

COMUNE DI BENEVENTO



SETTORE LAVORI PUBBLICI



P.R.U.S.S.T. CALIDONE

P.R.U.S.S.T. Calidone



REGIONE CAMPANIA

P.O.R. Campania FESR 2007-2013 - Obiettivo Operativo 1.2 : "Migliorare la salubrità dell'ambiente"



UNIONE EUROPEA

MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE E RIPRISTINO AMBIENTALE DELLA DISMESSA DISCARICA DI RR.SS.UU. IN LOCALITA' PONTE VALENTINO - Zona Industriale ASI - BENEVENTO -

PROGETTO ESECUTIVO (II LOTTO)

Progettazione : Ing. Roberto La Peccerella	UBICAZIONE DELL'INTERVENTO	
	Località Ponte Valentino	
	DESCRIZIONE TAVOLA	
	Relazione Geologico Tecnica	
Geologia e consulenza specialistica : Dott. geol. Massimo Romito		Tav. n° R.04
		Scala:
		Data:
Collaboratori: geom. Renato Palummo geom. Carmelo Savignano		

R.U.P. : Ing. Giuseppe Soreca

Dir. LL.PP. : Arch. Isidoro Fucci

Ass. LL.PP. : Avv. Cosimo Lepore

Sindaco: Ing. Fausto Pepe

Note:

Attività di assistenza tecnica, prestata dal PRUSST Calidone in attuazione dell'Accordo Quadro del 31.05.2002, pubblicato sul BURC n. 33 del 15.07.2002.

Aggiornamento degli elaborati tecnici in seguito all'incarico di affidamento, con convenzione, del 16.11.2006 Rep.13324/2007 del documento di attuazione del 22.12.2006 e della lettera del Dirigente di Settore 24/07/2013 prot. 62988. Identificativo PRUSST: 70

Documento a cura del PRUSST Calidone - Ufficio Comprensoriale di Progettazione:

Ing. Adamo Ventura, ing. Patrizia Baldassarre, geom. Gino D'Argenio, geom. Vincenzo Cimino, geom. Gianpaolo Biele.



Città di Benevento

Settore Lavori Pubblici

INDICE

1. Premessa	<i>pag. 2</i>
2. Caratteristiche della Discarica	<i>pag. 4</i>
3. Caratteristiche Meteorologiche	<i>pag. 6</i>
4. Caratteristiche di Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica	<i>pag. 15</i>
5. Caratteristiche Geologiche e Strutturali	<i>pag. 17</i>
5.1 Principali Caratteri Strutturali	<i>pag. 19</i>
6. Indagini in sito	<i>pag. 22</i>
7. Caratteristiche Litostratigrafiche	<i>pag. 25</i>
8. Caratteristiche Idrogeologiche	<i>pag. 28</i>
9. Caratteristiche Geotecniche dei Sedimenti	<i>pag. 30</i>
10. Caratteristiche di Pericolosità Sismica	<i>pag. 33</i>
11. Intervento di Messa in Sicurezza Permanente	<i>pag. 49</i>
11.1 Caratteristiche del sito di discarica	<i>pag. 49</i>
11.2 Protezione della falda idrica	<i>pag. 51</i>
11.3 Copertura ed impermeabilizzazione del corpo rifiuti	<i>pag. 54</i>
11.4 Captazione del biogas	<i>pag. 57</i>
11.5 Monitoraggio e ripristino ambientale	<i>pag. 59</i>
12. Considerazioni conclusive	<i>pag. 61</i>



1 - Premessa

La presente relazione geologico tecnica è finalizzata al progetto esecutivo per la *“Messa in Sicurezza Permanente e Ripristino Ambientale della Dismessa Discarica di RR.SS.UU. sita in Loc. Ponte Valentino”* del Comune di Benevento, II° Lotto Completamento.

A tal uopo, e sulla scorta dei dati già elaborati per la redazione del *“Piano della Caratterizzazione”* ai sensi del Decreto Ministero Ambiente n° 471/1999, si procedeva ad un preventivo studio bibliografico ed alla consultazione degli elaborati geologici allegati ai *Piani Particolareggiati* del Comune di Benevento, nel cui ambito ricadono le opere in progetto, ed alla successiva esecuzione di un accurato rilevamento geologico di superficie, esteso ad una più ampia zona circostante, durante il quale venivano acquisiti dati inerenti la geologia, l'idrogeologia, e le caratteristiche morfologiche in relazione alla stabilità del sito, integrato e correlato con le risultanze di numerosi studi geognostici e geotecnici eseguiti in zona.

In particolare, a supporto del presente studio, vengono prese in considerazione le risultanze di una campagna di indagini geognostiche, geotecniche ed idrogeologiche - costituita da n° 6 sondaggi attrezzati con piezometri a tubo aperto e da una serie di analisi e determinazioni di laboratorio eseguite su campioni di terreno allo stato indisturbato - eseguite a cura del *Prefetto di Napoli* delegato ex O.P.C.M. 07.10.1994 nei mesi di novembre e dicembre dell'anno 1994 nelle zone immediatamente contermini la discarica al fine di tenere sotto stretto controllo l'evoluzione dei fenomeni di inquinamento ambientale, con particolare riguardo alla falda idrica.

Vengono, inoltre, presi in considerazione gli esiti di una campagna di indagini in sito esperite nell'anno 2006 a cura della Ditta affidataria dei lavori di esecuzione del

I° Lotto Funzionale dell'intervento di *Messa in Sicurezza Permanente e Ripristino Ambientale* della discarica in oggetto, costituita da n° 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla massima profondità di 25 m dal piano di campagna e n° 13 kit di analisi e determinazioni di laboratorio eseguite su campioni di terreno prelevati allo stato indisturbato.

Sulla scorta di quanto innanzi, e segnatamente in relazione alle caratteristiche litotecniche dei sedimenti affioranti, lo scrivente ha stimato i dati a disposizione ampiamente sufficienti alla caratterizzazione geologico stratigrafica geotecnica ed idrogeologica dell'area interessata, non ritenendo, pertanto, di dover procedere all'esecuzione di ulteriori indagini puntuali.

La presente relazione, quindi, si basa su di un dettagliato rilevamento geologico di superficie eseguito sull'area direttamente interessata dalle opere e zone limitrofe, integrato con studi bibliografici a carattere regionale e locale; si basa, inoltre, sui dati sperimentali emersi a seguito dell'esecuzione di specifiche perforazioni meccaniche.

Tali dati hanno permesso di delineare con accuratezza i caratteri geologici, stratigrafici, morfologici, idrogeologici, sismici e geotecnici dell'area in studio.

2 - Caratteristiche della Discarica

La dismessa discarica di RR.SS.UU. della Città di Benevento è inserita nel *Piano Regionale di Bonifica* della Regione Campania (BURC numero speciale del 09.09.2005) e censita nell'anagrafe dei Siti Inquinati con codice 2008C003 ed *Indice di Rischio* pari a 53,55.

Tale discarica è ubicata nell'area golenale del Fiume Calore, a distanza di poche decine di metri dall'attuale alveo fluviale, ed è compresa nella perimetrazione del *Nucleo Industriale A.S.I. di Ponte Valentino*.

La discarica oggetto dell'intervento è del tipo "a cumulo", con altezza massima dal piano di campagna pari a circa 16.00 m (si confronti la documentazione fotografica allegata) ed ha una conformazione di tipo tronco-conica, con asse maggiore disposto in direzione SSE-NNW; essa non è dotata di alcun sistema di controllo e protezione dall'inquinamento nei confronti del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e profonde, dell'aria.

Le attività di conferimento dei rifiuti solidi urbani nell'area in oggetto hanno avuto inizio del corso dell'anno 1977, a cura della Ditta "S.P.A.L. S.r.l. - Langione Carla", incaricata per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti urbani prodotti dalla città di Benevento nel periodo 01.04.1969 / 31 marzo 1978; successivamente a tale Ditta è subentrata, nello stesso anno 1978, l'*Azienda Municipalizzata Igiene Urbana* di Benevento (A.M.I.U.), che ha continuato le attività di conferimento ed abbancamento dei rifiuti fino al mese di febbraio dell'anno 1996, allorquando il sito di smaltimento è stato definitivamente dismesso a favore della nuova discarica comprensoriale ubicata in Loc. "Piano Borea".

La coltivazione del sito di discarica venne avviata senza alcun tipo di progettazione né piano di gestione: le attività di conferimento dei rifiuti avvenivano per settori, mediate escavazione di vasche contigue aventi profondità media pari a circa 4.00 m, le quali, nel tempo, saturarono tutta l'area disponibile fino alla originaria quota di piano campagna; successivamente le attività di abbancamento dei rifiuti avvennero in elevazione, interessando di volta in volta zone diverse del sito in funzione delle relative caratteristiche morfologiche e dell'operatività dei mezzi meccanici.

Da segnalare, inoltre, che, nel corso degli anni 1989/1990, a seguito del completamento delle opere di infrastrutturazione primaria a servizio dell'agglomerato A.S.I. - nella cui perimetrazione ricade il sito di discarica - ed in particolare della viabilità primaria, si è provveduto a realizzare una strada che taglia l'originario cumulo di rifiuti in due distinti tronchi (si confrontino le planimetrie allegate).

A seguito di tale intervento, quindi, la particella catastale n° 300, riportata al foglio di mappa n° 33, interamente interessata dalla discarica per complessivi 42.000 mq circa, è stata frazionata nelle particelle catastali nn° 899, 900 (viabilità), 901 e 902.

Successivamente venne occupata anche la particella n° 898, adiacente all'originario sito di discarica, la quale venne anch'essa interessata da abbancamento di rifiuti nell'anno 1994.

La superficie complessivamente occupata dai rifiuti abbancati è, pertanto, pari a circa 46.000 mq; va, tuttavia, considerato che, nel tempo, i rifiuti abbancati sulle scarpate del cumulo, in virtù di naturali fenomeni di assestamento e della totale assenza di qualsiasi forma di contenimento, tendono a traslare verso il piede della scarpata stessa, occupando parte dei terreni limitrofi.

Nel corso degli anni 2008 e 2009, inoltre, il primo tronco della discarica ed il tratto attualmente occupato dalla viabilità del Consorzio ASI sono stati oggetto di intervento di Messa in Sicurezza Permanente e Ripristino Ambientale; detto intervento ha interessato una superficie complessiva pari a circa 30.000 mq.

3 – Caratteristiche Meteoclimatiche

Nel presente paragrafo verranno sommariamente analizzati i dati meteoclimatici relativi all'ambito interessato dalle opere in progetto sulla scorta di uno studio climatologico completato nell'anno 2000.

L'area beneventana è inserita in settore orograficamente costituito da rilievi collinari con quote variabili, in media, nell'intorno dei 600 ÷ 700 m s.l.m., solcati da una serie di valli alluvionali tra le quali spiccano quelle dei due principali corsi d'acqua, il *Fiume Sabato* ed il *Fiume Calore*, il cui talweg si ritrova – in ambito comunale - a quote - decrescenti da sud est verso nord – variabili tra 130.00 m s.l.m. e 90.00 m s.l.m. circa.

Le aree collinari sono circondate da rilievi costituiti dai massicci carbonatici del *Taburno - Camposauro* e del *Matese* verso ovest e nord ovest, nonché dal gruppo dell'*Avella - Partenio* verso sud e sud ovest, con quote che superano i 1.000 m s.l.m.; tale schematica suddivisione di tipo orografico, pur risultando poco determinate ai fini dei meccanismi a grande scala che influiscono sulle condizioni meteorologiche, sicuramente determinano meccanismi di circolazione locale delle masse d'aria che influiscono sulla temperatura, nonché su tipologia, quantità e distribuzione delle precipitazioni.

Sulla scorta dei dati pluviometrici resi disponibili dall'*Ufficio Centrale di Ecologia Agraria del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali*, relativi ai rilevamenti eseguiti dalla rete del *CNMCA (Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica)* e del *CAR (Centro Agrometeorologico Regionale)* nel ventennio 1981 - 2000, utilizzati a supporto dello studio innanzi citato, e sintetizzati nella successiva *Tabella 1* e nel relativo *Grafico 1* si evidenzia per il meteo-distretto beneventano una piovosità media annua pari ad 846 mm per complessivi 109 giorni piovosi.

