0,0193
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	96,1249	0,000098	0,0020	0,0213
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	95,8123	0,000097	0,0021	0,0235
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	95,4987	0,000097	0,0022	0,0257
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	95,1840	0,000097	0,0023	0,0280
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	94,8683	0,000096	0,0024	0,0304
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	94,5516	0,000096	0,0025	0,0329
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	94,2338	0,000096	0,0026	0,0355
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	93,9149	0,000095	0,0027	0,0381
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	93,5949	0,000095	0,0028	0,0409
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	93,2738	0,000095	0,0029	0,0438

Tab. 9.4.2: Esempio dell'applicazione del modello di Edil et al.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	1	60	17	0,000	0,0000	110,0909	0,00000	0,0000	0,0000	-2,74
	2	120	17,836	0,836	0,0199	109,8180	0,00011	0,0001	0,0001	-2,67
	3	180	18,672	0,836	0,0190	109,5445	0,00011	0,0002	0,0003	-2,59
	4	240	19,508	0,836	0,0182	109,2703	0,00011	0,0003	0,0007	-2,52
	5	300	20,344	0,836	0,0175	108,9954	0,00011	0,0004	0,0011	-2,44
	6	360	21,18	0,836	0,0168	108,7198	0,00011	0,0006	0,0017	-2,37
2	7	420	22,016	0,836	0,0162	108,4435	0,00011	0,0007	0,0023	-2,29
	8	480	22,852	0,836	0,0156	108,1665	0,00011	0,0008	0,0031	-2,22
	9	540	23,688	0,836	0,0151	107,8888	0,00011	0,0009	0,0040	-2,14
	10	600	24,524	0,836	0,0146	107,6104	0,00011	0,0010	0,0050	-2,06
	11	660	25,36	0,836	0,0141	107,3313	0,00011	0,0011	0,0061	-1,99
	12	720	26,196	0,836	0,0136	107,0514	0,00011	0,0012	0,0073	-1,92
3	13	780	27,032	0,836	0,0132	106,7708	0,00011	0,0013	0,0086	-1,84
	14	840	27,868	0,836	0,0128	106,4894	0,00011	0,0014	0,0101	-1,77
	15	900	28,704	0,836	0,0125	106,2073	0,00011	0,0015	0,0116	-1,69
	16	960	29,54	0,836	0,0121	105,9245	0,00011	0,0016	0,0132	-1,62
	17	1020	30,376	0,836	0,0118	105,6409	0,00011	0,0018	0,0150	-1,54
	18	1080	31,212	0,836	0,0115	105,3565	0,00011	0,0019	0,0169	-1,47
4	19	1140	32,048	0,836	0,0112	105,0714	0,00011	0,0020	0,0188	-1,39
	20	1200	32,884	0,836	0,0109	104,7855	0,00011	0,0021	0,0209	-1,32
	21	1260	33,72	0,836	0,0106	104,4988	0,00011	0,0022	0,0231	-1,25
	22	1320	34,556	0,836	0,0104	104,2113	0,00011	0,0023	0,0254	-1,17
	23	1380	35,392	0,836	0,0101	103,9230	0,00011	0,0024	0,0277	-1,10
	24	1440	36,228	0,836	0,0099	103,6340	0,00011	0,0025	0,0302	-1,03
5	25	1500	37,064	0,836	0,0097	103,3441	0,00011	0,0026	0,0328	-0,95
	26	1560	37,9	0,836	0,0095	103,0534	0,00010	0,0027	0,0355	-0,88
	27	1620	38,736	0,836	0,0093	102,7619	0,00010	0,0028	0,0384	-0,81
	28	1680	39,572	0,836	0,0091	102,4695	0,00010	0,0029	0,0413	-0,73
	29	1740	40,408	0,836	0,0089	102,1763	0,00010	0,0030	0,0443	-0,66
	30	1800	41,244	0,836	0,0087	101,8823	0,00010	0,0031	0,0474	-0,59

Tab. 9.4.3: Esempio dell'applicazione del modello di Edil et al. per l'altezza massima consentita

LEGENDA

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{\text{RSU}}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace dovuto alla posa dello strato successivo.

$$= \gamma_{\text{RSU}} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log I = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

$t/\text{tr E n} = [(\text{tempo massimo} - \text{Tempo}) / \text{tr}]^n$

ΔH (m) = spessore iniziale di un substrato $\times \Delta\sigma' \times m \times t/\text{tr E n}$

ΔH cumulato (m) = $\Delta H + \Delta H$ cumulato _(t-1)

ΔH TOTALE (m) = ΔH cumulato + ΔH TOTALE _(t-1)

H da p.c = altezza della discarica riferita al piano campagna

= (altezza iniziale di un substrato × Substrati) – (ΔH TOTALE +
+ quota di fondazione della discarica + cedimenti del terreno di
fondazione)

9.4.1 Cedimenti ottenuti (Edil et al.)

Intervallo	Cedimenti (m)	Vita utile
A	1,26 – 2,26	Imposta di 29 anni e 2 mesi
B	1,83 – 6,24	33 anni e 10 mesi – 43 anni e 6 mesi

Tab. 9.4.1.1: Risultati ottenuti con il modello di Edil et al.

Intervallo A:



Intervallo B:

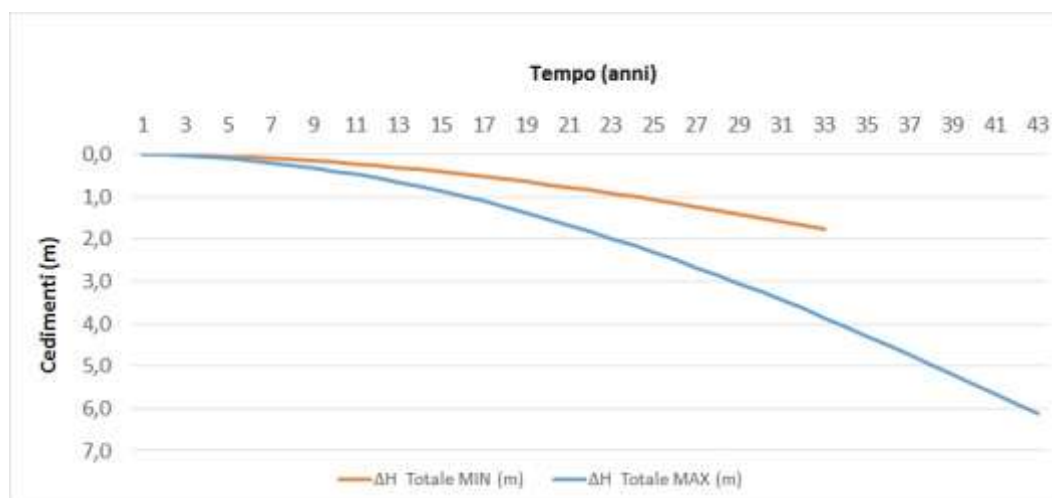


Figura 9.4.1.2: Cedimenti ottenuti nei casi A e B

Come già detto viene ipotizzata una variazione del 2% dei parametri di compressibilità minimo e il massimo proposti dagli autori. Il calcolo viene ripetuto con:

$$m = 1,7 \times 10^{-5} \text{ (/kPa)}, n = 0,503.$$

I cedimenti totali ottenuti sono di 1,38 m considerando solo i rifiuti e di 2,07 calcolando sulla vita utile della discarica.

Dalla seguente figura 9.4.1.3, inserendo i parametri minimi e questa proposta con la variazione del 2%, si vedrà il confronto fra i risultati ottenuti sui cedimenti dei rifiuti e sul calcolo della vita utile.

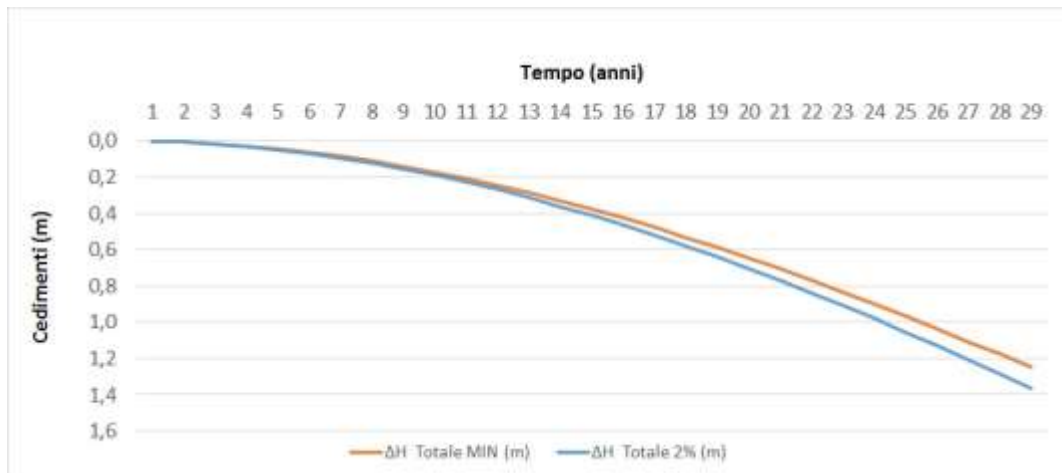


Figura 9.4.1.3: Risultati ottenuti con un variazione del 2% sui parametri di compressibilità

9.5. Applicazione del modello di Gibson e Lo (1961)

Anche nel modello di Gibson e Lo il cedimento totale non è suddiviso nei contributi dati dal primario e secondario:

$$\Delta H = H \Delta\sigma' \left[a + b \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{b}t} \right) \right] \quad (9.5)$$

In cui:

ΔH = cedimento totale (m)

H = altezza dei rifiuti precedente alla compressione primaria (m)

$\Delta\sigma'$ = incremento di tensione verticale efficace (kPa)

a = parametro di compressione primaria (/kPa)

b = parametro di compressione secondaria (/kPa)

λ/b = velocità di compressione secondaria

t = tempo al quale si vuole calcolare il cedimento (giorni)

I valori assegnati ai parametri sono i seguenti:

Parametri adottati	Range
$a = (8,0 - 8,3) \times 10^{-5}$ (/kPa)	$8,0 \times 10^{-5} - 1,0 \times 10^{-4}$ (/kPa)
$b = (2,0-4,1) \times 10^{-3}$ (kPa)	$2,0 \times 10^{-3} - 1,6 \times 10^{-2}$ (/kPa)
$\lambda/b = (1,4-2,5) \times 10^{-4}$ (/giorni)	$1,4 \times 10^{-4} - 9,0 \times 10^{-4}$ (/giorni)

Tab. 9.5.1: Parametri adottati per i calcoli con il modello di Gibson e Lo

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log I	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,000102	0,0001	0,0001
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,000102	0,0002	0,0003
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000102	0,0003	0,0006
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000102	0,0004	0,0010
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000101	0,0005	0,0015
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000101	0,0006	0,0021
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000101	0,0007	0,0029
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000101	0,0008	0,0037
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000100	0,0009	0,0046
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000100	0,0010	0,0056
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000100	0,0011	0,0067
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000100	0,0012	0,0079
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000099	0,0013	0,0092
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000099	0,0014	0,0106
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000099	0,0015	0,0121
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000098	0,0016	0,0138
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000098	0,0017	0,0155
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000098	0,0018	0,0173
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000098	0,0019	0,0192
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000097	0,0020	0,0212
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000097	0,0021	0,0233
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000097	0,0022	0,0255
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000096	0,0023	0,0277
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000096	0,0024	0,0301
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000096	0,0025	0,0326
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000095	0,0026	0,0352
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000095	0,0027	0,0379
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000095	0,0028	0,0406
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000095	0,0029	0,0435

Tab. 9.5.2: Esempio dell'applicazione del modello di Gibson e Lo

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000	-2,74
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,000108	0,0001	0,0001	-2,67
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,000108	0,0002	0,0003	-2,59
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000108	0,0003	0,0007	-2,52
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000108	0,0004	0,0011	-2,44
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000108	0,0005	0,0016	-2,37
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000107	0,0006	0,0023	-2,29
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000107	0,0008	0,0030	-2,22
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000107	0,0009	0,0039	-2,14
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000107	0,0010	0,0049	-2,06
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000107	0,0011	0,0059	-1,99
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000106	0,0012	0,0071	-1,92
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000106	0,0013	0,0084	-1,84
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000106	0,0014	0,0098	-1,77
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000106	0,0015	0,0113	-1,69
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000106	0,0016	0,0129	-1,62
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000105	0,0017	0,0146	-1,54
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000105	0,0018	0,0164	-1,47
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000105	0,0019	0,0183	-1,39
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000105	0,0020	0,0204	-1,32
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000104	0,0021	0,0225	-1,25
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000104	0,0022	0,0247	-1,17
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000104	0,0023	0,0271	-1,10
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000104	0,0024	0,0295	-1,03
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000103	0,0025	0,0321	-0,95
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000103	0,0026	0,0347	-0,88
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000103	0,0028	0,0375	-0,81
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000103	0,0029	0,0403	-0,73
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000102	0,0030	0,0433	-0,66
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000102	0,0031	0,0463	-0,59

Tab. 9.5.3: Esempio dell'applicazione del modello di Gibson e Lo per l'altezza massima consentita

LEGENDA

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{RSU}) / 2$$

$$\sigma' \text{ (kN/m}^2\text{)} = \sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace dovuto alla posa dello strato successivo

$$= \gamma_{RSU} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$$

$$\Delta H \text{ (m)} = \text{spessore iniziale di un substrato} \times \Delta\sigma' \times [a + b (1 - e^{-(a/b)t})]$$

$$\Delta H \text{ cumulato (m)} = \Delta H + \Delta H \text{ cumulato}_{(t-1)}$$

$$\Delta H \text{ TOTALE (m)} = \Delta H \text{ cumulato} + \Delta H \text{ TOTALE}_{(t-1)}$$

H da p.c = altezza della discarica riferita al piano campagna

$$= (\text{altezza iniziale di un substrato} \times \text{Substrati}) - (\Delta H \text{ TOTALE} +$$

+ quota di fondazione della discarica + cedimenti del terreno di

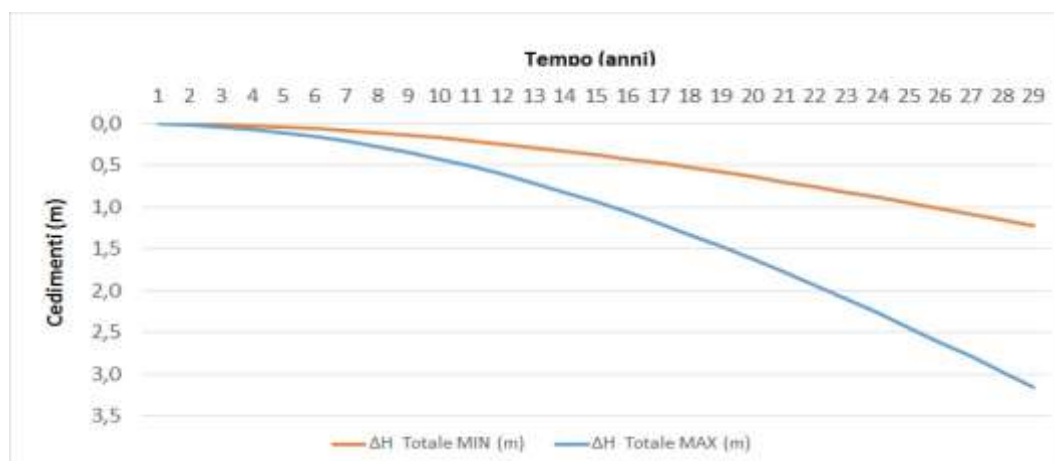
fondazione)

9.5.1 Cedimenti ottenuti (Gibson e Lo)

Intervallo	Cedimenti (m)	Vita utile
A	1,23 – 3,18	Imposta di 29 anni e 2 mesi
B	1,77 – 7,02	33 anni e 8 mesi – 45 anni e 8 mesi

Tab. 9.5.1.1: Risultati ottenuti con il modello di Gibson e Lo

Intervallo A:



Intervallo B:

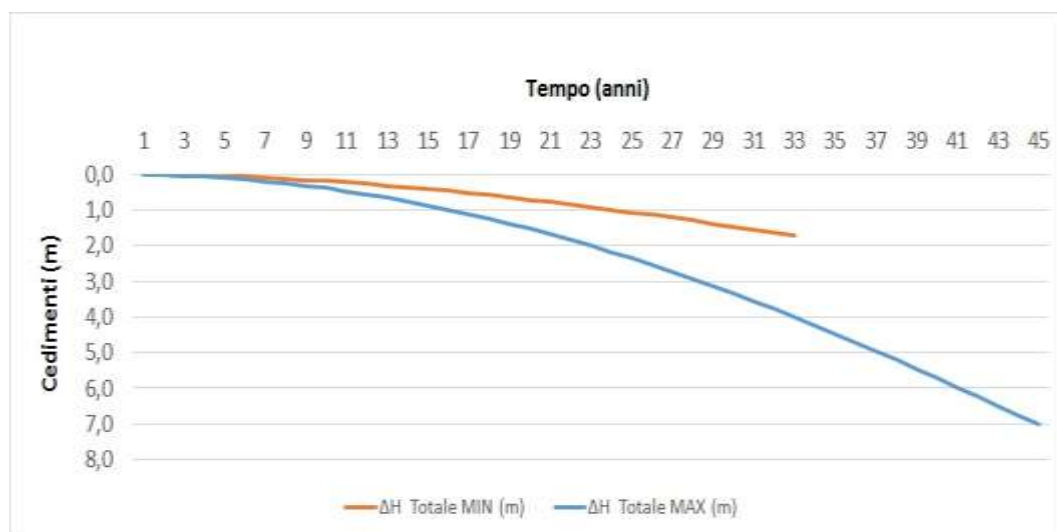


Figura 9.5.1.2: Cedimenti ottenuti nei casi A e B

Viene analizzato l'effetto di una variazione del 2% dei parametri di compressibilità minimo e il massimo proposti dagli autori.

Il calcolo viene ripetuto considerando:

$a = 8,03 \times 10^{-5}$ (/kPa), $b = 0,0023$ (/kPa) e $\lambda/b = 1,6 \times 10^{-4}$ (/giorni).

I cedimenti totali ottenuti sono di 1,50 m considerando solo i rifiuti e di 2,36 m calcolando sulla vita utile della discarica.

Dalla seguente figura 9.5.1.3, inserendo i parametri minimi e questa proposta con la variazione del 2%, si vedrà il confronto fra i risultati ottenuti sui cedimenti dei rifiuti e sul calcolo della vita utile.

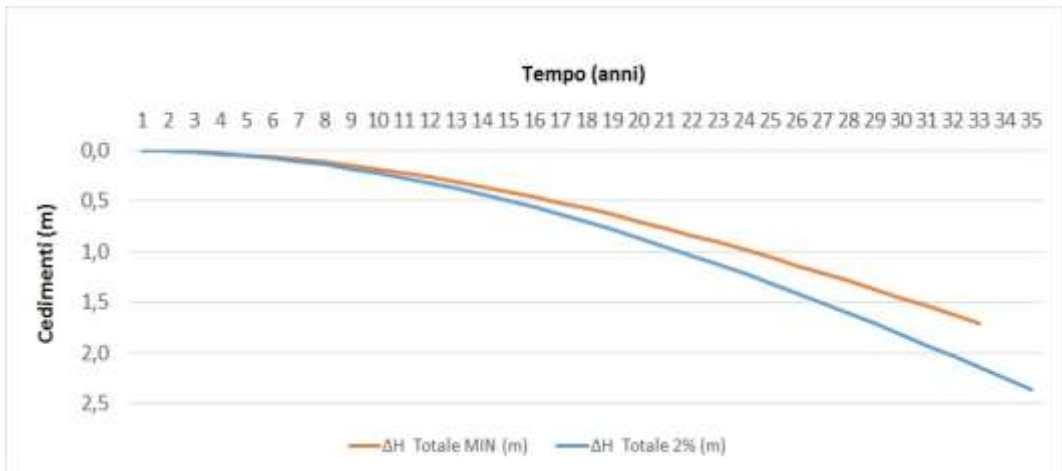
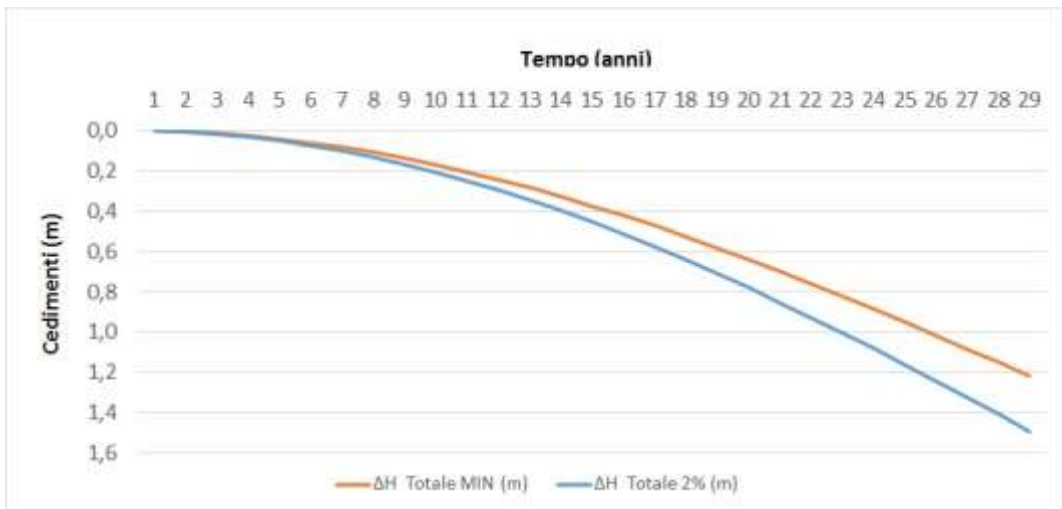


Figura 9.5.1.3: Risultati ottenuti con un variazione del 2% sui parametri di compressibilità

10. Conclusioni

Considerata la variabilità dei parametri geotecnici dei rifiuti in dipendenza alle condizioni ambientali e sito specifiche, il calcolo dei cedimenti, risulta ancora molto complesso

I risultati ottenuti sulla discarica di Este, risultano diversi fra i vari modelli, anche inserendo i parametri minimi proposti dagli autori e questo è dovuto ai diversi coefficienti di compressibilità consigliati dagli stessi.

I cedimenti totali dei rifiuti solidi urbani, adottando i parametri minimi infatti variano da un minimo di 1,23 m ad un massimo di 2,59 m.

Si è riscontrato che piccole variazioni dei coefficienti di compressibilità comportano notevoli variazioni sui cedimenti totali ottenuti. A questa conclusione si è giunti imponendo una variazione del 2% e del 15% aggiunta al valore minimo di compressibilità; questa ha provocato un notevole aumento dei cedimenti totali.

Con una variazione del 2%, i cedimenti totali sono compresi fra da 2,99 m a 1,37 m, mentre con la variazione del 15% i cedimenti totali sono compresi fra 4,93 m a 2,26 m.

Con la compattazione dei rifiuti e del terreno di fondazione, nel tempo, si possono stoccare ulteriori strati grazie al volume reso disponibile dai cedimenti. I cedimenti totali con i parametri minimi di compressibilità, calcolati al raggiungimento dell'altezza massima di 10,8 m dal piano campagna, variano da un minimo di 1,78 m ad un massimo di 3,60 m.

Con la variazione del 2% dei parametri scelti dagli autori i cedimenti totali sono compresi fra 2,07 m e 4,19 m.

Con la variazione del 15% invece i risultati ottenuti sono molto maggiori e sono compresi fra 6,24 m e 10,07 m.

Le discariche in cui sono stati condotti gli studi dei diversi autori risultano esaurite dagli anni Settanta e Novanta, di conseguenza la tipologia dei rifiuti conferiti era molto diversa da quella attuale. Questa differenza è dovuta sia alla diversa concezione di gestione dei rifiuti di quegli anni rispetto all'attuale, sia perché la composizione dei rifiuti solidi urbani varia molto anche a seconda del

luogo di produzione (in quanto dipende dalle direttive) ma anche dai cicli produttivi.

Per dare un'idea di quanto diverse siano le realtà locali, si consideri che, secondo i dati della bioCycle and the Earth of Engineering Centre of Columbia University, negli Stati Uniti, la percentuale media di rifiuti che veniva stoccata in discarica nel 2013 era del 69%, contro una media europea del 40%. Secondo i dati ARPAV 2014, la percentuale di rifiuti stoccati in discarica in Italia nel 2013 era del 49%, sul totale degli RSU prodotti, mentre quella del Veneto era del 14%.

Le misure dirette delle caratteristiche geotecniche dei rifiuti allocati nel futuro ampliamento della discarica di Este, non sono disponibili. Questo comporta che i parametri adottati per applicare i modelli di calcolo, seppur avendo assunto per essi i valori minimi suggeriti in letteratura, potrebbero comunque fornire valori di cedimento superiori a quelli che si verificheranno in futuro.

Si sottolinea infine che l'unico modo per poter verificare la validità dei diversi modelli è l'osservazione diretta. Eventuali test in laboratorio non è detto che possano fornire dati rappresentativi del volume totale allocato in una discarica di 13,3 m d'altezza, quale sarà l'ampliamento di Este. La ragione di ciò è data anche dal fatto che gli strati nella discarica in questione saranno stoccati in molti anni e potrebbero variare caratteristiche dei rifiuti contenuti a seconda dell'evoluzione futura del ciclo di smaltimento dei rifiuti.

Bibliografia

ARPAV (2013), Carta dei suoli della provincia di Padova, Treviso, ARPAV, 15 - 26.

Bjarngard A, ed Edgers L., (1990), Settlement of municipal solid waste landfills. Proc., 13th Annual Madison Waste Conference, University of Wisconsin, Madison, 192 – 205.

Chalmin P., Gaillochet C., (2009), From Waste to Resources, An Abstract of Word WasreSurvey, Cyclope, Veolia Environmental Services, France.

Coduto D.P., Huitric R. (1990), Monitoring landfill movement using precise instruments. Geotechnics of waste fills: Theory and practice, ASTM STP 1070, Philadelphia, 358 – 370.

Coumoulos D.G., Koryalos T.P. (1997), Prediction of attenuation landfill settlement rates with time. Proceedings, 14th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 3, 1807 – 1811.

Dal Prà A., Gobbo L., Vitturi A., Zangheri P. (2000), Indagine Idrogeologica del Territorio provinciale di Venezia, 23-27.

Dixon N., Jones D.R.V. (2005), Engineering properties of municipal solid waste, Elsevier.

Edil T.B., Ranguette V.J. e Wuellner W.W. (1997), Settlement of municipal refuse, Geotechnics of waste fills: Theory and practice, STP 107, Landva A. and Knowles G.D., ASTM, West Conshocken, 225 – 239.

Favaretti M., Maestrini S. (1998), Fenomeni di assestamento dei rifiuti solidi urbani: effetti e possibilità di controllo, Convegno Nazionale “Chiusura e post-chiusura delle discariche controllate”, Castelfranco Veneto, Treviso.

Gabr M.A., Valero S.N. (1995), Geotechnical properties of Municipal Solid Waste. *Geotechnical Testing Journal*, 18 (2), 241 – 251.

Grisolia M. (1994), Deformabilità dei rifiuti. Seminario di Aggiornamento di Meccanica dei rifiuti e analisi strutturale dei componenti di una discarica controllata, Santa Margherita di Pula, Cagliari, 10 – 14.

Grisolia M., Napoleoni Q., Tancredi G. (1995), Modelli di comportamento geotecnico di una discarica di RSU. Corso di aggiornamento Professionale per problematiche Ambientali: La progettazione delle discariche, Bergamo.

Grisolia M., Napoleoni Q. (2004), Caratteristiche meccaniche di rifiuti pretrattati, Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica, Trento.

Gibson R.E. e Lo K.Y. (1961), A theory of soils exhibiting secondary compression, *Acte Polytechnica Scandinavica*, C(10) 1- 15.

Gourc J.P., Thomas S. e Vuillemin M., (1999), Proposal a waste settlement survey methodology, *Proc. Geo-Env Conference*, Lisbon, vol.1, 195 -200.

Gourc J.P., Nousheen Arif K., Olivier F. (2007), Long term settlement of domestic waste in landfill: ISPM Method, 18th Frenchise Congress of Mechanics, Grenoble.

Hettiarachchi C.H. (2005), Mechanics of biocell landfill settlements. PhD. Thesis, New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey, USA.

Hossain S.M., Gabr M.A. (2005), Prediction of municipal solid waste landfill settlement with leachate recirculation. *Proceedings Geo Frontiers*, Austin, Texas, vol. 168, 50 – 63.

ISPRA, 2005. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, rapporto sui rifiuti Urbani 2005.

ISPRA, 2012. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, rapporto sui rifiuti Urbani 2012.

ISPRA, 2014. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, rapporto sui rifiuti Urbani 2014.

Kavazanjian E. (2001) Mechanical properties of municipal solid waste, Proceedings Sardinia 2001, 8th International Waste Management and Landfill Symposium, Santa Margherita di Pula, Cagliari, 415 – 424.

Machado S.L., Vilar O.M., Carvalho M.F. (2008), Constitutive model for long term municipal solid waste mechanical behaviour. *Computer and Geotechnics*, 35, 775 – 790.

Machado L.M., Karimpour Fard M., Shariatmadari M., Carvalho M.F., Do Nascimento J.C.F. (2010), Evaluation of the Geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills, *Waste Management* (30), 2579 – 2591.

Manassero M., Van Impe W.F., Bouazza A. (1996), Waste Disposal and Containment. Proc. Of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Vol. 3, 193 – 242.

Manassero M., Dominijanni A., Terriotti C., Buffa L. (2011). Stabilizzazione di discariche su pendio, Conferenza di Geotecnica di Torino.

Marcolongo B. e Zaffanella G.C. (1987), Evoluzione paleogeografica della Pianura Veneta Atesino – Padana. *Athesia*, vol.1, 31-67.

Marques A.C.M. (2001), Compaction and compressibility of municipal solid waste. PhD. Thesis, Sao Paulo University, Sao Carlos, Brazil.

Münnich K., Bauer J., Fricke K. (2005), Investigation on relationship between vertical and horizontal permeability of MTB waste. Proc. Sardinia 2005, 10th International Lanfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari.

MohdPauzi N.I., Husaini O., Bujang K.H., Misran H., (2010), Settlement model of Waste Soil for Dumping Area inMalaysia. *EJGE*, 1917 – 1929.

PATI dell'Estense (2012), Relazione geologica.

PATI del Monselicense (2008), Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica.

Reddy K.R., Hettiarachchi H., Parakalla N., Gangathulasi J., Bogner J. (2008), Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA. Waste management, 29 (2), pp. 952 – 959.

S.E.S.A S.p.A., Autorizzazione Integrata Ambientale, 2010.

S.E.S.A S.p.A, Relazione geologica, Este, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A, Studio di Impatto ambientale, Nuovo impianto di selezione e valorizzazione dei rifiuti urbani da raccolta differenziata con adeguamento impianto di smaltimento rifiuti urbani non pericolosi ed opere accessorie, Relazione tecnica descrittiva, Este, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A, Caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito e dei terreni utilizzati per la realizzazione degli strati impermeabili mediante prelievo di campioni e prove geotecniche di laboratorio, Este, Novembre 2007.

S.E.S.A S.p.A, Tavola n°3, Discarica in ampliamento: piano di fondo quotato, Este, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A, Tavola n°4, Discarica in ampliamento: planimetria del progetto, Este, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A, Tavola n°7, Discarica in ampliamento: sezione dell'impianto in ampliamento, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A Tavola n°8, Discarica in ampliamento: schema della rete di raccolta del percolato, Giugno 2008.