<i>Media delle precipitazioni mensili in mm nel periodo 1981 -2000</i>											
GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
82.0	62.0	68.0	72.0	80.0	52.0	46.0	60.0	66.0	78.0	88.0	92.0
						<i>Media annuale = 846.0 mm</i>					

Tabella 1 – Precipitazioni medie mensili periodo 1981 – 2000 (Fonte PRUSST Calidone)

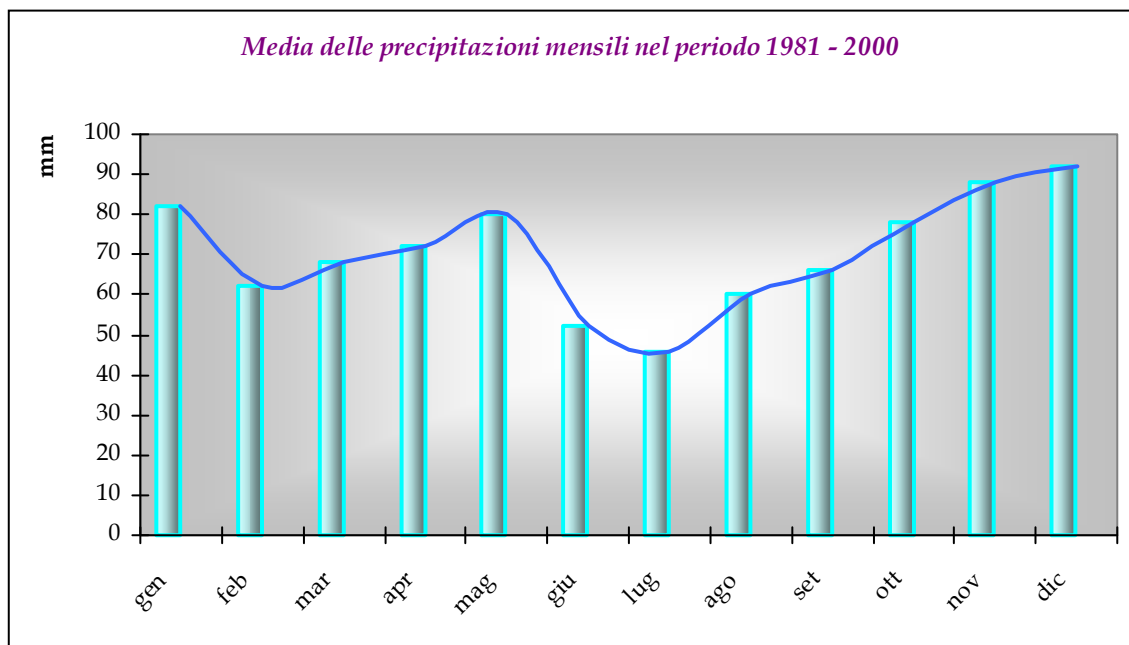


Grafico 1 (Fonte PRUSST Calidone)

Dai dati innanzi esposti si evince chiaramente che i periodi maggiormente piovosi sono concentrati nei mesi di novembre, dicembre e gennaio, con un totale di 262.0 mm di pioggia, pari al 31.0 % del totale annuo, mentre il trimestre siccitoso è concentrato nel periodo estivo, con soli 158.0 mm si pioggia, pari al 18.7 % delle precipitazioni totali; è anche interessante notare il picco di precipitazioni che si registra nei mesi di aprile e maggio.

Più interessante ancora è notare come, già nel corso del ventennio preso in esame, si registri una tendenza alla diminuzione della piovosità annua, tendenza che risulta ancora più evidente dai dati pluviometrici relativi al quinquennio 2001 - 2005 , rimessi nella successiva *Tabella 2* e relativo *Grafico 2*, nel quale viene anche calcolato il valore medio delle precipitazioni mensili relative al periodo.

<i>Precipitazioni mensili in mm nel periodo 2001 -2005</i>					
<i>Mese/Anno</i>	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Gennaio</i>	86.0	40.0	154.0	61.0	75.0
<i>Febbraio</i>	14.0	25.0	57.0	46.0	96.0
<i>Marzo</i>	21.0	19.0	23.0	69.0	107.0

<i>Precipitazioni mensili in mm nel periodo 2001 -2005</i>					
<i>Aprile</i>	46.0	9.0	46.0	97.0	42.0
<i>Maggio</i>	58.0	59.0	11.0	76.0	12.0
<i>Giugno</i>	29.0	24.0	23.0	64.0	22.0
<i>Luglio</i>	8.0	34.0	55.0	8.0	8.0
<i>Agosto</i>	16.0	48.0	4.0	16.0	36.0
<i>Settembre</i>	25.0	111.0	13.0	8.0	122.0
<i>Ottobre</i>	15.0	49.0	109.0	69.0	65.0
<i>Novembre</i>	93.0	36.0	44.0	111.0	150.0
<i>Dicembre</i>	81.0	73.0	86.0	182.0	133.0
TOTALE ANNO	492.0	527.0	625.0	807.0	868.0

Tabella 2 – Precipitazioni mensili periodo 2001 – 2005 (Fonte PRUSST Calidone)

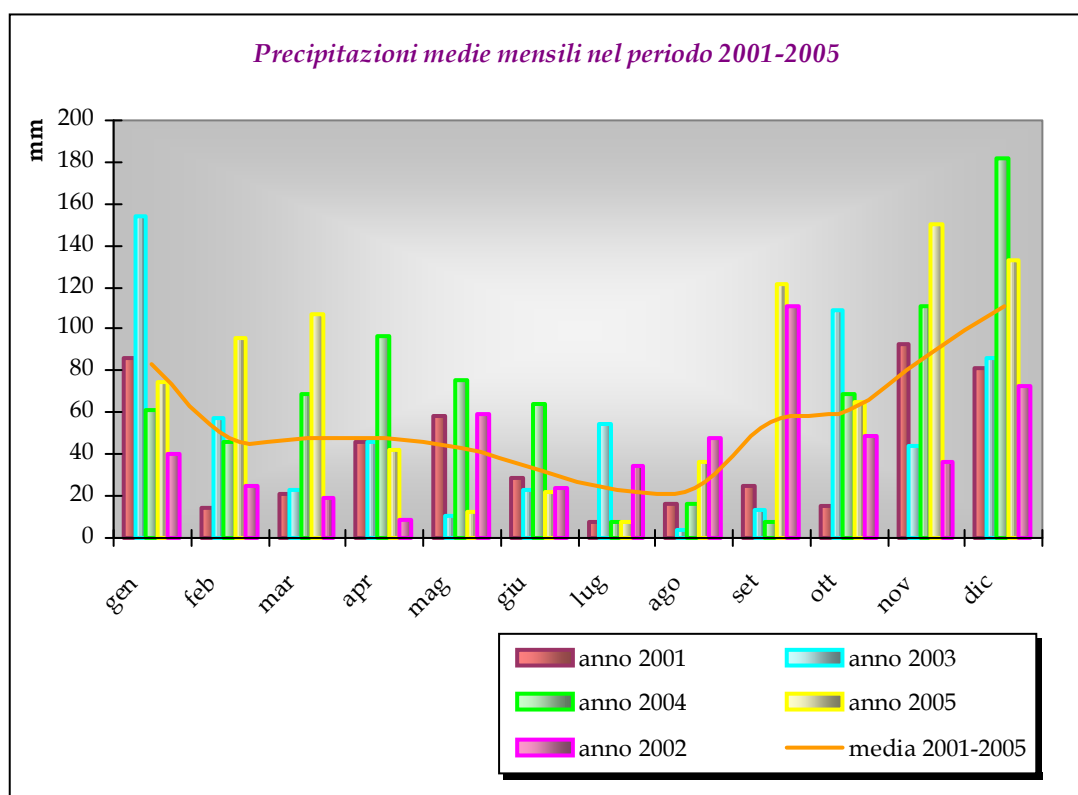


Grafico 2 (Fonte PRUSST Calidone)

I dati di cui innanzi evidenziano, in primo luogo, una complessiva e sostanziale diminuzione della piovosità media annua che, in base ai dati dell'ultimo quinquennio, si attesta su 664,0 mm, con una diminuzione complessiva rispetto al precedente ventennio pari al 23,0 %; anche il rapporto tra le giornate piovose annuali, pari a 109 per il periodo 1981 - 2000 e pari a 101 per il successivo quinquennio, conferma tale tendenza.

Analizzando ancora nel dettaglio i dati relativi agli ultimi anni, si evidenzia un periodo particolarmente siccitoso nell'anno 2001, con soli 492 mm di pioggia; negli anni successivi si osserva un graduale aumento della piovosità fino all'anno 2005, laddove si riscontrano valori medi coerenti con quelli relativi al ventennio 1981 - 2000.

Il successivo [Grafico 3](#) mette in relazione i valori medi di piovosità mensile relativi al ventennio 1981 - 2000 con quelli del quinquennio 2001 - 2005 e relative curve di tendenza; si evidenzia che il gap di valori risulta particolarmente ampio nei periodi primaverile ed estivo, meno accentuato nel periodo autunnale (riduzione pari al 14 % circa) e praticamente si annulla nel periodo invernale, laddove i valori tra i due periodi risultano praticamente analoghi, con addirittura un lieve incremento dei valori di piovosità afferenti l'ultimo periodo rispetto al precedente ventennio; si noti anche la scomparsa del picco di precipitazioni nei mesi di aprile e maggio.

Va ancora osservato che, il linea generale ed in particolare in alcuni periodi dell'anno, si registra una distribuzione della piovosità sostanzialmente diversa rispetto ai dati del precedente ventennio: se da un lato la media delle precipitazioni complessive annua risulta inferiore rispetto al ventennio precedente, nell'ultimo periodo di osserva - così come evidente nel [Grafico 2](#) - la presenza di episodi particolarmente intensi e concentrati in periodi ristretti, nell'ambito dei quali si rilevano aumenti, anche consistenti, rispetto alla media.

Con riferimento alla [Tabella 2](#), i casi più evidenti riguardano i mesi di settembre 2002 (111.0 mm di pioggia con +68 % rispetto alla media), gennaio 2003 (154.0 mm con +88 %), ottobre 2003 (109.0 mm con +40 %), dicembre 2004 (182.0 mm con +98 %), marzo 2005 (107.0 mm con +57 %), settembre 2005 (122.0 mm con +85 %), novembre 2005 (150.0 mm con +70 %); tutto ciò in anni nei quali comunque la piovosità media è risultata sensibilmente e costantemente inferiore alla media.

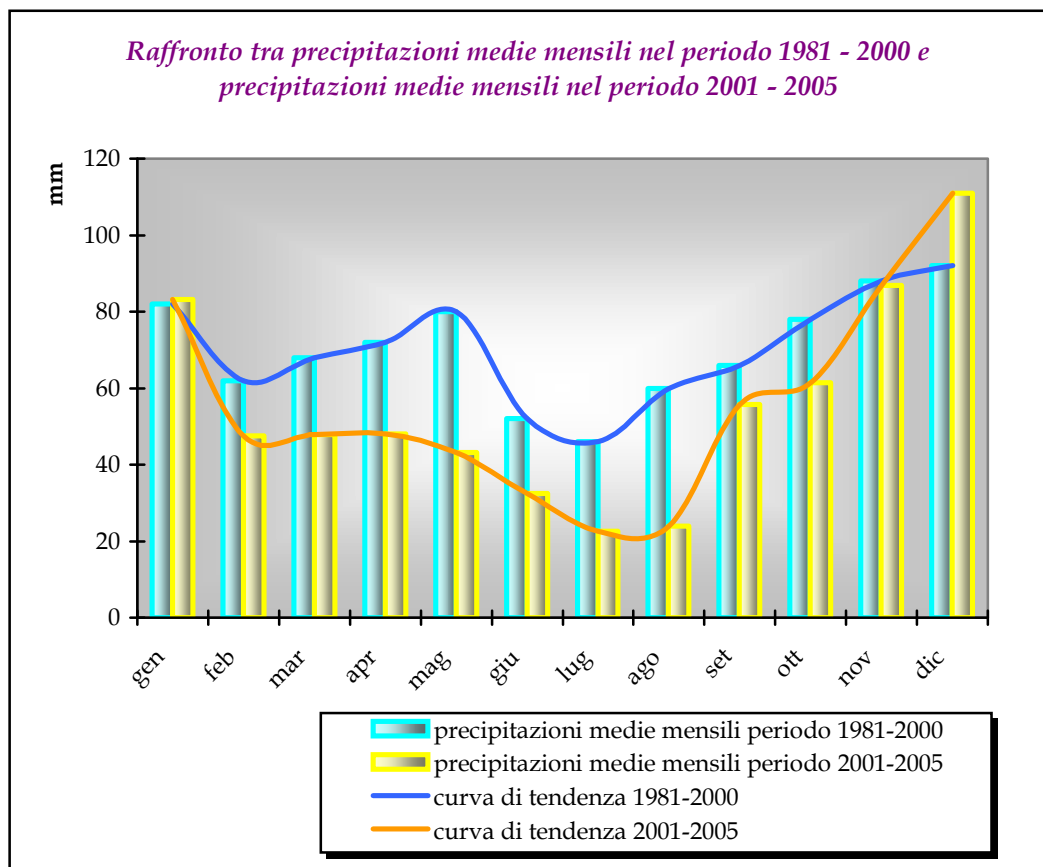


Grafico 3 (Fonte PRUSST Calidone)

Quanto innanzi trova ulteriore riscontro nei dati relativi alla giornate piovose con precipitazioni superiori ai 10 mm, pari in media a 10 ÷ 12 nel ventennio 1981 - 2000 ed a 20 negli ultimi anni.

In conclusione, quindi, premettendo che il breve periodo preso in considerazione e la distribuzione non sempre omogenea dei punti di misura sul territorio non consente di trarre conclusioni certe ed attendibili, si può affermare che anche per il territorio sannita, così come in tutto il bacino del Mediterraneo, si osserva una consistente diminuzione nella distribuzione delle precipitazioni, le quali probabilmente assumono anche caratteristiche di ciclicità; tale circostanza è da mettere probabilmente in relazione con un maggior stazionamento sull'area mediterranea dell'Anticiclone Subtropicale Africano e con le mutate modalità di spostamento dell'Anticiclone delle Azzorre.

Oltre a quanto innanzi, infine, in base ai dati disponibili, si osserva una sorta di "tropicalizzazione" del clima, con suddivisione dell'anno meteorologico di due parti,

una particolarmente secca (primavera ed estate) ed una particolarmente umida (autunno ed inverno): nell'ultimo quinquennio, infatti, le precipitazioni del primo semestre (218.0 mm) risultano sensibilmente inferiori, circa la metà, rispetto a quelle del secondo semestre (446.0 mm), circostanza quest'ultima più simile ad un clima di tipo "monsonico" che non mediterraneo, laddove l'andamento delle precipitazioni stagionali mostra modificazioni meno marcate (cfr. [Tabella 1](#)).

Anche lo stesso regime pluviometrico asseconda tale tendenza, in quanto si rileva una diminuzione nell'ampiezza dei periodi piovosi, che nell'ultimo periodo risultano contratti, a fronte di un aumento nell'intensità di pioggia: in definitiva diminuiscono le piogge lente e costanti, che interessano il territorio per più giorni successivi, a fronte di precipitazioni brevi ed a carattere di rovescio, spesso anche associate a manifestazioni atmosferiche particolarmente violente (forti colpi di vento, depressioni improvvise con repentini cali di temperatura, etc...).

L'impressione che ci si avvia verso la tropicalizzazione del bacino mediterraneo, è anche confermato dall'andamento medio delle temperature, le quali evidenziano una costante tendenza al rialzo, in particolare negli ultimi anni.

Con riferimento ai dati disponibili per l'area beneventana, estratti, anche in tal caso, dallo studio recentemente eseguito a cura del *P.R.U.S.S.T. Calidone*, si rileva che dati relativi al profilo termico nel ventennio 1981 - 2000 evidenziavano un aumento complessivo della temperatura rispetto al precedente ventennio valutato in circa $0,6 \div 0,7$ °C per l'intero periodo; nell'ultimo quinquennio, di contro, si registra un aumento di temperatura media valutabile in circa 1,2 °C.

A tal uopo nella successiva [Tabella 3](#) vengono sintetizzati i valori mensili di temperatura minimi, massimi e medi rilevati sia nel ventennio 1981 - 2000 che nel quinquennio 2001 - 2005.

La citata [Tabella 3](#) riporta, inoltre, le differenze di temperatura mensile tra le medie del ventennio 1981 - 2000 e le medie del quinquennio 2001 - 2005, riportate anche nel successivo [Grafico 4](#), nonché le temperature minima, massima e media annua calcolata sui due citati periodi.

Temperature mensili minime, massime e medie nel ventennio 1981 - 2000 e nel quinquennio 2001 - 2005 in °C														
Periodo		Mese	G e n	F e b	M a r	A p r	M a g	G i u	L u g	A g o	S e t	O t t	N o v	D i c
1981 - 2000	Min		2.3	2.8	4.1	8.2	11.5	15.7	18.8	18.4	15.6	11.2	6.5	3.2
	Max		9.8	11.3	13.7	18.0	22.2	26.7	29.7	28.8	26.4	21.0	15.1	11.0
	Med		6.1	7.1	8.9	13.1	16.9	21.2	24.2	23.6	21.0	16.1	10.8	7.1
2001 - 2005	Min		3.1	3.5	5.6	8.6	12.1	15.7	16.7	16.7	14.2	11.8	8.4	4.5
	Max		9.6	11.5	15.0	18.8	23.4	29.3	31.9	32.6	26.2	23.3	17.9	11.4
	Med		6.3	7.6	10.9	13.6	18.1	22.4	24.3	24.6	20.2	17.5	13.1	7.9
Differenza di temperatura mensile media tra ventennio 1981 - 2000 e quinquennio 2001 - 2005 in °C														
Δ positivo			0.2	0.5	2.0	0.5	1.2	1.2	0.1	1.0		1.4	2.3	0.8
Δ negativo											0.8			
Temperature annue nel ventennio 1981 - 2000														
Periodo 1981 - 2000					Temperatura minima annua						9.1			
					Temperatura massima annua						19.4			
					Temperatura media annua						14.3			
Temperature annue nel quinquennio 2001 - 2005 in °C														
Periodo 2001 - 2005					Temperatura minima annua						9.7			
					Temperatura massima annua						20.8			
					Temperatura media annua						15.3			

Tabella 3 – Temperature minime, massime e medie (Fonte PRUSST Calidone)

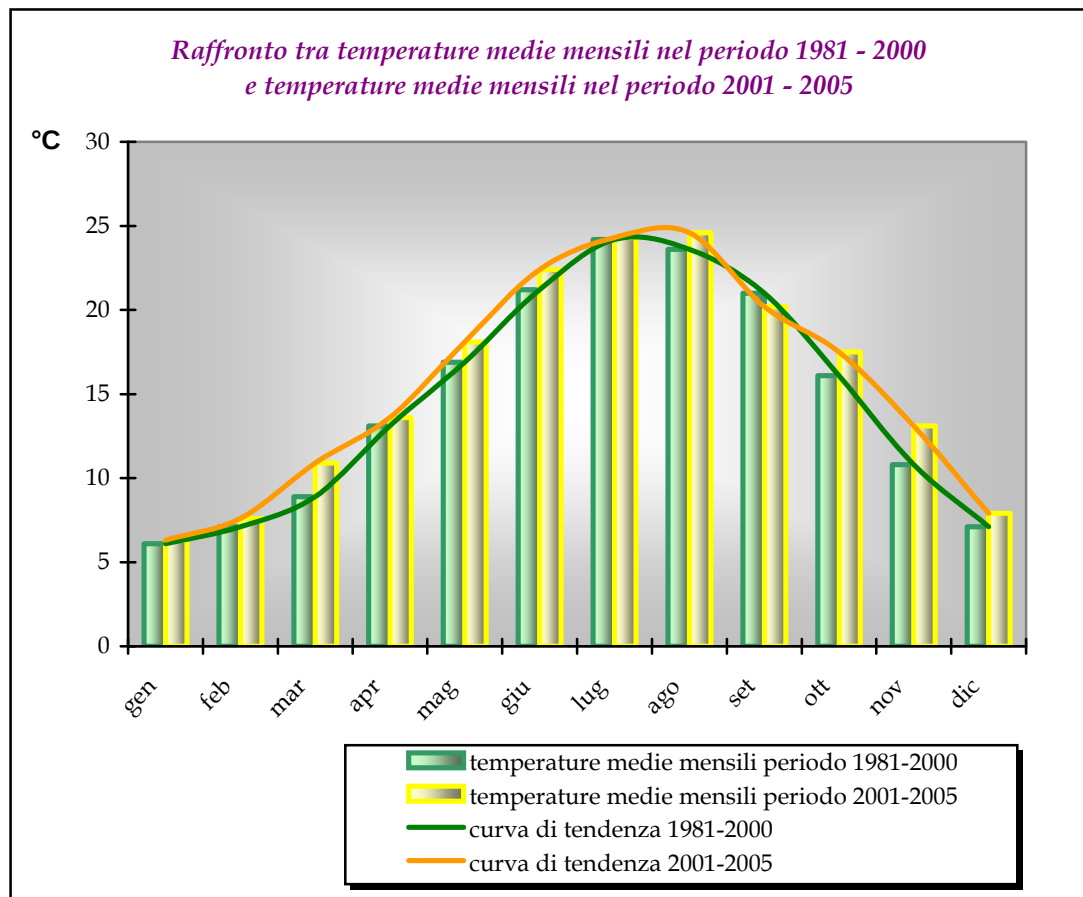


Grafico 4 (Fonte PRUSST Calidone)

Dai dati riportati si evidenzia una differenza (Δ) positiva per tutti i mesi dell'anno, più accentuata nei periodi primaverile (marzo + 2.0 °C, maggio e giugno + 1.2 °C) ed autunnale (ottobre + 1.4 °C, novembre + 2.3 °C), meno sensibile nei restanti periodi, ulteriore sintomo del già evidenziata modificazione climatica verso un anno atmosferico suddiviso grossolanamente in due sole stagioni principali, di cui una secca ed una umida; l'unica differenza negativa si registra per il mese di settembre, laddove nel quinquennio 2001 - 2005 le temperature medie registrate risultano inferiori alle medie del ventennio 1981 - 2000 per 0,8 °C.

Anche il raffronto tra le temperature medie registrate nei due periodi e rapportate all'anno evidenziano tale tendenza al rialzo, più contenuto verso il basso, con aumento di 0,6 °C nelle temperature minime e più accentuato verso l'alto (+ 1,4 °C nelle temperature massime); complessivamente la temperatura media annuale varia da

14,3 °C calcolata sul ventennio 1981 - 2000 a 15,3 °C per il quinquennio 2001 - 2005 , con aumento netto di 1,0 °C.

Un breve cenno, infine, al regime anemometrico dell'area beneventana, caratterizzato dalla presenza, in frequenza maggiore, di venti provenienti dai quadranti occidentali e meridionali, con direzioni dominanti da SSW e ENE durante il semestre freddo e da WSW e SSW durante il semestre caldo.

L'assolazione media annua, espressa in *ore di sole normale all'anno* ($h*n$), rappresentante l'energia solare che una località intercetterebbe se il sole rimanesse immobile per un determinato tempo sulla normale della località stessa, calcolata attraverso specifici abachi in relazione alla latitudine, variabile in funzione dell'acclività e dell'esposizione dei versanti, risulta variabile per l'area beneventana tra 2.100 *hn* e 2.300 *hn*; sulla scorta di tali valori, pertanto, il territorio comunale di Benevento può essere classificato come "*mediamente assolato*".

4 - Caratteristiche di Pericolosità Geomorfológica ed Idraulica

L'area adibita a discarica è ubicata immediatamente in sinistra orografica del *Fiume Calore*, ad una distanza di alcune decine di metri dall'attuale alveo (Cfr. planimetrie di progetto).

La vasta area subpianeggiante sita in sinistra orografica del corso d'acqua ne rappresenta la piana alluvionale; le pendenze risultano quasi nulle o comunque molto contenute, con una lieve vergenza verso l'attuale alveo fluviale.

Le quote medie, infatti, variano tra 125.00 m s.l.m. circa rilevabili in prossimità del limite nord-occidentale del cumulo fino ai 130.00 m s.l.m. circa rilevabili in corrispondenza della strada provinciale sita a bordo discarica sul fronte sud-est (Cfr. grafici di progetto).

Le forme morfologiche della piana alluvionale si presentano sempre estremamente dolci, senza brusche variazioni di pendenza; nel corso dei sopralluoghi eseguiti non sono stati rilevati manifesti indizi di fenomeni morfoevolutivi a rapido sviluppo in atto, ne si evidenzia una potenziale predisposizione dell'area a fenomeni di dissesto s.l..

Le intense opere di urbanizzazione realizzate in tale area, peraltro, hanno completamente modificato ed obliterato l'originaria morfologia, compreso l'originario alveo fluviale, sia con opere di escavazione che con riporti, in genere piuttosto contenuti.

L'area industriale ASI di Ponte Valentino è protetta contro pericoli di sovralluvionamento ad opera del corso d'acqua mediante una arginatura – costituita da un muro in calcestruzzo armato – che campisce l'intera area a valle del sito di discarica.

In virtù di quanto innanzi, pertanto, il sito oggetto di intervento non rientra nelle aree classificate a rischio dal *"Piano Stralcio Difesa Alluvioni"* redatto a cura dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno ed approvato con D.P.C.M. in data 21.11.2001 (G.U. n° 42 del 19.02.2002); analogamente non risulta interessato da rischio idrogeologico e rischio frane come riportato nella *Carta degli Scenari di Rischio* allegata al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio Frane (PsAI-Rf)*, redatto a cura dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri, Garigliano e Volturno ed approvato con D.P.C.M. in data 12.12.2006 (G.U. n° 122 del 28.05.2007).

In relazione a quanto sin qui evidenziato, pertanto, il sito interessato dalle opere di Messa in Sicurezza può essere considerato come caratterizzato da *bassa pericolosità geomorfologica ed idraulica*.

Per quanto attiene, infine, le caratteristiche della superficie topografica ai fini della risposta sismica locale il sito di intervento, in virtù di quanto sin qui evidenziato, può essere ascritto alla categoria “T1” di cui alla *Tabella 3.2.IV* del *D.M. 14.01.2008* recante “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”.

5 - Caratteristiche Geologiche e Strutturali

L'area beneventana costituisce una depressione tettonica colmata da depositi pliocenici e quaternari poggianti in discordanza angolare su antiche successioni intensamente deformate dalle spinte tettoniche compressive cenozoiche.

La storia geologico-strutturale dell'area beneventana è compresa in quella di una vasta area dell'Appennino Meridionale: esso è, infatti, rappresentato da un edificio a coltri generato da forti spinte tettoniche di tipo compressivo che hanno causato l'impilamento di potenti coltri, sia autoctone che alloctone, con fenomeni di sovrascorrimento e subduzione, peraltro ancora attivi solo in corrispondenza dell'arco Calabro; successivamente tale edificio è stato dislocato, principalmente per faglie dirette, durante il Pliocene.

L'assetto strutturale dell'Appennino meridionale è il risultato di una serie di eventi tettogenetici connessi con l'apertura e la successiva chiusura della "Tetide", susseguitisi tra il Cretacico ed il Pliocene, che hanno prodotto la notevole traslazione verso l'avampaese (rappresentato dall'area pugliese) di preesistenti corpi geologici sedimentatisi in domini paleogeografici ubicati al margine settentrionale del continente africano.