S.E.S.A S.p.A Tavola n°9, Discarica in ampliamento: schema della rete di captazione del biogas, Giugno 2008.

Sivakumar Babu G.L., Krishna R. Reddy, Sandeep K. Chouskey, Hanumanth S. Kulkarni (2010), Prediction of Long-Term Municipal Solid Waste Landfill

Settlement using Constitutive Model. Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management, ASCE.,139 – 150.

Sowers G.F., (1973), Settlement of waste disposal fills, Proc., 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, vol.2(2), 207 – 210.

Yen B.C. e Scanlon B.S. (1975), Sanitary landfill settlement rates, Geotechnical Engineering, 101(5), 475 – 487.

Yue Wong W.W. (2009), Investigation of the Geotechnical properties of Municipal Solid Waste as a function of placement conditions. Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Zekkos D. (2005), Evaluation of statistic and dynamic proprieties of Municipal Solid Waste. PhD. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University, Berkeley.

Appendice

Esempio di uno dei tre file di calcolo (Parametri minimi)

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,8426	0,0032
	2	120	1,254	0,836	0,2218	0,001686	0,0760	0,0017	2,8401	0,0032
	3	180	2,09	0,836	0,1461	0,001111	0,0743	0,0028	2,8376	0,0032
	4	240	2,926	0,836	0,1091	0,000829	0,0732	0,0036	2,8351	0,0031
	5	300	3,762	0,836	0,0872	0,000662	0,0724	0,0043	2,8325	0,0031
	6	360	4,598	0,836	0,0726	0,000551	0,0717	0,0048	2,8299	0,0030
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	0,000472	0,0712	0,0053	2,8274	0,0030
	8	480	6,27	0,836	0,0544	0,000413	0,0707	0,0057	2,8248	0,0030
	9	540	7,106	0,836	0,0483	0,000367	0,0703	0,0061	2,8222	0,0030
	10	600	7,942	0,836	0,0435	0,000330	0,0699	0,0064	2,8195	0,0030
	11	660	8,778	0,836	0,0395	0,000300	0,0696	0,0067	2,8169	0,0029
	12	720	9,614	0,836	0,0362	0,000275	0,0693	0,0070	2,8142	0,0029
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	0,000254	0,0690	0,0073	2,8116	0,0029
	14	840	11,286	0,836	0,0310	0,000236	0,0687	0,0075	2,8089	0,0029
	15	900	12,122	0,836	0,0290	0,000220	0,0685	0,0077	2,8062	0,0029
	16	960	12,958	0,836	0,0272	0,000206	0,0683	0,0079	2,8035	0,0029
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	0,000194	0,0681	0,0081	2,8007	0,0029
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	0,000183	0,0679	0,0083	2,7980	0,0028
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	0,000174	0,0677	0,0085	2,7952	0,0028
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	0,000165	0,0675	0,0086	2,7924	0,0028
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	0,000157	0,0674	0,0088	2,7896	0,0028
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	0,000150	0,0672	0,0089	2,7868	0,0028
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	0,000144	0,0671	0,0091	2,7839	0,0028
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	0,000138	0,0669	0,0092	2,7810	0,0028
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	0,000132	0,0668	0,0094	2,7782	0,0028
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	0,000127	0,0666	0,0095	2,7752	0,0028
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	0,000122	0,0665	0,0096	2,7723	0,0028
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	0,000118	0,0664	0,0097	2,7694	0,0028
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	0,000114	0,0663	0,0098	2,7664	0,0028
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	0,000110	0,0662	0,0099	2,7634	0,0027

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
6	31	1860	25,498	0,836	0,0140	0,000106	0,0661	0,0100	2,7604	0,0027
	32	1920	26,334	0,836	0,0136	0,000103	0,0660	0,0102	2,7574	0,0027
	33	1980	27,17	0,836	0,0132	0,000100	0,0658	0,0103	2,7543	0,0027
	34	2040	28,006	0,836	0,0128	0,000097	0,0657	0,0103	2,7513	0,0027
	35	2100	28,842	0,836	0,0124	0,000094	0,0657	0,0104	2,7482	0,0027
	36	2160	29,678	0,836	0,0121	0,000092	0,0656	0,0105	2,7451	0,0027
7	37	2220	30,514	0,836	0,0117	0,000089	0,0655	0,0106	2,7419	0,0027
	38	2280	31,35	0,836	0,0114	0,000087	0,0654	0,0107	2,7388	0,0027
	39	2340	32,186	0,836	0,0111	0,000085	0,0653	0,0108	2,7356	0,0027
	40	2400	33,022	0,836	0,0109	0,000083	0,0652	0,0109	2,7324	0,0027
	41	2460	33,858	0,836	0,0106	0,000081	0,0651	0,0110	2,7292	0,0027
	42	2520	34,694	0,836	0,0103	0,000079	0,0650	0,0110	2,7259	0,0027
8	43	2580	35,53	0,836	0,0101	0,000077	0,0650	0,0111	2,7226	0,0027
	44	2640	36,366	0,836	0,0099	0,000075	0,0649	0,0112	2,7193	0,0026
	45	2700	37,202	0,836	0,0097	0,000073	0,0648	0,0113	2,7160	0,0026
	46	2760	38,038	0,836	0,0094	0,000072	0,0647	0,0113	2,7126	0,0026
	47	2820	38,874	0,836	0,0092	0,000070	0,0647	0,0114	2,7093	0,0026
	48	2880	39,71	0,836	0,0090	0,000069	0,0646	0,0115	2,7059	0,0026
9	49	2940	40,546	0,836	0,0089	0,000067	0,0645	0,0115	2,7024	0,0026
	50	3000	41,382	0,836	0,0087	0,000066	0,0645	0,0116	2,6990	0,0026
	51	3060	42,218	0,836	0,0085	0,000065	0,0644	0,0117	2,6955	0,0026
	52	3120	43,054	0,836	0,0084	0,000063	0,0643	0,0117	2,6920	0,0026
	53	3180	43,89	0,836	0,0082	0,000062	0,0643	0,0118	2,6884	0,0026
	54	3240	44,726	0,836	0,0080	0,000061	0,0642	0,0119	2,6848	0,0026
10	55	3300	45,562	0,836	0,0079	0,000060	0,0641	0,0119	2,6812	0,0026
	56	3360	46,398	0,836	0,0078	0,000059	0,0641	0,0120	2,6776	0,0026
	57	3420	47,234	0,836	0,0076	0,000058	0,0640	0,0120	2,6739	0,0026
	58	3480	48,07	0,836	0,0075	0,000057	0,0640	0,0121	2,6702	0,0026
	59	3540	48,906	0,836	0,0074	0,000056	0,0639	0,0121	2,6665	0,0026
	60	3600	49,742	0,836	0,0072	0,000055	0,0639	0,0122	2,6628	0,0026

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
11	61	3660	50,578	0,836	0,0071	0,000054	0,0638	0,0123	2,6590	0,0025
	62	3720	51,414	0,836	0,0070	0,000053	0,0637	0,0123	2,6551	0,0025
	63	3780	52,25	0,836	0,0069	0,000052	0,0637	0,0124	2,6513	0,0025
	64	3840	53,086	0,836	0,0068	0,000052	0,0636	0,0124	2,6474	0,0025
	65	3900	53,922	0,836	0,0067	0,000051	0,0636	0,0125	2,6435	0,0025
	66	3960	54,758	0,836	0,0066	0,000050	0,0635	0,0125	2,6395	0,0025
12	67	4020	55,594	0,836	0,0065	0,000049	0,0635	0,0126	2,6355	0,0025
	68	4080	56,43	0,836	0,0064	0,000049	0,0634	0,0126	2,6314	0,0025
	69	4140	57,266	0,836	0,0063	0,000048	0,0634	0,0127	2,6274	0,0025
	70	4200	58,102	0,836	0,0062	0,000047	0,0633	0,0127	2,6232	0,0025
	71	4260	58,938	0,836	0,0061	0,000046	0,0633	0,0128	2,6191	0,0025
	72	4320	59,774	0,836	0,0060	0,000046	0,0632	0,0128	2,6149	0,0025
13	73	4380	60,61	0,836	0,0059	0,000045	0,0632	0,0128	2,6107	0,0025
	74	4440	61,446	0,836	0,0059	0,000045	0,0632	0,0129	2,6064	0,0025
	75	4500	62,282	0,836	0,0058	0,000044	0,0631	0,0129	2,6021	0,0025
	76	4560	63,118	0,836	0,0057	0,000043	0,0631	0,0130	2,5977	0,0025
	77	4620	63,954	0,836	0,0056	0,000043	0,0630	0,0130	2,5933	0,0025
	78	4680	64,79	0,836	0,0056	0,000042	0,0630	0,0131	2,5888	0,0024
14	79	4740	65,626	0,836	0,0055	0,000042	0,0629	0,0131	2,5843	0,0024
	80	4800	66,462	0,836	0,0054	0,000041	0,0629	0,0131	2,5798	0,0024
	81	4860	67,298	0,836	0,0054	0,000041	0,0629	0,0132	2,5752	0,0024
	82	4920	68,134	0,836	0,0053	0,000040	0,0628	0,0132	2,5705	0,0024
	83	4980	68,97	0,836	0,0052	0,000040	0,0628	0,0133	2,5658	0,0024
	84	5040	69,806	0,836	0,0052	0,000039	0,0627	0,0133	2,5611	0,0024
15	85	5100	70,642	0,836	0,0051	0,000039	0,0627	0,0133	2,5563	0,0024
	86	5160	71,478	0,836	0,0050	0,000038	0,0627	0,0134	2,5514	0,0024
	87	5220	72,314	0,836	0,0050	0,000038	0,0626	0,0134	2,5465	0,0024
	88	5280	73,15	0,836	0,0049	0,000038	0,0626	0,0135	2,5416	0,0024
	89	5340	73,986	0,836	0,0049	0,000037	0,0625	0,0135	2,5366	0,0024
	90	5400	74,822	0,836	0,0048	0,000037	0,0625	0,0135	2,5315	0,0024

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
16	91	5460	75,658	0,836	0,0048	0,000036	0,0625	0,0136	2,5263	0,0024
	92	5520	76,494	0,836	0,0047	0,000036	0,0624	0,0136	2,5211	0,0024
	93	5580	77,33	0,836	0,0047	0,000035	0,0624	0,0136	2,5159	0,0024
	94	5640	78,166	0,836	0,0046	0,000035	0,0624	0,0137	2,5105	0,0023
	95	5700	79,002	0,836	0,0046	0,000035	0,0623	0,0137	2,5051	0,0023
	96	5760	79,838	0,836	0,0045	0,000034	0,0623	0,0137	2,4997	0,0023
17	97	5820	80,674	0,836	0,0045	0,000034	0,0623	0,0138	2,4942	0,0023
	98	5880	81,51	0,836	0,0044	0,000034	0,0622	0,0138	2,4886	0,0023
	99	5940	82,346	0,836	0,0044	0,000033	0,0622	0,0138	2,4829	0,0023
	100	6000	83,182	0,836	0,0043	0,000033	0,0622	0,0139	2,4771	0,0023
	101	6060	84,018	0,836	0,0043	0,000033	0,0621	0,0139	2,4713	0,0023
	102	6120	84,854	0,836	0,0043	0,000032	0,0621	0,0139	2,4654	0,0023
18	103	6180	85,69	0,836	0,0042	0,000032	0,0621	0,0140	2,4594	0,0023
	104	6240	86,526	0,836	0,0042	0,000032	0,0620	0,0140	2,4533	0,0023
	105	6300	87,362	0,836	0,0041	0,000031	0,0620	0,0140	2,4472	0,0023
	106	6360	88,198	0,836	0,0041	0,000031	0,0620	0,0141	2,4409	0,0023
	107	6420	89,034	0,836	0,0041	0,000031	0,0619	0,0141	2,4346	0,0023
	108	6480	89,87	0,836	0,0040	0,000031	0,0619	0,0141	2,4281	0,0023
19	109	6540	90,706	0,836	0,0040	0,000030	0,0619	0,0142	2,4216	0,0022
	110	6600	91,542	0,836	0,0039	0,000030	0,0618	0,0142	2,4150	0,0022
	111	6660	92,378	0,836	0,0039	0,000030	0,0618	0,0142	2,4082	0,0022
	112	6720	93,214	0,836	0,0039	0,000029	0,0618	0,0143	2,4014	0,0022
	113	6780	94,05	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3945	0,0022
	114	6840	94,886	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3874	0,0022
20	115	6900	95,722	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3802	0,0022
	116	6960	96,558	0,836	0,0037	0,000028	0,0617	0,0144	2,3729	0,0022
	117	7020	97,394	0,836	0,0037	0,000028	0,0616	0,0144	2,3655	0,0022
	118	7080	98,23	0,836	0,0037	0,000028	0,0616	0,0144	2,3579	0,0022
	119	7140	99,066	0,836	0,0036	0,000028	0,0616	0,0144	2,3502	0,0022
	120	7200	99,902	0,836	0,0036	0,000028	0,0616	0,0145	2,3424	0,0022

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
21	121	7260	100,738	0,836	0,0036	0,000027	0,0615	0,0145	2,3345	0,0022
	122	7320	101,574	0,836	0,0036	0,000027	0,0615	0,0145	2,3263	0,0021
	123	7380	102,41	0,836	0,0035	0,000027	0,0615	0,0146	2,3181	0,0021
	124	7440	103,246	0,836	0,0035	0,000027	0,0614	0,0146	2,3096	0,0021
	125	7500	104,082	0,836	0,0035	0,000026	0,0614	0,0146	2,3010	0,0021
	126	7560	104,918	0,836	0,0034	0,000026	0,0614	0,0146	2,2923	0,0021
22	127	7620	105,754	0,836	0,0034	0,000026	0,0614	0,0147	2,2833	0,0021
	128	7680	106,59	0,836	0,0034	0,000026	0,0613	0,0147	2,2742	0,0021
	129	7740	107,426	0,836	0,0034	0,000026	0,0613	0,0147	2,2648	0,0021
	130	7800	108,262	0,836	0,0033	0,000025	0,0613	0,0147	2,2553	0,0021
	131	7860	109,098	0,836	0,0033	0,000025	0,0613	0,0148	2,2455	0,0021
	132	7920	109,934	0,836	0,0033	0,000025	0,0612	0,0148	2,2355	0,0021
23	133	7980	110,77	0,836	0,0033	0,000025	0,0612	0,0148	2,2253	0,0020
	134	8040	111,606	0,836	0,0032	0,000025	0,0612	0,0148	2,2148	0,0020
	135	8100	112,442	0,836	0,0032	0,000024	0,0612	0,0149	2,2041	0,0020
	136	8160	113,278	0,836	0,0032	0,000024	0,0611	0,0149	2,1931	0,0020
	137	8220	114,114	0,836	0,0032	0,000024	0,0611	0,0149	2,1818	0,0020
	138	8280	114,95	0,836	0,0031	0,000024	0,0611	0,0149	2,1703	0,0020
24	139	8340	115,786	0,836	0,0031	0,000024	0,0611	0,0150	2,1584	0,0020
	140	8400	116,622	0,836	0,0031	0,000024	0,0610	0,0150	2,1461	0,0020
	141	8460	117,458	0,836	0,0031	0,000023	0,0610	0,0150	2,1335	0,0020
	142	8520	118,294	0,836	0,0031	0,000023	0,0610	0,0150	2,1206	0,0019
	143	8580	119,13	0,836	0,0030	0,000023	0,0610	0,0151	2,1072	0,0019
	144	8640	119,966	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0934	0,0019
25	145	8700	120,802	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0792	0,0019
	146	8760	121,638	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0645	0,0019
	147	8820	122,474	0,836	0,0030	0,000022	0,0609	0,0151	2,0492	0,0019
	148	8880	123,31	0,836	0,0029	0,000022	0,0609	0,0152	2,0334	0,0019
	149	8940	124,146	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	2,0170	0,0018
	150	9000	124,982	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	2,0000	0,0018

SOWERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log2	ΔH Secondario (m)
26	151	9060	125,818	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	1,9823	0,0018
	152	9120	126,654	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0153	1,9638	0,0018
	153	9180	127,49	0,836	0,0028	0,000022	0,0607	0,0153	1,9445	0,0018
	154	9240	128,326	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,9243	0,0018
	155	9300	129,162	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,9031	0,0017
	156	9360	129,998	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,8808	0,0017
27	157	9420	130,834	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0154	1,8573	0,0017
	158	9480	131,67	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,8325	0,0017
	159	9540	132,506	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,8062	0,0016
	160	9600	133,342	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,7782	0,0016
	161	9660	134,178	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,7482	0,0016
	162	9720	135,014	0,836	0,0027	0,000020	0,0606	0,0155	1,7160	0,0016
28	163	9780	135,85	0,836	0,0027	0,000020	0,0605	0,0155	1,6812	0,0015
	164	9840	136,686	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,6435	0,0015
	165	9900	137,522	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,6021	0,0015
	166	9960	138,358	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,5563	0,0014
	167	10020	139,194	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0156	1,5051	0,0014
	168	10080	140,03	0,836	0,0026	0,000020	0,0604	0,0156	1,4472	0,0013
29	169	10140	140,866	0,836	0,0026	0,000020	0,0604	0,0156	1,3802	0,0013
	170	10200	141,702	0,836	0,0026	0,000019	0,0604	0,0156	1,3010	0,0012
	171	10260	142,538	0,836	0,0025	0,000019	0,0604	0,0156	1,2041	0,0011
	172	10320	143,374	0,836	0,0025	0,000019	0,0604	0,0157	1,0792	0,0010
	173	10380	144,21	1,140	0,0034	0,000026	0,0603	0,0157	0,9031	0,0008
	174	10440	145,35	1,292	0,0038	0,000029	0,0603	0,0157	0,6021	0,0005
30	175	10500	146,642	1,292	0,0038	0,000029	0,0603	0,0157	0,0000	0,0000

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
1	0,0000	0,0032	0,0032	0,0032
	0,0017	0,0032	0,0065	0,0082
	0,0045	0,0032	0,0096	0,0141
	0,0081	0,0031	0,0128	0,0209
	0,0124	0,0031	0,0158	0,0282
	0,0172	0,0030	0,0189	0,0361
2	0,0225	0,0030	0,0219	0,0444
	0,0283	0,0030	0,0249	0,0532
	0,0344	0,0030	0,0279	0,0622
	0,0408	0,0030	0,0308	0,0716
	0,0475	0,0029	0,0338	0,0813
	0,0545	0,0029	0,0367	0,0912
3	0,0618	0,0029	0,0396	0,1013
	0,0693	0,0029	0,0425	0,1117
	0,0770	0,0029	0,0454	0,1223
	0,0849	0,0029	0,0482	0,1331
	0,0930	0,0029	0,0511	0,1441
	0,1013	0,0028	0,0539	0,1552
4	0,1097	0,0028	0,0568	0,1665
	0,1184	0,0028	0,0596	0,1780
	0,1272	0,0028	0,0624	0,1896
	0,1361	0,0028	0,0652	0,2013
	0,1452	0,0028	0,0680	0,2132
	0,1544	0,0028	0,0708	0,2252
5	0,1638	0,0028	0,0736	0,2374
	0,1732	0,0028	0,0764	0,2496
	0,1828	0,0028	0,0791	0,2620
	0,1925	0,0028	0,0819	0,2745
	0,2024	0,0027	0,0847	0,2870
	0,2123	0,0027	0,0874	0,2997

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	AH Primari in t (m)	AH Secondari totali in t (m)	AH Secondari cumulati (m)	AH TOTALE (m)
6	0,2224	0,0027	0,0901	0,3125
	0,2325	0,0027	0,0929	0,3254
	0,2428	0,0027	0,0956	0,3384
	0,2531	0,0027	0,0983	0,3514
	0,2636	0,0027	0,1010	0,3646
	0,2741	0,0027	0,1037	0,3778
7	0,2847	0,0027	0,1064	0,3911
	0,2954	0,0027	0,1091	0,4045
	0,3062	0,0027	0,1117	0,4180
	0,3171	0,0027	0,1144	0,4315
	0,3281	0,0027	0,1171	0,4452
	0,3391	0,0027	0,1197	0,4589
8	0,3502	0,0027	0,1224	0,4726
	0,3614	0,0026	0,1250	0,4865
	0,3727	0,0026	0,1277	0,5004
	0,3840	0,0026	0,1303	0,5143
	0,3954	0,0026	0,1329	0,5284
	0,4069	0,0026	0,1356	0,5425
9	0,4184	0,0026	0,1382	0,5566
	0,4300	0,0026	0,1408	0,5708
	0,4417	0,0026	0,1434	0,5851
	0,4534	0,0026	0,1460	0,5994
	0,4652	0,0026	0,1486	0,6138
	0,4771	0,0026	0,1512	0,6283
10	0,4890	0,0026	0,1537	0,6428
	0,5010	0,0026	0,1563	0,6573
	0,5130	0,0026	0,1589	0,6719
	0,5251	0,0026	0,1614	0,6866
	0,5373	0,0026	0,1640	0,7013
	0,5495	0,0025	0,1665	0,7160

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
11	0,5617	0,0025	0,1691	0,7308
	0,5740	0,0025	0,1716	0,7457
	0,5864	0,0025	0,1742	0,7606
	0,5988	0,0025	0,1767	0,7755
	0,6113	0,0025	0,1792	0,7905
	0,6238	0,0025	0,1817	0,8055
12	0,6364	0,0025	0,1842	0,8206
	0,6490	0,0025	0,1867	0,8357
	0,6616	0,0025	0,1892	0,8509
	0,6743	0,0025	0,1917	0,8661
	0,6871	0,0025	0,1942	0,8813
	0,6999	0,0025	0,1967	0,8966
13	0,7127	0,0025	0,1992	0,9119
	0,7256	0,0025	0,2016	0,9273
	0,7386	0,0025	0,2041	0,9427
	0,7515	0,0025	0,2065	0,9581
	0,7646	0,0025	0,2090	0,9736
	0,7776	0,0024	0,2114	0,9891
14	0,7907	0,0024	0,2139	1,0046
	0,8039	0,0024	0,2163	1,0202
	0,8171	0,0024	0,2187	1,0358
	0,8303	0,0024	0,2212	1,0515
	0,8436	0,0024	0,2236	1,0671
	0,8569	0,0024	0,2260	1,0828
15	0,8702	0,0024	0,2284	1,0986
	0,8836	0,0024	0,2308	1,1144
	0,8970	0,0024	0,2332	1,1302
	0,9105	0,0024	0,2356	1,1460
	0,9240	0,0024	0,2379	1,1619
	0,9375	0,0024	0,2403	1,1778

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
16	0,9511	0,0024	0,2427	1,1937
	0,9647	0,0024	0,2450	1,2097
	0,9783	0,0024	0,2474	1,2257
	0,9920	0,0023	0,2497	1,2417
	1,0057	0,0023	0,2521	1,2578
	1,0194	0,0023	0,2544	1,2739
17	1,0332	0,0023	0,2567	1,2900
	1,0470	0,0023	0,2591	1,3061
	1,0609	0,0023	0,2614	1,3223
	1,0748	0,0023	0,2637	1,3384
	1,0887	0,0023	0,2660	1,3547
	1,1026	0,0023	0,2683	1,3709
18	1,1166	0,0023	0,2706	1,3872
	1,1306	0,0023	0,2728	1,4034
	1,1446	0,0023	0,2751	1,4198
	1,1587	0,0023	0,2774	1,4361
	1,1728	0,0023	0,2797	1,4524
	1,1869	0,0023	0,2819	1,4688
19	1,2011	0,0022	0,2841	1,4852
	1,2153	0,0022	0,2864	1,5017
	1,2295	0,0022	0,2886	1,5181
	1,2438	0,0022	0,2908	1,5346
	1,2580	0,0022	0,2931	1,5511
	1,2723	0,0022	0,2953	1,5676
20	1,2867	0,0022	0,2975	1,5841
	1,3010	0,0022	0,2997	1,6007
	1,3154	0,0022	0,3018	1,6173
	1,3299	0,0022	0,3040	1,6339
	1,3443	0,0022	0,3062	1,6505
	1,3588	0,0022	0,3084	1,6671

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
21	1,3733	0,0022	0,3105	1,6838
	1,3878	0,0021	0,3127	1,7005
	1,4024	0,0021	0,3148	1,7172
	1,4170	0,0021	0,3169	1,7339
	1,4316	0,0021	0,3190	1,7506
	1,4462	0,0021	0,3211	1,7674
22	1,4609	0,0021	0,3232	1,7841
	1,4756	0,0021	0,3253	1,8009
	1,4903	0,0021	0,3274	1,8177
	1,5050	0,0021	0,3295	1,8345
	1,5198	0,0021	0,3315	1,8513
	1,5346	0,0021	0,3336	1,8682
23	1,5494	0,0020	0,3356	1,8850
	1,5642	0,0020	0,3377	1,9019
	1,5791	0,0020	0,3397	1,9188
	1,5940	0,0020	0,3417	1,9357
	1,6089	0,0020	0,3437	1,9526
	1,6238	0,0020	0,3457	1,9695
24	1,6388	0,0020	0,3476	1,9864
	1,6538	0,0020	0,3496	2,0034
	1,6688	0,0019	0,3516	2,0204
	1,6838	0,0019	0,3535	2,0373
	1,6989	0,0019	0,3554	2,0543
	1,7140	0,0019	0,3573	2,0713
25	1,7291	0,0019	0,3592	2,0883
	1,7442	0,0019	0,3611	2,1053
	1,7593	0,0019	0,3630	2,1223
	1,7745	0,0019	0,3648	2,1393
	1,7897	0,0018	0,3667	2,1563
	1,8049	0,0018	0,3685	2,1734

SOWERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI				
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari totali in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)
26	1,8201	0,0018	0,3703	2,1904
	1,8354	0,0018	0,3721	2,2075
	1,8506	0,0018	0,3738	2,2245
	1,8659	0,0017	0,3756	2,2415
	1,8813	0,0017	0,3773	2,2586
	1,8966	0,0017	0,3790	2,2756
27	1,9120	0,0017	0,3807	2,2927
	1,9273	0,0017	0,3824	2,3097
	1,9428	0,0016	0,3840	2,3268
	1,9582	0,0016	0,3856	2,3438
	1,9736	0,0016	0,3872	2,3608
	1,9891	0,0016	0,3888	2,3778
28	2,0046	0,0015	0,3903	2,3948
	2,0201	0,0015	0,3918	2,4118
	2,0356	0,0014	0,3932	2,4288
	2,0511	0,0014	0,3946	2,4457
	2,0667	0,0014	0,3959	2,4627
	2,0823	0,0013	0,3972	2,4795
29	2,0979	0,0012	0,3985	2,4964
	2,1135	0,0012	0,3996	2,5132
	2,1292	0,0011	0,4007	2,5299
	2,1448	0,0009	0,4016	2,5465
	2,1605	0,0008	0,4024	2,5629
	2,1762	0,0004	0,4028	2,5786
30	2,1920	0,0000	0,4028	2,5944

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,9542	0,0034
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,001771	0,0760	0,0018	2,9523	0,0034
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,001146	0,0742	0,0029	2,9504	0,0033
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000849	0,0731	0,0038	2,9484	0,0032
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000675	0,0722	0,0044	2,9465	0,0032
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000560	0,0716	0,0050	2,9445	0,0032
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000479	0,0710	0,0055	2,9425	0,0031
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000418	0,0705	0,0059	2,9405	0,0031
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000371	0,0701	0,0063	2,9385	0,0031
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000333	0,0697	0,0066	2,9365	0,0031
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000303	0,0694	0,0069	2,9345	0,0031
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000277	0,0691	0,0072	2,9325	0,0030
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000256	0,0688	0,0074	2,9304	0,0030
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000237	0,0686	0,0077	2,9284	0,0030
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000221	0,0683	0,0079	2,9263	0,0030
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000208	0,0681	0,0081	2,9243	0,0030
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000195	0,0679	0,0083	2,9222	0,0030
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000184	0,0677	0,0085	2,9201	0,0030
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000175	0,0675	0,0087	2,9180	0,0030
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000166	0,0673	0,0088	2,9159	0,0029
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000158	0,0672	0,0090	2,9138	0,0029
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000151	0,0670	0,0091	2,9117	0,0029
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000144	0,0669	0,0093	2,9096	0,0029
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000138	0,0667	0,0094	2,9074	0,0029
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000133	0,0666	0,0095	2,9053	0,0029
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000127	0,0665	0,0097	2,9031	0,0029
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000123	0,0663	0,0098	2,9009	0,0029
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000118	0,0662	0,0099	2,8987	0,0029
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000114	0,0661	0,0100	2,8965	0,0029
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000110	0,0660	0,0101	2,8943	0,0029

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
6	31	1860	25,421	0,836	0,0141	0,000107	0,0659	0,0102	2,8921	0,0029
	32	1920	26,257	0,836	0,0136	0,000103	0,0658	0,0104	2,8899	0,0029
	33	1980	27,093	0,836	0,0132	0,000100	0,0656	0,0105	2,8876	0,0028
	34	2040	27,929	0,836	0,0128	0,000097	0,0655	0,0105	2,8854	0,0028
	35	2100	28,765	0,836	0,0124	0,000095	0,0655	0,0106	2,8831	0,0028
	36	2160	29,601	0,836	0,0121	0,000092	0,0654	0,0107	2,8808	0,0028
7	37	2220	30,437	0,836	0,0118	0,000089	0,0653	0,0108	2,8785	0,0028
	38	2280	31,273	0,836	0,0115	0,000087	0,0652	0,0109	2,8762	0,0028
	39	2340	32,109	0,836	0,0112	0,000085	0,0651	0,0110	2,8739	0,0028
	40	2400	32,945	0,836	0,0109	0,000083	0,0650	0,0111	2,8716	0,0028
	41	2460	33,781	0,836	0,0106	0,000081	0,0649	0,0112	2,8692	0,0028
	42	2520	34,617	0,836	0,0104	0,000079	0,0648	0,0112	2,8669	0,0028
8	43	2580	35,453	0,836	0,0101	0,000077	0,0648	0,0113	2,8645	0,0028
	44	2640	36,289	0,836	0,0099	0,000075	0,0647	0,0114	2,8621	0,0028
	45	2700	37,125	0,836	0,0097	0,000074	0,0646	0,0115	2,8597	0,0028
	46	2760	37,961	0,836	0,0095	0,000072	0,0645	0,0115	2,8573	0,0028
	47	2820	38,797	0,836	0,0093	0,000070	0,0645	0,0116	2,8549	0,0028
	48	2880	39,633	0,836	0,0091	0,000069	0,0644	0,0117	2,8525	0,0028
9	49	2940	40,469	0,836	0,0089	0,000067	0,0643	0,0117	2,8500	0,0027
	50	3000	41,305	0,836	0,0087	0,000066	0,0643	0,0118	2,8476	0,0027
	51	3060	42,141	0,836	0,0085	0,000065	0,0642	0,0119	2,8451	0,0027
	52	3120	42,977	0,836	0,0084	0,000064	0,0641	0,0119	2,8426	0,0027
	53	3180	43,813	0,836	0,0082	0,000062	0,0641	0,0120	2,8401	0,0027
	54	3240	44,649	0,836	0,0081	0,000061	0,0640	0,0121	2,8376	0,0027
10	55	3300	45,485	0,836	0,0079	0,000060	0,0639	0,0121	2,8351	0,0027
	56	3360	46,321	0,836	0,0078	0,000059	0,0639	0,0122	2,8325	0,0027
	57	3420	47,157	0,836	0,0076	0,000058	0,0638	0,0122	2,8299	0,0027
	58	3480	47,993	0,836	0,0075	0,000057	0,0638	0,0123	2,8274	0,0027
	59	3540	48,829	0,836	0,0074	0,000056	0,0637	0,0124	2,8248	0,0027
	60	3600	49,665	0,836	0,0072	0,000055	0,0636	0,0124	2,8222	0,0027