A partire dal Miocene tale settore del continente africano viene investito da varie fasi tettoniche compressive, con direzione W-E, che modificano profondamente l'originario assetto paleogeografico, dato da un susseguirsi di grandi bassifondi a sedimentazione prevalentemente carbonatica di tipo biogenico (piattaforme carbonatiche) e zone di bacino più o meno profonde (*Bacino Lagonegrese*).

La fase aquitaniana - langhiana può essere considerata una delle più importanti nella costituzione dell'edificio a coltri dell'Appennino meridionale; in tale periodo, infatti, la tettogenesi già attiva nelle aree interne della catena, si manifesta vistosamente anche nei domini esterni: la piattaforma carbonatica viene interessata da rapido annegamento con sedimentazione che da carbonatica passa a calcarenitica e quindi arenacea; contemporaneamente una serie di coltri di provenienza interna, tra cui le "Unità Sicilidi", ricoprono tettonicamente le aree di piattaforma e, successivamente, le scavalcano.

Quest'ultima, parzialmente smembrata, sovrascorre sui terreni dell'adiacente "*Bacino Lagonegrese*", nell'ambito del quale si rilevano anche sovrascorrimenti nelle falde della zona assiale.

Si assiste, quindi, alla scomparsa del *Bacino Lagonegrese* ed alla formazione di un bacino di avanfossa s.l. ("*Bacino Irpino*") impostato in parte sulle coltri di provenienza interna ed in parte sui terreni più esterni del preesistente bacino Lagonegrese, non ancora interessati dalla tettogenesi.

La sedimentazione che si instaura al piede delle coltri in avanzamento nel Tortoniano inferiore - Langhiano superiore è di tipo neritico, prettamente terrigeno: il materiale veniva eroso dagli stessi terreni che costituivano le coltri di ricoprimento del margine del bacino e da una probabile area cristallina emergente in posizione più occidentale.

Le successive fasi tettoniche mio - plioceniche provocano ulteriori traslazioni verso oriente delle unità individuatesi nelle precedenti fasi e conferiscono all'edificio appenninico l'attuale assetto "*a coltri di ricoprimento*".

Le fasi neotettoniche plio-pleistoceniche determinano la surrezione e lo smembramento in blocchi della catena già formatasi; in particolare tali fasi di surrezione determinano, nell'area beneventana, la formazione di strutture monocliniche immergenti generalmente verso NNE, delimitate da lineamenti tettonici con orientamento Est-Ovest e meridiano, che hanno favorito la sedimentazione di depositi continentali (fluviali e fluvio-lacustri) nelle zone tettonicamente depresse (Valle del Fiume Calore).

Nelle aree di interesse, in particolare, si rileva l'affioramento di sedimenti ascrivibili alle successioni alluvionali del *Fiume Calore*, terrazzate ad una quota di pochi metri superiore all'attuale livello di golena del fiume; detti sedimenti sono stati deposti dal citato corso d'acqua durante le fasi di sovralluvionamento e quindi in parte reincisi a seguito delle variazioni di talweg.

Essi sono ricollegabili alle fasi di sovralluvionamento recenti ed attuali del Fiume Calore: sono costituiti da materiali pselitici e psammitici sciolti, costantemente in falda, aventi potenza limitata, non superiore ad alcuni metri; si intercettano a modesta profondità, al di sotto di limitate coltri di terreni di origine eluviale e/o colluviale, ed interessano in toto l'area in studio.

Il bedrock dei sedimenti alluvionali è sempre rappresentato da depositi flyschiodi ascrivibili alla successione delle “Unità Lagonegresi”, ed in particolare alla parte basale della “Unità Sannitica”, di età compresa tra il Cretacico medio-superiore e l'Oligocene, diffusamente affiorante nella zona di versante immediatamente a monte del sito di discarica.

Tali sedimenti si sono depositati in un ampio bacino individuatosi come unità paleogeografica durante il Trias superiore (Carnico), caratterizzato da sedimentazione pelagica e limitato ad W dalla piattaforma carbonatica Campano-Lucana ed a E dalla piattaforma carbonatica Abruzzese-Campana; tale dominio paleogeografico scompare a seguito della fase tettonica langhiana.

I terreni affioranti sono rappresentati, nell'area in studio, dalla formazione del “Flysch Rosso”, essenzialmente argilloso marnoso, con potenza stimata nell'ordine dei 300 m; essa risulta smembrata dal suo assetto originario a seguito delle varie fasi tettoniche compressive che hanno originato la catena appenninica, con deformazioni di tipo plastico (sistemi anticlinale/sinclinale, con frequenti fenomeni di sovrascorrimento), e dislocata principalmente per faglie dirette durante le fasi neotettoniche Plio-pleistoceniche.

Nelle aree in destra orografica del Fiume Calore, inoltre, si rileva l'affioramento di sedimenti ascrivibili a successioni alluvionali antiche dello stesso corso d'acqua, terrazzate ad una quota di circa 70 ÷ 80 m al di sopra dell'attuale livello di golena del fiume; detti sedimenti, ascrivibili alla parte alta del Pleistocene medio (*Riss*), sono dovuti alla colmata, da parte del Fiume Calore, di uno stretto bacino fluvio lacustre subsidente di origine tettonica e sono stati successivamente in parte reincisi a seguito delle variazioni di talweg; essi fiancheggiano il corso del Fiume Calore nei tratti ad orientazione Est-Ovest, mentre sono del tutto assenti nei tratti ad orientazione meridiana.

5.1. Principali caratteri strutturali

Il territorio comunale di Benevento è collocato in un settore della catena appenninica il cui assetto geologico strutturale risulta essere piuttosto complesso in quanto derivato dalla deformazione successiva di diversi domini paleogeografici; le relative zone sismogenetiche sono caratterizzate da elevata pericolosità potenziale sia per l'elevato livello di sismicità che per l'entità dell'attività neotettonica.

Numerosi studi sismologici eseguiti negli ultimi anni nell'area sannita e molisano-sannita evidenziano, in linea di massima, che i meccanismi focali dei maggiori eventi sismici occorsi sono da attribuire ad un sistema di faglie con meccanismi di rottura del tipo diretto, allineate lungo l'asse della catena (NW-SE), tutte sorgenti di terremoti di elevata magnitudo, interrotte e fratturate da strutture sismogenetiche secondarie di svincolo al movimento di traslazione della catena verso est; tali lineamenti secondari, localizzati ai margini delle strutture principali con direzione ortogonale alla catena sono caratterizzate da meccanismi di rottura prevalentemente trascorrenti e sono sorgenti di terremoti di magnitudo più modesta.

Quanto innanzi è strettamente correlato con il complesso assetto tettonico e strutturale del tratto campano dell'Appennino meridionale, costituito – secondo recenti interpretazioni - da una catena a falde di ricoprimento in regime di compressione lungo il margine orientale ed in regime di distensione lungo il margine occidentale; la formazione della catena sarebbe, infatti, associata alle spinte compressive delle zolle Africana ed Eurasiatica lungo il bacino del Mediterraneo, alle quali si sarebbero sovrapposte, a partire da circa 10^6 anni fa, ulteriori campi di deformazione legati all'apertura del bacino del Tirreno.

Tale fenomeno determinerebbe la migrazione dell'asse della catena verso il bacino adriatico (margine in compressione) ed instaurerebbe un regime distensivo tra catena e bacino tirrenico; tale regime avrebbe determinato la formazione di depressioni strutturali tipo graben, quali la *Piana Campana* e la *Piana del Sele*, delimitate dai circostanti massicci carbonatici, dislocati per faglie dirette.

Studi eseguiti sui maggiori terremoti “strumentali” registrati nello scorso secolo nell'area in oggetto (1930, 1962 e 1980) ed estesi ai più importanti eventi storici, confermano che la genesi degli stessi è da ricollegare in prevalenza a meccanismi di rottura complessi, tipo *dip-slip* (asse tensile normale alla catena), con la mobilitazione di settori delle faglie sudappenniniche di lunghezza compresa in media tra 40 e 50 km circa (ad esclusione del forte sisma del 1456, per il quale si ipotizza una lunghezza della faglia mobilitata pari a circa 100 Km) e profondità degli ipocentri compresa entro i primi 15 km della crosta terrestre.

La distribuzione degli epicentri dei maggiori terremoti dall'anno 1000 all'attuale, nonché la distribuzione delle isosiste, conferma che la sismicità è praticamente continua lungo tutto l'asse della catena appenninica meridionale.

Pertanto l'utilizzo antropico di tale settore deve avvenire nello stretto rispetto della vigente normativa tecnica e delle Leggi Regionali promulgate in materia, che determinano, per questa zona, un coefficiente di intensità sismica pari a $C_s = 0.100 g$ (*Delibera G.R. Campania n° 5447 del 07.11.2002*), nonché delle prescrizioni contenute nella presente relazione, per le quali si rimanda al relativo capitolo.

6 - Indagini in sito

Nell'ambito degli interventi tesi a fronteggiare la situazione di emergenza determinatasi nel settore dello smaltimento dei RR.SS.UU. nella Regione Campania, il *Prefetto di Napoli* delegato ex O.P.C.M. 07.10.1994 provvedeva a far eseguire, nei mesi di novembre e dicembre dell'anno 1994, una serie di indagini geognostiche e geotecniche nell'area in questione al fine di determinare la situazione geologica ed idrogeologica nelle zone immediatamente circostanti il cumulo di rifiuti e di tenere sotto stretto controllo l'evoluzione dei fenomeni di inquinamento ambientale, con particolare riguardo alla falda idrica.

Le perforazioni di sondaggio, complessivamente n° 6, sono state eseguite a cura della Ditta "Sonda Papa & C. S.n.c." da Crispano (NA), utilizzando una sonda idraulica tipo "C.M.V. MK 420 S" cingolata, a carotaggio continuo e conservazione di nucleo, utilizzando carotieri semplici ϕ 113 - 95 mm e con contenimento delle pareti del foro con tubazioni di rivestimento provvisorio ϕ 143 - 113 mm.

Le perforazioni esplorative sono state spinte ad una profondità compresa tra 10.50 m e 19.00 m dall'attuale piano di campagna; tutte le perforazioni eseguite hanno raggiunto ed attraversato per alcuni metri il substrato argilloso.

Complessivamente sono stati prelevati n° 8 campioni allo stato indisturbato mediante campionatori a pressione tipo Shelby; le profondità di prelievo di ogni singolo campione sono indicate a margine dei profili stratigrafici.

I suddetti campioni intatti sono stati rimessi al Laboratorio "L.T.M." di Benevento che ha provveduto all'esecuzione delle analisi e prove dettagliate nella successiva [Tabella 4](#).

NUMERO CAMP.	PROFOND. PRELIEVO (m)	FORMAZIONE GEOLOGICA	CARATT. FISICHE	ANALISI GRANUL.	COMPR. E.L.L.	TAGLIO (CD)	PROVA PERMEAB.
S1 C1	3,00 ÷ 3,50	ALLUVIONI DISTALI	☑	☑			☑
S1 C2	12,00 ÷ 12,40	FLYSCH ROSSO	☑	☑		☑	☑
S2 C1	10,50 ÷ 10,90	FLYSCH ROSSO	☑	☑	☑		☑

NUMERO CAMP.	PROFOND. PRELIEVO (m)	FORMAZIONE GEOLOGICA	CARATT. FISICHE	ANALISI GRANUL.	COMPR. E.L.L.	TAGLIO (CD)	PROVA PERMEAB.
S3 C1	9,00 ÷ 9,50	FLYSCH ROSSO	☑	☑	☑	☑	☑
S4 C1	10,50 ÷ 11,00	FLYSCH ROSSO	☑	☑			☑
S5 C1	15,00 ÷ 15,40	FLYSCH ROSSO	☑	☑		☑	☑
S6 C1	6,50 ÷ 7,00	ALLUVIONI DISTALI	☑	☑			☑
S6 C2	12,00 ÷ 12,40	FLYSCH ROSSO	☑	☑	☑		☑

Tabella 4

Tutti i fori di sondaggio eseguiti sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto in PVC ϕ 80 mm microfessurati e protetti con calza in tessuto-non tessuto per i tratti interessati dalla falda; le lunghezze di ogni piezometro sono indicate al margine dei profili stratigrafici.

Successivamente, preliminarmente all'esecuzione dell'intervento di Messa in Sicurezza del sito di discarica - I° Lotto Funzionale - l'Impresa aggiudicataria dell'appalto ha provveduto a far eseguire, nel mese di aprile dall'anno 2007, una campagna di indagini integrative costituite da n° 6 sondaggi geognostici, di cui n° 5 spinti alla profondità di 25 m dal piano di campagna e n° 1 spinto alla profondità di 10 m dal p.c..

Le perforazioni di sondaggio, tutte ubicate nelle immediate adiacenze del cumulo di discarica oggetto del I° Lotto di intervento, sono state eseguite a cura della Ditta "Geo-In S.r.l." da Benevento utilizzando una sonda idraulica tipo "C.M.V. MK 420 D" cingolata, a carotaggio continuo e conservazione di nucleo, utilizzando carotieri semplici ϕ 95 mm e con contenimento delle pareti del foro con tubazioni di rivestimento provvisorio ϕ 113 mm.

Durante il corso delle terebrazioni meccaniche si è provveduto - con modalità d'uso - al prelievo di n° 15 campioni di terreno in forma indisturbata; su n° 13 di detti campioni si è provveduto, presso il laboratorio geotecnico della medesima Ditta, ad eseguire prove e determinazioni di laboratorio finalizzate al solo riconoscimento delle caratteristiche fisiche generali dei sedimenti campionati.

Su n° 3 campioni, segnatamente quelli prelevati in seno alla formazione argillosa di base, si è provveduto all'esecuzione di prove di permeabilità a carico variabile.

Gli esiti di tutte le indagini eseguite, sintetizzati su specifiche colonne litostratigrafiche, nonché i certificati di laboratorio inerenti le prove eseguite, sono rimessi nell'*Allegato R.05*; la planimetria riportante l'ubicazione delle indagini eseguite è rimessa in allegato *A.08*.

7. Caratteristiche Litostratigrafiche

Le risultanze delle indagini geognostiche innanzi descritte, permettono di ricostruire con elevato grado di attendibilità la successione litostratigrafica del sito su cui insiste la discarica (*Cfr. Carta Geolitologica in Tavola A.08*).

Esso è geologicamente caratterizzata dall'affioramento di sedimenti ascrivibili alle successioni alluvionali attuali e recenti del Fiume Calore, terrazzate ad una quota di circa 6.00 ÷ 8.00 m al di sopra dell'attuale livello di golena del fiume.

Tali sedimenti sono granulometricamente rappresentati da limi sabbiosi a luoghi debolmente argillosi, suddivisi in strati e/o banchi nell'ambito dei quali le componenti granulometriche si presentano non classate, passanti verso il basso a sabbie medio grossolane e quindi a ciottoli poligenici eterometrici a spigoli arrotondati, spesso di notevoli dimensioni, immersi in una matrice percentualmente molto variabile, data da sabbie e limi; risulta, comunque, netta nell'ambito del deposito la preponderanza dei termini clastici grossolani

Tipica la stratificazione incrociata del deposito, con frequenti interdigitazioni e presenza di strati lenticolari, che testimonia il susseguirsi delle fasi di magra e di piena del fiume.

Gli strati e/o banchi caratterizzati da netta preponderanza della componente clastica grossolana si presentano costantemente allo stato sciolto.

Le risultanze dei sondaggi geognostici eseguiti evidenziano, al di sotto di modesti strati di terreno agrario (0.30 ÷ 0.80 m) o di riporti, che localmente (sondaggi S3 ed S4) assumono potenza non trascurabile, pari a circa 3.00 m, la presenza di sedimenti ascrivibili a depositi di tipo eluvio-colluviale ed alluvionale distale, dati da limi sabbiosi e limi argillosi di colore marrone avana o marrone nerastro negli strati più superficiali, con frammisti senza ordine ciottoli poligenici eterometrici e prodotti piroclastici (pomici eterogranulari avana grigiastre) più o meno rimaneggiati.

Lo spessore di tali sedimenti risulta estremamente contenuto nella fascia più prossima all'alveo fluviale (da pochi decimetri a 3.50 m circa), laddove si rileva anche una maggior contenuto di frazione sabbiosa nell'ambito del deposito, mentre tende ad aumentare procedendo verso monte, laddove raggiunge una potenza massima pari a circa 7.00 m (sondaggi S5 ed S6).

Da segnalare che le risultanze dei citati sondaggi S5 ed S6 evidenziano la presenza, in seno ai depositi eluvio-colluviali, di modesti livelli piroclastici (spessore massimo 0.80 m) dati da pomici eterogranulari di colore avana grigiastro, allo stato sciolto.

A letto di tali sedimenti si intercetta, in tutti i sondaggi eseguiti, un livello continuo dato da sabbia fine e medio fine, debolmente limosa, avente spessore contenuto, non superiore a 0.80 m nella fascia valliva e pari a 1.20 ÷ 1.70 m nelle zone più a monte (sondaggi S5 ed S6).

Seguono, quindi, i depositi alluvionali grossolani, dati da sabbie e ciottoli eterometrici poligenici allo stato sciolto; essi assumono potenza media pari a circa 2.50 ÷ 3.00 m.

In corrispondenza del sondaggio S6, di contro, si rileva uno spessore minore dei depositi clastici, pari a circa 1.40 m: quest'ultimo sondaggio, infatti, è ubicato in prossimità del versante che delimita la piana alluvionale, in corrispondenza del quale si annullano i depositi alluvionali ed il substrato riaffiora.

Le risultanze dei sondaggi S1 ed S5, invece, evidenziano uno spessore maggiore dei depositi clastici, pari a 5.70 m: ciò potrebbe essere imputato alla presenza di un paleoalveo o di una vecchia incisione colmata, fenomeni questi piuttosto frequenti nel caso specifico sia in relazione all'ampiezza della piana alluvionale che alla forte meandricazione che caratterizza il Fiume Calore nell'area beneventana.

Il bedrock dei depositi alluvionali nell'area in esame è rappresentato da sedimenti ascrivibili alle "*Unità Lagonegresi*" ed in particolare alla Formazione del "*Flysch Rosso*" in facies argilloso marnosa (Cretacico medio superiore - Oligocene); la potenza di tale formazione è stimata nell'ordine dei 300 m.

Essa è data da argille più o meno limose, argilliti ed argille marnose di colore grigio e grigio verdastro, dotate di elevato grado di sovraconsolidazione e spinta tettonizzazione; frammista nell'insieme, senza ordine, si rinviene di frequente ghiaia eterodimensionale, prevalentemente di natura carbonatica, raramente di notevoli dimensioni (blocchi); meno frequenti risultano le intercalazioni di strati sabbiosi ed arenaceo sabbiosi.

Tutti i sondaggi eseguiti hanno attraversato, per uno spessore minimo di 3.50 m la formazione innanzi descritta.

I sondaggi integrativi eseguiti nell'anno 2007, di contro, hanno attraversato detta formazione per spessori prossimi ai 20,00 m.

La profondità a cui si intercetta la formazione argillosa varia da un minimo di 5.60 m (sondaggio S4, quota boccaforo 125.60 m s.l.m.) ad un massimo di 14.90 m (sondaggio S5, quota boccaforo 131.90 m s.l.m.); in termini di quote assolute, tuttavia, si rileva che il tetto della formazione argillosa è ubicato ovunque a quote comprese tra 119.00 m e 120.30 m s.l.m., ad eccezione dei sondaggi S5 ed S6: nel primo, infatti, perforato probabilmente in corrispondenza di un paleoalveo, il substrato si intercetta ad una quota di 117.00 m s.l.m., mentre nel secondo, perforato ai margini della piana alluvionale, il substrato, che già tende a risalire, si intercetta ad una quota superiore, pari a 121.60 m s.l.m..

La situazione litostratigrafica innanzi descritta viene graficamente sintetizzata nell'allegata *Tavola A.08*; nella medesima *Tavola A.08* vengono riportate n° 4 sezioni geolitologiche tracciate lungo direttrici ritenute significative ai fini delle opere di messa in sicurezza permanente del sito.

8. Caratteristiche Idrogeologiche

Idrogeologicamente i sedimenti affioranti nell'area in esame sono caratterizzati da valori medio elevati della permeabilità relativa, da cospicuo frazionamento litologico e scarso o nullo indice di ruscellamento; in genere la filtrazione idrica, per porosità, è condizionata dalle frequenti variazioni granulometriche nell'ambito della formazione alluvionale, che condizionano il percorso dei filetti fluidi.

Risulta tuttavia evidente, anche sulla scorta delle prove di permeabilità eseguite in laboratorio, che la parte distale della formazione alluvionale, caratterizzata, in grande, da un maggior contenuto in frazione granulometrica "fine" (limi ed argille) e dalla presenza di colloidali, risulta dotata di medio bassa permeabilità relativa e, pertanto, nell'ambito della stessa i filetti fluidi seguono percorsi essenzialmente subverticali, senza formazione di falde idriche (ad esclusione di locali e temporanei fenomeni di saturazione durante i periodi maggiormente piovosi) e vengono drenate dai sottostanti sedimenti sabbioso ciottolosi, dotati, di contro, di valori elevati del coefficiente di permeabilità.

Questi ultimi risultano sede di una falda idrica libera, raccordata con la subalvea del Fiume Calore; durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici la falda idrica è stata intercettata in tutti i sondaggi eseguiti, ad una profondità variabile tra 3.50 m nella zona più prossima all'alveo fluviale (sondaggio S4) a 8.40 m nella fascia più a monte.

Anche in tal caso, elaborando i dati di campagna in termini assoluti, si evidenzia che il pelo libero della falda dopo stabilizzazione risulta attestato ad una quota di 121.10 m s.l.m. nella zona più prossima all'alveo fluviale e ad una quota di 123.60 m s.l.m. nella zona più a monte, con un gradiente idraulico piuttosto costante pari a $\Delta = 0.0055$.

I sondaggi geognostici eseguiti nel novembre 1994, tutti attrezzati con piezometri di controllo, hanno consentito di trarre utili indicazioni anche rispetto all'andamento della falda sotterranea, almeno relativamente all'area in studio: essa, infatti, sembra avere direzione di deflusso moderatamente variabile, probabilmente controllata dalle condizioni strutturali del substrato argilloso (paleoalveo).

Dalle misurazioni effettuate nel corso dei campionamenti, inoltre, si è potuto rilevare che il livello piezometrico subisce oscillazioni stagionali valutabili complessivamente in $1,50 \div 2,00$ m, probabilmente legate all'intensità dell'apporto idrico di origine meteorica ed alla circostanza che la falda idrica è raccordata con la subalvea del Fiume Calore: si può ritenere, infatti, che l'acquifero e il fiume costituiscano un sistema unico, con direzione di deflusso idrico nell'ambito dello stesso sistema controllata dal rapporto tra la superficie piezometrica e il livello d'acqua del fiume.

In periodo di magra, infatti, quando la portata del fiume è minima, la superficie piezometrica della falda può trovarsi ad un'altezza tale da permettere alle acque della stessa di confluire verso il fiume; di contro, all'aumentare della portata del fiume, l'apporto della falda tende a diminuire, fino ad annullarsi e giungere ad una condizione opposta in periodi di piena, allorquando aumenta il carico idraulico del corso d'acqua e diminuisce il gradiente della superficie piezometrica, circostanza che determina l'ingressione delle acque del fiume nell'ambito della falda.

I sedimenti limoso argillosi soggiacenti i depositi alluvionali, di contro, possono essere considerati come francamente impermeabili; in relazione alle caratteristiche di basso frazionamento litologico ed alla presenza di colloidali, infatti, nell'ambito degli stessi non potranno verificarsi percettibili movimenti di acqua per mancanza di meati intergranulari sufficientemente ampi e comunicanti fra loro.

Nel merito, le prove di permeabilità eseguite in laboratorio, per le quali si rimanda al successivo capitolo, hanno sempre evidenziato coefficienti di permeabilità estremamente contenuti.

9. Caratteristiche Geotecniche dei Sedimenti

I parametri fisico meccanici dei sedimenti rappresentanti il substrato della discarica sono stati desunti dai risultati delle prove e determinazioni di laboratorio eseguite specificamente su n° 8 campioni indisturbati prelevati a varie quote durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici specificamente eseguiti nell'area in studio, descritti nei precedenti capitoli; dette risultanze sono sinteticamente riassunte nella successiva [Tabella 5](#).

CAMP.	γ	W_n %	e	n %	Sr %	ϕ'	c'	τ	K	DEF. GRANUL. [A.G.I.]
S1 C1	1,887	20,93	0,737	42,44	76,95				$1,23 \cdot 10^{-5}$	Limo sabbioso debolmente argilloso
S1 C2	2,117	21,12	0,593	37,22	99,18	21,00	0,08		$8,69 \cdot 10^{-8}$	Limo con argilla debolmente sabbioso
S2 C1	2,098	22,54	0,633	38,77	99,55			2,391	$6,74 \cdot 10^{-7}$	Limo con argilla debolmente sabbioso
S3 C1	2,068	17,99	0,557	35,78	88,17	26,00	0,02	2,987	$4,16 \cdot 10^{-7}$	Limo sabbioso debolmente argilloso
S4 C1	2,143	18,81	0,519	34,16	99,35				$3,81 \cdot 10^{-6}$	Limo con sabbia
S5 C1	2,102	18,92	0,547	35,35	94,62	26,50	0,03		$2,03 \cdot 10^{-7}$	Limo sabbioso debolmente argilloso
S6 C1	2,014	26,32	0,735	42,37	99,06				$7,36 \cdot 10^{-7}$	Limo argilloso debolmente sabbioso
S6 C2	2,136	19,35	0,536	34,92	99,21			5,664	$5,45 \cdot 10^{-8}$	Limo argilloso sabbioso

LEGENDA					
γ [g/cm ³]	⇒	Peso dell'unità di volume naturale	Sr [%]	⇒	Grado di saturazione
γ_d [g/cm ³]	⇒	Peso secco dell'unità di volume	ϕ' [DEG]	⇒	Angolo attrito interno drenato
W [%]	⇒	Contenuto naturale in acqua	c' [Kg/cm ²]	⇒	Coesione drenata
e	⇒	Indice dei vuoti	τ [Kg/cm ²]	⇒	Resistenza a rottura
n [%]	⇒	Porosità	K [cm/sec]	⇒	Coefficiente di permeabilità

[Tabella 5](#)

Dei campioni analizzati, solo due, e precisamente S1C1 ed S6C1 sono stati prelevati nell'ambito della formazione alluvionale distale, peraltro a profondità prossima alla base del banco stesso (si confrontino le colonne stratigrafiche); su detti campioni sono state eseguite esclusivamente le prove di caratterizzazione fisica e la prova di permeabilità.