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
11	61	3660	50,501	0,836	0,0071	0,000054	0,0636	0,0125	2,8195	0,0027
	62	3720	51,337	0,836	0,0070	0,000053	0,0635	0,0125	2,8169	0,0027
	63	3780	52,173	0,836	0,0069	0,000052	0,0635	0,0126	2,8142	0,0027
	64	3840	53,009	0,836	0,0068	0,000052	0,0634	0,0126	2,8116	0,0027
	65	3900	53,845	0,836	0,0067	0,000051	0,0634	0,0127	2,8089	0,0027
	66	3960	54,681	0,836	0,0066	0,000050	0,0633	0,0127	2,8062	0,0027
12	67	4020	55,517	0,836	0,0065	0,000049	0,0633	0,0128	2,8035	0,0027
	68	4080	56,353	0,836	0,0064	0,000049	0,0632	0,0128	2,8007	0,0027
	69	4140	57,189	0,836	0,0063	0,000048	0,0632	0,0129	2,7980	0,0027
	70	4200	58,025	0,836	0,0062	0,000047	0,0631	0,0129	2,7952	0,0026
	71	4260	58,861	0,836	0,0061	0,000047	0,0631	0,0130	2,7924	0,0026
	72	4320	59,697	0,836	0,0060	0,000046	0,0630	0,0130	2,7896	0,0026
13	73	4380	60,533	0,836	0,0060	0,000045	0,0630	0,0131	2,7868	0,0026
	74	4440	61,369	0,836	0,0059	0,000045	0,0629	0,0131	2,7839	0,0026
	75	4500	62,205	0,836	0,0058	0,000044	0,0629	0,0131	2,7810	0,0026
	76	4560	63,041	0,836	0,0057	0,000043	0,0629	0,0132	2,7782	0,0026
	77	4620	63,877	0,836	0,0056	0,000043	0,0628	0,0132	2,7752	0,0026
	78	4680	64,713	0,836	0,0056	0,000042	0,0628	0,0133	2,7723	0,0026
14	79	4740	65,549	0,836	0,0055	0,000042	0,0627	0,0133	2,7694	0,0026
	80	4800	66,385	0,836	0,0054	0,000041	0,0627	0,0134	2,7664	0,0026
	81	4860	67,221	0,836	0,0054	0,000041	0,0626	0,0134	2,7634	0,0026
	82	4920	68,057	0,836	0,0053	0,000040	0,0626	0,0134	2,7604	0,0026
	83	4980	68,893	0,836	0,0052	0,000040	0,0626	0,0135	2,7574	0,0026
	84	5040	69,729	0,836	0,0052	0,000039	0,0625	0,0135	2,7543	0,0026
15	85	5100	70,565	0,836	0,0051	0,000039	0,0625	0,0136	2,7513	0,0026
	86	5160	71,401	0,836	0,0051	0,000038	0,0624	0,0136	2,7482	0,0026
	87	5220	72,237	0,836	0,0050	0,000038	0,0624	0,0136	2,7451	0,0026
	88	5280	73,073	0,836	0,0049	0,000038	0,0624	0,0137	2,7419	0,0026
	89	5340	73,909	0,836	0,0049	0,000037	0,0623	0,0137	2,7388	0,0026
	90	5400	74,745	0,836	0,0048	0,000037	0,0623	0,0137	2,7356	0,0026

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
16	91	5460	75,581	0,836	0,0048	0,000036	0,0623	0,0138	2,7324	0,0026
	92	5520	76,417	0,836	0,0047	0,000036	0,0622	0,0138	2,7292	0,0025
	93	5580	77,253	0,836	0,0047	0,000036	0,0622	0,0138	2,7259	0,0025
	94	5640	78,089	0,836	0,0046	0,000035	0,0622	0,0139	2,7226	0,0025
	95	5700	78,925	0,836	0,0046	0,000035	0,0621	0,0139	2,7193	0,0025
	96	5760	79,761	0,836	0,0045	0,000034	0,0621	0,0140	2,7160	0,0025
17	97	5820	80,597	0,836	0,0045	0,000034	0,0620	0,0140	2,7126	0,0025
	98	5880	81,433	0,836	0,0044	0,000034	0,0620	0,0140	2,7093	0,0025
	99	5940	82,269	0,836	0,0044	0,000033	0,0620	0,0141	2,7059	0,0025
	100	6000	83,105	0,836	0,0043	0,000033	0,0619	0,0141	2,7024	0,0025
	101	6060	83,941	0,836	0,0043	0,000033	0,0619	0,0141	2,6990	0,0025
	102	6120	84,777	0,836	0,0043	0,000032	0,0619	0,0141	2,6955	0,0025
18	103	6180	85,613	0,836	0,0042	0,000032	0,0619	0,0142	2,6920	0,0025
	104	6240	86,449	0,836	0,0042	0,000032	0,0618	0,0142	2,6884	0,0025
	105	6300	87,285	0,836	0,0041	0,000031	0,0618	0,0142	2,6848	0,0025
	106	6360	88,121	0,836	0,0041	0,000031	0,0618	0,0143	2,6812	0,0025
	107	6420	88,957	0,836	0,0041	0,000031	0,0617	0,0143	2,6776	0,0025
	108	6480	89,793	0,836	0,0040	0,000031	0,0617	0,0143	2,6739	0,0025
19	109	6540	90,629	0,836	0,0040	0,000030	0,0617	0,0144	2,6702	0,0025
	110	6600	91,465	0,836	0,0040	0,000030	0,0616	0,0144	2,6665	0,0025
	111	6660	92,301	0,836	0,0039	0,000030	0,0616	0,0144	2,6628	0,0025
	112	6720	93,137	0,836	0,0039	0,000029	0,0616	0,0145	2,6590	0,0025
	113	6780	93,973	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6551	0,0025
	114	6840	94,809	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6513	0,0024
20	115	6900	95,645	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6474	0,0024
	116	6960	96,481	0,836	0,0037	0,000028	0,0615	0,0146	2,6435	0,0024
	117	7020	97,317	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0146	2,6395	0,0024
	118	7080	98,153	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0146	2,6355	0,0024
	119	7140	98,989	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0147	2,6314	0,0024
	120	7200	99,825	0,836	0,0036	0,000028	0,0613	0,0147	2,6274	0,0024

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	AH Primario (m)	Hp (m)	AH Primario cumulato (m)	log 2	AH Secondario (m)
21	121	7260	100,661	0,836	0,0036	0,000027	0,0613	0,0147	2,6232	0,0024
	122	7320	101,497	0,836	0,0036	0,000027	0,0613	0,0147	2,6191	0,0024
	123	7380	102,333	0,836	0,0035	0,000027	0,0613	0,0148	2,6149	0,0024
	124	7440	103,169	0,836	0,0035	0,000027	0,0612	0,0148	2,6107	0,0024
	125	7500	104,005	0,836	0,0035	0,000026	0,0612	0,0148	2,6064	0,0024
	126	7560	104,841	0,836	0,0034	0,000026	0,0612	0,0148	2,6021	0,0024
22	127	7620	105,677	0,836	0,0034	0,000026	0,0612	0,0149	2,5977	0,0024
	128	7680	106,513	0,836	0,0034	0,000026	0,0611	0,0149	2,5933	0,0024
	129	7740	107,349	0,836	0,0034	0,000026	0,0611	0,0149	2,5888	0,0024
	130	7800	108,185	0,836	0,0033	0,000025	0,0611	0,0149	2,5843	0,0024
	131	7860	109,021	0,836	0,0033	0,000025	0,0611	0,0150	2,5798	0,0024
	132	7920	109,857	0,836	0,0033	0,000025	0,0610	0,0150	2,5752	0,0024
23	133	7980	110,693	0,836	0,0033	0,000025	0,0610	0,0150	2,5705	0,0024
	134	8040	111,529	0,836	0,0032	0,000025	0,0610	0,0150	2,5658	0,0023
	135	8100	112,365	0,836	0,0032	0,000024	0,0610	0,0151	2,5611	0,0023
	136	8160	113,201	0,836	0,0032	0,000024	0,0609	0,0151	2,5563	0,0023
	137	8220	114,037	0,836	0,0032	0,000024	0,0609	0,0151	2,5514	0,0023
	138	8280	114,873	0,836	0,0031	0,000024	0,0609	0,0151	2,5465	0,0023
24	139	8340	115,709	0,836	0,0031	0,000024	0,0609	0,0152	2,5416	0,0023
	140	8400	116,545	0,836	0,0031	0,000024	0,0608	0,0152	2,5366	0,0023
	141	8460	117,381	0,836	0,0031	0,000023	0,0608	0,0152	2,5315	0,0023
	142	8520	118,217	0,836	0,0031	0,000023	0,0608	0,0152	2,5263	0,0023
	143	8580	119,053	0,836	0,0030	0,000023	0,0608	0,0153	2,5211	0,0023
	144	8640	119,889	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,5159	0,0023
25	145	8700	120,725	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,5105	0,0023
	146	8760	121,561	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,5051	0,0023
	147	8820	122,397	0,836	0,0030	0,000022	0,0607	0,0154	2,4997	0,0023
	148	8880	123,233	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4942	0,0023
	149	8940	124,069	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4886	0,0023
	150	9000	124,905	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4829	0,0023

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	H_p (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
26	151	9060	125,741	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4771	0,0023
	152	9120	126,577	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0155	2,4713	0,0022
	153	9180	127,413	0,836	0,0028	0,000022	0,0605	0,0155	2,4654	0,0022
	154	9240	128,249	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4594	0,0022
	155	9300	129,085	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4533	0,0022
	156	9360	129,921	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4472	0,0022
27	157	9420	130,757	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0156	2,4409	0,0022
	158	9480	131,593	0,836	0,0028	0,000021	0,0604	0,0156	2,4346	0,0022
	159	9540	132,429	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0156	2,4281	0,0022
	160	9600	133,265	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0156	2,4216	0,0022
	161	9660	134,101	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0157	2,4150	0,0022
	162	9720	134,937	0,836	0,0027	0,000020	0,0603	0,0157	2,4082	0,0022
28	163	9780	135,773	0,836	0,0027	0,000020	0,0603	0,0157	2,4014	0,0022
	164	9840	136,609	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0157	2,3945	0,0022
	165	9900	137,445	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0157	2,3874	0,0022
	166	9960	138,281	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0158	2,3802	0,0022
	167	10020	139,117	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3729	0,0021
	168	10080	139,953	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3655	0,0021
29	169	10140	140,789	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3579	0,0021
	170	10200	141,625	0,836	0,0026	0,000019	0,0602	0,0158	2,3502	0,0021
	171	10260	142,461	0,836	0,0025	0,000019	0,0602	0,0158	2,3424	0,0021
	172	10320	143,297	0,836	0,0025	0,000019	0,0602	0,0159	2,3345	0,0021
	173	10380	144,133	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,3263	0,0021
	174	10440	144,969	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,3181	0,0021
30	175	10500	145,805	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,3096	0,0021
	176	10560	146,641	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,3010	0,0021
	177	10620	147,477	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0160	2,2923	0,0021
	178	10680	148,313	0,836	0,0024	0,000019	0,0600	0,0160	2,2833	0,0021
	179	10740	149,149	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2742	0,0020
	180	10800	149,985	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2648	0,0020
31	181	10860	150,821	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2553	0,0020
	182	10920	151,657	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0161	2,2455	0,0020
	183	10980	152,493	0,836	0,0024	0,000018	0,0599	0,0161	2,2355	0,0020
	184	11040	153,329	0,836	0,0024	0,000018	0,0599	0,0161	2,2253	0,0020
	185	11100	154,165	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,2148	0,0020
	186	11160	155,001	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,2041	0,0020
32	187	11220	155,837	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,1931	0,0020
	188	11280	156,673	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0162	2,1818	0,0020
	189	11340	157,509	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1703	0,0019
	190	11400	158,345	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1584	0,0019
	191	11460	159,181	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1461	0,0019
	192	11520	160,017	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1335	0,0019

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO										
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH Secondario (m)
33	193	11580	160,853	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1206	0,0019
	194	11640	161,689	0,836	0,0022	0,000017	0,0598	0,0163	2,1072	0,0019
	195	11700	162,525	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0934	0,0019
	196	11760	163,361	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0792	0,0019
	197	11820	164,197	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0645	0,0018
	198	11880	165,033	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0492	0,0018
34	199	11940	165,869	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0334	0,0018
	200	12000	166,705	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0164	2,0170	0,0018
	201	12060	167,541	0,836	0,0022	0,000016	0,0596	0,0164	2,0000	0,0018
	202	12120	168,377	0,836	0,0022	0,000016	0,0596	0,0164	1,9823	0,0018
	203	12180	169,213	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,9638	0,0018
	204	12240	170,049	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,9445	0,0017
35	205	12300	170,885	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,9243	0,0017
	206	12360	171,721	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0165	1,9031	0,0017
	207	12420	172,557	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,8808	0,0017
	208	12480	173,393	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,8573	0,0017
	209	12540	174,229	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,8325	0,0016
	210	12600	175,065	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,8062	0,0016
36	211	12660	175,901	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,7782	0,0016
	212	12720	176,737	0,836	0,0020	0,000016	0,0595	0,0166	1,7482	0,0016
	213	12780	177,573	0,836	0,0020	0,000016	0,0594	0,0166	1,7160	0,0015
	214	12840	178,409	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,6812	0,0015
	215	12900	179,245	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,6435	0,0015
	216	12960	180,081	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,6021	0,0014
37	217	13020	180,917	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,5563	0,0014
	218	13080	181,753	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,5051	0,0013
	219	13140	182,589	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0167	1,4472	0,0013
	220	13200	183,425	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	1,3802	0,0012
	221	13260	184,261	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	1,3010	0,0012
	222	13320	185,097	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	1,2041	0,0011
38	223	13380	185,933	0,836	0,0019	0,000015	0,0593	0,0167	1,0792	0,0010
	224	13440	187,073	1,140	0,0026	0,000020	0,0593	0,0167	0,9031	0,0008
	225	13500	188,365	1,292	0,0030	0,000023	0,0593	0,0168	0,6021	0,0005
	226	13560	189,657	1,292	0,0029	0,000022	0,0592	0,0168	0,0000	0,0000

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	0,0000	0,0034	0,0034	0,0034	-2,75
	0,0018	0,0034	0,0067	0,0085	-2,68
	0,0047	0,0033	0,0100	0,0147	-2,61
	0,0085	0,0032	0,0132	0,0217	-2,54
	0,0129	0,0032	0,0164	0,0293	-2,47
	0,0179	0,0032	0,0196	0,0375	-2,40
2	0,0234	0,0031	0,0227	0,0461	-2,33
	0,0293	0,0031	0,0258	0,0551	-2,27
	0,0355	0,0031	0,0289	0,0645	-2,20
	0,0422	0,0031	0,0320	0,0742	-2,13
	0,0491	0,0031	0,0351	0,0841	-2,07
	0,0562	0,0030	0,0381	0,0943	-2,00
3	0,0637	0,0030	0,0411	0,1048	-1,94
	0,0714	0,0030	0,0441	0,1155	-1,87
	0,0793	0,0030	0,0471	0,1264	-1,81
	0,0874	0,0030	0,0501	0,1375	-1,74
	0,0957	0,0030	0,0531	0,1488	-1,68
	0,1041	0,0030	0,0561	0,1602	-1,61
4	0,1128	0,0030	0,0590	0,1718	-1,55
	0,1216	0,0029	0,0620	0,1836	-1,48
	0,1306	0,0029	0,0649	0,1955	-1,42
	0,1397	0,0029	0,0678	0,2076	-1,36
	0,1490	0,0029	0,0707	0,2198	-1,29
	0,1584	0,0029	0,0736	0,2321	-1,23
5	0,1680	0,0029	0,0765	0,2445	-1,16
	0,1777	0,0029	0,0794	0,2571	-1,10
	0,1875	0,0029	0,0823	0,2698	-1,04
	0,1974	0,0029	0,0852	0,2826	-0,97
	0,2074	0,0029	0,0881	0,2955	-0,91
	0,2176	0,0029	0,0909	0,3085	-0,85

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
6	0,2278	0,0029	0,0938	0,3216	-0,79
	0,2382	0,0028	0,0966	0,3348	-0,72
	0,2486	0,0028	0,0995	0,3481	-0,66
	0,2592	0,0028	0,1023	0,3615	-0,60
	0,2698	0,0028	0,1052	0,3750	-0,53
7	0,2805	0,0028	0,1080	0,3885	-0,47
	0,2914	0,0028	0,1108	0,4022	-0,41
	0,3023	0,0028	0,1136	0,4159	-0,35
	0,3133	0,0028	0,1164	0,4297	-0,29
	0,3243	0,0028	0,1192	0,4436	-0,22
8	0,3355	0,0028	0,1220	0,4575	-0,16
	0,3467	0,0028	0,1248	0,4715	-0,10
	0,3581	0,0028	0,1276	0,4856	-0,04
	0,3695	0,0028	0,1303	0,4998	0,02
	0,3809	0,0028	0,1331	0,5140	0,09
9	0,3925	0,0028	0,1359	0,5283	0,15
	0,4041	0,0028	0,1386	0,5427	0,21
	0,4157	0,0028	0,1414	0,5571	0,27
	0,4275	0,0027	0,1442	0,5716	0,33
	0,4393	0,0027	0,1469	0,5862	0,39
10	0,4512	0,0027	0,1496	0,6008	0,46
	0,4631	0,0027	0,1524	0,6155	0,52
	0,4751	0,0027	0,1551	0,6302	0,58
	0,4872	0,0027	0,1578	0,6450	0,64
	0,4993	0,0027	0,1605	0,6598	0,70
10	0,5115	0,0027	0,1633	0,6747	0,76
	0,5237	0,0027	0,1660	0,6897	0,82
	0,5360	0,0027	0,1687	0,7047	0,88
	0,5484	0,0027	0,1714	0,7197	0,94
	0,5608	0,0027	0,1741	0,7348	1,01

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
11	0,5732	0,0027	0,1767	0,7500	1,07
	0,5857	0,0027	0,1794	0,7652	1,13
	0,5983	0,0027	0,1821	0,7804	1,19
	0,6109	0,0027	0,1848	0,7957	1,25
	0,6236	0,0027	0,1875	0,8111	1,31
	0,6363	0,0027	0,1901	0,8264	1,37
12	0,6491	0,0027	0,1928	0,8419	1,43
	0,6619	0,0027	0,1954	0,8573	1,49
	0,6748	0,0027	0,1981	0,8729	1,55
	0,6877	0,0026	0,2007	0,8884	1,61
	0,7006	0,0026	0,2034	0,9040	1,67
	0,7137	0,0026	0,2060	0,9197	1,73
13	0,7267	0,0026	0,2086	0,9353	1,79
	0,7398	0,0026	0,2113	0,9511	1,85
	0,7529	0,0026	0,2139	0,9668	1,91
	0,7661	0,0026	0,2165	0,9826	1,97
	0,7793	0,0026	0,2191	0,9985	2,03
	0,7926	0,0026	0,2217	1,0143	2,09
14	0,8059	0,0026	0,2243	1,0303	2,15
	0,8193	0,0026	0,2269	1,0462	2,21
	0,8327	0,0026	0,2295	1,0622	2,27
	0,8461	0,0026	0,2321	1,0782	2,33
	0,8596	0,0026	0,2347	1,0943	2,39
	0,8731	0,0026	0,2373	1,1104	2,45
15	0,8866	0,0026	0,2399	1,1265	2,51
	0,9002	0,0026	0,2425	1,1427	2,57
	0,9138	0,0026	0,2450	1,1589	2,63
	0,9275	0,0026	0,2476	1,1751	2,69
	0,9412	0,0026	0,2501	1,1914	2,75
	0,9549	0,0026	0,2527	1,2077	2,81

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
16	0,9687	0,0026	0,2553	1,2240	2,87
	0,9825	0,0025	0,2578	1,2403	2,93
	0,9964	0,0025	0,2603	1,2567	2,99
	1,0103	0,0025	0,2629	1,2731	3,05
	1,0242	0,0025	0,2654	1,2896	3,11
	1,0381	0,0025	0,2679	1,3061	3,17
17	1,0521	0,0025	0,2705	1,3226	3,23
	1,0661	0,0025	0,2730	1,3391	3,29
	1,0802	0,0025	0,2755	1,3557	3,35
	1,0943	0,0025	0,2780	1,3723	3,41
	1,1084	0,0025	0,2805	1,3889	3,47
	1,1225	0,0025	0,2830	1,4055	3,53
18	1,1367	0,0025	0,2855	1,4222	3,59
	1,1509	0,0025	0,2880	1,4389	3,65
	1,1652	0,0025	0,2905	1,4557	3,70
	1,1794	0,0025	0,2930	1,4724	3,76
	1,1938	0,0025	0,2955	1,4892	3,82
	1,2081	0,0025	0,2979	1,5060	3,88
19	1,2225	0,0025	0,3004	1,5229	3,94
	1,2369	0,0025	0,3029	1,5397	4,00
	1,2513	0,0025	0,3053	1,5566	4,06
	1,2657	0,0025	0,3078	1,5735	4,12
	1,2802	0,0025	0,3102	1,5905	4,18
	1,2947	0,0024	0,3127	1,6074	4,24
20	1,3093	0,0024	0,3151	1,6244	4,30
	1,3239	0,0024	0,3175	1,6414	4,35
	1,3385	0,0024	0,3200	1,6584	4,41
	1,3531	0,0024	0,3224	1,6755	4,47
	1,3677	0,0024	0,3248	1,6926	4,53
	1,3824	0,0024	0,3272	1,7097	4,59

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	ΔH Primari in t (m)	ΔH Secondari in t (m)	ΔH Secondari cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
21	1,3971	0,0024	0,3297	1,7268	4,65
	1,4119	0,0024	0,3321	1,7439	4,71
	1,4266	0,0024	0,3345	1,7611	4,77
	1,4414	0,0024	0,3369	1,7783	4,83
	1,4563	0,0024	0,3393	1,7955	4,88
	1,4711	0,0024	0,3416	1,8127	4,94
22	1,4860	0,0024	0,3440	1,8300	5,00
	1,5009	0,0024	0,3464	1,8473	5,06
	1,5158	0,0024	0,3488	1,8646	5,12
	1,5307	0,0024	0,3511	1,8819	5,18
	1,5457	0,0024	0,3535	1,8992	5,24
	1,5607	0,0024	0,3559	1,9166	5,30
23	1,5757	0,0024	0,3582	1,9339	5,35
	1,5908	0,0023	0,3606	1,9513	5,41
	1,6058	0,0023	0,3629	1,9687	5,47
	1,6209	0,0023	0,3652	1,9862	5,53
	1,6361	0,0023	0,3676	2,0036	5,59
	1,6512	0,0023	0,3699	2,0211	5,65
24	1,6664	0,0023	0,3722	2,0386	5,71
	1,6816	0,0023	0,3745	2,0561	5,76
	1,6968	0,0023	0,3768	2,0736	5,82
	1,7120	0,0023	0,3791	2,0911	5,88
	1,7273	0,0023	0,3814	2,1087	5,94
	1,7426	0,0023	0,3837	2,1263	6,00
25	1,7579	0,0023	0,3860	2,1439	6,06
	1,7732	0,0023	0,3883	2,1615	6,11
	1,7885	0,0023	0,3905	2,1791	6,17
	1,8039	0,0023	0,3928	2,1967	6,23
	1,8193	0,0023	0,3951	2,2144	6,29
	1,8347	0,0023	0,3973	2,2321	6,35

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	AH Primari in t (m)	AH Secondari in t (m)	AH Secondari cumulati (m)	AH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
25	1,7579	0,0023	0,3860	2,1439	6,06
	1,7732	0,0023	0,3883	2,1615	6,11
	1,7885	0,0023	0,3905	2,1791	6,17
	1,8039	0,0023	0,3928	2,1967	6,23
	1,8193	0,0023	0,3951	2,2144	6,29
26	1,8347	0,0023	0,3973	2,2321	6,35
	1,8502	0,0022	0,3996	2,2498	6,41
	1,8656	0,0022	0,4018	2,2675	6,46
	1,8811	0,0022	0,4041	2,2852	6,52
	1,8966	0,0022	0,4063	2,3029	6,58
27	1,9121	0,0022	0,4085	2,3207	6,64
	1,9277	0,0022	0,4107	2,3384	6,70
	1,9433	0,0022	0,4130	2,3562	6,76
	1,9589	0,0022	0,4152	2,3740	6,81
	1,9745	0,0022	0,4174	2,3918	6,87
28	1,9901	0,0022	0,4195	2,4096	6,93
	2,0057	0,0022	0,4217	2,4275	6,99
	2,0214	0,0022	0,4239	2,4453	7,05
	2,0371	0,0022	0,4261	2,4632	7,10
	2,0528	0,0022	0,4282	2,4811	7,16
29	2,0685	0,0022	0,4304	2,4990	7,22
	2,0843	0,0022	0,4326	2,5169	7,28
	2,1001	0,0021	0,4347	2,5348	7,34
	2,1159	0,0021	0,4368	2,5527	7,40
	2,1317	0,0021	0,4390	2,5706	7,45
30	2,1475	0,0021	0,4411	2,5886	7,51
	2,1634	0,0021	0,4432	2,6065	7,57
	2,1792	0,0021	0,4453	2,6245	7,63
	2,1951	0,0021	0,4474	2,6425	7,69
	2,2110	0,0021	0,4495	2,6605	7,74
31	2,2269	0,0021	0,4516	2,6785	7,80
	2,2429	0,0021	0,4536	2,6965	7,86
	2,2589	0,0021	0,4557	2,7145	7,92
	2,2748	0,0021	0,4578	2,7326	7,98
	2,2908	0,0020	0,4598	2,7506	8,03
31	2,3069	0,0020	0,4618	2,7687	8,09
	2,3229	0,0020	0,4639	2,7867	8,15
	2,3389	0,0020	0,4659	2,8048	8,21
	2,3550	0,0020	0,4679	2,8229	8,27
	2,3711	0,0020	0,4699	2,8410	8,32
31	2,3872	0,0020	0,4719	2,8591	8,38
	2,4033	0,0020	0,4738	2,8772	8,44

SOWERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI					
Strati (anni)	AH Primari in t (m)	AH Secondari in t (m)	AH Secondari cumulati (m)	AH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
32	2,4195	0,0020	0,4758	2,8953	8,50
	2,4356	0,0020	0,4778	2,9134	8,55
	2,4518	0,0019	0,4797	2,9315	8,61
	2,4680	0,0019	0,4817	2,9497	8,67
	2,4842	0,0019	0,4836	2,9678	8,73
	2,5005	0,0019	0,4855	2,9860	8,79
33	2,5167	0,0019	0,4874	3,0041	8,84
	2,5330	0,0019	0,4893	3,0222	8,90
	2,5493	0,0019	0,4911	3,0404	8,96
	2,5656	0,0019	0,4930	3,0586	9,02
	2,5819	0,0018	0,4948	3,0767	9,08
	2,5982	0,0018	0,4967	3,0949	9,13
34	2,6146	0,0018	0,4985	3,1131	9,19
	2,6309	0,0018	0,5003	3,1312	9,25
	2,6473	0,0018	0,5021	3,1494	9,31
	2,6637	0,0018	0,5038	3,1676	9,36
	2,6801	0,0018	0,5056	3,1857	9,42
	2,6965	0,0017	0,5073	3,2039	9,48
35	2,7130	0,0017	0,5090	3,2220	9,54
	2,7295	0,0017	0,5107	3,2402	9,60
	2,7459	0,0017	0,5124	3,2584	9,65
	2,7624	0,0017	0,5141	3,2765	9,71
	2,7789	0,0016	0,5157	3,2946	9,77
	2,7955	0,0016	0,5173	3,3128	9,83
36	2,8120	0,0016	0,5189	3,3309	9,89
	2,8286	0,0016	0,5204	3,3490	9,94
	2,8451	0,0015	0,5220	3,3671	10,00
	2,8617	0,0015	0,5235	3,3852	10,06
	2,8783	0,0015	0,5249	3,4032	10,12
	2,8950	0,0014	0,5263	3,4213	10,17
37	2,9116	0,0014	0,5277	3,4393	10,23
	2,9282	0,0013	0,5290	3,4573	10,29
	2,9449	0,0013	0,5303	3,4752	10,35
	2,9616	0,0012	0,5315	3,4931	10,41
	2,9783	0,0011	0,5327	3,5109	10,47
	2,9950	0,0010	0,5337	3,5287	10,52
38	3,0117	0,0009	0,5346	3,5463	10,58
	3,0285	0,0008	0,5354	3,5638	10,64
	3,0452	0,0004	0,5358	3,5810	10,70
	3,0620	0,0000	0,5358	3,5978	10,76

LEGENDA MODELLO DI SOWERS

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{RSU}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace dovuto alla posa degli strati successivi

$$= \gamma_{RSU} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

ΔH Primario (m) = cedimento primario

$$= \text{spessore iniziale del substrato} \times C'_c \times \log 1$$

H_p (m) = spessore iniziale del substrato - ΔH Primario

ΔH Primario cumulato (m) = ΔH Primario cumulato _(t-1) + ΔH Primario

$\log 2 = \log ((\text{tempo massimo} - \text{tempo}) / t_p)$

ΔH Secondario (m) = cedimento secondario

$$= H_p \times C'_\alpha \times \log 2$$

ΔH Primari in t (m) = ΔH Primario cumulato $_{(t-1)}$ + ΔH Primario

ΔH Secondari in t (m) = $H_p \times C' \alpha \times \log ((\text{tempo massimo} - t_p - \text{tempo}) / t_p)$

ΔH Secondari cumulati (m) = ΔH Secondari cumulati $_{(t-1)}$ + ΔH Secondario

ΔH TOTALE (m) = ΔH Primari in t + ΔH Secondari cumulati

H da p.c (m) = altezza della discarica riferita al piano campagna

= (altezza iniziale di un substrato \times Substrati) – (ΔH TOTALE +

+ quota di fondazione della discarica + cedimenti del terreno di

fondazione

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	H _p (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,8336	0,00065	1,7177	0,0022
	2	120	1,254	0,836	0,2218	0,001686	0,0760	0,0017	2,8310	0,00065	2,8401	0,0037
	3	180	2,09	0,836	0,1461	0,001111	0,0743	0,0028	2,8284	0,00063	2,8376	0,0036
	4	240	2,926	0,836	0,1091	0,000829	0,0732	0,0036	2,8259	0,00062	2,8351	0,0035
	5	300	3,762	0,836	0,0872	0,000662	0,0724	0,0043	2,8233	0,00061	2,8325	0,0035
	6	360	4,598	0,836	0,0726	0,000551	0,0717	0,0048	2,8206	0,00061	2,8299	0,0034
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	0,000472	0,0712	0,0053	2,8180	0,00060	2,8274	0,0034
	8	480	6,27	0,836	0,0544	0,000413	0,0707	0,0057	2,8154	0,00060	2,8248	0,0034
	9	540	7,106	0,836	0,0483	0,000367	0,0703	0,0061	2,8127	0,00059	2,8222	0,0034
	10	600	7,942	0,836	0,0435	0,000330	0,0699	0,0064	2,8100	0,00059	2,8195	0,0034
	11	660	8,778	0,836	0,0395	0,000300	0,0696	0,0067	2,8073	0,00059	2,8169	0,0033
	12	720	9,614	0,836	0,0362	0,000275	0,0693	0,0070	2,8046	0,00058	2,8142	0,0033
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	0,000254	0,0690	0,0073	2,8019	0,00058	2,8116	0,0033
	14	840	11,286	0,836	0,0310	0,000236	0,0687	0,0075	2,7991	0,00058	2,8089	0,0033
	15	900	12,122	0,836	0,0290	0,000220	0,0685	0,0077	2,7963	0,00057	2,8062	0,0033
	16	960	12,958	0,836	0,0272	0,000206	0,0683	0,0079	2,7936	0,00057	2,8035	0,0033
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	0,000194	0,0681	0,0081	2,7908	0,00057	2,8007	0,0032
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	0,000183	0,0679	0,0083	2,7879	0,00057	2,7980	0,0032
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	0,000174	0,0677	0,0085	2,7851	0,00057	2,7952	0,0032
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	0,000165	0,0675	0,0086	2,7822	0,00056	2,7924	0,0032
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	0,000157	0,0674	0,0088	2,7794	0,00056	2,7896	0,0032
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	0,000150	0,0672	0,0089	2,7765	0,00056	2,7868	0,0032
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	0,000144	0,0671	0,0091	2,7735	0,00056	2,7839	0,0032
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	0,000138	0,0669	0,0092	2,7706	0,00056	2,7810	0,0032
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	0,000132	0,0668	0,0094	2,7677	0,00055	2,7782	0,0032
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	0,000127	0,0666	0,0095	2,7647	0,00055	2,7752	0,0031
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	0,000122	0,0665	0,0096	2,7617	0,00055	2,7723	0,0031
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	0,000118	0,0664	0,0097	2,7587	0,00055	2,7694	0,0031
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	0,000114	0,0663	0,0098	2,7556	0,00055	2,7664	0,0031
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	0,000110	0,0662	0,0099	2,7526	0,00055	2,7634	0,0031

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
6	31	1860	25,498	0,836	0,0140	0,000106	0,0661	0,0100	2,7495	0,00054	2,7604	0,0031
	32	1920	26,334	0,836	0,0136	0,000103	0,0660	0,0102	2,7464	0,00054	2,7574	0,0031
	33	1980	27,17	0,836	0,0132	0,000100	0,0658	0,0103	2,7432	0,00054	2,7543	0,0031
	34	2040	28,006	0,836	0,0128	0,000097	0,0657	0,0103	2,7401	0,00054	2,7513	0,0031
	35	2100	28,842	0,836	0,0124	0,000094	0,0657	0,0104	2,7369	0,00054	2,7482	0,0031
	36	2160	29,678	0,836	0,0121	0,000092	0,0656	0,0105	2,7337	0,00054	2,7451	0,0031
7	37	2220	30,514	0,836	0,0117	0,000089	0,0655	0,0106	2,7305	0,00054	2,7419	0,0031
	38	2280	31,35	0,836	0,0114	0,000087	0,0654	0,0107	2,7273	0,00053	2,7388	0,0030
	39	2340	32,186	0,836	0,0111	0,000085	0,0653	0,0108	2,7240	0,00053	2,7356	0,0030
	40	2400	33,022	0,836	0,0109	0,000083	0,0652	0,0109	2,7207	0,00053	2,7324	0,0030
	41	2460	33,858	0,836	0,0106	0,000081	0,0651	0,0110	2,7174	0,00053	2,7292	0,0030
	42	2520	34,694	0,836	0,0103	0,000079	0,0650	0,0110	2,7141	0,00053	2,7259	0,0030
8	43	2580	35,53	0,836	0,0101	0,000077	0,0650	0,0111	2,7107	0,00053	2,7226	0,0030
	44	2640	36,366	0,836	0,0099	0,000075	0,0649	0,0112	2,7073	0,00053	2,7193	0,0030
	45	2700	37,202	0,836	0,0097	0,000073	0,0648	0,0113	2,7039	0,00053	2,7160	0,0030
	46	2760	38,038	0,836	0,0094	0,000072	0,0647	0,0113	2,7004	0,00052	2,7126	0,0030
	47	2820	38,874	0,836	0,0092	0,000070	0,0647	0,0114	2,6969	0,00052	2,7093	0,0030
	48	2880	39,71	0,836	0,0090	0,000069	0,0646	0,0115	2,6934	0,00052	2,7059	0,0030
9	49	2940	40,546	0,836	0,0089	0,000067	0,0645	0,0115	2,6899	0,00052	2,7024	0,0030
	50	3000	41,382	0,836	0,0087	0,000066	0,0645	0,0116	2,6863	0,00052	2,6990	0,0030
	51	3060	42,218	0,836	0,0085	0,000065	0,0644	0,0117	2,6827	0,00052	2,6955	0,0030
	52	3120	43,054	0,836	0,0084	0,000063	0,0643	0,0117	2,6791	0,00052	2,6920	0,0029
	53	3180	43,89	0,836	0,0082	0,000062	0,0643	0,0118	2,6755	0,00052	2,6884	0,0029
	54	3240	44,726	0,836	0,0080	0,000061	0,0642	0,0119	2,6718	0,00051	2,6848	0,0029
10	55	3300	45,562	0,836	0,0079	0,000060	0,0641	0,0119	2,6681	0,00051	2,6812	0,0029
	56	3360	46,398	0,836	0,0078	0,000059	0,0641	0,0120	2,6643	0,00051	2,6776	0,0029
	57	3420	47,234	0,836	0,0076	0,000058	0,0640	0,0120	2,6605	0,00051	2,6739	0,0029
	58	3480	48,07	0,836	0,0075	0,000057	0,0640	0,0121	2,6567	0,00051	2,6702	0,0029
	59	3540	48,906	0,836	0,0074	0,000056	0,0639	0,0121	2,6529	0,00051	2,6665	0,0029
	60	3600	49,742	0,836	0,0072	0,000055	0,0639	0,0122	2,6490	0,00051	2,6628	0,0029

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
11	61	3660	50,578	0,836	0,0071	0,000054	0,0638	0,0123	2,6451	0,00051	2,6590	0,0029
	62	3720	51,414	0,836	0,0070	0,000053	0,0637	0,0123	2,6411	0,00051	2,6551	0,0029
	63	3780	52,25	0,836	0,0069	0,000052	0,0637	0,0124	2,6372	0,00050	2,6513	0,0029
	64	3840	53,086	0,836	0,0068	0,000052	0,0636	0,0124	2,6331	0,00050	2,6474	0,0029
	65	3900	53,922	0,836	0,0067	0,000051	0,0636	0,0125	2,6291	0,00050	2,6435	0,0029
	66	3960	54,758	0,836	0,0066	0,000050	0,0635	0,0125	2,6250	0,00050	2,6395	0,0029
12	67	4020	55,594	0,836	0,0065	0,000049	0,0635	0,0126	2,6208	0,00050	2,6355	0,0028
	68	4080	56,43	0,836	0,0064	0,000049	0,0634	0,0126	2,6167	0,00050	2,6314	0,0028
	69	4140	57,266	0,836	0,0063	0,000048	0,0634	0,0127	2,6124	0,00050	2,6274	0,0028
	70	4200	58,102	0,836	0,0062	0,000047	0,0633	0,0127	2,6082	0,00050	2,6232	0,0028
	71	4260	58,938	0,836	0,0061	0,000046	0,0633	0,0128	2,6039	0,00049	2,6191	0,0028
	72	4320	59,774	0,836	0,0060	0,000046	0,0632	0,0128	2,5995	0,00049	2,6149	0,0028
13	73	4380	60,61	0,836	0,0059	0,000045	0,0632	0,0128	2,5951	0,00049	2,6107	0,0028
	74	4440	61,446	0,836	0,0059	0,000045	0,0632	0,0129	2,5907	0,00049	2,6064	0,0028
	75	4500	62,282	0,836	0,0058	0,000044	0,0631	0,0129	2,5862	0,00049	2,6021	0,0028
	76	4560	63,118	0,836	0,0057	0,000043	0,0631	0,0130	2,5817	0,00049	2,5977	0,0028
	77	4620	63,954	0,836	0,0056	0,000043	0,0630	0,0130	2,5771	0,00049	2,5933	0,0028
	78	4680	64,79	0,836	0,0056	0,000042	0,0630	0,0131	2,5725	0,00049	2,5888	0,0028
14	79	4740	65,626	0,836	0,0055	0,000042	0,0629	0,0131	2,5678	0,00048	2,5843	0,0028
	80	4800	66,462	0,836	0,0054	0,000041	0,0629	0,0131	2,5631	0,00048	2,5798	0,0028
	81	4860	67,298	0,836	0,0054	0,000041	0,0629	0,0132	2,5583	0,00048	2,5752	0,0028
	82	4920	68,134	0,836	0,0053	0,000040	0,0628	0,0132	2,5535	0,00048	2,5705	0,0027
	83	4980	68,97	0,836	0,0052	0,000040	0,0628	0,0133	2,5486	0,00048	2,5658	0,0027
	84	5040	69,806	0,836	0,0052	0,000039	0,0627	0,0133	2,5437	0,00048	2,5611	0,0027
15	85	5100	70,642	0,836	0,0051	0,000039	0,0627	0,0133	2,5387	0,00048	2,5563	0,0027
	86	5160	71,478	0,836	0,0050	0,000038	0,0627	0,0134	2,5336	0,00048	2,5514	0,0027
	87	5220	72,314	0,836	0,0050	0,000038	0,0626	0,0134	2,5285	0,00047	2,5465	0,0027
	88	5280	73,15	0,836	0,0049	0,000038	0,0626	0,0135	2,5233	0,00047	2,5416	0,0027
	89	5340	73,986	0,836	0,0049	0,000037	0,0625	0,0135	2,5181	0,00047	2,5366	0,0027
	90	5400	74,822	0,836	0,0048	0,000037	0,0625	0,0135	2,5128	0,00047	2,5315	0,0027

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
16	91	5460	75,658	0,836	0,0048	0,000036	0,0625	0,0136	2,5074	0,00047	2,5263	0,0027
	92	5520	76,494	0,836	0,0047	0,000036	0,0624	0,0136	2,5020	0,00047	2,5211	0,0027
	93	5580	77,33	0,836	0,0047	0,000035	0,0624	0,0136	2,4965	0,00047	2,5159	0,0027
	94	5640	78,166	0,836	0,0046	0,000035	0,0624	0,0137	2,4909	0,00047	2,5105	0,0027
	95	5700	79,002	0,836	0,0046	0,000035	0,0623	0,0137	2,4852	0,00046	2,5051	0,0027
	96	5760	79,838	0,836	0,0045	0,000034	0,0623	0,0137	2,4795	0,00046	2,4997	0,0026
17	97	5820	80,674	0,836	0,0045	0,000034	0,0623	0,0138	2,4737	0,00046	2,4942	0,0026
	98	5880	81,51	0,836	0,0044	0,000034	0,0622	0,0138	2,4679	0,00046	2,4886	0,0026
	99	5940	82,346	0,836	0,0044	0,000033	0,0622	0,0138	2,4619	0,00046	2,4829	0,0026
	100	6000	83,182	0,836	0,0043	0,000033	0,0622	0,0139	2,4559	0,00046	2,4771	0,0026
	101	6060	84,018	0,836	0,0043	0,000033	0,0621	0,0139	2,4497	0,00046	2,4713	0,0026
	102	6120	84,854	0,836	0,0043	0,000032	0,0621	0,0139	2,4435	0,00046	2,4654	0,0026
18	103	6180	85,69	0,836	0,0042	0,000032	0,0621	0,0140	2,4372	0,00045	2,4594	0,0026
	104	6240	86,526	0,836	0,0042	0,000032	0,0620	0,0140	2,4308	0,00045	2,4533	0,0026
	105	6300	87,362	0,836	0,0041	0,000031	0,0620	0,0140	2,4243	0,00045	2,4472	0,0026
	106	6360	88,198	0,836	0,0041	0,000031	0,0620	0,0141	2,4177	0,00045	2,4409	0,0026
	107	6420	89,034	0,836	0,0041	0,000031	0,0619	0,0141	2,4111	0,00045	2,4346	0,0026
	108	6480	89,87	0,836	0,0040	0,000031	0,0619	0,0141	2,4043	0,00045	2,4281	0,0026
19	109	6540	90,706	0,836	0,0040	0,000030	0,0619	0,0142	2,3974	0,00044	2,4216	0,0025
	110	6600	91,542	0,836	0,0039	0,000030	0,0618	0,0142	2,3903	0,00044	2,4150	0,0025
	111	6660	92,378	0,836	0,0039	0,000030	0,0618	0,0142	2,3832	0,00044	2,4082	0,0025
	112	6720	93,214	0,836	0,0039	0,000029	0,0618	0,0143	2,3760	0,00044	2,4014	0,0025
	113	6780	94,05	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3686	0,00044	2,3945	0,0025
	114	6840	94,886	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3611	0,00044	2,3874	0,0025
20	115	6900	95,722	0,836	0,0038	0,000029	0,0617	0,0143	2,3535	0,00044	2,3802	0,0025
	116	6960	96,558	0,836	0,0037	0,000028	0,0617	0,0144	2,3457	0,00043	2,3729	0,0025
	117	7020	97,394	0,836	0,0037	0,000028	0,0616	0,0144	2,3378	0,00043	2,3655	0,0025
	118	7080	98,23	0,836	0,0037	0,000028	0,0616	0,0144	2,3297	0,00043	2,3579	0,0025
	119	7140	99,066	0,836	0,0036	0,000028	0,0616	0,0144	2,3215	0,00043	2,3502	0,0025
	120	7200	99,902	0,836	0,0036	0,000028	0,0616	0,0145	2,3132	0,00043	2,3424	0,0025

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
21	121	7260	100,738	0,836	0,0036	0,000027	0,0615	0,0145	2,3046	0,00043	2,3345	0,0024
	122	7320	101,574	0,836	0,0036	0,000027	0,0615	0,0145	2,2959	0,00042	2,3263	0,0024
	123	7380	102,41	0,836	0,0035	0,000027	0,0615	0,0146	2,2871	0,00042	2,3181	0,0024
	124	7440	103,246	0,836	0,0035	0,000027	0,0614	0,0146	2,2780	0,00042	2,3096	0,0024
	125	7500	104,082	0,836	0,0035	0,000026	0,0614	0,0146	2,2687	0,00042	2,3010	0,0024
	126	7560	104,918	0,836	0,0034	0,000026	0,0614	0,0146	2,2593	0,00042	2,2923	0,0024
22	127	7620	105,754	0,836	0,0034	0,000026	0,0614	0,0147	2,2496	0,00041	2,2833	0,0024
	128	7680	106,59	0,836	0,0034	0,000026	0,0613	0,0147	2,2397	0,00041	2,2742	0,0024
	129	7740	107,426	0,836	0,0034	0,000026	0,0613	0,0147	2,2296	0,00041	2,2648	0,0024
	130	7800	108,262	0,836	0,0033	0,000025	0,0613	0,0147	2,2192	0,00041	2,2553	0,0023
	131	7860	109,098	0,836	0,0033	0,000025	0,0613	0,0148	2,2086	0,00041	2,2455	0,0023
	132	7920	109,934	0,836	0,0033	0,000025	0,0612	0,0148	2,1977	0,00040	2,2355	0,0023
23	133	7980	110,77	0,836	0,0033	0,000025	0,0612	0,0148	2,1866	0,00040	2,2253	0,0023
	134	8040	111,606	0,836	0,0032	0,000025	0,0612	0,0148	2,1751	0,00040	2,2148	0,0023
	135	8100	112,442	0,836	0,0032	0,000024	0,0612	0,0149	2,1634	0,00040	2,2041	0,0023
	136	8160	113,278	0,836	0,0032	0,000024	0,0611	0,0149	2,1513	0,00039	2,1931	0,0023
	137	8220	114,114	0,836	0,0032	0,000024	0,0611	0,0149	2,1388	0,00039	2,1818	0,0023
	138	8280	114,95	0,836	0,0031	0,000024	0,0611	0,0149	2,1260	0,00039	2,1703	0,0023
24	139	8340	115,786	0,836	0,0031	0,000024	0,0611	0,0150	2,1128	0,00039	2,1584	0,0022
	140	8400	116,622	0,836	0,0031	0,000024	0,0610	0,0150	2,0992	0,00038	2,1461	0,0022
	141	8460	117,458	0,836	0,0031	0,000023	0,0610	0,0150	2,0852	0,00038	2,1335	0,0022
	142	8520	118,294	0,836	0,0031	0,000023	0,0610	0,0150	2,0707	0,00038	2,1206	0,0022
	143	8580	119,13	0,836	0,0030	0,000023	0,0610	0,0151	2,0556	0,00038	2,1072	0,0022
	144	8640	119,966	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0401	0,00037	2,0934	0,0022
25	145	8700	120,802	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0239	0,00037	2,0792	0,0022
	146	8760	121,638	0,836	0,0030	0,000023	0,0609	0,0151	2,0072	0,00037	2,0645	0,0021
	147	8820	122,474	0,836	0,0030	0,000022	0,0609	0,0151	1,9897	0,00036	2,0492	0,0021
	148	8880	123,31	0,836	0,0029	0,000022	0,0609	0,0152	1,9716	0,00036	2,0334	0,0021
	149	8940	124,146	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	1,9526	0,00036	2,0170	0,0021
	150	9000	124,982	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	1,9328	0,00035	2,0000	0,0021

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primari cumulati (m)	log2	ΔH S. Intermedio (m)	log3	ΔH S. a lungo termine (m)
26	151	9060	125,818	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0152	1,9120	0,00035	1,9823	0,0020
	152	9120	126,654	0,836	0,0029	0,000022	0,0608	0,0153	1,8902	0,00034	1,9638	0,0020
	153	9180	127,49	0,836	0,0028	0,000022	0,0607	0,0153	1,8673	0,00034	1,9445	0,0020
	154	9240	128,326	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,8430	0,00034	1,9243	0,0020
	155	9300	129,162	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,8173	0,00033	1,9031	0,0020
	156	9360	129,998	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0153	1,7901	0,00033	1,8808	0,0019
27	157	9420	130,834	0,836	0,0028	0,000021	0,0607	0,0154	1,7609	0,00032	1,8573	0,0019
	158	9480	131,67	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,7297	0,00031	1,8325	0,0019
	159	9540	132,506	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,6961	0,00031	1,8062	0,0019
	160	9600	133,342	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,6596	0,00030	1,7782	0,0018
	161	9660	134,178	0,836	0,0027	0,000021	0,0606	0,0154	1,6198	0,00029	1,7482	0,0018
	162	9720	135,014	0,836	0,0027	0,000020	0,0606	0,0155	1,5760	0,00029	1,7160	0,0018
28	163	9780	135,85	0,836	0,0027	0,000020	0,0605	0,0155	1,5272	0,00028	1,6812	0,0017
	164	9840	136,686	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,4723	0,00027	1,6435	0,0017
	165	9900	137,522	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,4094	0,00026	1,6021	0,0016
	166	9960	138,358	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0155	1,3358	0,00024	1,5563	0,0016
	167	10020	139,194	0,836	0,0026	0,000020	0,0605	0,0156	1,2472	0,00023	1,5051	0,0015
	168	10080	140,03	0,836	0,0026	0,000020	0,0604	0,0156	1,1357	0,00021	1,4472	0,0015
29	169	10140	140,866	0,836	0,0026	0,000020	0,0604	0,0156	0,9853	0,00018	1,3802	0,0014
	170	10200	141,702	0,836	0,0026	0,000019	0,0604	0,0156	0,7533	0,00014	1,3010	0,0013
	171	10260	142,538	0,836	0,0025	0,000019	0,0604	0,0156	0,2218	0,00004	1,2041	0,0012
	172	10320	143,374	0,836	0,0025	0,000019	0,0604	0,0157	0,0000	0,00000	1,0792	0,0011
	173	10380	144,514	1,140	0,0034	0,000026	0,0603	0,0157	0,0000	0,00000	0,9031	0,0009
	174	10440	145,806	1,292	0,0038	0,000029	0,0603	0,0157	0,0000	0,00000	0,6021	0,0006
30	175	10500	147,098	1,292	0,0038	0,000029	0,0603	0,0157	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
1	0,0000	0,0006	0,0006	0,0022	0,0022	0,0029
	0,0017	0,0006	0,0013	0,0022	0,0044	0,0074
	0,0045	0,0006	0,0019	0,0022	0,0066	0,0130
	0,0081	0,0006	0,0025	0,0021	0,0087	0,0194
	0,0124	0,0006	0,0032	0,0021	0,0108	0,0264
	0,0172	0,0006	0,0038	0,0021	0,0129	0,0339
2	0,0225	0,0006	0,0044	0,0021	0,0150	0,0419
	0,0283	0,0006	0,0050	0,0020	0,0170	0,0502
	0,0344	0,0006	0,0056	0,0020	0,0190	0,0590
	0,0408	0,0006	0,0061	0,0020	0,0211	0,0680
	0,0475	0,0006	0,0067	0,0020	0,0231	0,0773
	0,0545	0,0006	0,0073	0,0020	0,0250	0,0869
3	0,0618	0,0006	0,0079	0,0020	0,0270	0,0967
	0,0693	0,0006	0,0085	0,0020	0,0290	0,1067
	0,0770	0,0006	0,0090	0,0020	0,0309	0,1169
	0,0849	0,0006	0,0096	0,0019	0,0329	0,1274
	0,0930	0,0006	0,0102	0,0019	0,0348	0,1380
	0,1013	0,0006	0,0108	0,0019	0,0368	0,1488
4	0,1097	0,0006	0,0113	0,0019	0,0387	0,1597
	0,1184	0,0006	0,0119	0,0019	0,0406	0,1709
	0,1272	0,0006	0,0124	0,0019	0,0425	0,1821
	0,1361	0,0006	0,0130	0,0019	0,0444	0,1935
	0,1452	0,0006	0,0136	0,0019	0,0463	0,2050
	0,1544	0,0006	0,0141	0,0019	0,0482	0,2167
5	0,1638	0,0006	0,0147	0,0019	0,0501	0,2285
	0,1732	0,0006	0,0152	0,0019	0,0519	0,2404
	0,1828	0,0006	0,0158	0,0019	0,0538	0,2524
	0,1925	0,0005	0,0163	0,0019	0,0556	0,2645
	0,2024	0,0005	0,0169	0,0018	0,0575	0,2768
	0,2123	0,0005	0,0174	0,0018	0,0593	0,2891

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
6	0,2224	0,0005	0,0180	0,0018	0,0612	0,3015
	0,2325	0,0005	0,0185	0,0018	0,0630	0,3140
	0,2428	0,0005	0,0191	0,0018	0,0648	0,3267
	0,2531	0,0005	0,0196	0,0018	0,0666	0,3394
	0,2636	0,0005	0,0201	0,0018	0,0685	0,3522
	0,2741	0,0005	0,0207	0,0018	0,0703	0,3650
7	0,2847	0,0005	0,0212	0,0018	0,0721	0,3780
	0,2954	0,0005	0,0217	0,0018	0,0739	0,3910
	0,3062	0,0005	0,0223	0,0018	0,0756	0,4042
	0,3171	0,0005	0,0228	0,0018	0,0774	0,4173
	0,3281	0,0005	0,0233	0,0018	0,0792	0,4306
	0,3391	0,0005	0,0239	0,0018	0,0810	0,4440
8	0,3502	0,0005	0,0244	0,0018	0,0827	0,4574
	0,3614	0,0005	0,0249	0,0018	0,0845	0,4708
	0,3727	0,0005	0,0254	0,0018	0,0863	0,4844
	0,3840	0,0005	0,0260	0,0017	0,0880	0,4980
	0,3954	0,0005	0,0265	0,0017	0,0897	0,5117
	0,4069	0,0005	0,0270	0,0017	0,0915	0,5254
9	0,4184	0,0005	0,0275	0,0017	0,0932	0,5392
	0,4300	0,0005	0,0281	0,0017	0,0949	0,5530
	0,4417	0,0005	0,0286	0,0017	0,0967	0,5669
	0,4534	0,0005	0,0291	0,0017	0,0984	0,5809
	0,4652	0,0005	0,0296	0,0017	0,1001	0,5949
	0,4771	0,0005	0,0301	0,0017	0,1018	0,6090
10	0,4890	0,0005	0,0306	0,0017	0,1035	0,6231
	0,5010	0,0005	0,0311	0,0017	0,1052	0,6373
	0,5130	0,0005	0,0317	0,0017	0,1069	0,6515
	0,5251	0,0005	0,0322	0,0017	0,1085	0,6658
	0,5373	0,0005	0,0327	0,0017	0,1102	0,6802
	0,5495	0,0005	0,0332	0,0017	0,1119	0,6945

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
11	0,5617	0,0005	0,0337	0,0017	0,1135	0,7090
	0,5740	0,0005	0,0342	0,0017	0,1152	0,7234
	0,5864	0,0005	0,0347	0,0017	0,1168	0,7380
	0,5988	0,0005	0,0352	0,0016	0,1185	0,7525
	0,6113	0,0005	0,0357	0,0016	0,1201	0,7671
	0,6238	0,0005	0,0362	0,0016	0,1218	0,7818
12	0,6364	0,0005	0,0367	0,0016	0,1234	0,7965
	0,6490	0,0005	0,0372	0,0016	0,1250	0,8112
	0,6616	0,0005	0,0377	0,0016	0,1266	0,8260
	0,6743	0,0005	0,0382	0,0016	0,1283	0,8408
	0,6871	0,0005	0,0387	0,0016	0,1299	0,8557
	0,6999	0,0005	0,0392	0,0016	0,1315	0,8706
13	0,7127	0,0005	0,0397	0,0016	0,1331	0,8855
	0,7256	0,0005	0,0402	0,0016	0,1347	0,9005
	0,7386	0,0005	0,0407	0,0016	0,1362	0,9155
	0,7515	0,0005	0,0411	0,0016	0,1378	0,9305
	0,7646	0,0005	0,0416	0,0016	0,1394	0,9456
	0,7776	0,0005	0,0421	0,0016	0,1410	0,9607
14	0,7907	0,0005	0,0426	0,0016	0,1425	0,9759
	0,8039	0,0005	0,0431	0,0016	0,1441	0,9910
	0,8171	0,0005	0,0436	0,0015	0,1456	1,0063
	0,8303	0,0005	0,0440	0,0015	0,1472	1,0215
	0,8436	0,0005	0,0445	0,0015	0,1487	1,0368
	0,8569	0,0005	0,0450	0,0015	0,1502	1,0521
15	0,8702	0,0005	0,0455	0,0015	0,1518	1,0675
	0,8836	0,0005	0,0460	0,0015	0,1533	1,0828
	0,8970	0,0005	0,0464	0,0015	0,1548	1,0982
	0,9105	0,0005	0,0469	0,0015	0,1563	1,1137
	0,9240	0,0005	0,0474	0,0015	0,1578	1,1292
	0,9375	0,0005	0,0479	0,0015	0,1593	1,1447

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
16	0,9511	0,0005	0,0483	0,0015	0,1608	1,1602
	0,9647	0,0005	0,0488	0,0015	0,1623	1,1757
	0,9783	0,0005	0,0493	0,0015	0,1637	1,1913
	0,9920	0,0005	0,0497	0,0015	0,1652	1,2069
	1,0057	0,0005	0,0502	0,0015	0,1667	1,2226
	1,0194	0,0005	0,0507	0,0015	0,1681	1,2382
17	1,0332	0,0005	0,0511	0,0014	0,1696	1,2539
	1,0470	0,0005	0,0516	0,0014	0,1710	1,2696
	1,0609	0,0005	0,0520	0,0014	0,1725	1,2854
	1,0748	0,0005	0,0525	0,0014	0,1739	1,3011
	1,0887	0,0005	0,0529	0,0014	0,1753	1,3169
	1,1026	0,0005	0,0534	0,0014	0,1767	1,3327
18	1,1166	0,0005	0,0539	0,0014	0,1781	1,3486
	1,1306	0,0005	0,0543	0,0014	0,1795	1,3644
	1,1446	0,0005	0,0548	0,0014	0,1809	1,3803
	1,1587	0,0004	0,0552	0,0014	0,1823	1,3962
	1,1728	0,0004	0,0557	0,0014	0,1837	1,4122
	1,1869	0,0004	0,0561	0,0014	0,1851	1,4281
19	1,2011	0,0004	0,0566	0,0014	0,1864	1,4441
	1,2153	0,0004	0,0570	0,0014	0,1878	1,4601
	1,2295	0,0004	0,0574	0,0013	0,1891	1,4761
	1,2438	0,0004	0,0579	0,0013	0,1905	1,4921
	1,2580	0,0004	0,0583	0,0013	0,1918	1,5082
	1,2723	0,0004	0,0588	0,0013	0,1931	1,5242
20	1,2867	0,0004	0,0592	0,0013	0,1944	1,5403
	1,3010	0,0004	0,0596	0,0013	0,1958	1,5564
	1,3154	0,0004	0,0601	0,0013	0,1971	1,5725
	1,3299	0,0004	0,0605	0,0013	0,1983	1,5887
	1,3443	0,0004	0,0609	0,0013	0,1996	1,6049
	1,3588	0,0004	0,0613	0,0013	0,2009	1,6210

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
21	1,3733	0,0004	0,0618	0,0013	0,2022	1,6372
	1,3878	0,0004	0,0622	0,0013	0,2034	1,6534
	1,4024	0,0004	0,0626	0,0012	0,2047	1,6697
	1,4170	0,0004	0,0630	0,0012	0,2059	1,6859
	1,4316	0,0004	0,0634	0,0012	0,2071	1,7022
	1,4462	0,0004	0,0639	0,0012	0,2084	1,7184
22	1,4609	0,0004	0,0643	0,0012	0,2096	1,7347
	1,4756	0,0004	0,0647	0,0012	0,2108	1,7510
	1,4903	0,0004	0,0651	0,0012	0,2119	1,7673
	1,5050	0,0004	0,0655	0,0012	0,2131	1,7837
	1,5198	0,0004	0,0659	0,0012	0,2143	1,8000
	1,5346	0,0004	0,0663	0,0012	0,2155	1,8163
23	1,5494	0,0004	0,0667	0,0011	0,2166	1,8327
	1,5642	0,0004	0,0671	0,0011	0,2177	1,8491
	1,5791	0,0004	0,0675	0,0011	0,2189	1,8655
	1,5940	0,0004	0,0679	0,0011	0,2200	1,8819
	1,6089	0,0004	0,0683	0,0011	0,2211	1,8983
	1,6238	0,0004	0,0687	0,0011	0,2221	1,9147
24	1,6388	0,0004	0,0691	0,0011	0,2232	1,9311
	1,6538	0,0004	0,0695	0,0011	0,2243	1,9475
	1,6688	0,0004	0,0698	0,0010	0,2253	1,9640
	1,6838	0,0004	0,0702	0,0010	0,2264	1,9804
	1,6989	0,0004	0,0706	0,0010	0,2274	1,9968
	1,7140	0,0004	0,0710	0,0010	0,2284	2,0133
25	1,7291	0,0004	0,0713	0,0010	0,2294	2,0298
	1,7442	0,0004	0,0717	0,0010	0,2303	2,0462
	1,7593	0,0004	0,0721	0,0010	0,2313	2,0627
	1,7745	0,0004	0,0724	0,0009	0,2322	2,0792
	1,7897	0,0004	0,0728	0,0009	0,2332	2,0956
	1,8049	0,0004	0,0731	0,0009	0,2341	2,1121