I risultati emersi evidenziano che tali sedimenti sono caratterizzati da peso dell'unità di volume variabile tra $1.887 \leq \gamma \leq 2.014 \text{ gr/cm}^3$, con il valore più basso che compete al campione più superficiale (S1C1) e valore dell'indice dei vuoti pari a 0,73.

La porosità è pari a 42.4 % ed il contenuto naturale in acqua risulta compreso tra il 21 % ed il 26 %; il grado di saturazione risulta elevato nel campione più profondo (99 %), mentre è pari al 76.95 % nel campione più superficiale.

Le prove di permeabilità eseguite in cella edometrica con metodologia a carico variabile evidenziano bassi valori del coefficiente di permeabilità, pari a $1,23 * 10^{-5} \text{ cm/sec}$ per il campione più superficiale e $7.36 * 10^{-7} \text{ cm/sec}$ per il campione più profondo.

I sedimenti afferenti la facies argilloso marnosa della formazione che rappresenta il substrato nell'area in studio, studiati mediante analisi di laboratorio eseguite su n° 6 campioni indisturbati (si confronti la [Tabella 5](#)) possiedono, in complesso, apprezzabili caratteristiche fisico meccaniche.

Tali sedimenti, tutti ascrivibili alla Formazione del "Flysch Rosso" in precedenza diffusamente descritta, sono caratterizzati da elevato peso dell'unità di volume, variabile tra $2.068 \leq \gamma \leq 2.143 \text{ gr/cm}^3$ e valore dell'indice dei vuoti costantemente basso, variabile tra 0,52 e 0,63.

La porosità assume valori variabili tra il 34.1 % ed il 38.7 % ed il contenuto naturale in acqua risulta sempre modesto, contenuto in un ristretto intorno del 20.0 %; il grado di saturazione è generalmente piuttosto elevato.

Essi risultano essere debolmente coesivi, presentando coesione in termini di tensioni efficaci (da prove di taglio diretto tipo CD) pari a $0.02 \div 0.08 \text{ Kg/cm}^2$; sono caratterizzati, di contro, da apprezzabili valori dell'angolo di attrito interno, variabile tra 21.0° e 26.50° .

I risultati delle prove di compressione ad espansione laterale libera (E.L.L.), utili per una verifica in termini di tensioni totali, evidenziano valori di τ compresi tra 2.39 Kg/cm^2 e 2.98 Kg/cm^2 ; ritenendo valida la relazione $\tau = 2c_u$, si ottengono valori della coesione non drenata compresi tra 1.15 Kg/cm^2 e 1.50 Kg/cm^2 .

Da segnalare che il campione S6C2, prelevato ad una profondità di 12.00 m dal piano di campagna, evidenzia un valore $\tau = 5.66 \text{ Kg/cm}^2$, nettamente più

elevato rispetto ai precedenti, dal quale deriva un valore della coesione non drenata pari a $c_u = 2.83 \text{ Kg/cm}^2$.

Granulometricamente i sedimenti analizzati rientrano tutti nelle classi a taglia fine o finissima (limi ed argille); la frazione sabbiosa, sempre presente, risulta estremamente variabile, compresa tra il 5.0 % ed il 30.0 % circa; In alcuni campioni è presente anche una modestissima frazione ghiaiosa (1.0 ÷ 2.0 %).

Le prove di permeabilità eseguite in cella edometrica con metodologia a carico variabile su campioni prelevati a varie profondità evidenziano valori molto bassi del coefficiente di permeabilità, compresi tra $3,81 * 10^{-6} \geq k \geq 5,45 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$.

Detti sedimenti, pertanto, possono essere considerati come francamente impermeabili.

10. Caratteristiche di Pericolosità Sismica

Con Delibera di G.R. Campania n° 5447, il *Comune di Benevento* veniva riclassificato come sismico di 1^a categoria; inoltre l'O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 suddivide l'intero territorio italiano in n° 4 zone sismiche in relazione ai valori dell'accelerazione di picco e le norme tecniche prevedono n° 4 valori corrispondenti di accelerazioni orizzontali di ancoraggio (a_g/g) dello spettro di risposta elastico; per il *Comune di Benevento*, ricadente in zona 1, si ha $a_g/g = 0,35$.

Si rileva ancora che in una recente proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale elaborata dal "Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica" dell'I.N.G.V. e denominata ZS9, l'area sannita, e lo stesso *Comune di Benevento*, ricadono nella zona sismogenetica denominata "927", coincidente con il settore assiale della catena appenninica, interessata da una serie di lineamenti tettonici attivi con meccanismi di fagliazione prevalenti di tipo diretto (meccanismo di rottura legato a traslazioni di tipo "distensivo") e profondità epicentrale compresa tra 8,00 e 12,00 km.

Infine, nel gennaio 2003, la promulgazione dell'*Eurocodice 8* (prEN1998-1 - *Design of structures for earthquake resistance*) facente parte della nascente normativa europea, la cui impostazione è sostanzialmente recepita dalla O.P.C.M. n° 3274, nonché il recente D.M. 14.01.2008 e s.m.i., cambiano la tipologia di approccio nella valutazione della sismicità di un'area, in quanto tengono conto esclusivamente del moto sismico atteso (in termini di accelerazioni) e non degli effetti prodotti dalla stessa azione sismica.

Sulla scorta di quanto innanzi, pertanto, si evidenzia come risulti assolutamente necessario, determinata la "pericolosità sismica di base", definire - avvalendosi di dati sperimentali emersi da specifiche indagini sismiche - sia i coefficienti di risposta sismica del sito, con particolare riferimento ad eventuali fenomeni di amplificazione, così come richiesti dalle vigenti normative, che a classificare il sottosuolo ai sensi dell'O.P.C.M. 3274 e del D.M. 14.01.2008.

Per la corretta determinazione dei coefficienti di risposta sismica dell'area interessata dagli interventi di progetto, ci si basa sui risultati sperimentali tratti dagli studi geologici finalizzati al P.U.C. della *Città di Benevento* ed emersi dall'esecuzione di numerose prove sismiche "Down-Hole".

La pericolosità sismica è definita come la massima accelerazione orizzontale attesa a_g in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido, superficie topografica orizzontale e sottosuolo di Categoria "A" (Tab. 3.2.II, D.M. 14.01.2008); le corrispondenti forme spettrali sono definite, oltre che dall'accelerazione massima al sito, dal valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 e dal corrispondente periodo di inizio del tratto a velocità costante del medesimo spettro T_c^* .

Dalle tabelle riportate nell'*Allegato B* al D.M. 14.01.2008, nonché dalle elaborazioni di cui al Progetto *S1 - INGV*, si ricavano i valori di base dei parametri di cui innanzi il sito di intervento.

In relazione alla tipologia dell'intervento a farsi, si determina un periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = 35$ anni (vita nominale dell'opera $V_N \geq 50$ anni, classe d'uso II e coefficiente d'uso $C_U = 1,00$).

Le probabilità di superamento P_{V_R} nel periodo di riferimento V_R per lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) risultano essere pari al 10 % (Tab. 3.2.I, D.M. 14.01.2008).

In relazione a quanto innanzi, si determinano i seguenti valori dei parametri riferiti alla *pericolosità sismica* (SLV):

- ☒ $T_R = 475$ anni
- ☒ $a_g = 0,263$ g
- ☒ $F_0 = 2,301$
- ☒ $T_c^* = 0,371$ s

La *pericolosità sismica di base* così individuata deve essere opportunamente modificata per tenere conto delle condizioni litostratigrafiche locali del sito di costruzione, nonché delle morfologia della superficie topografica; nel merito, è noto che fattori geomorfologici e stratigrafici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie: l'effetto di filtraggio conduce ad una ridistribuzione dell'energia con l'amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

La norma tende alla definizione del valore di una accelerazione massima al termine del tragitto del treno d'onda dalla sorgente sismica alla superficie su di una formazione rigida affiorante, e tiene conto - con l'introduzione di un parametro definito " v_{s30} " e corrispondente alla velocità equivalente delle onde di taglio nei primi

30 m di sottosuolo (*average shear wave velocity*) – della presenza di terreni “sciolti” a bassa impedenza sismica a ricoprimento della formazione rigida, quindi del così detto “effetto locale”, introducendo n° 5+2 classi di sottosuolo a rigidità decrescente.

In particolare, per la determinazione della velocità di propagazione delle onde sismiche “ v_s ” e la relativa classificazione del sottosuolo si procede sulla scorta dei dati sperimentali emersi dalle prove sismiche “Down-Hole” di cui in precedenza.

Pertanto, in relazione a tali risultanze, che forniscono la velocità media delle onde sismiche in seno ai litotipi di interesse, sulla scorta della sezione stratigrafica rappresentativa del sottosuolo emersa dai sondaggi eseguiti, ed operando le necessarie semplificazioni, possono essere evidenziati, dall’alto verso il basso stratigrafico (con riferimento al piano di campagna), n° 3 orizzonti sismici, aventi le seguenti caratteristiche di risposta dinamica:

orizzonte “a”

comprende le coltri eluvio-colluviali e/o piroclastiche residuali nonché i depositi di natura alluvionale distale a matrice limoso argillosa e limoso sabbiosa; potenza media pari a 8,00 m; velocità media delle onde sismiche $V_s = 245$ m/sec;

orizzonte “b”

comprende i sedimenti alluvionali a matrice sabbiosa e sabbioso ciottolosa, con potenza media pari a 4,00; velocità media delle onde sismiche trasversali $V_s = 370$ m/sec;

orizzonte “c”

comprende i sedimenti ascrivibili alla formazione del “Flysh Rosso” in facies limoso argillosa; $V_s = 580$ m/sec.

Sulla scorta della sismosezione di cui innanzi, pertanto, il suolo di fondazione dell’opera a farsi può essere classificato di categoria “B”, con valore della velocità di propagazione delle onde sismiche nei primi 30 m di profondità pari a $V_{s30} = 403$ m/sec (Tab. 3.2.II, D.M. 14.01.2008).

In relazione a quanto sin qui evidenziato, possono essere definiti anche i valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica S_s , di amplificazione topografica S_t , e del coefficiente C_C , il quale modifica il valore del periodo T_C , corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello spettro per SLV:

- ✓ $S_s = 1,160$
- ✓ $S_t = 1,000$ (categoria topografica T1, Cfr. § 2)
- ✓ $C_C = 1,340$

In appendice al presente capitolo vengono rimesse specifiche schede di calcolo riportanti tutte le elaborazioni di cui innanzi, unitamente allo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali, nonché lo spettro di progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e per lo stato limite di prevenzione del collasso (SLC).

In ordine all'accelerazione massima di sito attesa in superficie, è opportuno evidenziare che esistono diverse metodologie per la stima della stessa: alcune sono basate sull'uso di modelli numerici sofisticati, che hanno portato allo sviluppo di programmi di calcolo utilizzabili per valutare gli effetti di sito sia in condizioni mono che bidimensionali; tali modelli, tuttavia, richiedono un input accurato, sia per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche del terreno, sia per quanto riguarda il moto sismico di riferimento, risultando spesso di difficile applicabilità.

Sono note, tuttavia, in letteratura metodologie più speditive, classificate di "II° Livello" (*Manuale Internazionale TC4*), basate sulle caratteristiche lito-stratigrafiche del sito e sulla stima della velocità delle onde V_s nei livelli di copertura, che comunque determinano risultati accettabili e risultano applicabili nel caso specifico, essenzialmente in relazione alla modestia degli interventi da realizzare.

Uno dei metodi più diffusi, ed anche più rapidi per giungere ad una quantificazione numerica del valore dall'amplificazione sismica locale è quello proposto da *Medvedev* (o delle "rigidità sismiche") che si basa sulla determinazione di due fattori di incremento sismico in termini di intensità: " Nr " ed " Nw ".