BJARNGARD – EDGERS

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI						
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. cumulati a lungo termine (m)	ΔH TOTALE (m)
26	1,8201	0,0003	0,0735	0,0009	0,2349	2,1286
	1,8354	0,0003	0,0738	0,0009	0,2358	2,1450
	1,8506	0,0003	0,0742	0,0008	0,2367	2,1615
	1,8659	0,0003	0,0745	0,0008	0,2375	2,1779
	1,8813	0,0003	0,0748	0,0008	0,2383	2,1944
	1,8966	0,0003	0,0752	0,0008	0,2391	2,2108
27	1,9120	0,0003	0,0755	0,0008	0,2398	2,2273
	1,9273	0,0003	0,0758	0,0007	0,2406	2,2437
	1,9428	0,0003	0,0761	0,0007	0,2413	2,2601
	1,9582	0,0003	0,0764	0,0007	0,2419	2,2765
	1,9736	0,0003	0,0767	0,0006	0,2426	2,2929
	1,9891	0,0003	0,0770	0,0006	0,2432	2,3093
28	2,0046	0,0003	0,0773	0,0006	0,2438	2,3256
	2,0201	0,0003	0,0775	0,0005	0,2443	2,3419
	2,0356	0,0003	0,0778	0,0005	0,2448	2,3582
	2,0511	0,0002	0,0780	0,0004	0,2452	2,3744
	2,0667	0,0002	0,0783	0,0004	0,2456	2,3906
	2,0823	0,0002	0,0785	0,0003	0,2459	2,4067
29	2,0979	0,0002	0,0786	0,0003	0,2462	2,4227
	2,1135	0,0001	0,0788	0,0002	0,2464	2,4387
	2,1292	0,0000	0,0788	0,0001	0,2465	2,4544
	2,1448	0,0000	0,0788	0,0000	0,2465	2,4701
	2,1605	0,0000	0,0788	0,0000	0,2465	2,4858
	2,1762	0,0000	0,0788	0,0000	0,2465	2,5015
30	2,1920	0,0000	0,0788	0,0000	0,2465	2,5173

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	ΔH S. a lungo termine (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0760	0,0000	2,9453	0,00067	1,8274	0,0024
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,001771	0,0760	0,0018	2,9433	0,00067	1,8254	0,0024
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,001146	0,0742	0,0029	2,9413	0,00065	1,8235	0,0023
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000849	0,0731	0,0038	2,9394	0,00064	1,8215	0,0023
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000675	0,0722	0,0044	2,9374	0,00064	1,8195	0,0022
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000560	0,0716	0,0050	2,9353	0,00063	1,8176	0,0022
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000479	0,0710	0,0055	2,9333	0,00062	1,8156	0,0022
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000418	0,0705	0,0059	2,9313	0,00062	1,8136	0,0022
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000371	0,0701	0,0063	2,9292	0,00062	1,8116	0,0022
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000333	0,0697	0,0066	2,9272	0,00061	1,8096	0,0021
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000303	0,0694	0,0069	2,9251	0,00061	1,8075	0,0021
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000277	0,0691	0,0072	2,9231	0,00061	1,8055	0,0021
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000256	0,0688	0,0074	2,9210	0,00060	1,8035	0,0021
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000237	0,0686	0,0077	2,9189	0,00060	1,8014	0,0021
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000221	0,0683	0,0079	2,9168	0,00060	1,7993	0,0021
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000208	0,0681	0,0081	2,9147	0,00060	1,7973	0,0021
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000195	0,0679	0,0083	2,9126	0,00059	1,7952	0,0021
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000184	0,0677	0,0085	2,9104	0,00059	1,7931	0,0021
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000175	0,0675	0,0087	2,9083	0,00059	1,7910	0,0021
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000166	0,0673	0,0088	2,9062	0,00059	1,7889	0,0020
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000158	0,0672	0,0090	2,9040	0,00059	1,7868	0,0020
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000151	0,0670	0,0091	2,9018	0,00058	1,7846	0,0020
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000144	0,0669	0,0093	2,8996	0,00058	1,7825	0,0020
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000138	0,0667	0,0094	2,8974	0,00058	1,7803	0,0020
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000133	0,0666	0,0095	2,8952	0,00058	1,7782	0,0020
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000127	0,0665	0,0097	2,8930	0,00058	1,7760	0,0020
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000123	0,0663	0,0098	2,8908	0,00058	1,7738	0,0020
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000118	0,0662	0,0099	2,8886	0,00057	1,7716	0,0020
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000114	0,0661	0,0100	2,8863	0,00057	1,7694	0,0020
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000110	0,0660	0,0101	2,8840	0,00057	1,7672	0,0020

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	H _p (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	ΔH S. a lungo termine (m)
6	31	1860	25,421	0,836	0,0141	0,000107	0,0659	0,0102	2,8818	0,00057	1,7649	0,0020
	32	1920	26,257	0,836	0,0136	0,000103	0,0658	0,0104	2,8795	0,00057	1,7627	0,0020
	33	1980	27,093	0,836	0,0132	0,000100	0,0656	0,0105	2,8772	0,00057	1,7604	0,0020
	34	2040	27,929	0,836	0,0128	0,000097	0,0655	0,0105	2,8749	0,00057	1,7582	0,0020
	35	2100	28,765	0,836	0,0124	0,000095	0,0655	0,0106	2,8725	0,00056	1,7559	0,0020
	36	2160	29,601	0,836	0,0121	0,000092	0,0654	0,0107	2,8702	0,00056	1,7536	0,0019
7	37	2220	30,437	0,836	0,0118	0,000089	0,0653	0,0108	2,8679	0,00056	1,7513	0,0019
	38	2280	31,273	0,836	0,0115	0,000087	0,0652	0,0109	2,8655	0,00056	1,7490	0,0019
	39	2340	32,109	0,836	0,0112	0,000085	0,0651	0,0110	2,8631	0,00056	1,7466	0,0019
	40	2400	32,945	0,836	0,0109	0,000083	0,0650	0,0111	2,8607	0,00056	1,7443	0,0019
	41	2460	33,781	0,836	0,0106	0,000081	0,0649	0,0112	2,8583	0,00056	1,7419	0,0019
	42	2520	34,617	0,836	0,0104	0,000079	0,0648	0,0112	2,8559	0,00056	1,7396	0,0019
8	43	2580	35,453	0,836	0,0101	0,000077	0,0648	0,0113	2,8535	0,00055	1,7372	0,0019
	44	2640	36,289	0,836	0,0099	0,000075	0,0647	0,0114	2,8511	0,00055	1,7348	0,0019
	45	2700	37,125	0,836	0,0097	0,000074	0,0646	0,0115	2,8486	0,00055	1,7324	0,0019
	46	2760	37,961	0,836	0,0095	0,000072	0,0645	0,0115	2,8461	0,00055	1,7300	0,0019
	47	2820	38,797	0,836	0,0093	0,000070	0,0645	0,0116	2,8436	0,00055	1,7275	0,0019
	48	2880	39,633	0,836	0,0091	0,000069	0,0644	0,0117	2,8412	0,00055	1,7251	0,0019
9	49	2940	40,469	0,836	0,0089	0,000067	0,0643	0,0117	2,8386	0,00055	1,7226	0,0019
	50	3000	41,305	0,836	0,0087	0,000066	0,0643	0,0118	2,8361	0,00055	1,7202	0,0019
	51	3060	42,141	0,836	0,0085	0,000065	0,0642	0,0119	2,8336	0,00055	1,7177	0,0019
	52	3120	42,977	0,836	0,0084	0,000064	0,0641	0,0119	2,8310	0,00054	1,7152	0,0019
	53	3180	43,813	0,836	0,0082	0,000062	0,0641	0,0120	2,8284	0,00054	1,7126	0,0019
	54	3240	44,649	0,836	0,0081	0,000061	0,0640	0,0121	2,8259	0,00054	1,7101	0,0019
10	55	3300	45,485	0,836	0,0079	0,000060	0,0639	0,0121	2,8233	0,00054	1,7076	0,0019
	56	3360	46,321	0,836	0,0078	0,000059	0,0639	0,0122	2,8206	0,00054	1,7050	0,0019
	57	3420	47,157	0,836	0,0076	0,000058	0,0638	0,0122	2,8180	0,00054	1,7024	0,0018
	58	3480	47,993	0,836	0,0075	0,000057	0,0638	0,0123	2,8154	0,00054	1,6998	0,0018
	59	3540	48,829	0,836	0,0074	0,000056	0,0637	0,0124	2,8127	0,00054	1,6972	0,0018
	60	3600	49,665	0,836	0,0072	0,000055	0,0636	0,0124	2,8100	0,00054	1,6946	0,0018

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	H _p (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	ΔH S. a lungo termine (m)
11	61	3660	50,501	0,836	0,0071	0,000054	0,0636	0,0125	2,8073	0,00054	1,6920	0,0018
	62	3720	51,337	0,836	0,0070	0,000053	0,0635	0,0125	2,8046	0,00053	1,6893	0,0018
	63	3780	52,173	0,836	0,0069	0,000052	0,0635	0,0126	2,8019	0,00053	1,6866	0,0018
	64	3840	53,009	0,836	0,0068	0,000052	0,0634	0,0126	2,7991	0,00053	1,6839	0,0018
	65	3900	53,845	0,836	0,0067	0,000051	0,0634	0,0127	2,7963	0,00053	1,6812	0,0018
	66	3960	54,681	0,836	0,0066	0,000050	0,0633	0,0127	2,7936	0,00053	1,6785	0,0018
12	67	4020	55,517	0,836	0,0065	0,000049	0,0633	0,0128	2,7908	0,00053	1,6758	0,0018
	68	4080	56,353	0,836	0,0064	0,000049	0,0632	0,0128	2,7879	0,00053	1,6730	0,0018
	69	4140	57,189	0,836	0,0063	0,000048	0,0632	0,0129	2,7851	0,00053	1,6702	0,0018
	70	4200	58,025	0,836	0,0062	0,000047	0,0631	0,0129	2,7822	0,00053	1,6675	0,0018
	71	4260	58,861	0,836	0,0061	0,000047	0,0631	0,0130	2,7794	0,00053	1,6646	0,0018
	72	4320	59,697	0,836	0,0060	0,000046	0,0630	0,0130	2,7765	0,00053	1,6618	0,0018
13	73	4380	60,533	0,836	0,0060	0,000045	0,0630	0,0131	2,7735	0,00052	1,6590	0,0018
	74	4440	61,369	0,836	0,0059	0,000045	0,0629	0,0131	2,7706	0,00052	1,6561	0,0018
	75	4500	62,205	0,836	0,0058	0,000044	0,0629	0,0131	2,7677	0,00052	1,6532	0,0018
	76	4560	63,041	0,836	0,0057	0,000043	0,0629	0,0132	2,7647	0,00052	1,6503	0,0018
	77	4620	63,877	0,836	0,0056	0,000043	0,0628	0,0132	2,7617	0,00052	1,6474	0,0018
	78	4680	64,713	0,836	0,0056	0,000042	0,0628	0,0133	2,7587	0,00052	1,6444	0,0018
14	79	4740	65,549	0,836	0,0055	0,000042	0,0627	0,0133	2,7556	0,00052	1,6415	0,0018
	80	4800	66,385	0,836	0,0054	0,000041	0,0627	0,0134	2,7526	0,00052	1,6385	0,0017
	81	4860	67,221	0,836	0,0054	0,000041	0,0626	0,0134	2,7495	0,00052	1,6355	0,0017
	82	4920	68,057	0,836	0,0053	0,000040	0,0626	0,0134	2,7464	0,00052	1,6325	0,0017
	83	4980	68,893	0,836	0,0052	0,000040	0,0626	0,0135	2,7432	0,00051	1,6294	0,0017
	84	5040	69,729	0,836	0,0052	0,000039	0,0625	0,0135	2,7401	0,00051	1,6263	0,0017
15	85	5100	70,565	0,836	0,0051	0,000039	0,0625	0,0136	2,7369	0,00051	1,6232	0,0017
	86	5160	71,401	0,836	0,0051	0,000038	0,0624	0,0136	2,7337	0,00051	1,6201	0,0017
	87	5220	72,237	0,836	0,0050	0,000038	0,0624	0,0136	2,7305	0,00051	1,6170	0,0017
	88	5280	73,073	0,836	0,0049	0,000038	0,0624	0,0137	2,7273	0,00051	1,6138	0,0017
	89	5340	73,909	0,836	0,0049	0,000037	0,0623	0,0137	2,7240	0,00051	1,6107	0,0017
	90	5400	74,745	0,836	0,0048	0,000037	0,0623	0,0137	2,7207	0,00051	1,6075	0,0017
16	91	5460	75,581	0,836	0,0048	0,000036	0,0623	0,0138	2,7174	0,00051	1,6042	0,0017
	92	5520	76,417	0,836	0,0047	0,000036	0,0622	0,0138	2,7141	0,00051	1,6010	0,0017
	93	5580	77,253	0,836	0,0047	0,000036	0,0622	0,0138	2,7107	0,00051	1,5977	0,0017
	94	5640	78,089	0,836	0,0046	0,000035	0,0622	0,0139	2,7073	0,00050	1,5944	0,0017
	95	5700	78,925	0,836	0,0046	0,000035	0,0621	0,0139	2,7039	0,00050	1,5911	0,0017
	96	5760	79,761	0,836	0,0045	0,000034	0,0621	0,0140	2,7004	0,00050	1,5877	0,0017

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO													
Strati (mm)	Substrati	Tempo (giorni)	n'	Ae'	log 1	AH Primario (m)	Hp (m)	AH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	AH S. a lungo termine (m)	
17	97	5820	80,597	0,836	0,0043	0,000034	0,0620	0,0140	2,6969	0,00050	1,5843	0,0017	
	98	5880	81,433	0,836	0,0044	0,000034	0,0620	0,0140	2,6934	0,00050	1,5809	0,0017	
	99	5940	82,269	0,836	0,0044	0,000033	0,0620	0,0141	2,6899	0,00050	1,5773	0,0017	
	100	6000	83,105	0,836	0,0043	0,000033	0,0619	0,0141	2,6863	0,00050	1,5740	0,0017	
	101	6060	83,941	0,836	0,0043	0,000033	0,0619	0,0141	2,6827	0,00050	1,5705	0,0017	
	102	6120	84,777	0,836	0,0043	0,000032	0,0619	0,0141	2,6791	0,00050	1,5670	0,0016	
18	103	6180	85,613	0,836	0,0042	0,000032	0,0619	0,0142	2,6755	0,00050	1,5635	0,0016	
	104	6240	86,449	0,836	0,0042	0,000032	0,0618	0,0142	2,6718	0,00050	1,5599	0,0016	
	105	6300	87,285	0,836	0,0041	0,000031	0,0618	0,0142	2,6681	0,00049	1,5563	0,0016	
	106	6360	88,121	0,836	0,0041	0,000031	0,0618	0,0143	2,6643	0,00049	1,5527	0,0016	
	107	6420	88,957	0,836	0,0041	0,000031	0,0617	0,0143	2,6605	0,00049	1,5490	0,0016	
	108	6480	89,793	0,836	0,0040	0,000031	0,0617	0,0143	2,6567	0,00049	1,5453	0,0016	
19	109	6540	90,629	0,836	0,0040	0,000030	0,0617	0,0144	2,6529	0,00049	1,5416	0,0016	
	110	6600	91,465	0,836	0,0040	0,000030	0,0616	0,0144	2,6490	0,00049	1,5378	0,0016	
	111	6660	92,301	0,836	0,0039	0,000030	0,0616	0,0144	2,6451	0,00049	1,5340	0,0016	
	112	6720	93,137	0,836	0,0039	0,000029	0,0616	0,0145	2,6411	0,00049	1,5302	0,0016	
	113	6780	93,973	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6372	0,00049	1,5263	0,0016	
	114	6840	94,809	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6331	0,00049	1,5224	0,0016	
20	115	6900	95,645	0,836	0,0038	0,000029	0,0615	0,0145	2,6291	0,00048	1,5185	0,0016	
	116	6960	96,481	0,836	0,0037	0,000028	0,0615	0,0146	2,6250	0,00048	1,5145	0,0016	
	117	7020	97,317	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0146	2,6208	0,00048	1,5105	0,0016	
	118	7080	98,153	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0146	2,6167	0,00048	1,5065	0,0016	
	119	7140	98,989	0,836	0,0037	0,000028	0,0614	0,0147	2,6124	0,00048	1,5024	0,0016	
	120	7200	99,825	0,836	0,0036	0,000028	0,0613	0,0147	2,6082	0,00048	1,4983	0,0016	
21	121	7260	100,661	0,836	0,0036	0,000027	0,0613	0,0147	2,6039	0,00048	1,4942	0,0016	
	122	7320	101,497	0,836	0,0036	0,000027	0,0613	0,0147	2,5995	0,00048	1,4900	0,0016	
	123	7380	102,333	0,836	0,0035	0,000027	0,0613	0,0148	2,5951	0,00048	1,4857	0,0015	
	124	7440	103,169	0,836	0,0035	0,000027	0,0612	0,0148	2,5907	0,00048	1,4814	0,0015	
	125	7500	104,005	0,836	0,0035	0,000026	0,0612	0,0148	2,5862	0,00047	1,4771	0,0015	
	126	7560	104,841	0,836	0,0034	0,000026	0,0612	0,0148	2,5817	0,00047	1,4728	0,0015	
22	127	7620	105,677	0,836	0,0034	0,000026	0,0612	0,0149	2,5771	0,00047	1,4683	0,0015	
	128	7680	106,513	0,836	0,0034	0,000026	0,0611	0,0149	2,5725	0,00047	1,4639	0,0015	
	129	7740	107,349	0,836	0,0034	0,000026	0,0611	0,0149	2,5678	0,00047	1,4594	0,0015	
	130	7800	108,185	0,836	0,0033	0,000025	0,0611	0,0149	2,5631	0,00047	1,4548	0,0015	
	131	7860	109,021	0,836	0,0033	0,000025	0,0611	0,0150	2,5583	0,00047	1,4502	0,0015	
	132	7920	109,857	0,836	0,0033	0,000025	0,0610	0,0150	2,5535	0,00047	1,4456	0,0015	
23	133	7980	110,693	0,836	0,0033	0,000025	0,0610	0,0150	2,5486	0,00047	1,4409	0,0015	
	134	8040	111,529	0,836	0,0032	0,000025	0,0610	0,0150	2,5437	0,00047	1,4362	0,0015	
	135	8100	112,365	0,836	0,0032	0,000024	0,0610	0,0151	2,5387	0,00046	1,4314	0,0015	
	136	8160	113,201	0,836	0,0032	0,000024	0,0609	0,0151	2,5336	0,00046	1,4265	0,0015	
	137	8220	114,037	0,836	0,0032	0,000024	0,0609	0,0151	2,5285	0,00046	1,4216	0,0015	
	138	8280	114,873	0,836	0,0031	0,000024	0,0609	0,0151	2,5233	0,00046	1,4166	0,0015	

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	AH Primario (m)	H _p (m)	AH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	AH S. a lungo termine (m)
24	139	8340	115,709	0,836	0,0031	0,000024	0,0609	0,0152	2,5181	0,00046	1,4156	0,0015
	140	8400	116,545	0,836	0,0031	0,000024	0,0608	0,0152	2,5128	0,00046	1,4065	0,0015
	141	8460	117,381	0,836	0,0031	0,000023	0,0608	0,0152	2,5074	0,00046	1,4014	0,0014
	142	8520	118,217	0,836	0,0031	0,000023	0,0608	0,0152	2,5020	0,00046	1,3962	0,0014
	143	8580	119,053	0,836	0,0030	0,000023	0,0608	0,0153	2,4965	0,00046	1,3909	0,0014
	144	8640	119,889	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,4909	0,00045	1,3856	0,0014
25	145	8700	120,725	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,4852	0,00045	1,3802	0,0014
	146	8760	121,561	0,836	0,0030	0,000023	0,0607	0,0153	2,4795	0,00045	1,3747	0,0014
	147	8820	122,397	0,836	0,0030	0,000022	0,0607	0,0154	2,4737	0,00045	1,3692	0,0014
	148	8880	123,233	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4679	0,00045	1,3636	0,0014
	149	8940	124,069	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4619	0,00045	1,3579	0,0014
	150	9000	124,905	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4559	0,00045	1,3522	0,0014
26	151	9060	125,741	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0154	2,4497	0,00045	1,3464	0,0014
	152	9120	126,577	0,836	0,0029	0,000022	0,0606	0,0155	2,4435	0,00044	1,3404	0,0014
	153	9180	127,413	0,836	0,0028	0,000022	0,0605	0,0155	2,4372	0,00044	1,3345	0,0014
	154	9240	128,249	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4308	0,00044	1,3284	0,0014
	155	9300	129,085	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4243	0,00044	1,3222	0,0014
	156	9360	129,921	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0155	2,4177	0,00044	1,3160	0,0014
27	157	9420	130,757	0,836	0,0028	0,000021	0,0605	0,0156	2,4111	0,00044	1,3096	0,0013
	158	9480	131,593	0,836	0,0028	0,000021	0,0604	0,0156	2,4043	0,00044	1,3032	0,0013
	159	9540	132,429	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0156	2,3974	0,00043	1,2967	0,0013
	160	9600	133,265	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0156	2,3903	0,00043	1,2900	0,0013
	161	9660	134,101	0,836	0,0027	0,000021	0,0604	0,0157	2,3832	0,00043	1,2833	0,0013
	162	9720	134,937	0,836	0,0027	0,000020	0,0603	0,0157	2,3760	0,00043	1,2765	0,0013
28	163	9780	135,773	0,836	0,0027	0,000020	0,0603	0,0157	2,3686	0,00043	1,2695	0,0013
	164	9840	136,609	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0157	2,3611	0,00043	1,2625	0,0013
	165	9900	137,445	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0157	2,3535	0,00043	1,2553	0,0013
	166	9960	138,281	0,836	0,0026	0,000020	0,0603	0,0158	2,3457	0,00042	1,2480	0,0013
	167	10020	139,117	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3378	0,00042	1,2405	0,0013
	168	10080	139,953	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3297	0,00042	1,2330	0,0013
29	169	10140	140,789	0,836	0,0026	0,000020	0,0602	0,0158	2,3215	0,00042	1,2253	0,0013
	170	10200	141,625	0,836	0,0026	0,000019	0,0602	0,0158	2,3132	0,00042	1,2175	0,0012
	171	10260	142,461	0,836	0,0025	0,000019	0,0602	0,0158	2,3046	0,00042	1,2095	0,0012
	172	10320	143,297	0,836	0,0025	0,000019	0,0602	0,0159	2,2959	0,00041	1,2014	0,0012
	173	10380	144,133	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,2871	0,00041	1,1931	0,0012
	174	10440	144,969	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,2780	0,00041	1,1847	0,0012
30	175	10500	145,805	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,2687	0,00041	1,1761	0,0012
	176	10560	146,641	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0159	2,2593	0,00041	1,1673	0,0012
	177	10620	147,477	0,836	0,0025	0,000019	0,0601	0,0160	2,2496	0,00041	1,1584	0,0012
	178	10680	148,313	0,836	0,0024	0,000019	0,0600	0,0160	2,2397	0,00040	1,1492	0,0012
	179	10740	149,149	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2296	0,00040	1,1399	0,0012
	180	10800	149,985	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2192	0,00040	1,1303	0,0012
31	181	10860	150,821	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0160	2,2086	0,00040	1,1206	0,0011
	182	10920	151,657	0,836	0,0024	0,000018	0,0600	0,0161	2,1977	0,00040	1,1106	0,0011
	183	10980	152,493	0,836	0,0024	0,000018	0,0599	0,0161	2,1866	0,00039	1,1004	0,0011
	184	11040	153,329	0,836	0,0024	0,000018	0,0599	0,0161	2,1751	0,00039	1,0899	0,0011
	185	11100	154,165	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,1634	0,00039	1,0792	0,0011
	186	11160	155,001	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,1513	0,00039	1,0682	0,0011

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO												
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH Primario (m)	Hp (m)	ΔH Primario cumulato (m)	log 2	ΔH S. Intermedio (m)	log 3	ΔH S. a lungo termine (m)
32	187	11220	155,837	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0161	2,1388	0,00038	1,0569	0,0011
	188	11280	156,673	0,836	0,0023	0,000018	0,0599	0,0162	2,1260	0,00038	1,0453	0,0011
	189	11340	157,509	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,1128	0,00038	1,0334	0,0011
	190	11400	158,345	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,0992	0,00038	1,0212	0,0010
	191	11460	159,181	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,0852	0,00037	1,0086	0,0010
	192	11520	160,017	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,0707	0,00037	0,9956	0,0010
33	193	11580	160,853	0,836	0,0023	0,000017	0,0598	0,0162	2,0556	0,00037	0,9823	0,0010
	194	11640	161,689	0,836	0,0022	0,000017	0,0598	0,0163	2,0401	0,00037	0,9685	0,0010
	195	11700	162,525	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0239	0,00036	0,9542	0,0010
	196	11760	163,361	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	2,0072	0,00036	0,9395	0,0010
	197	11820	164,197	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	1,9897	0,00036	0,9243	0,0009
	198	11880	165,033	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	1,9716	0,00035	0,9085	0,0009
34	199	11940	165,869	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0163	1,9526	0,00035	0,8921	0,0009
	200	12000	166,705	0,836	0,0022	0,000017	0,0597	0,0164	1,9328	0,00035	0,8751	0,0009
	201	12060	167,541	0,836	0,0022	0,000016	0,0596	0,0164	1,9120	0,00034	0,8573	0,0009
	202	12120	168,377	0,836	0,0022	0,000016	0,0596	0,0164	1,8902	0,00034	0,8388	0,0009
	203	12180	169,213	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,8673	0,00033	0,8195	0,0008
	204	12240	170,049	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,8430	0,00033	0,7993	0,0008
35	205	12300	170,885	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0164	1,8173	0,00032	0,7782	0,0008
	206	12360	171,721	0,836	0,0021	0,000016	0,0596	0,0165	1,7901	0,00032	0,7559	0,0008
	207	12420	172,557	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,7609	0,00031	0,7324	0,0007
	208	12480	173,393	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,7297	0,00031	0,7076	0,0007
	209	12540	174,229	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,6961	0,00030	0,6812	0,0007
	210	12600	175,065	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,6596	0,00030	0,6532	0,0007
36	211	12660	175,901	0,836	0,0021	0,000016	0,0595	0,0165	1,6198	0,00029	0,6232	0,0006
	212	12720	176,737	0,836	0,0020	0,000016	0,0595	0,0166	1,5760	0,00028	0,5911	0,0006
	213	12780	177,573	0,836	0,0020	0,000016	0,0594	0,0166	1,5272	0,00027	0,5563	0,0006
	214	12840	178,409	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,4723	0,00026	0,5185	0,0005
	215	12900	179,245	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,4094	0,00025	0,4771	0,0005
	216	12960	180,081	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,3358	0,00024	0,4314	0,0004
37	217	13020	180,917	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,2472	0,00022	0,3802	0,0004
	218	13080	181,753	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0166	1,1357	0,00020	0,3222	0,0003
	219	13140	182,589	0,836	0,0020	0,000015	0,0594	0,0167	0,9853	0,00018	0,2553	0,0003
	220	13200	183,425	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	0,7533	0,00013	0,1761	0,0002
	221	13260	184,261	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	0,2218	0,00004	0,0792	0,0001
	222	13320	185,097	0,836	0,0020	0,000015	0,0593	0,0167	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000
38	223	13380	186,237	1,140	0,0027	0,000020	0,0593	0,0167	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000
	224	13440	187,529	1,292	0,0030	0,000023	0,0593	0,0168	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000
	225	13500	188,821	1,292	0,0030	0,000023	0,0592	0,0168	0,0000	0,00000	0,0000	0,0000

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. a lungo termine cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	Altezza (m)
1	0,0000	0,0007	0,0007	0,0024	0,0024	0,0030	-2,75
	0,0018	0,0007	0,0013	0,0024	0,0047	0,0078	-2,68
	0,0047	0,0007	0,0020	0,0023	0,0070	0,0137	-2,61
	0,0085	0,0006	0,0026	0,0023	0,0093	0,0204	-2,54
	0,0129	0,0006	0,0033	0,0022	0,0115	0,0277	-2,47
	0,0179	0,0006	0,0039	0,0022	0,0137	0,0355	-2,40
2	0,0234	0,0006	0,0045	0,0022	0,0159	0,0438	-2,33
	0,0293	0,0006	0,0052	0,0022	0,0181	0,0525	-2,26
	0,0355	0,0006	0,0058	0,0022	0,0203	0,0616	-2,20
	0,0422	0,0006	0,0064	0,0021	0,0224	0,0709	-2,13
	0,0491	0,0006	0,0070	0,0021	0,0245	0,0806	-2,06
	0,0562	0,0006	0,0076	0,0021	0,0267	0,0905	-2,00
3	0,0637	0,0006	0,0082	0,0021	0,0288	0,1006	-1,93
	0,0714	0,0006	0,0088	0,0021	0,0309	0,1110	-1,87
	0,0793	0,0006	0,0094	0,0021	0,0330	0,1216	-1,80
	0,0874	0,0006	0,0100	0,0021	0,0350	0,1324	-1,74
	0,0957	0,0006	0,0106	0,0021	0,0371	0,1433	-1,67
	0,1041	0,0006	0,0112	0,0021	0,0392	0,1545	-1,61
4	0,1128	0,0006	0,0118	0,0021	0,0412	0,1658	-1,54
	0,1216	0,0006	0,0124	0,0020	0,0433	0,1775	-1,48
	0,1306	0,0006	0,0129	0,0020	0,0455	0,1889	-1,41
	0,1397	0,0006	0,0135	0,0020	0,0473	0,2006	-1,35
	0,1490	0,0006	0,0141	0,0020	0,0494	0,2125	-1,28
	0,1584	0,0006	0,0147	0,0020	0,0514	0,2245	-1,22
5	0,1680	0,0006	0,0153	0,0020	0,0534	0,2367	-1,16
	0,1777	0,0006	0,0158	0,0020	0,0554	0,2489	-1,09
	0,1875	0,0006	0,0164	0,0020	0,0574	0,2613	-1,03
	0,1974	0,0006	0,0170	0,0020	0,0594	0,2738	-0,97
	0,2074	0,0006	0,0176	0,0020	0,0614	0,2864	-0,90
	0,2176	0,0006	0,0181	0,0020	0,0634	0,2991	-0,84

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. a lungo termine cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	Altezza (m)
6	0,2278	0,0006	0,0187	0,0020	0,0653	0,3118	-0,78
	0,2382	0,0006	0,0193	0,0020	0,0673	0,3247	-0,71
	0,2486	0,0006	0,0198	0,0020	0,0693	0,3377	-0,65
	0,2592	0,0006	0,0204	0,0020	0,0712	0,3508	-0,59
	0,2698	0,0006	0,0210	0,0020	0,0732	0,3640	-0,52
	0,2805	0,0006	0,0215	0,0019	0,0751	0,3772	-0,46
7	0,2914	0,0006	0,0221	0,0019	0,0771	0,3905	-0,40
	0,3023	0,0006	0,0226	0,0019	0,0790	0,4039	-0,34
	0,3133	0,0006	0,0232	0,0019	0,0810	0,4174	-0,27
	0,3243	0,0006	0,0238	0,0019	0,0829	0,4310	-0,21
	0,3355	0,0006	0,0243	0,0019	0,0848	0,4446	-0,15
	0,3467	0,0006	0,0249	0,0019	0,0867	0,4584	-0,09
8	0,3581	0,0006	0,0254	0,0019	0,0886	0,4721	-0,02
	0,3695	0,0006	0,0260	0,0019	0,0905	0,4860	0,04
	0,3809	0,0006	0,0265	0,0019	0,0924	0,4999	0,10
	0,3925	0,0006	0,0271	0,0019	0,0943	0,5139	0,16
	0,4041	0,0005	0,0276	0,0019	0,0962	0,5279	0,22
	0,4157	0,0005	0,0282	0,0019	0,0981	0,5421	0,29
9	0,4275	0,0005	0,0287	0,0019	0,1000	0,5562	0,35
	0,4393	0,0005	0,0293	0,0019	0,1019	0,5705	0,41
	0,4512	0,0005	0,0298	0,0019	0,1038	0,5848	0,47
	0,4631	0,0005	0,0304	0,0019	0,1056	0,5991	0,53
	0,4751	0,0005	0,0309	0,0019	0,1075	0,6135	0,59
	0,4872	0,0005	0,0315	0,0019	0,1094	0,6280	0,66
10	0,4993	0,0005	0,0320	0,0019	0,1112	0,6425	0,72
	0,5115	0,0005	0,0325	0,0019	0,1131	0,6571	0,78
	0,5237	0,0005	0,0331	0,0018	0,1149	0,6717	0,84
	0,5360	0,0005	0,0336	0,0018	0,1168	0,6864	0,90
	0,5484	0,0005	0,0342	0,0018	0,1186	0,7011	0,96
	0,5608	0,0005	0,0347	0,0018	0,1204	0,7159	1,02

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	AH Primari cumulati in t (m)	AH S. Intermedi in t (m)	AH S. Intermedi cumulati (m)	AH S. a lungo termine in t (m)	AH S. a lungo termine cumulati (m)	AH TOTALE (m)	Altezza (m)
11	0,5732	0,0005	0,0352	0,0018	0,1223	0,7307	1,09
	0,5857	0,0005	0,0358	0,0018	0,1241	0,7456	1,15
	0,5983	0,0005	0,0363	0,0018	0,1259	0,7605	1,21
	0,6109	0,0005	0,0368	0,0018	0,1277	0,7755	1,27
	0,6236	0,0005	0,0374	0,0018	0,1295	0,7905	1,33
	0,6363	0,0005	0,0379	0,0018	0,1313	0,8056	1,39
12	0,6491	0,0005	0,0384	0,0018	0,1331	0,8207	1,45
	0,6619	0,0005	0,0390	0,0018	0,1349	0,8358	1,51
	0,6748	0,0005	0,0395	0,0018	0,1367	0,8510	1,57
	0,6877	0,0005	0,0400	0,0018	0,1385	0,8662	1,63
	0,7006	0,0005	0,0405	0,0018	0,1403	0,8815	1,69
	0,7137	0,0005	0,0411	0,0018	0,1421	0,8968	1,76
13	0,7267	0,0005	0,0416	0,0018	0,1439	0,9121	1,82
	0,7398	0,0005	0,0421	0,0018	0,1456	0,9275	1,88
	0,7529	0,0005	0,0426	0,0018	0,1474	0,9430	1,94
	0,7661	0,0005	0,0431	0,0018	0,1492	0,9584	2,00
	0,7793	0,0005	0,0437	0,0018	0,1509	0,9739	2,06
	0,7926	0,0005	0,0442	0,0018	0,1527	0,9895	2,12
14	0,8059	0,0005	0,0447	0,0018	0,1544	1,0051	2,18
	0,8193	0,0005	0,0452	0,0017	0,1562	1,0207	2,24
	0,8327	0,0005	0,0457	0,0017	0,1579	1,0363	2,30
	0,8461	0,0005	0,0463	0,0017	0,1597	1,0520	2,36
	0,8596	0,0005	0,0468	0,0017	0,1614	1,0677	2,42
	0,8731	0,0005	0,0473	0,0017	0,1631	1,0835	2,48
15	0,8866	0,0005	0,0478	0,0017	0,1648	1,0993	2,54
	0,9002	0,0005	0,0483	0,0017	0,1666	1,1151	2,60
	0,9138	0,0005	0,0488	0,0017	0,1683	1,1309	2,66
	0,9275	0,0005	0,0493	0,0017	0,1700	1,1468	2,72
	0,9412	0,0005	0,0498	0,0017	0,1717	1,1628	2,78
	0,9549	0,0005	0,0504	0,0017	0,1734	1,1787	2,84
16	0,9687	0,0005	0,0509	0,0017	0,1751	1,1947	2,90
	0,9825	0,0005	0,0514	0,0017	0,1768	1,2107	2,96
	0,9964	0,0005	0,0519	0,0017	0,1785	1,2267	3,02
	1,0103	0,0005	0,0524	0,0017	0,1802	1,2428	3,08
	1,0242	0,0005	0,0529	0,0017	0,1818	1,2589	3,14
	1,0381	0,0005	0,0534	0,0017	0,1835	1,2750	3,20

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	AH Primari cumulati in t (m)	AH S. Intermedi in t (m)	AH S. Intermedi cumulati (m)	AH S. a lungo termine in t (m)	AH S. a lungo termine cumulati (m)	AH TOTALE (m)	Altezza (m)
17	1,0521	0,0005	0,0539	0,0017	0,1852	1,2912	3,26
	1,0661	0,0005	0,0544	0,0017	0,1869	1,3074	3,32
	1,0802	0,0005	0,0549	0,0017	0,1885	1,3236	3,38
	1,0943	0,0005	0,0554	0,0017	0,1902	1,3398	3,44
	1,1084	0,0005	0,0559	0,0017	0,1918	1,3561	3,50
	1,1225	0,0005	0,0564	0,0016	0,1935	1,3724	3,56
18	1,1367	0,0005	0,0569	0,0016	0,1951	1,3887	3,62
	1,1509	0,0005	0,0574	0,0016	0,1968	1,4051	3,68
	1,1652	0,0005	0,0579	0,0016	0,1984	1,4214	3,74
	1,1794	0,0005	0,0584	0,0016	0,2000	1,4378	3,80
	1,1938	0,0005	0,0589	0,0016	0,2017	1,4543	3,86
	1,2081	0,0005	0,0593	0,0016	0,2033	1,4707	3,92
19	1,2225	0,0005	0,0598	0,0016	0,2049	1,4872	3,98
	1,2369	0,0005	0,0603	0,0016	0,2065	1,5037	4,04
	1,2513	0,0005	0,0608	0,0016	0,2081	1,5202	4,10
	1,2657	0,0005	0,0613	0,0016	0,2097	1,5368	4,16
	1,2802	0,0005	0,0618	0,0016	0,2113	1,5533	4,21
	1,2947	0,0005	0,0623	0,0016	0,2129	1,5699	4,27
20	1,3093	0,0005	0,0628	0,0016	0,2145	1,5865	4,33
	1,3239	0,0005	0,0632	0,0016	0,2161	1,6032	4,39
	1,3385	0,0005	0,0637	0,0016	0,2176	1,6198	4,45
	1,3531	0,0005	0,0642	0,0016	0,2192	1,6365	4,51
	1,3677	0,0005	0,0647	0,0016	0,2208	1,6532	4,57
	1,3824	0,0005	0,0652	0,0016	0,2224	1,6699	4,63
21	1,3971	0,0005	0,0656	0,0016	0,2239	1,6867	4,69
	1,4119	0,0005	0,0661	0,0016	0,2255	1,7035	4,75
	1,4266	0,0005	0,0666	0,0015	0,2270	1,7203	4,81
	1,4414	0,0005	0,0671	0,0015	0,2285	1,7371	4,87
	1,4563	0,0005	0,0676	0,0015	0,2301	1,7539	4,93
	1,4711	0,0005	0,0680	0,0015	0,2316	1,7707	4,99
22	1,4860	0,0005	0,0685	0,0015	0,2331	1,7876	5,04
	1,5009	0,0005	0,0690	0,0015	0,2347	1,8045	5,10
	1,5158	0,0005	0,0694	0,0015	0,2362	1,8214	5,16
	1,5307	0,0005	0,0699	0,0015	0,2377	1,8383	5,22
	1,5457	0,0005	0,0704	0,0015	0,2392	1,8553	5,28
	1,5607	0,0005	0,0708	0,0015	0,2407	1,8722	5,34
23	1,5757	0,0005	0,0713	0,0015	0,2422	1,8892	5,40
	1,5908	0,0005	0,0718	0,0015	0,2437	1,9062	5,46
	1,6058	0,0005	0,0722	0,0015	0,2452	1,9233	5,52
	1,6209	0,0005	0,0727	0,0015	0,2466	1,9403	5,58
	1,6361	0,0005	0,0732	0,0015	0,2481	1,9573	5,63
	1,6512	0,0005	0,0736	0,0015	0,2496	1,9744	5,69

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	AH Primari cumulati in t (m)	AH S. Intermedi in t (m)	AH S. Intermedi cumulati (m)	AH S. a lungo termine in t (m)	AH S. a lungo termine cumulati (m)	AH TOTALE (m)	Altezza (m)
24	1,6664	0,0005	0,0741	0,0015	0,2510	1,9915	5,75
	1,6816	0,0005	0,0745	0,0015	0,2525	2,0066	5,81
	1,6968	0,0005	0,0750	0,0014	0,2539	2,0257	5,87
	1,7120	0,0005	0,0755	0,0014	0,2554	2,0429	5,93
	1,7273	0,0005	0,0759	0,0014	0,2568	2,0600	5,99
	1,7426	0,0005	0,0764	0,0014	0,2583	2,0772	6,05
25	1,7579	0,0005	0,0768	0,0014	0,2597	2,0944	6,11
	1,7732	0,0005	0,0773	0,0014	0,2611	2,1116	6,16
	1,7885	0,0005	0,0777	0,0014	0,2625	2,1288	6,22
	1,8039	0,0004	0,0782	0,0014	0,2639	2,1460	6,28
	1,8193	0,0004	0,0786	0,0014	0,2653	2,1633	6,34
	1,8347	0,0004	0,0791	0,0014	0,2667	2,1805	6,40
26	1,8502	0,0004	0,0795	0,0014	0,2681	2,1978	6,46
	1,8656	0,0004	0,0800	0,0014	0,2695	2,2151	6,52
	1,8811	0,0004	0,0804	0,0014	0,2708	2,2324	6,58
	1,8966	0,0004	0,0808	0,0014	0,2722	2,2497	6,63
	1,9121	0,0004	0,0813	0,0014	0,2736	2,2670	6,69
	1,9277	0,0004	0,0817	0,0014	0,2749	2,2843	6,75
27	1,9433	0,0004	0,0822	0,0013	0,2763	2,3017	6,81
	1,9589	0,0004	0,0826	0,0013	0,2776	2,3191	6,87
	1,9745	0,0004	0,0830	0,0013	0,2789	2,3364	6,93
	1,9901	0,0004	0,0835	0,0013	0,2803	2,3538	6,99
	2,0057	0,0004	0,0839	0,0013	0,2816	2,3712	7,04
	2,0214	0,0004	0,0843	0,0013	0,2829	2,3886	7,10
28	2,0371	0,0004	0,0848	0,0013	0,2842	2,4061	7,16
	2,0528	0,0004	0,0852	0,0013	0,2855	2,4235	7,22
	2,0685	0,0004	0,0856	0,0013	0,2868	2,4409	7,28
	2,0843	0,0004	0,0860	0,0013	0,2881	2,4584	7,34
	2,1001	0,0004	0,0865	0,0013	0,2893	2,4759	7,40
	2,1159	0,0004	0,0869	0,0013	0,2906	2,4933	7,45
29	2,1317	0,0004	0,0873	0,0013	0,2918	2,5108	7,51
	2,1475	0,0004	0,0877	0,0012	0,2931	2,5283	7,57
	2,1634	0,0004	0,0881	0,0012	0,2943	2,5458	7,63
	2,1792	0,0004	0,0885	0,0012	0,2956	2,5633	7,69
	2,1951	0,0004	0,0890	0,0012	0,2968	2,5808	7,75
	2,2110	0,0004	0,0894	0,0012	0,2980	2,5984	7,81
30	2,2269	0,0004	0,0898	0,0012	0,2992	2,6159	7,86
	2,2429	0,0004	0,0902	0,0012	0,3004	2,6334	7,92
	2,2589	0,0004	0,0906	0,0012	0,3016	2,6510	7,98
	2,2748	0,0004	0,0910	0,0012	0,3027	2,6686	8,04
	2,2908	0,0004	0,0914	0,0012	0,3039	2,6861	8,10
	2,3069	0,0004	0,0918	0,0012	0,3050	2,7037	8,16
31	2,3229	0,0004	0,0922	0,0011	0,3062	2,7213	8,21
	2,3389	0,0004	0,0926	0,0011	0,3073	2,7388	8,27
	2,3550	0,0004	0,0930	0,0011	0,3084	2,7564	8,33
	2,3711	0,0004	0,0934	0,0011	0,3096	2,7740	8,39
	2,3872	0,0004	0,0938	0,0011	0,3107	2,7916	8,45
	2,4033	0,0004	0,0941	0,0011	0,3117	2,8092	8,51

BJARNGARD – EDGERS, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI							
Strati (anni)	ΔH Primari cumulati in t (m)	ΔH S. Intermedi in t (m)	ΔH S. Intermedi cumulati (m)	ΔH S. a lungo termine in t (m)	ΔH S. a lungo termine cumulati (m)	ΔH TOTALE (m)	Altezza (m)
32	2,4195	0,0004	0,0945	0,0011	0,3128	2,8268	8,57
	2,4356	0,0004	0,0949	0,0011	0,3139	2,8444	8,62
	2,4518	0,0004	0,0953	0,0011	0,3149	2,8620	8,68
	2,4680	0,0004	0,0957	0,0010	0,3160	2,8797	8,74
	2,4842	0,0004	0,0960	0,0010	0,3170	2,8973	8,80
33	2,5005	0,0004	0,0964	0,0010	0,3180	2,9149	8,86
	2,5167	0,0004	0,0968	0,0010	0,3190	2,9325	8,92
	2,5330	0,0004	0,0971	0,0010	0,3200	2,9501	8,97
	2,5493	0,0004	0,0975	0,0010	0,3210	2,9677	9,03
	2,5656	0,0004	0,0979	0,0010	0,3219	2,9853	9,09
34	2,5819	0,0004	0,0982	0,0009	0,3229	3,0030	9,15
	2,5982	0,0004	0,0986	0,0009	0,3238	3,0206	9,21
	2,6146	0,0003	0,0989	0,0009	0,3247	3,0382	9,27
	2,6309	0,0003	0,0993	0,0009	0,3256	3,0558	9,32
	2,6473	0,0003	0,0996	0,0009	0,3264	3,0734	9,38
35	2,6637	0,0003	0,1000	0,0009	0,3273	3,0909	9,44
	2,6801	0,0003	0,1003	0,0008	0,3281	3,1085	9,50
	2,6965	0,0003	0,1006	0,0008	0,3289	3,1261	9,56
	2,7130	0,0003	0,1009	0,0008	0,3297	3,1436	9,62
	2,7295	0,0003	0,1013	0,0008	0,3305	3,1612	9,67
36	2,7459	0,0003	0,1016	0,0007	0,3312	3,1787	9,73
	2,7624	0,0003	0,1019	0,0007	0,3319	3,1963	9,79
	2,7789	0,0003	0,1022	0,0007	0,3326	3,2138	9,85
	2,7955	0,0003	0,1025	0,0007	0,3333	3,2312	9,91
	2,8120	0,0003	0,1028	0,0006	0,3339	3,2487	9,97
37	2,8286	0,0003	0,1031	0,0006	0,3345	3,2661	10,03
	2,8451	0,0003	0,1033	0,0006	0,3351	3,2835	10,08
	2,8617	0,0003	0,1036	0,0005	0,3356	3,3009	10,14
	2,8783	0,0003	0,1038	0,0005	0,3361	3,3183	10,20
	2,8950	0,0002	0,1041	0,0004	0,3365	3,3355	10,26
38	2,9116	0,0002	0,1043	0,0004	0,3369	3,3528	10,32
	2,9282	0,0002	0,1045	0,0003	0,3372	3,3700	10,38
	2,9449	0,0002	0,1047	0,0003	0,3375	3,3871	10,44
	2,9616	0,0001	0,1048	0,0002	0,3377	3,4040	10,50
	2,9783	0,0000	0,1048	0,0001	0,3377	3,4209	10,56
38	2,9950	0,0000	0,1048	0,0000	0,3377	3,4375	10,61
	3,0117	0,0000	0,1048	0,0000	0,3377	3,4543	10,67
	3,0285	0,0000	0,1048	0,0000	0,3377	3,4710	10,73
	3,0452	0,0000	0,1048	0,0000	0,3377	3,4878	10,79

LEGENDA DEL MODELLO DI BJARNGARD ED EDGERS

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{RSU}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace dovuta alla posa degli strati successivi

$$= \gamma_{RSU} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

ΔH Primario (m) = cedimento primario

$$= \text{spessore iniziale del substrato} \times C'c \times \log 1$$

H_p (m) = spessore iniziale del substrato - ΔH Primario

ΔH Primario cumulato (m) = ΔH Primario cumulato_(t-1) + ΔH Primario

$\log 2 = \log ((\text{tempo massimo} - \text{Tempo} - t_2 - t_1) / t_1)$

ΔH S. Intermedio (m) = cedimento secondario intermedio

$$= H_p \times C'\alpha 1 \times \log 2$$

$$\log_3 = \log \left(\frac{\text{tempo massimo} - \text{Tempo}}{t_2} \right)$$

$\Delta H S.$ a lungo termine (m) = cedimento secondario a lungo termine

$$= H_p \times C' \alpha_2 \times \log_3$$

ΔH Primari cumulati in t (m) = ΔH Primari cumulati in t_(t-1) + ΔH Primario cumulato

$\Delta H S.$ Intermedi in t (m) = $H_p \times C' \alpha_1 \times \log \left(\frac{\text{tempo massimo} - \text{Tempo} - t_2 - t_1}{t_1} \right)$

$\Delta H S.$ Intermedi cumulati (m) = $\Delta H S.$ Intermedi in t + $\Delta H S.$ Intermedi cumulati_(t-1)

$\Delta H S.$ a lungo termine in t (m) = $H_p \times C' \alpha_2 \times \log \left(\frac{\text{tempo massimo} - \text{Tempo}}{t_2} \right)$

$\Delta H S.$ cumulati a lungo termine (m) = $\Delta H S.$ cumulati a lungo termine_(t-1) + $\Delta H S.$ a lungo termine in t

ΔH TOTALE (m) = ΔH Primari in t + $\Delta H S.$ Intermedi cumulati + $\Delta H S.$ cumulati a lungo termine

H da p.c (m) = altezza della discarica riferita al piano campagna

$$= (\text{altezza iniziale di un substrato} \times \text{Substrati}) - (\Delta H \text{ TOTALE} + \text{quota di fondazione della discarica} + \text{cedimenti del terreno di fondazione})$$

EDIL ET AL

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	$(t/tr)E u$ (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	102,1763	0,000000	0,0000	0,0000
	2	120	1,254	0,836	0,2218	101,8823	0,000104	0,0001	0,0001
	3	180	2,09	0,836	0,1461	101,5874	0,000103	0,0002	0,0003
	4	240	2,926	0,836	0,1091	101,2917	0,000103	0,0003	0,0006
	5	300	3,762	0,836	0,0872	100,9950	0,000103	0,0004	0,0010
	6	360	4,598	0,836	0,0726	100,6976	0,000102	0,0005	0,0015
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	100,3992	0,000102	0,0006	0,0022
	8	480	6,27	0,836	0,0544	100,1000	0,000102	0,0007	0,0029
	9	540	7,106	0,836	0,0483	99,7998	0,000101	0,0008	0,0037
	10	600	7,942	0,836	0,0435	99,4987	0,000101	0,0009	0,0046
	11	660	8,778	0,836	0,0395	99,1968	0,000101	0,0010	0,0056
	12	720	9,614	0,836	0,0362	98,8939	0,000101	0,0011	0,0068
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	98,5901	0,000100	0,0012	0,0080
	14	840	11,286	0,836	0,0310	98,2853	0,000100	0,0013	0,0093
	15	900	12,122	0,836	0,0290	97,9796	0,000100	0,0014	0,0107
	16	960	12,958	0,836	0,0272	97,6729	0,000099	0,0015	0,0123
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	97,3653	0,000099	0,0016	0,0139
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	97,0567	0,000099	0,0017	0,0156
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	96,7471	0,000098	0,0018	0,0174
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	96,4365	0,000098	0,0019	0,0193
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	96,1249	0,000098	0,0020	0,0213
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	95,8123	0,000097	0,0021	0,0235
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	95,4987	0,000097	0,0022	0,0257
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	95,1840	0,000097	0,0023	0,0280
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	94,8683	0,000096	0,0024	0,0304
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	94,5516	0,000096	0,0025	0,0329
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	94,2338	0,000096	0,0026	0,0355
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	93,9149	0,000095	0,0027	0,0381
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	93,5949	0,000095	0,0028	0,0409
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	93,2738	0,000095	0,0029	0,0438

EDIL ET AL

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
6	31	1860	25,498	0,836	0,0140	92,9516	0,000094	0,0030	0,0468
	32	1920	26,334	0,836	0,0136	92,6283	0,000094	0,0031	0,0499
	33	1980	27,17	0,836	0,0132	92,3038	0,000094	0,0032	0,0530
	34	2040	28,006	0,836	0,0128	91,9783	0,000094	0,0033	0,0563
	35	2100	28,842	0,836	0,0124	91,6515	0,000093	0,0033	0,0596
	36	2160	29,678	0,836	0,0121	91,3236	0,000093	0,0034	0,0631
7	37	2220	30,514	0,836	0,0117	90,9945	0,000093	0,0035	0,0666
	38	2280	31,35	0,836	0,0114	90,6642	0,000092	0,0036	0,0702
	39	2340	32,186	0,836	0,0111	90,3327	0,000092	0,0037	0,0739
	40	2400	33,022	0,836	0,0109	90,0000	0,000091	0,0038	0,0777
	41	2460	33,858	0,836	0,0106	89,6660	0,000091	0,0039	0,0816
	42	2520	34,694	0,836	0,0103	89,3308	0,000091	0,0040	0,0856
8	43	2580	35,53	0,836	0,0101	88,9944	0,000090	0,0041	0,0897
	44	2640	36,366	0,836	0,0099	88,6566	0,000090	0,0042	0,0939
	45	2700	37,202	0,836	0,0097	88,3176	0,000090	0,0043	0,0981
	46	2760	38,038	0,836	0,0094	87,9773	0,000089	0,0044	0,1025
	47	2820	38,874	0,836	0,0092	87,6356	0,000089	0,0044	0,1069
	48	2880	39,71	0,836	0,0090	87,2926	0,000089	0,0045	0,1115
9	49	2940	40,546	0,836	0,0089	86,9483	0,000088	0,0046	0,1161
	50	3000	41,382	0,836	0,0087	86,6025	0,000088	0,0047	0,1208
	51	3060	42,218	0,836	0,0085	86,2554	0,000088	0,0048	0,1256
	52	3120	43,054	0,836	0,0084	85,9069	0,000087	0,0049	0,1305
	53	3180	43,89	0,836	0,0082	85,5570	0,000087	0,0050	0,1354
	54	3240	44,726	0,836	0,0080	85,2056	0,000087	0,0051	0,1405
10	55	3300	45,562	0,836	0,0079	84,8528	0,000086	0,0051	0,1456
	56	3360	46,398	0,836	0,0078	84,4985	0,000086	0,0052	0,1508
	57	3420	47,234	0,836	0,0076	84,1427	0,000086	0,0053	0,1561
	58	3480	48,07	0,836	0,0075	83,7854	0,000085	0,0054	0,1615
	59	3540	48,906	0,836	0,0074	83,4266	0,000085	0,0055	0,1670
	60	3600	49,742	0,836	0,0072	83,0662	0,000084	0,0056	0,1726

EDIL ET AL.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
11	61	3660	50,578	0,836	0,0071	82,7043	0,000084	0,0056	0,1782
	62	3720	51,414	0,836	0,0070	82,3408	0,000084	0,0057	0,1840
	63	3780	52,25	0,836	0,0069	81,9756	0,000083	0,0058	0,1898
	64	3840	53,086	0,836	0,0068	81,6088	0,000083	0,0059	0,1957
	65	3900	53,922	0,836	0,0067	81,2404	0,000083	0,0060	0,2017
	66	3960	54,758	0,836	0,0066	80,8703	0,000082	0,0061	0,2077
12	67	4020	55,594	0,836	0,0065	80,4984	0,000082	0,0061	0,2139
	68	4080	56,43	0,836	0,0064	80,1249	0,000081	0,0062	0,2201
	69	4140	57,266	0,836	0,0063	79,7496	0,000081	0,0063	0,2264
	70	4200	58,102	0,836	0,0062	79,3725	0,000081	0,0064	0,2328
	71	4260	58,938	0,836	0,0061	78,9937	0,000080	0,0065	0,2393
	72	4320	59,774	0,836	0,0060	78,6130	0,000080	0,0065	0,2458
13	73	4380	60,61	0,836	0,0059	78,2304	0,000080	0,0066	0,2525
	74	4440	61,446	0,836	0,0059	77,8460	0,000079	0,0067	0,2592
	75	4500	62,282	0,836	0,0058	77,4597	0,000079	0,0068	0,2659
	76	4560	63,118	0,836	0,0057	77,0714	0,000078	0,0069	0,2728
	77	4620	63,954	0,836	0,0056	76,6812	0,000078	0,0069	0,2798
	78	4680	64,79	0,836	0,0056	76,2889	0,000078	0,0070	0,2868
14	79	4740	65,626	0,836	0,0055	75,8947	0,000077	0,0071	0,2939
	80	4800	66,462	0,836	0,0054	75,4983	0,000077	0,0072	0,3010
	81	4860	67,298	0,836	0,0054	75,0999	0,000076	0,0073	0,3083
	82	4920	68,134	0,836	0,0053	74,6994	0,000076	0,0073	0,3156
	83	4980	68,97	0,836	0,0052	74,2967	0,000076	0,0074	0,3230
	84	5040	69,806	0,836	0,0052	73,8918	0,000075	0,0075	0,3305
15	85	5100	70,642	0,836	0,0051	73,4847	0,000075	0,0076	0,3381
	86	5160	71,478	0,836	0,0050	73,0753	0,000074	0,0076	0,3457
	87	5220	72,314	0,836	0,0050	72,6636	0,000074	0,0077	0,3534
	88	5280	73,15	0,836	0,0049	72,2496	0,000073	0,0078	0,3612
	89	5340	73,986	0,836	0,0049	71,8331	0,000073	0,0078	0,3690
	90	5400	74,822	0,836	0,0048	71,4143	0,000073	0,0079	0,3769

EDIL ET AL.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
16	91	5460	75,658	0,836	0,0048	70,9930	0,000072	0,0080	0,3849
	92	5520	76,494	0,836	0,0047	70,5691	0,000072	0,0081	0,3930
	93	5580	77,33	0,836	0,0047	70,1427	0,000071	0,0081	0,4011
	94	5640	78,166	0,836	0,0046	69,7137	0,000071	0,0082	0,4093
	95	5700	79,002	0,836	0,0046	69,2820	0,000070	0,0083	0,4176
	96	5760	79,838	0,836	0,0045	68,8477	0,000070	0,0083	0,4259
17	97	5820	80,674	0,836	0,0045	68,4105	0,000070	0,0084	0,4344
	98	5880	81,51	0,836	0,0044	67,9706	0,000069	0,0085	0,4428
	99	5940	82,346	0,836	0,0044	67,5278	0,000069	0,0086	0,4514
	100	6000	83,182	0,836	0,0043	67,0820	0,000068	0,0086	0,4600
	101	6060	84,018	0,836	0,0043	66,6333	0,000068	0,0087	0,4687
	102	6120	84,854	0,836	0,0043	66,1816	0,000067	0,0088	0,4775
18	103	6180	85,69	0,836	0,0042	65,7267	0,000067	0,0088	0,4863
	104	6240	86,526	0,836	0,0042	65,2687	0,000066	0,0089	0,4952
	105	6300	87,362	0,836	0,0041	64,8074	0,000066	0,0090	0,5041
	106	6360	88,198	0,836	0,0041	64,3428	0,000065	0,0090	0,5131
	107	6420	89,034	0,836	0,0041	63,8749	0,000065	0,0091	0,5222
	108	6480	89,87	0,836	0,0040	63,4035	0,000064	0,0092	0,5314
19	109	6540	90,706	0,836	0,0040	62,9285	0,000064	0,0092	0,5406
	110	6600	91,542	0,836	0,0039	62,4500	0,000063	0,0093	0,5499
	111	6660	92,378	0,836	0,0039	61,9677	0,000063	0,0093	0,5592
	112	6720	93,214	0,836	0,0039	61,4817	0,000063	0,0094	0,5686
	113	6780	94,05	0,836	0,0038	60,9918	0,000062	0,0095	0,5781
	114	6840	94,886	0,836	0,0038	60,4979	0,000062	0,0095	0,5876
20	115	6900	95,722	0,836	0,0038	60,0000	0,000061	0,0096	0,5972
	116	6960	96,558	0,836	0,0037	59,4979	0,000060	0,0096	0,6068
	117	7020	97,394	0,836	0,0037	58,9915	0,000060	0,0097	0,6166
	118	7080	98,23	0,836	0,0037	58,4808	0,000059	0,0098	0,6263
	119	7140	99,066	0,836	0,0036	57,9655	0,000059	0,0098	0,6362
	120	7200	99,902	0,836	0,0036	57,4456	0,000058	0,0099	0,6460

EDIL ET AL.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	$(t/tr)E n$ (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
21	121	7260	100,738	0,836	0,0036	56,9210	0,000058	0,0099	0,6560
	122	7320	101,574	0,836	0,0036	56,3915	0,000057	0,0100	0,6660
	123	7380	102,41	0,836	0,0035	55,8570	0,000057	0,0101	0,6760
	124	7440	103,246	0,836	0,0035	55,3173	0,000056	0,0101	0,6861
	125	7500	104,082	0,836	0,0035	54,7723	0,000056	0,0102	0,6963
	126	7560	104,918	0,836	0,0034	54,2218	0,000055	0,0102	0,7065
22	127	7620	105,754	0,836	0,0034	53,6656	0,000055	0,0103	0,7168
	128	7680	106,59	0,836	0,0034	53,1037	0,000054	0,0103	0,7272
	129	7740	107,426	0,836	0,0034	52,5357	0,000053	0,0104	0,7375
	130	7800	108,262	0,836	0,0033	51,9615	0,000053	0,0104	0,7480
	131	7860	109,098	0,836	0,0033	51,3809	0,000052	0,0105	0,7585
	132	7920	109,934	0,836	0,0033	50,7937	0,000052	0,0105	0,7690
23	133	7980	110,77	0,836	0,0033	50,1996	0,000051	0,0106	0,7796
	134	8040	111,606	0,836	0,0032	49,5984	0,000050	0,0106	0,7902
	135	8100	112,442	0,836	0,0032	48,9898	0,000050	0,0107	0,8009
	136	8160	113,278	0,836	0,0032	48,3735	0,000049	0,0107	0,8117
	137	8220	114,114	0,836	0,0032	47,7493	0,000049	0,0108	0,8225
	138	8280	114,95	0,836	0,0031	47,1169	0,000048	0,0108	0,8333
24	139	8340	115,786	0,836	0,0031	46,4758	0,000047	0,0109	0,8442
	140	8400	116,622	0,836	0,0031	45,8258	0,000047	0,0109	0,8551
	141	8460	117,458	0,836	0,0031	45,1664	0,000046	0,0110	0,8661
	142	8520	118,294	0,836	0,0031	44,4972	0,000045	0,0110	0,8771
	143	8580	119,13	0,836	0,0030	43,8178	0,000045	0,0111	0,8882
	144	8640	119,966	0,836	0,0030	43,1277	0,000044	0,0111	0,8993
25	145	8700	120,802	0,836	0,0030	42,4264	0,000043	0,0112	0,9105
	146	8760	121,638	0,836	0,0030	41,7133	0,000042	0,0112	0,9217
	147	8820	122,474	0,836	0,0030	40,9878	0,000042	0,0112	0,9329
	148	8880	123,31	0,836	0,0029	40,2492	0,000041	0,0113	0,9442
	149	8940	124,146	0,836	0,0029	39,4968	0,000040	0,0113	0,9555
	150	9000	124,982	0,836	0,0029	38,7298	0,000039	0,0114	0,9669

EDIL ET AL.