L'intensità sismica dipende della *rigidità* (o *impedenza*) sismica, espressa come prodotto tra la velocità delle onde di taglio e la densità media della roccia. L'incremento di intensità sismica (Nr) che si produce al passaggio dell'impulso dal substrato roccioso (*bedrock*), caratterizzata da velocità V_{so} e densità g_o - o, se assente, da un livello con $V_s > 700$ m/s (*bedrock-like*) - passando attraverso i sedimenti di copertura con velocità delle onde trasversali V_{sn} e densità g_n rispetto al substrato roccioso, è espresso, secondo *Medvedev*, dalla relazione:

$$Nr = 1,67 * \text{Log} \frac{R}{R'} \quad \text{con}$$

$$R \text{ (impedenza sismica bedrock)} = (V_{so} * g_o)$$

$$R' \text{ (impedenza sismica copertura)} = (V_{sn} * g_n)$$

Nel caso di sedimenti di copertura dati da una successione di strati, la rigidità totale sarà data dalla media pesata delle impedenze sismiche dei singoli strati:

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i * v_i * H_i}{H_{tot}} \quad \text{con}$$

n = numero degli strati della copertura

ρ_i = peso di volume dello strato i -esimo

v_i = velocità delle onde di taglio nello strato i -esimo

H_i = potenza dello strato i -esimo

H_{tot} = potenza totale delle coltri di copertura

Le caratteristiche di risposta sismica del sito, inoltre, sono influenzate dalla presenza di falda idrica entro i primi 10 m di profondità; in tal caso è da computare un ulteriore incremento di intensità (N_w), che, secondo la relazione di *Medvedev*, è dato da:

$$N_w = e^{-0.04 * h^2} \quad (\text{con } h = \text{profondità falda})$$

Alcuni autori, inoltre, hanno proposto di inserire nella formulazione originale del *Medvedev*, ulteriori due fattori correttivi che tengano conto delle morfologia e della geometria del substrato:

$$N_1 = 1 + \log_{10} (1 + \sin \beta) \quad \text{con } \beta \text{ inclinazione media del pendio}$$

$$N_2 = 1 + \log_{10} (1 + \sin \alpha) \quad \text{con } \alpha \text{ inclinazione media del substrato.}$$

Pertanto, il valore dell'accelerazione sismica locale amplificata deriva dalla seguente relazione:

$$K_t = a_g * F_a \quad \text{dove:}$$

$\Rightarrow K_t$ = accelerazione sismica locale amplificata

$\Rightarrow a_g$ = accelerazione di base, pari a 0,256 g

$\Rightarrow F_a$ = fattore di amplificazione

Il Fattore di Amplificazione F_a segue la seguente legge sperimentale (da esperienze di *Idriss, Dezfoulian, Kanai, Seed* e *Zini*):

$$F_a = [1 + \log (N_r + N_w)] * (N_1 * N_2)$$

Analogamente il valore dell'accelerazione di picco in superficie è dato da:

$$a_{max} (g) = a_g * F_a$$

La sismosezione da verificare è quella innanzi riportata, mentre le caratteristiche fisico meccaniche dei singoli litotipi sono quelle riportate nel precedente capitolo.

Nel caso in studio, l'applicazione della metodologia di *Medvedev* così come innanzi descritta, consente la determinazione di incrementi sismici locali, correlando i dati di cui innanzi con la sezioni stratigrafica del sito.

Le verifiche eseguite evidenziano che il sito in studio è caratterizzato, dal punto di vista sismico, dai seguenti parametri:

- *Fattore di Amplificazione sismica $F_a = 1,3857$*
- *Incremento Intensità Sismica Locale $N_r = 2,4034$*
- *Incremento per Fattore Idrogeologico $N_w = 0,0271$*
- *Accelerazione Sismica Orizzontale $K_t = 0,1386$*
- *Accelerazione Sismica Amplificata Superficiale $a_{max} = 0,355 g$*

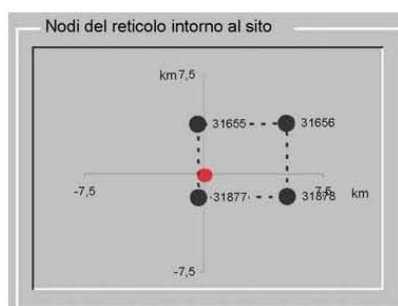
In conclusione, quindi, ed in relazione a quanto innanzi, si determina che il sito interessato dalle opere in progetto è caratterizzato da *elevata pericolosità sismica*.

**Messa in Sicurezza Permanente e Ripristino Ambientale della
Dismessa Discarica di RR.SS.UU. sita in Loc. Ponte Valentino
del Comune di Benevento – II° Lotto Completamento****Parametri sismici****Tipo di elaborazione:** Stabilità dei pendii / Stabilità delle fondazioni**Comune di:** Benevento**Sito in esame:** Dismessa Discarica RR.SS.UU. – II° Lotto**Localizzazione:** latitudine: 41,143425 [°]
longitudine: 14,822119 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]**Tipo di interpolazione:** superficie rigata**Reticolo di riferimento**

Sito	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
1	31877	41,127280	14,817670	1833,50
2	31878	41,126480	14,884040	5517,40
3	31656	41,176480	14,885110	6427,90
4	31655	41,177270	14,818740	3774,00



Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50.

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1,00

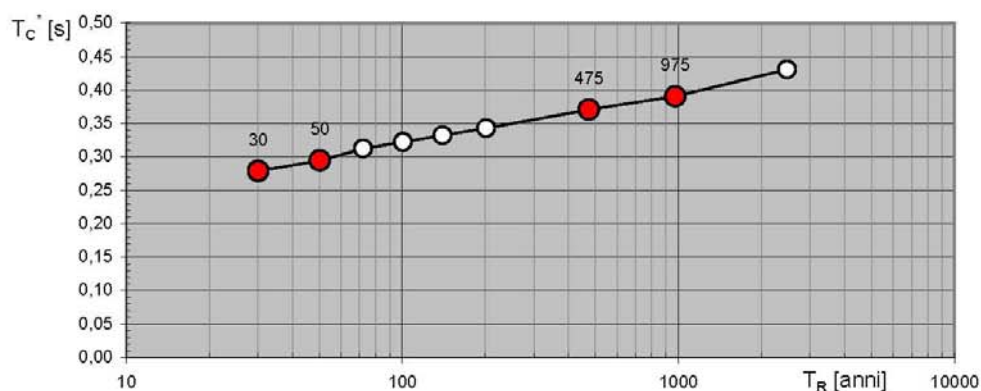
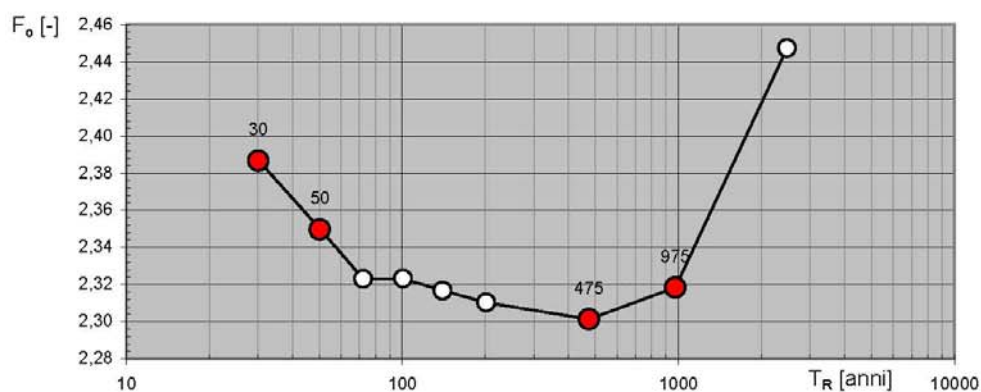
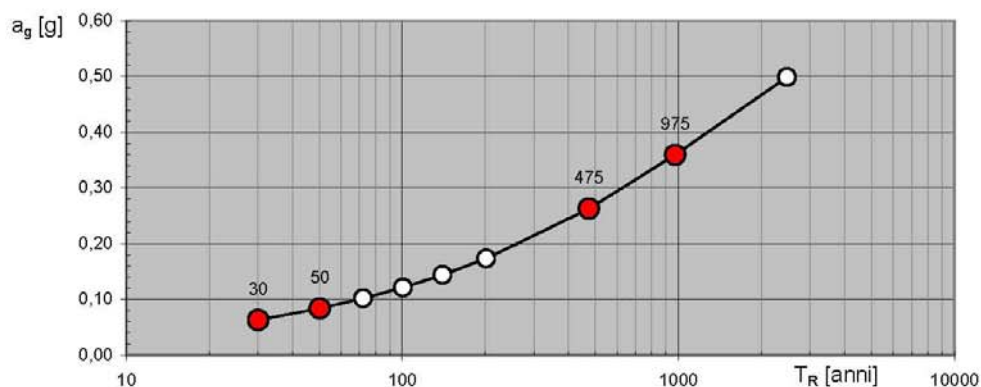
	Prob. Sup. [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [s]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,063	2,387	0,294
SLD	63	50	0,084	2,350	0,286
SLV	10	475	0,263	2,301	0,371
SLC	5	975	0,359	2,318	0,390

Coefficienti sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,420	1,000	0,014	0,008	0,738	0,200
SLD	1,200	1,400	1,000	0,020	0,010	0,985	0,200
SLV	1,160	1,340	1,000	0,085	0,043	2,988	0,280
SLC	1,070	1,330	1,000	0,108	0,054	3,771	0,280

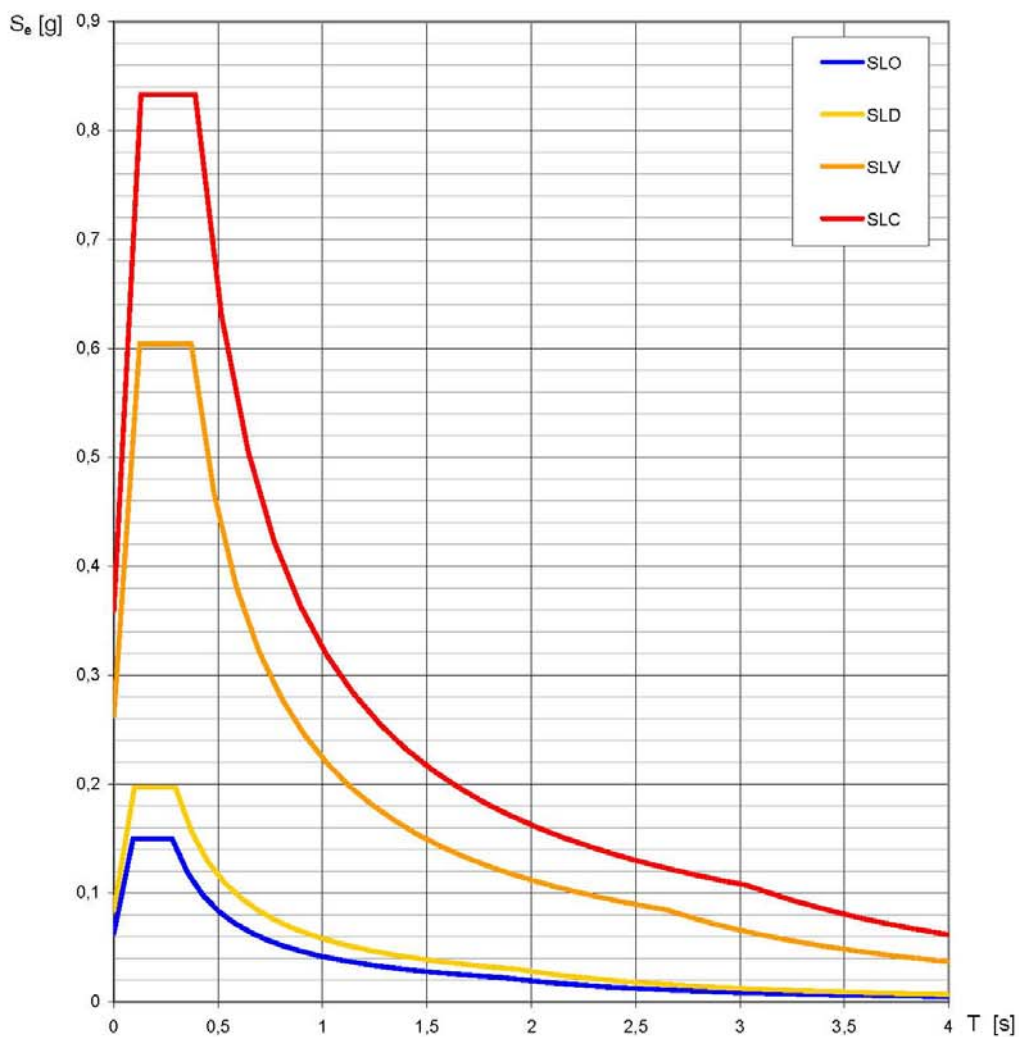
Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R