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
26	151	9060	125,818	0,836	0,0029	37,9473	0,000039	0,0114	0,9783
	152	9120	126,654	0,836	0,0029	37,1484	0,000038	0,0114	0,9897
	153	9180	127,49	0,836	0,0028	36,3318	0,000037	0,0115	1,0012
	154	9240	128,326	0,836	0,0028	35,4965	0,000036	0,0115	1,0127
	155	9300	129,162	0,836	0,0028	34,6410	0,000035	0,0115	1,0242
	156	9360	129,998	0,836	0,0028	33,7639	0,000034	0,0116	1,0358
27	157	9420	130,834	0,836	0,0028	32,8634	0,000033	0,0116	1,0474
	158	9480	131,67	0,836	0,0027	31,9374	0,000032	0,0116	1,0591
	159	9540	132,506	0,836	0,0027	30,9839	0,000031	0,0117	1,0708
	160	9600	133,342	0,836	0,0027	30,0000	0,000030	0,0117	1,0825
	161	9660	134,178	0,836	0,0027	28,9828	0,000029	0,0117	1,0942
	162	9720	135,014	0,836	0,0027	27,9285	0,000028	0,0118	1,1060
28	163	9780	135,85	0,836	0,0027	26,8328	0,000027	0,0118	1,1178
	164	9840	136,686	0,836	0,0026	25,6905	0,000026	0,0118	1,1296
	165	9900	137,522	0,836	0,0026	24,4949	0,000025	0,0118	1,1414
	166	9960	138,358	0,836	0,0026	23,2379	0,000024	0,0119	1,1533
	167	10020	139,194	0,836	0,0026	21,9089	0,000022	0,0119	1,1652
	168	10080	140,03	0,836	0,0026	20,4939	0,000021	0,0119	1,1771
29	169	10140	140,866	0,836	0,0026	18,9737	0,000019	0,0119	1,1890
	170	10200	141,702	0,836	0,0026	17,3205	0,000018	0,0119	1,2010
	171	10260	142,538	0,836	0,0025	15,4919	0,000016	0,0120	1,2129
	172	10320	143,374	0,836	0,0025	13,4164	0,000014	0,0120	1,2249
	173	10380	144,21	1,140	0,0034	10,9545	0,000015	0,0120	1,2369
	174	10440	145,35	1,292	0,0038	7,7460	0,000012	0,0120	1,2489
30	175	10500	146,642	1,292	0,0038	0,0000	0,000000	0,0120	1,2609

EDIL ET AL., calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	AH (m)	AH cumulato (m)	AH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	1	60	17	0,000	0,0000	110,0909	0,00000	0,0000	0,0000	-2,74
	2	120	17,836	0,836	0,0199	109,8180	0,00011	0,0001	0,0001	-2,67
	3	180	18,672	0,836	0,0190	109,5445	0,00011	0,0002	0,0003	-2,59
	4	240	19,508	0,836	0,0182	109,2703	0,00011	0,0003	0,0007	-2,52
	5	300	20,344	0,836	0,0175	108,9954	0,00011	0,0004	0,0011	-2,44
	6	360	21,18	0,836	0,0168	108,7198	0,00011	0,0006	0,0017	-2,37
2	7	420	22,016	0,836	0,0162	108,4435	0,00011	0,0007	0,0023	-2,29
	8	480	22,852	0,836	0,0156	108,1665	0,00011	0,0008	0,0031	-2,22
	9	540	23,688	0,836	0,0151	107,8888	0,00011	0,0009	0,0040	-2,14
	10	600	24,524	0,836	0,0146	107,6104	0,00011	0,0010	0,0050	-2,06
	11	660	25,36	0,836	0,0141	107,3313	0,00011	0,0011	0,0061	-1,99
	12	720	26,196	0,836	0,0136	107,0514	0,00011	0,0012	0,0073	-1,92
3	13	780	27,032	0,836	0,0132	106,7708	0,00011	0,0013	0,0086	-1,84
	14	840	27,868	0,836	0,0128	106,4894	0,00011	0,0014	0,0101	-1,77
	15	900	28,704	0,836	0,0125	106,2073	0,00011	0,0015	0,0116	-1,69
	16	960	29,54	0,836	0,0121	105,9245	0,00011	0,0016	0,0132	-1,62
	17	1020	30,376	0,836	0,0118	105,6409	0,00011	0,0018	0,0150	-1,54
	18	1080	31,212	0,836	0,0115	105,3565	0,00011	0,0019	0,0169	-1,47
4	19	1140	32,048	0,836	0,0112	105,0714	0,00011	0,0020	0,0188	-1,39
	20	1200	32,884	0,836	0,0109	104,7855	0,00011	0,0021	0,0209	-1,32
	21	1260	33,72	0,836	0,0106	104,4988	0,00011	0,0022	0,0231	-1,25
	22	1320	34,556	0,836	0,0104	104,2113	0,00011	0,0023	0,0254	-1,17
	23	1380	35,392	0,836	0,0101	103,9230	0,00011	0,0024	0,0277	-1,10
	24	1440	36,228	0,836	0,0099	103,6340	0,00011	0,0025	0,0302	-1,03
5	25	1500	37,064	0,836	0,0097	103,3441	0,00011	0,0026	0,0328	-0,95
	26	1560	37,9	0,836	0,0095	103,0534	0,00010	0,0027	0,0355	-0,88
	27	1620	38,736	0,836	0,0093	102,7619	0,00010	0,0028	0,0384	-0,81
	28	1680	39,572	0,836	0,0091	102,4695	0,00010	0,0029	0,0413	-0,73
	29	1740	40,408	0,836	0,0089	102,1763	0,00010	0,0030	0,0443	-0,66
	30	1800	41,244	0,836	0,0087	101,8823	0,00010	0,0031	0,0474	-0,59

EDIL ET AL., calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(u/r)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
6	31	1860	42,08	0,836	0,0085	101,5874	0,00010	0,0032	0,0506	-0,51
	32	1920	42,916	0,836	0,0084	101,2917	0,00010	0,0033	0,0540	-0,44
	33	1980	43,752	0,836	0,0082	100,9950	0,00010	0,0034	0,0574	-0,37
	34	2040	44,588	0,836	0,0081	100,6976	0,00010	0,0035	0,0609	-0,30
	35	2100	45,424	0,836	0,0079	100,3992	0,00010	0,0036	0,0646	-0,22
	36	2160	46,26	0,836	0,0078	100,1000	0,00010	0,0037	0,0683	-0,15
7	37	2220	47,096	0,836	0,0076	99,7998	0,00010	0,0038	0,0721	-0,08
	38	2280	47,932	0,836	0,0075	99,4987	0,00010	0,0039	0,0761	-0,01
	39	2340	48,768	0,836	0,0074	99,1968	0,00010	0,0040	0,0801	0,06
	40	2400	49,604	0,836	0,0073	98,8939	0,00010	0,0041	0,0843	0,14
	41	2460	50,44	0,836	0,0071	98,5901	0,00010	0,0042	0,0885	0,21
	42	2520	51,276	0,836	0,0070	98,2853	0,00010	0,0043	0,0928	0,28
8	43	2580	52,112	0,836	0,0069	97,9796	0,00010	0,0044	0,0973	0,35
	44	2640	52,948	0,836	0,0068	97,6729	0,00010	0,0045	0,1018	0,42
	45	2700	53,784	0,836	0,0067	97,3653	0,00010	0,0046	0,1065	0,49
	46	2760	54,62	0,836	0,0066	97,0567	0,00010	0,0047	0,1112	0,56
	47	2820	55,456	0,836	0,0065	96,7471	0,00010	0,0048	0,1160	0,64
	48	2880	56,292	0,836	0,0064	96,4365	0,00010	0,0049	0,1210	0,71
9	49	2940	57,128	0,836	0,0063	96,1249	0,00010	0,0050	0,1260	0,78
	50	3000	57,964	0,836	0,0062	95,8123	0,00010	0,0051	0,1311	0,85
	51	3060	58,8	0,836	0,0061	95,4987	0,00010	0,0052	0,1364	0,92
	52	3120	59,636	0,836	0,0060	95,1840	0,00010	0,0053	0,1417	0,99
	53	3180	60,472	0,836	0,0060	94,8683	0,00010	0,0054	0,1471	1,06
	54	3240	61,308	0,836	0,0059	94,5516	0,00010	0,0055	0,1526	1,13
10	55	3300	62,144	0,836	0,0058	94,2338	0,00010	0,0056	0,1582	1,20
	56	3360	62,98	0,836	0,0057	93,9149	0,00010	0,0057	0,1639	1,27
	57	3420	63,816	0,836	0,0057	93,5949	0,00010	0,0058	0,1697	1,34
	58	3480	64,652	0,836	0,0056	93,2738	0,00009	0,0059	0,1756	1,41
	59	3540	65,488	0,836	0,0055	92,9516	0,00009	0,0060	0,1816	1,48
	60	3600	66,324	0,836	0,0054	92,6283	0,00009	0,0061	0,1877	1,55

EDIL ET AL., calcolo della vita utile della discarica

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
11	61	3660	67,16	0,836	0,0054	92,3038	0,00009	0,0062	0,1939	1,62
	62	3720	67,996	0,836	0,0053	91,9783	0,00009	0,0063	0,2002	1,69
	63	3780	68,832	0,836	0,0052	91,6515	0,00009	0,0064	0,2065	1,76
	64	3840	69,668	0,836	0,0052	91,3236	0,00009	0,0065	0,2130	1,83
	65	3900	70,504	0,836	0,0051	90,9945	0,00009	0,0066	0,2195	1,90
	66	3960	71,34	0,836	0,0051	90,6642	0,00009	0,0066	0,2262	1,97
12	67	4020	72,176	0,836	0,0050	90,3327	0,00009	0,0067	0,2329	2,04
	68	4080	73,012	0,836	0,0049	90,0000	0,00009	0,0068	0,2397	2,11
	69	4140	73,848	0,836	0,0049	89,6660	0,00009	0,0069	0,2467	2,18
	70	4200	74,684	0,836	0,0048	89,3308	0,00009	0,0070	0,2537	2,25
	71	4260	75,52	0,836	0,0048	88,9944	0,00009	0,0071	0,2608	2,32
	72	4320	76,356	0,836	0,0047	88,6566	0,00009	0,0072	0,2680	2,38
13	73	4380	77,192	0,836	0,0047	88,3176	0,00009	0,0073	0,2752	2,45
	74	4440	78,028	0,836	0,0046	87,9773	0,00009	0,0074	0,2826	2,52
	75	4500	78,864	0,836	0,0046	87,6356	0,00009	0,0075	0,2901	2,59
	76	4560	79,7	0,836	0,0045	87,2926	0,00009	0,0075	0,2976	2,66
	77	4620	80,536	0,836	0,0045	86,9483	0,00009	0,0076	0,3052	2,73
	78	4680	81,372	0,836	0,0044	86,6025	0,00009	0,0077	0,3130	2,80
14	79	4740	82,208	0,836	0,0044	86,2554	0,00009	0,0078	0,3208	2,86
	80	4800	83,044	0,836	0,0044	85,9069	0,00009	0,0079	0,3287	2,93
	81	4860	83,88	0,836	0,0043	85,5570	0,00009	0,0080	0,3367	3,00
	82	4920	84,716	0,836	0,0043	85,2056	0,00009	0,0081	0,3447	3,07
	83	4980	85,552	0,836	0,0042	84,8528	0,00009	0,0082	0,3529	3,14
	84	5040	86,388	0,836	0,0042	84,4985	0,00009	0,0082	0,3611	3,20
15	85	5100	87,224	0,836	0,0041	84,1427	0,00009	0,0083	0,3695	3,27
	86	5160	88,06	0,836	0,0041	83,7854	0,00009	0,0084	0,3779	3,34
	87	5220	88,896	0,836	0,0041	83,4266	0,00008	0,0085	0,3864	3,41
	88	5280	89,732	0,836	0,0040	83,0662	0,00008	0,0086	0,3950	3,47
	89	5340	90,568	0,836	0,0040	82,7043	0,00008	0,0087	0,4036	3,54
	90	5400	91,404	0,836	0,0040	82,3408	0,00008	0,0088	0,4124	3,61

EDIL ET AL., calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
16	91	5460	92,24	0,836	0,0039	81,9756	0,00008	0,0088	0,4212	3,67
	92	5520	93,076	0,836	0,0039	81,6088	0,00008	0,0089	0,4301	3,74
	93	5580	93,912	0,836	0,0038	81,2404	0,00008	0,0090	0,4391	3,81
	94	5640	94,748	0,836	0,0038	80,8703	0,00008	0,0091	0,4482	3,88
	95	5700	95,584	0,836	0,0038	80,4984	0,00008	0,0092	0,4574	3,94
	96	5760	96,42	0,836	0,0037	80,1249	0,00008	0,0092	0,4666	4,01
17	97	5820	97,256	0,836	0,0037	79,7496	0,00008	0,0093	0,4760	4,08
	98	5880	98,092	0,836	0,0037	79,3725	0,00008	0,0094	0,4854	4,14
	99	5940	98,928	0,836	0,0037	78,9937	0,00008	0,0095	0,4949	4,21
	100	6000	99,764	0,836	0,0036	78,6130	0,00008	0,0096	0,5044	4,28
	101	6060	100,6	0,836	0,0036	78,2304	0,00008	0,0096	0,5141	4,34
	102	6120	101,436	0,836	0,0036	77,8460	0,00008	0,0097	0,5238	4,41
18	103	6180	102,272	0,836	0,0035	77,4597	0,00008	0,0098	0,5336	4,47
	104	6240	103,108	0,836	0,0035	77,0714	0,00008	0,0099	0,5435	4,54
	105	6300	103,944	0,836	0,0035	76,6812	0,00008	0,0100	0,5534	4,61
	106	6360	104,78	0,836	0,0035	76,2889	0,00008	0,0100	0,5635	4,67
	107	6420	105,616	0,836	0,0034	75,8947	0,00008	0,0101	0,5736	4,74
	108	6480	106,452	0,836	0,0034	75,4983	0,00008	0,0102	0,5838	4,80
19	109	6540	107,288	0,836	0,0034	75,0999	0,00008	0,0103	0,5941	4,87
	110	6600	108,124	0,836	0,0033	74,6994	0,00008	0,0103	0,6044	4,94
	111	6660	108,96	0,836	0,0033	74,2967	0,00008	0,0104	0,6148	5,00
	112	6720	109,796	0,836	0,0033	73,8918	0,00008	0,0105	0,6253	5,07
	113	6780	110,632	0,836	0,0033	73,4847	0,00007	0,0106	0,6359	5,13
	114	6840	111,468	0,836	0,0032	73,0753	0,00007	0,0106	0,6465	5,20
20	115	6900	112,304	0,836	0,0032	72,6636	0,00007	0,0107	0,6573	5,26
	116	6960	113,14	0,836	0,0032	72,2496	0,00007	0,0108	0,6680	5,33
	117	7020	113,976	0,836	0,0032	71,8331	0,00007	0,0109	0,6789	5,39
	118	7080	114,812	0,836	0,0032	71,4143	0,00007	0,0109	0,6899	5,46
	119	7140	115,648	0,836	0,0031	70,9930	0,00007	0,0110	0,7009	5,52
	120	7200	116,484	0,836	0,0031	70,5691	0,00007	0,0111	0,7119	5,59

EDIL ET AL., calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E u (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
21	121	7260	117,32	0,836	0,0031	70,1427	0,00007	0,0112	0,7231	5,65
	122	7320	118,156	0,836	0,0031	69,7137	0,00007	0,0112	0,7343	5,72
	123	7380	118,992	0,836	0,0030	69,2820	0,00007	0,0113	0,7456	5,78
	124	7440	119,828	0,836	0,0030	68,8477	0,00007	0,0114	0,7570	5,85
	125	7500	120,664	0,836	0,0030	68,4105	0,00007	0,0114	0,7684	5,91
	126	7560	121,5	0,836	0,0030	67,9706	0,00007	0,0115	0,7799	5,98
22	127	7620	122,336	0,836	0,0030	67,5278	0,00007	0,0116	0,7915	6,04
	128	7680	123,172	0,836	0,0029	67,0820	0,00007	0,0116	0,8031	6,10
	129	7740	124,008	0,836	0,0029	66,6333	0,00007	0,0117	0,8148	6,17
	130	7800	124,844	0,836	0,0029	66,1816	0,00007	0,0118	0,8266	6,23
	131	7860	125,68	0,836	0,0029	65,7267	0,00007	0,0118	0,8384	6,30
	132	7920	126,516	0,836	0,0029	65,2687	0,00007	0,0119	0,8504	6,36
23	133	7980	127,352	0,836	0,0028	64,8074	0,00007	0,0120	0,8623	6,43
	134	8040	128,188	0,836	0,0028	64,3428	0,00007	0,0120	0,8744	6,49
	135	8100	129,024	0,836	0,0028	63,8749	0,00006	0,0121	0,8865	6,55
	136	8160	129,86	0,836	0,0028	63,4035	0,00006	0,0122	0,8986	6,62
	137	8220	130,696	0,836	0,0028	62,9285	0,00006	0,0122	0,9109	6,68
	138	8280	131,532	0,836	0,0028	62,4500	0,00006	0,0123	0,9232	6,74
24	139	8340	132,368	0,836	0,0027	61,9677	0,00006	0,0124	0,9355	6,81
	140	8400	133,204	0,836	0,0027	61,4817	0,00006	0,0124	0,9480	6,87
	141	8460	134,04	0,836	0,0027	60,9918	0,00006	0,0125	0,9604	6,94
	142	8520	134,876	0,836	0,0027	60,4979	0,00006	0,0125	0,9730	7,00
	143	8580	135,712	0,836	0,0027	60,0000	0,00006	0,0126	0,9856	7,06
	144	8640	136,548	0,836	0,0027	59,4979	0,00006	0,0127	0,9983	7,13
25	145	8700	137,384	0,836	0,0026	58,9915	0,00006	0,0127	1,0110	7,19
	146	8760	138,22	0,836	0,0026	58,4808	0,00006	0,0128	1,0238	7,25
	147	8820	139,056	0,836	0,0026	57,9655	0,00006	0,0128	1,0366	7,32
	148	8880	139,892	0,836	0,0026	57,4456	0,00006	0,0129	1,0495	7,38
	149	8940	140,728	0,836	0,0026	56,9210	0,00006	0,0130	1,0625	7,44
	150	9000	141,564	0,836	0,0026	56,3915	0,00006	0,0130	1,0755	7,50
26	151	9060	142,4	0,836	0,0025	55,8570	0,00006	0,0131	1,0886	7,57
	152	9120	143,236	0,836	0,0025	55,3173	0,00006	0,0131	1,1017	7,63
	153	9180	144,072	0,836	0,0025	54,7723	0,00006	0,0132	1,1149	7,69
	154	9240	144,908	0,836	0,0025	54,2218	0,00006	0,0132	1,1281	7,76
	155	9300	145,744	0,836	0,0025	53,6656	0,00005	0,0133	1,1414	7,82
	156	9360	146,58	0,836	0,0025	53,1037	0,00005	0,0134	1,1548	7,88

EDIL ET AL., calcolo della vita utile della discarica

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log I	(U/r)E u (m)	AH (m)	AH cumulato (m)	AH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
27	157	9420	147,416	0,836	0,0025	52,5357	0,00005	0,0134	1,1682	7,94
	158	9480	148,252	0,836	0,0024	51,9615	0,00005	0,0135	1,1816	8,01
	159	9540	149,088	0,836	0,0024	51,3809	0,00005	0,0135	1,1951	8,07
	160	9600	149,924	0,836	0,0024	50,7937	0,00005	0,0136	1,2087	8,13
	161	9660	150,76	0,836	0,0024	50,1996	0,00005	0,0136	1,2223	8,19
	162	9720	151,596	0,836	0,0024	49,5984	0,00005	0,0137	1,2360	8,26
28	163	9780	152,432	0,836	0,0024	48,9898	0,00005	0,0137	1,2497	8,32
	164	9840	153,268	0,836	0,0024	48,3735	0,00005	0,0138	1,2635	8,38
	165	9900	154,104	0,836	0,0023	47,7493	0,00005	0,0138	1,2773	8,44
	166	9960	154,94	0,836	0,0023	47,1169	0,00005	0,0139	1,2911	8,50
	167	10020	155,776	0,836	0,0023	46,4758	0,00005	0,0139	1,3050	8,57
	168	10080	156,612	0,836	0,0023	45,8258	0,00005	0,0140	1,3190	8,63
29	169	10140	157,448	0,836	0,0023	45,1664	0,00005	0,0140	1,3330	8,69
	170	10200	158,284	0,836	0,0023	44,4972	0,00005	0,0140	1,3470	8,75
	171	10260	159,12	0,836	0,0023	43,8178	0,00004	0,0141	1,3611	8,81
	172	10320	159,956	0,836	0,0023	43,1277	0,00004	0,0141	1,3752	8,88
	173	10380	160,792	0,836	0,0023	42,4264	0,00004	0,0142	1,3894	8,94
	174	10440	161,628	0,836	0,0022	41,7133	0,00004	0,0142	1,4036	9,00
30	175	10500	162,464	0,836	0,0022	40,9878	0,00004	0,0143	1,4179	9,06
	176	10560	163,3	0,836	0,0022	40,2492	0,00004	0,0143	1,4322	9,12
	177	10620	164,136	0,836	0,0022	39,4968	0,00004	0,0143	1,4465	9,19
	178	10680	164,972	0,836	0,0022	38,7298	0,00004	0,0144	1,4609	9,25
	179	10740	165,808	0,836	0,0022	37,9473	0,00004	0,0144	1,4753	9,31
	180	10800	166,644	0,836	0,0022	37,1484	0,00004	0,0145	1,4898	9,37
31	181	10860	167,48	0,836	0,0022	36,3318	0,00004	0,0145	1,5043	9,43
	182	10920	168,316	0,836	0,0022	35,4965	0,00004	0,0145	1,5188	9,49
	183	10980	169,152	0,836	0,0021	34,6410	0,00004	0,0146	1,5334	9,55
	184	11040	169,988	0,836	0,0021	33,7639	0,00003	0,0146	1,5480	9,62
	185	11100	170,824	0,836	0,0021	32,8634	0,00003	0,0146	1,5626	9,68
	186	11160	171,66	0,836	0,0021	31,9374	0,00003	0,0147	1,5773	9,74
32	187	11220	172,496	0,836	0,0021	30,9839	0,00003	0,0147	1,5920	9,80
	188	11280	173,332	0,836	0,0021	30,0000	0,00003	0,0147	1,6067	9,86
	189	11340	174,168	0,836	0,0021	28,9828	0,00003	0,0148	1,6214	9,92
	190	11400	175,004	0,836	0,0021	27,9285	0,00003	0,0148	1,6362	9,98
	191	11460	175,84	0,836	0,0021	26,8328	0,00003	0,0148	1,6510	10,04
	192	11520	176,676	0,836	0,0021	25,6905	0,00003	0,0148	1,6659	10,11
33	193	11580	177,512	0,836	0,0020	24,4949	0,00002	0,0149	1,6807	10,17
	194	11640	178,348	0,836	0,0020	23,2379	0,00002	0,0149	1,6956	10,23
	195	11700	179,184	0,836	0,0020	21,9089	0,00002	0,0149	1,7105	10,29
	196	11760	180,02	0,836	0,0020	20,4939	0,00002	0,0149	1,7254	10,35
	197	11820	180,856	0,836	0,0020	18,9737	0,00002	0,0149	1,7404	10,41
	198	11880	181,692	0,836	0,0020	17,3205	0,00002	0,0150	1,7554	10,47
34	199	11940	182,528	0,836	0,0020	15,4919	0,00002	0,0150	1,7703	10,53
	200	12000	183,364	0,836	0,0020	13,4164	0,00001	0,0150	1,7853	10,59
	201	12060	184,2	1,140	0,0027	10,9545	0,00002	0,0150	1,8003	10,66
	202	12120	185,34	1,292	0,0030	7,7460	0,00001	0,0150	1,8154	10,72
	203	12180	186,632	1,292	0,0030	0,0000	0,00000	0,0150	1,8304	10,78

LEGENDA PER IL MODELLO DI EDIL ET AL.

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{\text{RSU}}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace

$$= \gamma_{\text{RSU}} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

$t/\text{tr E n} = [(\text{tempo massimo} - \text{Tempo}) / \text{tr}]^n$

ΔH (m) = spessore iniziale di un substrato $\times \Delta\sigma' \times m \times t/\text{tr E n}$

ΔH cumulato (m) = $\Delta H + \Delta H$ cumulato _(t-1)

ΔH TOTALE (m) = ΔH cumulato + ΔH TOTALE _(t-1)

H da p.c = altezza della discarica riferita al piano campagna

$$\begin{aligned} &= (\text{altezza iniziale di un substrato} \times \text{Substrati}) - (\Delta H \text{ TOTALE} + \\ &+ \text{quota di fondazione della discarica} + \text{cedimenti del terreno di} \\ &\text{fondazione}) \end{aligned}$$

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(U/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
1	1	60	0,418	0,000	0,0000	102,1763	0,000000	0,0000	0,0000
	2	120	1,254	0,836	0,2218	101,8823	0,000104	0,0001	0,0001
	3	180	2,09	0,836	0,1461	101,5874	0,000103	0,0002	0,0003
	4	240	2,926	0,836	0,1091	101,2917	0,000103	0,0003	0,0006
	5	300	3,762	0,836	0,0872	100,9950	0,000103	0,0004	0,0010
	6	360	4,598	0,836	0,0726	100,6976	0,000102	0,0005	0,0015
2	7	420	5,434	0,836	0,0621	100,3992	0,000102	0,0006	0,0022
	8	480	6,27	0,836	0,0544	100,1000	0,000102	0,0007	0,0029
	9	540	7,106	0,836	0,0483	99,7998	0,000101	0,0008	0,0037
	10	600	7,942	0,836	0,0435	99,4987	0,000101	0,0009	0,0046
	11	660	8,778	0,836	0,0395	99,1968	0,000101	0,0010	0,0056
	12	720	9,614	0,836	0,0362	98,8939	0,000101	0,0011	0,0068
3	13	780	10,45	0,836	0,0334	98,5901	0,000100	0,0012	0,0080
	14	840	11,286	0,836	0,0310	98,2853	0,000100	0,0013	0,0093
	15	900	12,122	0,836	0,0290	97,9796	0,000100	0,0014	0,0107
	16	960	12,958	0,836	0,0272	97,6729	0,000099	0,0015	0,0123
	17	1020	13,794	0,836	0,0256	97,3653	0,000099	0,0016	0,0139
	18	1080	14,63	0,836	0,0241	97,0567	0,000099	0,0017	0,0156
4	19	1140	15,466	0,836	0,0229	96,7471	0,000098	0,0018	0,0174
	20	1200	16,302	0,836	0,0217	96,4365	0,000098	0,0019	0,0193
	21	1260	17,138	0,836	0,0207	96,1249	0,000098	0,0020	0,0213
	22	1320	17,974	0,836	0,0197	95,8123	0,000097	0,0021	0,0235
	23	1380	18,81	0,836	0,0189	95,4987	0,000097	0,0022	0,0257
	24	1440	19,646	0,836	0,0181	95,1840	0,000097	0,0023	0,0280
5	25	1500	20,482	0,836	0,0174	94,8683	0,000096	0,0024	0,0304
	26	1560	21,318	0,836	0,0167	94,5516	0,000096	0,0025	0,0329
	27	1620	22,154	0,836	0,0161	94,2338	0,000096	0,0026	0,0355
	28	1680	22,99	0,836	0,0155	93,9149	0,000095	0,0027	0,0381
	29	1740	23,826	0,836	0,0150	93,5949	0,000095	0,0028	0,0409
	30	1800	24,662	0,836	0,0145	93,2738	0,000095	0,0029	0,0438

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
6	31	1860	25,498	0,836	0,0140	92,9516	0,000094	0,0030	0,0468
	32	1920	26,334	0,836	0,0136	92,6283	0,000094	0,0031	0,0499
	33	1980	27,17	0,836	0,0132	92,3038	0,000094	0,0032	0,0530
	34	2040	28,006	0,836	0,0128	91,9783	0,000094	0,0033	0,0563
	35	2100	28,842	0,836	0,0124	91,6515	0,000093	0,0033	0,0596
	36	2160	29,678	0,836	0,0121	91,3236	0,000093	0,0034	0,0631
7	37	2220	30,514	0,836	0,0117	90,9945	0,000093	0,0035	0,0666
	38	2280	31,35	0,836	0,0114	90,6642	0,000092	0,0036	0,0702
	39	2340	32,186	0,836	0,0111	90,3327	0,000092	0,0037	0,0739
	40	2400	33,022	0,836	0,0109	90,0000	0,000091	0,0038	0,0777
	41	2460	33,858	0,836	0,0106	89,6660	0,000091	0,0039	0,0816
	42	2520	34,694	0,836	0,0103	89,3308	0,000091	0,0040	0,0856
8	43	2580	35,53	0,836	0,0101	88,9944	0,000090	0,0041	0,0897
	44	2640	36,366	0,836	0,0099	88,6566	0,000090	0,0042	0,0939
	45	2700	37,202	0,836	0,0097	88,3176	0,000090	0,0043	0,0981
	46	2760	38,038	0,836	0,0094	87,9773	0,000089	0,0044	0,1025
	47	2820	38,874	0,836	0,0092	87,6356	0,000089	0,0044	0,1069
	48	2880	39,71	0,836	0,0090	87,2926	0,000089	0,0045	0,1115
9	49	2940	40,546	0,836	0,0089	86,9483	0,000088	0,0046	0,1161
	50	3000	41,382	0,836	0,0087	86,6025	0,000088	0,0047	0,1208
	51	3060	42,218	0,836	0,0085	86,2554	0,000088	0,0048	0,1256
	52	3120	43,054	0,836	0,0084	85,9069	0,000087	0,0049	0,1305
	53	3180	43,89	0,836	0,0082	85,5570	0,000087	0,0050	0,1354
	54	3240	44,726	0,836	0,0080	85,2056	0,000087	0,0051	0,1405
10	55	3300	45,562	0,836	0,0079	84,8528	0,000086	0,0051	0,1456
	56	3360	46,398	0,836	0,0078	84,4985	0,000086	0,0052	0,1508
	57	3420	47,234	0,836	0,0076	84,1427	0,000086	0,0053	0,1561
	58	3480	48,07	0,836	0,0075	83,7854	0,000085	0,0054	0,1615
	59	3540	48,906	0,836	0,0074	83,4266	0,000085	0,0055	0,1670
	60	3600	49,742	0,836	0,0072	83,0662	0,000084	0,0056	0,1726

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
11	61	3660	50,578	0,836	0,0071	82,7043	0,000084	0,0056	0,1782
	62	3720	51,414	0,836	0,0070	82,3408	0,000084	0,0057	0,1840
	63	3780	52,25	0,836	0,0069	81,9756	0,000083	0,0058	0,1898
	64	3840	53,086	0,836	0,0068	81,6088	0,000083	0,0059	0,1957
	65	3900	53,922	0,836	0,0067	81,2404	0,000083	0,0060	0,2017
	66	3960	54,758	0,836	0,0066	80,8703	0,000082	0,0061	0,2077
12	67	4020	55,594	0,836	0,0065	80,4984	0,000082	0,0061	0,2139
	68	4080	56,43	0,836	0,0064	80,1249	0,000081	0,0062	0,2201
	69	4140	57,266	0,836	0,0063	79,7496	0,000081	0,0063	0,2264
	70	4200	58,102	0,836	0,0062	79,3725	0,000081	0,0064	0,2328
	71	4260	58,938	0,836	0,0061	78,9937	0,000080	0,0065	0,2393
	72	4320	59,774	0,836	0,0060	78,6130	0,000080	0,0065	0,2458
13	73	4380	60,61	0,836	0,0059	78,2304	0,000080	0,0066	0,2525
	74	4440	61,446	0,836	0,0059	77,8460	0,000079	0,0067	0,2592
	75	4500	62,282	0,836	0,0058	77,4597	0,000079	0,0068	0,2659
	76	4560	63,118	0,836	0,0057	77,0714	0,000078	0,0069	0,2728
	77	4620	63,954	0,836	0,0056	76,6812	0,000078	0,0069	0,2798
	78	4680	64,79	0,836	0,0056	76,2889	0,000078	0,0070	0,2868
14	79	4740	65,626	0,836	0,0055	75,8947	0,000077	0,0071	0,2939
	80	4800	66,462	0,836	0,0054	75,4983	0,000077	0,0072	0,3010
	81	4860	67,298	0,836	0,0054	75,0999	0,000076	0,0073	0,3083
	82	4920	68,134	0,836	0,0053	74,6994	0,000076	0,0073	0,3156
	83	4980	68,97	0,836	0,0052	74,2967	0,000076	0,0074	0,3230
	84	5040	69,806	0,836	0,0052	73,8918	0,000075	0,0075	0,3305
15	85	5100	70,642	0,836	0,0051	73,4847	0,000075	0,0076	0,3381
	86	5160	71,478	0,836	0,0050	73,0753	0,000074	0,0076	0,3457
	87	5220	72,314	0,836	0,0050	72,6636	0,000074	0,0077	0,3534
	88	5280	73,15	0,836	0,0049	72,2496	0,000073	0,0078	0,3612
	89	5340	73,986	0,836	0,0049	71,8331	0,000073	0,0078	0,3690
	90	5400	74,822	0,836	0,0048	71,4143	0,000073	0,0079	0,3769

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
16	91	5460	75,658	0,836	0,0048	70,9930	0,000072	0,0080	0,3849
	92	5520	76,494	0,836	0,0047	70,5691	0,000072	0,0081	0,3930
	93	5580	77,33	0,836	0,0047	70,1427	0,000071	0,0081	0,4011
	94	5640	78,166	0,836	0,0046	69,7137	0,000071	0,0082	0,4093
	95	5700	79,002	0,836	0,0046	69,2820	0,000070	0,0083	0,4176
	96	5760	79,838	0,836	0,0045	68,8477	0,000070	0,0083	0,4259
17	97	5820	80,674	0,836	0,0045	68,4105	0,000070	0,0084	0,4344
	98	5880	81,51	0,836	0,0044	67,9706	0,000069	0,0085	0,4428
	99	5940	82,346	0,836	0,0044	67,5278	0,000069	0,0086	0,4514
	100	6000	83,182	0,836	0,0043	67,0820	0,000068	0,0086	0,4600
	101	6060	84,018	0,836	0,0043	66,6333	0,000068	0,0087	0,4687
	102	6120	84,854	0,836	0,0043	66,1816	0,000067	0,0088	0,4775
18	103	6180	85,69	0,836	0,0042	65,7267	0,000067	0,0088	0,4863
	104	6240	86,526	0,836	0,0042	65,2687	0,000066	0,0089	0,4952
	105	6300	87,362	0,836	0,0041	64,8074	0,000066	0,0090	0,5041
	106	6360	88,198	0,836	0,0041	64,3428	0,000065	0,0090	0,5131
	107	6420	89,034	0,836	0,0041	63,8749	0,000065	0,0091	0,5222
	108	6480	89,87	0,836	0,0040	63,4035	0,000064	0,0092	0,5314
19	109	6540	90,706	0,836	0,0040	62,9285	0,000064	0,0092	0,5406
	110	6600	91,542	0,836	0,0039	62,4500	0,000063	0,0093	0,5499
	111	6660	92,378	0,836	0,0039	61,9677	0,000063	0,0093	0,5592
	112	6720	93,214	0,836	0,0039	61,4817	0,000063	0,0094	0,5686
	113	6780	94,05	0,836	0,0038	60,9918	0,000062	0,0095	0,5781
	114	6840	94,886	0,836	0,0038	60,4979	0,000062	0,0095	0,5876
20	115	6900	95,722	0,836	0,0038	60,0000	0,000061	0,0096	0,5972
	116	6960	96,558	0,836	0,0037	59,4979	0,000060	0,0096	0,6068
	117	7020	97,394	0,836	0,0037	58,9915	0,000060	0,0097	0,6166
	118	7080	98,23	0,836	0,0037	58,4808	0,000059	0,0098	0,6263
	119	7140	99,066	0,836	0,0036	57,9655	0,000059	0,0098	0,6362
	120	7200	99,902	0,836	0,0036	57,4456	0,000058	0,0099	0,6460

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
21	121	7260	100,738	0,836	0,0036	56,9210	0,000058	0,0099	0,6560
	122	7320	101,574	0,836	0,0036	56,3915	0,000057	0,0100	0,6660
	123	7380	102,41	0,836	0,0035	55,8570	0,000057	0,0101	0,6760
	124	7440	103,246	0,836	0,0035	55,3173	0,000056	0,0101	0,6861
	125	7500	104,082	0,836	0,0035	54,7723	0,000056	0,0102	0,6963
	126	7560	104,918	0,836	0,0034	54,2218	0,000055	0,0102	0,7065
22	127	7620	105,754	0,836	0,0034	53,6656	0,000055	0,0103	0,7168
	128	7680	106,59	0,836	0,0034	53,1037	0,000054	0,0103	0,7272
	129	7740	107,426	0,836	0,0034	52,5357	0,000053	0,0104	0,7375
	130	7800	108,262	0,836	0,0033	51,9615	0,000053	0,0104	0,7480
	131	7860	109,098	0,836	0,0033	51,3809	0,000052	0,0105	0,7585
	132	7920	109,934	0,836	0,0033	50,7937	0,000052	0,0105	0,7690
23	133	7980	110,77	0,836	0,0033	50,1996	0,000051	0,0106	0,7796
	134	8040	111,606	0,836	0,0032	49,5984	0,000050	0,0106	0,7902
	135	8100	112,442	0,836	0,0032	48,9898	0,000050	0,0107	0,8009
	136	8160	113,278	0,836	0,0032	48,3735	0,000049	0,0107	0,8117
	137	8220	114,114	0,836	0,0032	47,7493	0,000049	0,0108	0,8225
	138	8280	114,95	0,836	0,0031	47,1169	0,000048	0,0108	0,8333
24	139	8340	115,786	0,836	0,0031	46,4758	0,000047	0,0109	0,8442
	140	8400	116,622	0,836	0,0031	45,8258	0,000047	0,0109	0,8551
	141	8460	117,458	0,836	0,0031	45,1664	0,000046	0,0110	0,8661
	142	8520	118,294	0,836	0,0031	44,4972	0,000045	0,0110	0,8771
	143	8580	119,13	0,836	0,0030	43,8178	0,000045	0,0111	0,8882
	144	8640	119,966	0,836	0,0030	43,1277	0,000044	0,0111	0,8993
25	145	8700	120,802	0,836	0,0030	42,4264	0,000043	0,0112	0,9105
	146	8760	121,638	0,836	0,0030	41,7133	0,000042	0,0112	0,9217
	147	8820	122,474	0,836	0,0030	40,9878	0,000042	0,0112	0,9329
	148	8880	123,31	0,836	0,0029	40,2492	0,000041	0,0113	0,9442
	149	8940	124,146	0,836	0,0029	39,4968	0,000040	0,0113	0,9555
	150	9000	124,982	0,836	0,0029	38,7298	0,000039	0,0114	0,9669

GIBSON E LO

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO									CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log1	(t/tr)E n (m)	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)
26	151	9060	125,818	0,836	0,0029	37,9473	0,000039	0,0114	0,9783
	152	9120	126,654	0,836	0,0029	37,1484	0,000038	0,0114	0,9897
	153	9180	127,49	0,836	0,0028	36,3318	0,000037	0,0115	1,0012
	154	9240	128,326	0,836	0,0028	35,4965	0,000036	0,0115	1,0127
	155	9300	129,162	0,836	0,0028	34,6410	0,000035	0,0115	1,0242
	156	9360	129,998	0,836	0,0028	33,7639	0,000034	0,0116	1,0358
27	157	9420	130,834	0,836	0,0028	32,8634	0,000033	0,0116	1,0474
	158	9480	131,67	0,836	0,0027	31,9374	0,000032	0,0116	1,0591
	159	9540	132,506	0,836	0,0027	30,9839	0,000031	0,0117	1,0708
	160	9600	133,342	0,836	0,0027	30,0000	0,000030	0,0117	1,0825
	161	9660	134,178	0,836	0,0027	28,9828	0,000029	0,0117	1,0942
	162	9720	135,014	0,836	0,0027	27,9285	0,000028	0,0118	1,1060
28	163	9780	135,85	0,836	0,0027	26,8328	0,000027	0,0118	1,1178
	164	9840	136,686	0,836	0,0026	25,6905	0,000026	0,0118	1,1296
	165	9900	137,522	0,836	0,0026	24,4949	0,000025	0,0118	1,1414
	166	9960	138,358	0,836	0,0026	23,2379	0,000024	0,0119	1,1533
	167	10020	139,194	0,836	0,0026	21,9089	0,000022	0,0119	1,1652
	168	10080	140,03	0,836	0,0026	20,4939	0,000021	0,0119	1,1771
29	169	10140	140,866	0,836	0,0026	18,9737	0,000019	0,0119	1,1890
	170	10200	141,702	0,836	0,0026	17,3205	0,000018	0,0119	1,2010
	171	10260	142,538	0,836	0,0025	15,4919	0,000016	0,0120	1,2129
	172	10320	143,374	0,836	0,0025	13,4164	0,000014	0,0120	1,2249
	173	10380	144,21	1,140	0,0034	10,9545	0,000015	0,0120	1,2369
	174	10440	145,35	1,292	0,0038	7,7460	0,000012	0,0120	1,2489
30	175	10500	146,642	1,292	0,0038	0,0000	0,000000	0,0120	1,2609

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
1	1	60	0,341	0,000	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000	-2,74
	2	120	1,177	0,836	0,2331	0,000108	0,0001	0,0001	-2,67
	3	180	2,013	0,836	0,1508	0,000108	0,0002	0,0003	-2,59
	4	240	2,849	0,836	0,1117	0,000108	0,0003	0,0007	-2,52
	5	300	3,685	0,836	0,0888	0,000108	0,0004	0,0011	-2,44
	6	360	4,521	0,836	0,0737	0,000108	0,0005	0,0016	-2,37
2	7	420	5,357	0,836	0,0630	0,000107	0,0006	0,0023	-2,29
	8	480	6,193	0,836	0,0550	0,000107	0,0008	0,0030	-2,22
	9	540	7,029	0,836	0,0488	0,000107	0,0009	0,0039	-2,14
	10	600	7,865	0,836	0,0439	0,000107	0,0010	0,0049	-2,06
	11	660	8,701	0,836	0,0398	0,000107	0,0011	0,0059	-1,99
	12	720	9,537	0,836	0,0365	0,000106	0,0012	0,0071	-1,92
3	13	780	10,373	0,836	0,0337	0,000106	0,0013	0,0084	-1,84
	14	840	11,209	0,836	0,0312	0,000106	0,0014	0,0098	-1,77
	15	900	12,045	0,836	0,0291	0,000106	0,0015	0,0113	-1,69
	16	960	12,881	0,836	0,0273	0,000106	0,0016	0,0129	-1,62
	17	1020	13,717	0,836	0,0257	0,000105	0,0017	0,0146	-1,54
	18	1080	14,553	0,836	0,0243	0,000105	0,0018	0,0164	-1,47
4	19	1140	15,389	0,836	0,0230	0,000105	0,0019	0,0183	-1,39
	20	1200	16,225	0,836	0,0218	0,000105	0,0020	0,0204	-1,32
	21	1260	17,061	0,836	0,0208	0,000104	0,0021	0,0225	-1,25
	22	1320	17,897	0,836	0,0198	0,000104	0,0022	0,0247	-1,17
	23	1380	18,733	0,836	0,0190	0,000104	0,0023	0,0271	-1,10
	24	1440	19,569	0,836	0,0182	0,000104	0,0024	0,0295	-1,03
5	25	1500	20,405	0,836	0,0174	0,000103	0,0025	0,0321	-0,95
	26	1560	21,241	0,836	0,0168	0,000103	0,0026	0,0347	-0,88
	27	1620	22,077	0,836	0,0161	0,000103	0,0028	0,0375	-0,81
	28	1680	22,913	0,836	0,0156	0,000103	0,0029	0,0403	-0,73
	29	1740	23,749	0,836	0,0150	0,000102	0,0030	0,0433	-0,66
	30	1800	24,585	0,836	0,0145	0,000102	0,0031	0,0463	-0,59

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
6	31	1860	25,421	0,836	0,0141	0,000102	0,0032	0,0495	-0,51
	32	1920	26,257	0,836	0,0136	0,000102	0,0033	0,0527	-0,44
	33	1980	27,093	0,836	0,0132	0,000101	0,0034	0,0561	-0,37
	34	2040	27,929	0,836	0,0128	0,000101	0,0035	0,0596	-0,30
	35	2100	28,765	0,836	0,0124	0,000101	0,0036	0,0631	-0,22
	36	2160	29,601	0,836	0,0121	0,000101	0,0037	0,0668	-0,15
7	37	2220	30,437	0,836	0,0118	0,000100	0,0038	0,0706	-0,08
	38	2280	31,273	0,836	0,0115	0,000100	0,0039	0,0744	-0,01
	39	2340	32,109	0,836	0,0112	0,000100	0,0040	0,0784	0,07
	40	2400	32,945	0,836	0,0109	0,000100	0,0041	0,0825	0,14
	41	2460	33,781	0,836	0,0106	0,000099	0,0042	0,0866	0,21
	42	2520	34,617	0,836	0,0104	0,000099	0,0043	0,0909	0,28
8	43	2580	35,453	0,836	0,0101	0,000099	0,0044	0,0953	0,35
	44	2640	36,289	0,836	0,0099	0,000098	0,0045	0,0997	0,42
	45	2700	37,125	0,836	0,0097	0,000098	0,0046	0,1043	0,50
	46	2760	37,961	0,836	0,0095	0,000098	0,0047	0,1089	0,57
	47	2820	38,797	0,836	0,0093	0,000098	0,0048	0,1137	0,64
	48	2880	39,633	0,836	0,0091	0,000097	0,0049	0,1185	0,71
9	49	2940	40,469	0,836	0,0089	0,000097	0,0049	0,1235	0,78
	50	3000	41,305	0,836	0,0087	0,000097	0,0050	0,1285	0,85
	51	3060	42,141	0,836	0,0085	0,000096	0,0051	0,1337	0,92
	52	3120	42,977	0,836	0,0084	0,000096	0,0052	0,1389	0,99
	53	3180	43,813	0,836	0,0082	0,000096	0,0053	0,1443	1,06
	54	3240	44,649	0,836	0,0081	0,000095	0,0054	0,1497	1,13
10	55	3300	45,485	0,836	0,0079	0,000095	0,0055	0,1552	1,20
	56	3360	46,321	0,836	0,0078	0,000095	0,0056	0,1608	1,28
	57	3420	47,157	0,836	0,0076	0,000095	0,0057	0,1665	1,35
	58	3480	47,993	0,836	0,0075	0,000094	0,0058	0,1724	1,42
	59	3540	48,829	0,836	0,0074	0,000094	0,0059	0,1783	1,49
	60	3600	49,665	0,836	0,0072	0,000094	0,0060	0,1843	1,56

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
11	61	3660	50,501	0,836	0,0071	0,000093	0,0061	0,1903	1,63
	62	3720	51,337	0,836	0,0070	0,000093	0,0062	0,1965	1,70
	63	3780	52,173	0,836	0,0069	0,000093	0,0063	0,2028	1,77
	64	3840	53,009	0,836	0,0068	0,000092	0,0064	0,2092	1,83
	65	3900	53,845	0,836	0,0067	0,000092	0,0065	0,2156	1,90
	66	3960	54,681	0,836	0,0066	0,000092	0,0066	0,2222	1,97
12	67	4020	55,517	0,836	0,0065	0,000091	0,0066	0,2288	2,04
	68	4080	56,353	0,836	0,0064	0,000091	0,0067	0,2356	2,11
	69	4140	57,189	0,836	0,0063	0,000091	0,0068	0,2424	2,18
	70	4200	58,025	0,836	0,0062	0,000090	0,0069	0,2493	2,25
	71	4260	58,861	0,836	0,0061	0,000090	0,0070	0,2563	2,32
	72	4320	59,697	0,836	0,0060	0,000090	0,0071	0,2634	2,39
13	73	4380	60,533	0,836	0,0060	0,000089	0,0072	0,2706	2,46
	74	4440	61,369	0,836	0,0059	0,000089	0,0073	0,2778	2,53
	75	4500	62,205	0,836	0,0058	0,000088	0,0074	0,2852	2,59
	76	4560	63,041	0,836	0,0057	0,000088	0,0074	0,2926	2,66
	77	4620	63,877	0,836	0,0056	0,000088	0,0075	0,3002	2,73
	78	4680	64,713	0,836	0,0056	0,000087	0,0076	0,3078	2,80
14	79	4740	65,549	0,836	0,0055	0,000087	0,0077	0,3155	2,87
	80	4800	66,385	0,836	0,0054	0,000087	0,0078	0,3233	2,94
	81	4860	67,221	0,836	0,0054	0,000086	0,0079	0,3312	3,00
	82	4920	68,057	0,836	0,0053	0,000086	0,0080	0,3392	3,07
	83	4980	68,893	0,836	0,0052	0,000085	0,0081	0,3472	3,14
	84	5040	69,729	0,836	0,0052	0,000085	0,0081	0,3554	3,21
15	85	5100	70,565	0,836	0,0051	0,000085	0,0082	0,3636	3,28
	86	5160	71,401	0,836	0,0051	0,000084	0,0083	0,3719	3,34
	87	5220	72,237	0,836	0,0050	0,000084	0,0084	0,3803	3,41
	88	5280	73,073	0,836	0,0049	0,000083	0,0085	0,3887	3,48
	89	5340	73,909	0,836	0,0049	0,000083	0,0086	0,3973	3,55
	90	5400	74,745	0,836	0,0048	0,000083	0,0086	0,4059	3,61
16	91	5460	75,581	0,836	0,0048	0,000082	0,0087	0,4147	3,68
	92	5520	76,417	0,836	0,0047	0,000082	0,0088	0,4235	3,75
	93	5580	77,253	0,836	0,0047	0,000081	0,0089	0,4324	3,82
	94	5640	78,089	0,836	0,0046	0,000081	0,0090	0,4413	3,88
	95	5700	78,925	0,836	0,0046	0,000080	0,0090	0,4504	3,95
	96	5760	79,761	0,836	0,0045	0,000080	0,0091	0,4595	4,02

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
17	97	5820	80,597	0,836	0,0045	0,000080	0,0092	0,4687	4,08
	98	5880	81,433	0,836	0,0044	0,000079	0,0093	0,4780	4,15
	99	5940	82,269	0,836	0,0044	0,000079	0,0094	0,4874	4,22
	100	6000	83,105	0,836	0,0043	0,000078	0,0094	0,4968	4,28
	101	6060	83,941	0,836	0,0043	0,000078	0,0095	0,5063	4,35
	102	6120	84,777	0,836	0,0043	0,000077	0,0096	0,5159	4,42
18	103	6180	85,613	0,836	0,0042	0,000077	0,0097	0,5256	4,48
	104	6240	86,449	0,836	0,0042	0,000076	0,0098	0,5353	4,55
	105	6300	87,285	0,836	0,0041	0,000076	0,0098	0,5452	4,61
	106	6360	88,121	0,836	0,0041	0,000075	0,0099	0,5551	4,68
	107	6420	88,957	0,836	0,0041	0,000075	0,0100	0,5650	4,75
	108	6480	89,793	0,836	0,0040	0,000074	0,0101	0,5751	4,81
19	109	6540	90,629	0,836	0,0040	0,000074	0,0101	0,5852	4,88
	110	6600	91,465	0,836	0,0040	0,000073	0,0102	0,5954	4,94
	111	6660	92,301	0,836	0,0039	0,000073	0,0103	0,6057	5,01
	112	6720	93,137	0,836	0,0039	0,000072	0,0103	0,6160	5,08
	113	6780	93,973	0,836	0,0038	0,000072	0,0104	0,6264	5,14
	114	6840	94,809	0,836	0,0038	0,000071	0,0105	0,6369	5,21
20	115	6900	95,645	0,836	0,0038	0,000071	0,0106	0,6475	5,27
	116	6960	96,481	0,836	0,0037	0,000070	0,0106	0,6581	5,34
	117	7020	97,317	0,836	0,0037	0,000070	0,0107	0,6688	5,40
	118	7080	98,153	0,836	0,0037	0,000069	0,0108	0,6796	5,47
	119	7140	98,989	0,836	0,0037	0,000069	0,0108	0,6904	5,53
	120	7200	99,825	0,836	0,0036	0,000068	0,0109	0,7013	5,60
21	121	7260	100,661	0,836	0,0036	0,000068	0,0110	0,7123	5,66
	122	7320	101,497	0,836	0,0036	0,000067	0,0110	0,7233	5,73
	123	7380	102,333	0,836	0,0035	0,000067	0,0111	0,7344	5,79
	124	7440	103,169	0,836	0,0035	0,000066	0,0112	0,7456	5,86
	125	7500	104,005	0,836	0,0035	0,000066	0,0112	0,7569	5,92
	126	7560	104,841	0,836	0,0034	0,000065	0,0113	0,7682	5,99
22	127	7620	105,677	0,836	0,0034	0,000064	0,0114	0,7795	6,05
	128	7680	106,513	0,836	0,0034	0,000064	0,0114	0,7910	6,12
	129	7740	107,349	0,836	0,0034	0,000063	0,0115	0,8025	6,18
	130	7800	108,185	0,836	0,0033	0,000063	0,0116	0,8140	6,25
	131	7860	109,021	0,836	0,0033	0,000062	0,0116	0,8256	6,31
	132	7920	109,857	0,836	0,0033	0,000062	0,0117	0,8373	6,37

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
23	133	7980	110,693	0,836	0,0033	0,000061	0,0117	0,8491	6,44
	134	8040	111,529	0,836	0,0032	0,000060	0,0118	0,8609	6,50
	135	8100	112,365	0,836	0,0032	0,000060	0,0119	0,8727	6,57
	136	8160	113,201	0,836	0,0032	0,000059	0,0119	0,8847	6,63
	137	8220	114,037	0,836	0,0032	0,000059	0,0120	0,8966	6,70
	138	8280	114,873	0,836	0,0031	0,000058	0,0120	0,9087	6,76
24	139	8340	115,709	0,836	0,0031	0,000057	0,0121	0,9208	6,82
	140	8400	116,545	0,836	0,0031	0,000057	0,0122	0,9329	6,89
	141	8460	117,381	0,836	0,0031	0,000056	0,0122	0,9451	6,95
	142	8520	118,217	0,836	0,0031	0,000055	0,0123	0,9574	7,01
	143	8580	119,053	0,836	0,0030	0,000055	0,0123	0,9697	7,08
	144	8640	119,889	0,836	0,0030	0,000054	0,0124	0,9821	7,14
25	145	8700	120,725	0,836	0,0030	0,000053	0,0124	0,9945	7,21
	146	8760	121,561	0,836	0,0030	0,000053	0,0125	1,0070	7,27
	147	8820	122,397	0,836	0,0030	0,000052	0,0125	1,0195	7,33
	148	8880	123,233	0,836	0,0029	0,000051	0,0126	1,0321	7,40
	149	8940	124,069	0,836	0,0029	0,000051	0,0126	1,0447	7,46
	150	9000	124,905	0,836	0,0029	0,000050	0,0127	1,0574	7,52
26	151	9060	125,741	0,836	0,0029	0,000049	0,0127	1,0702	7,59
	152	9120	126,577	0,836	0,0029	0,000049	0,0128	1,0829	7,65
	153	9180	127,413	0,836	0,0028	0,000048	0,0128	1,0958	7,71
	154	9240	128,249	0,836	0,0028	0,000047	0,0129	1,1086	7,78
	155	9300	129,085	0,836	0,0028	0,000047	0,0129	1,1216	7,84
	156	9360	129,921	0,836	0,0028	0,000046	0,0130	1,1345	7,90
27	157	9420	130,757	0,836	0,0028	0,000045	0,0130	1,1476	7,96
	158	9480	131,593	0,836	0,0028	0,000044	0,0131	1,1606	8,03
	159	9540	132,429	0,836	0,0027	0,000044	0,0131	1,1737	8,09
	160	9600	133,265	0,836	0,0027	0,000043	0,0131	1,1869	8,15
	161	9660	134,101	0,836	0,0027	0,000042	0,0132	1,2000	8,22
	162	9720	134,937	0,836	0,0027	0,000041	0,0132	1,2133	8,28
28	163	9780	135,773	0,836	0,0027	0,000041	0,0133	1,2265	8,34
	164	9840	136,609	0,836	0,0026	0,000040	0,0133	1,2399	8,40
	165	9900	137,445	0,836	0,0026	0,000039	0,0133	1,2532	8,47
	166	9960	138,281	0,836	0,0026	0,000038	0,0134	1,2666	8,53
	167	10020	139,117	0,836	0,0026	0,000037	0,0134	1,2800	8,59
	168	10080	139,953	0,836	0,0026	0,000037	0,0135	1,2935	8,65

GIBSON E LO, calcolo dei cedimenti all'aggiunta di strati per raggiungere l'altezza massima

CEDIMENTI NEL PRIMO STRATO DEPOSTO								CEDIMENTI DI TUTTI GLI STRATI	
Strati (anni)	Substrati	Tempo (giorni)	σ' (kN/m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	log 1	ΔH (m)	ΔH cumulato (m)	ΔH TOTALE (m)	H dal p.c. (m)
29	169	10140	140,789	0,836	0,0026	0,000036	0,0135	1,3070	8,72
	170	10200	141,625	0,836	0,0026	0,000035	0,0135	1,3205	8,78
	171	10260	142,461	0,836	0,0025	0,000034	0,0136	1,3341	8,84
	172	10320	143,297	0,836	0,0025	0,000033	0,0136	1,3477	8,90
	173	10380	144,133	0,836	0,0025	0,000033	0,0136	1,3613	8,97
	174	10440	144,969	0,836	0,0025	0,000032	0,0137	1,3750	9,03
30	175	10500	145,805	0,836	0,0025	0,000031	0,0137	1,3886	9,09
	176	10560	146,641	0,836	0,0025	0,000030	0,0137	1,4024	9,15
	177	10620	147,477	0,836	0,0025	0,000029	0,0138	1,4161	9,22
	178	10680	148,313	0,836	0,0024	0,000028	0,0138	1,4299	9,28
	179	10740	149,149	0,836	0,0024	0,000027	0,0138	1,4437	9,34
	180	10800	149,985	0,836	0,0024	0,000027	0,0138	1,4576	9,40
31	181	10860	150,821	0,836	0,0024	0,000026	0,0139	1,4714	9,46
	182	10920	151,657	0,836	0,0024	0,000025	0,0139	1,4853	9,53
	183	10980	152,493	0,836	0,0024	0,000024	0,0139	1,4992	9,59
	184	11040	153,329	0,836	0,0024	0,000023	0,0139	1,5131	9,65
	185	11100	154,165	0,836	0,0023	0,000022	0,0140	1,5271	9,71
	186	11160	155,001	0,836	0,0023	0,000021	0,0140	1,5411	9,77
32	187	11220	155,837	0,836	0,0023	0,000020	0,0140	1,5551	9,84
	188	11280	156,673	0,836	0,0023	0,000019	0,0140	1,5691	9,90
	189	11340	157,509	0,836	0,0023	0,000018	0,0140	1,5831	9,96
	190	11400	158,345	0,836	0,0023	0,000017	0,0141	1,5972	10,02
	191	11460	159,181	0,836	0,0023	0,000016	0,0141	1,6112	10,08
	192	11520	160,017	0,836	0,0023	0,000015	0,0141	1,6253	10,15
33	193	11580	160,853	0,836	0,0023	0,000014	0,0141	1,6394	10,21
	194	11640	161,689	0,836	0,0022	0,000013	0,0141	1,6535	10,27
	195	11700	162,525	0,836	0,0022	0,000012	0,0141	1,6676	10,33
	196	11760	163,361	0,836	0,0022	0,000011	0,0141	1,6818	10,39
	197	11820	164,197	0,836	0,0022	0,000010	0,0141	1,6959	10,46
	198	11880	165,033	0,836	0,0022	0,000009	0,0142	1,7101	10,52
34	199	11940	165,869	0,836	0,0022	0,000008	0,0142	1,7242	10,58
	200	12000	167,009	1,140	0,0030	0,000010	0,0142	1,7384	10,64
	201	12060	168,301	1,292	0,0033	0,000009	0,0142	1,7526	10,70
	202	12120	169,593	1,292	0,0033	0,000008	0,0142	1,7668	10,77

LEGENDA PER IL MODELLO DI GIBSON E LO

Strati: anni di costruzione della discarica

Substrati: livelli in cui è stata suddivisa la discarica.

Tempo: giorni di costruzione della discarica

σ'_0 (kN/m²) = tensione verticale efficace agente a metà strato

$$= (\text{spessore iniziale di un substrato} \times \gamma_{RSU}) / 2$$

σ' (kN/m²) = $\sigma'_{(t-1)} + \Delta\sigma'$

$\Delta\sigma'$ (kN/m²) = incremento di tensione verticale efficace dovuto alla posa dei successivi strati

$$= \gamma_{RSU} \times \text{spessore iniziale di un substrato}$$

$\log 1 = \log [(\sigma' + \Delta\sigma') / \sigma']$

ΔH (m) = spessore iniziale di un substrato $\times \Delta\sigma' \times [a + b (1 - e^{-(\lambda/b)t})]$

ΔH cumulato (m) = $\Delta H + \Delta H$ cumulato _(t-1)

ΔH TOTALE (m) = ΔH cumulato + ΔH TOTALE _(t-1)

H da p.c = altezza della discarica riferita al piano campagna

$$= (\text{altezza iniziale di un substrato} \times \text{Substrati}) - (\Delta H \text{ TOTALE} +$$

+ quota di fondazione della discarica + cedimenti del terreno di

fondazione