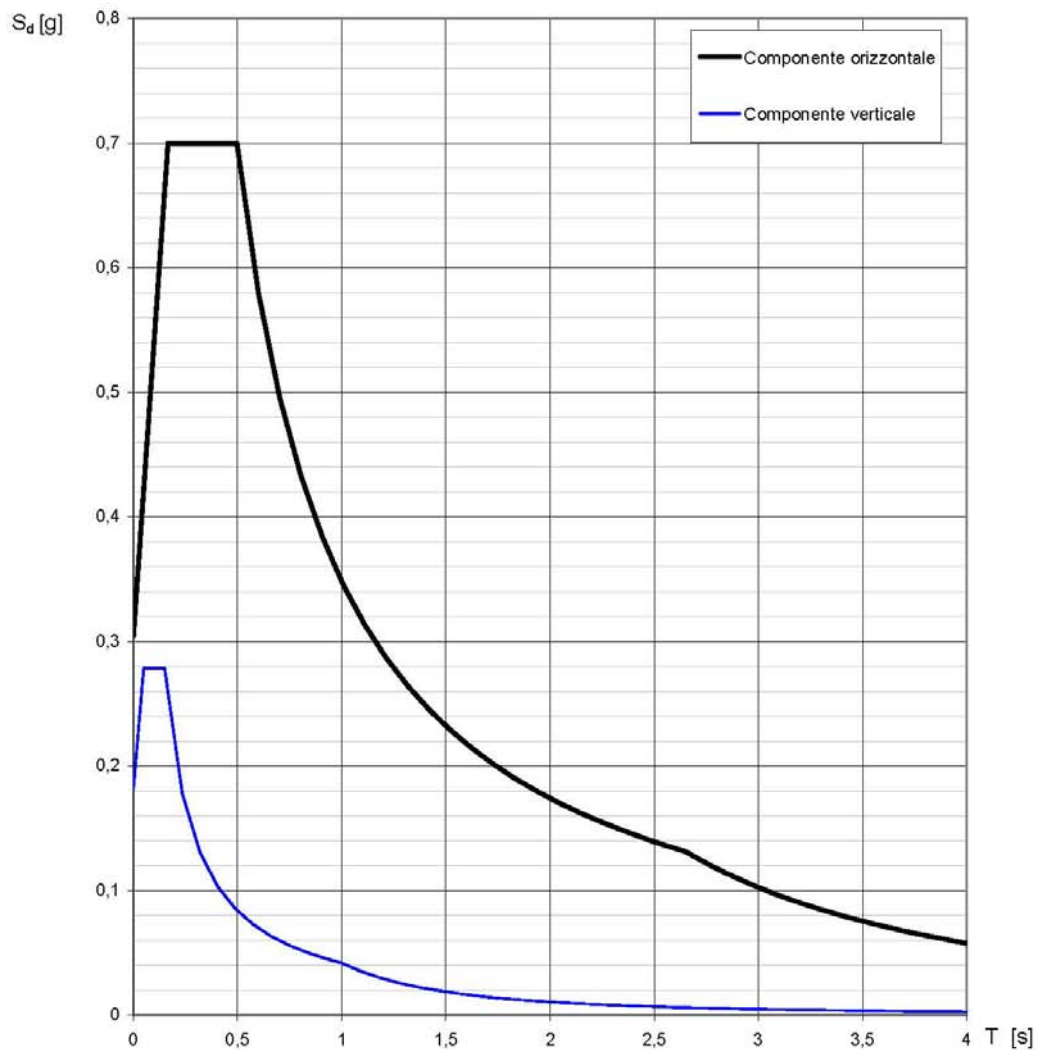
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,263 g
F_o	2,301
T_c	0,371 s
S_s	1,158
C_c	1,342
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,158
η	1,000
T_B	0,166 s
T_C	0,497 s
T_D	2,650 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,304
T_B	0,166	0,700
T_C	0,497	0,700
	0,600	0,580
	0,702	0,495
	0,805	0,432
	0,907	0,384
	1,010	0,345
	1,112	0,313
	1,215	0,286
	1,317	0,264
	1,420	0,245
	1,522	0,229
	1,625	0,214
	1,727	0,201
	1,830	0,190
	1,932	0,180
	2,035	0,171
	2,137	0,163
	2,240	0,155
	2,343	0,149
	2,445	0,142
	2,548	0,137
T_D	2,650	0,131
	2,714	0,125
	2,779	0,119
	2,843	0,114
	2,907	0,109
	2,971	0,104
	3,036	0,100
	3,100	0,096
	3,164	0,092
	3,229	0,088
	3,293	0,085
	3,357	0,082
	3,421	0,079
	3,486	0,076
	3,550	0,073
	3,614	0,071
	3,679	0,068
	3,743	0,066
	3,807	0,064
	3,871	0,062
	3,936	0,060
	4,000	0,058

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,182 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,592
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

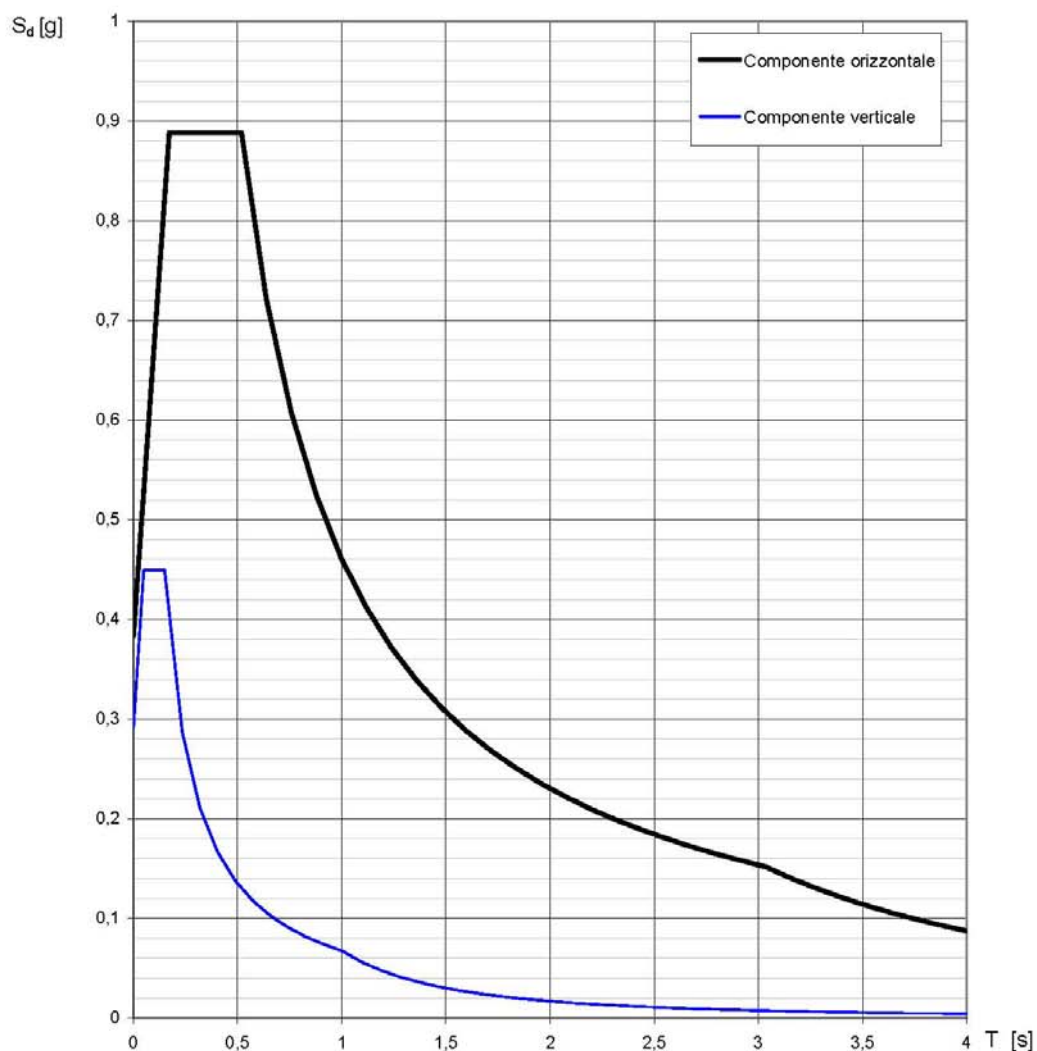
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,182
T_B ←	0,050	0,279
T_C ←	0,150	0,279
	0,235	0,178
	0,320	0,131
	0,405	0,103
	0,490	0,085
	0,575	0,073
	0,660	0,063
	0,745	0,056
	0,830	0,050
	0,915	0,046
T_D ←	1,000	0,042
	1,094	0,035
	1,188	0,030
	1,281	0,025
	1,375	0,022
	1,469	0,019
	1,563	0,017
	1,656	0,015
	1,750	0,014
	1,844	0,012
	1,938	0,011
	2,031	0,010
	2,125	0,009
	2,219	0,008
	2,313	0,008
	2,406	0,007
	2,500	0,007
	2,594	0,006
	2,688	0,006
	2,781	0,005
	2,875	0,005
	2,969	0,005
	3,063	0,004
	3,156	0,004
	3,250	0,004
	3,344	0,004
	3,438	0,004
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,003
	3,906	0,003
	4,000	0,003

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,359 g
F_0	2,318
T_C	0,390 s
S_S	1,067
C_C	1,328
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,067
η	1,000
T_B	0,173 s
T_C	0,518 s
T_D	3,037 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,383
T_B	0,173	0,889
T_C	0,518	0,889
	0,638	0,722
	0,758	0,607
	0,878	0,524
	0,998	0,461
	1,118	0,412
	1,238	0,372
	1,358	0,339
	1,478	0,312
	1,598	0,288
	1,718	0,268
	1,838	0,251
	1,958	0,235
	2,078	0,222
	2,198	0,210
	2,318	0,199
	2,438	0,189
	2,558	0,180
	2,678	0,172
	2,798	0,165
	2,918	0,158
T_D	3,037	0,152
	3,083	0,147
	3,129	0,143
	3,175	0,139
	3,221	0,135
	3,267	0,131
	3,312	0,127
	3,358	0,124
	3,404	0,121
	3,450	0,118
	3,496	0,114
	3,542	0,112
	3,587	0,109
	3,633	0,106
	3,679	0,103
	3,725	0,101
	3,771	0,098
	3,817	0,096
	3,862	0,094
	3,908	0,092
	3,954	0,089
	4,000	0,087

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_{gv}	0,291 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,876
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,291
T_B	0,050	0,449
T_C	0,150	0,449
	0,235	0,287
	0,320	0,211
	0,405	0,166
	0,490	0,138
	0,575	0,117
	0,660	0,102
	0,745	0,091
	0,830	0,081
	0,915	0,074
T_D	1,000	0,067
	1,094	0,056
	1,188	0,048
	1,281	0,041
	1,375	0,036
	1,469	0,031
	1,563	0,028
	1,656	0,025
	1,750	0,022
	1,844	0,020
	1,938	0,018
	2,031	0,016
	2,125	0,015
	2,219	0,014
	2,313	0,013
	2,406	0,012
	2,500	0,011
	2,594	0,010
	2,688	0,009
	2,781	0,009
	2,875	0,008
	2,969	0,008
	3,063	0,007
	3,156	0,007
	3,250	0,006
	3,344	0,006
	3,438	0,006
	3,531	0,005
	3,625	0,005
	3,719	0,005
	3,813	0,005
	3,906	0,004
	4,000	0,004

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

11. Intervento di Messa in Sicurezza Permanente

11.1 – Caratteristiche del sito di discarica

Il sito di discarica interessato dagli interventi di messa in sicurezza permanente è ubicato, come già innanzi ampiamente descritto, nell'ambito della piana alluvionale attuale del Fiume Calore, ad una distanza di poche decine di metri dall'attuale alveo del corso d'acqua.

Va precisato che l'intervento di cui al presente progetto riguarda il II° Lotto a completamento del progetto generale, rappresentato dal tronco di monte del sito di discarica (Cfr. *Elaborati Progettuali*).

In ordine alla quantità di rifiuti complessivamente stoccati, si è operata una stima di massima utilizzando dati semiempirici forniti da A.S.I.A. Benevento S.p.A. (già Azienda Municipalizzata) la quale provvedeva e provvede tutt'ora alla raccolta ed al trasporto dei rifiuti solidi urbani prodotti dalla città di Benevento, ai quali va aggiunta un'aliquota stimata di rifiuti conferiti in discarica da privati ed aziende varie; infatti l'area di discarica non era dotata di recinzione, né esisteva alcun sistema di controllo, per cui era possibile a chiunque, al di fuori del normale orario di lavoro del personale dell'ex Azienda Municipalizzata, accedere in discarica e sversare rifiuti di ogni genere.

La *Tabella 6* e il successivo *Grafico 5* riportano tale stima; dalla lettura delle stesse si evince un quantitativo i rifiuti stoccati pari a 361.600 tonn; in considerazione del grado non elevato di compattazione conferito ai rifiuti ($0.6 \div 0.7$ tonn/mc), dell'assestamento che ha interessato la parte più vecchia dei rifiuti stoccati, e della presenza di una modesta aliquota di terreni di copertura, si stima una volumetria complessiva pari a circa $550.000 \div 600.000$ mc.

Tale valutazione appare congrua con quanto è stato possibile accertare durante l'esecuzione del rilievo di campagna, sulla scorta del quale si evince una cubatura dei due tronchi, riferiti al solo materiale fuori terra e con esclusione del tratto tagliato per la realizzazione della strada, non inferiore a circa 400.000 mc.

La discarica oggetto delle opere di bonifica risulta non dotata di alcun sistema di controllo ambientale; pertanto, sarà necessario adottare una serie di accorgimenti tecnici al fine sia di adeguare l'impianto alle prescrizioni di cui ai DD. Lgs. n° 36/2003

e n° 152/2006, sia di minimizzare gli impatti sul territorio e di eliminare le accertate fonti di inquinamento del suolo, del sottosuolo e dell'atmosfera.

<i>Conferimenti di rifiuti presso la discarica di Ponte Valentino</i>			
<i>Anno</i>	<i>RR.SS.UU.</i> [ton]	<i>Altri Rifiuti</i> [ton]	<i>Totale Anno</i> [ton]
1977	10.500	1.500	12.000
1978	10.800	1.600	12.400
1979	11.200	1.700	12.900
1980	11.600	1.900	13.500
1981	12.000	2.200	14.200
1982	12.400	2.400	14.800
1983	13.000	2.500	15.500
1984	13.600	2.700	16.300
1985	14.000	3.000	17.000
1986	14.600	3.200	17.800
1987	15.300	3.500	18.800
1988	16.500	3.500	20.000
1989	17.600	3.600	21.200
1990	18.900	3.600	22.500
1991	20.400	3.300	23.700
1992	21.700	3.300	25.000
1993	22.800	3.200	26.000
1994	24.000	3.000	27.000
1995	25.000	3.000	28.000
1996 (*)	2.800	200	3.000
TOTALE COMPLESSIVO			361.600

(*) = conferimenti riferiti ai soli mesi di gennaio e febbraio

Tabella 6 – Conferimenti presso la discarica di Ponte Valentino

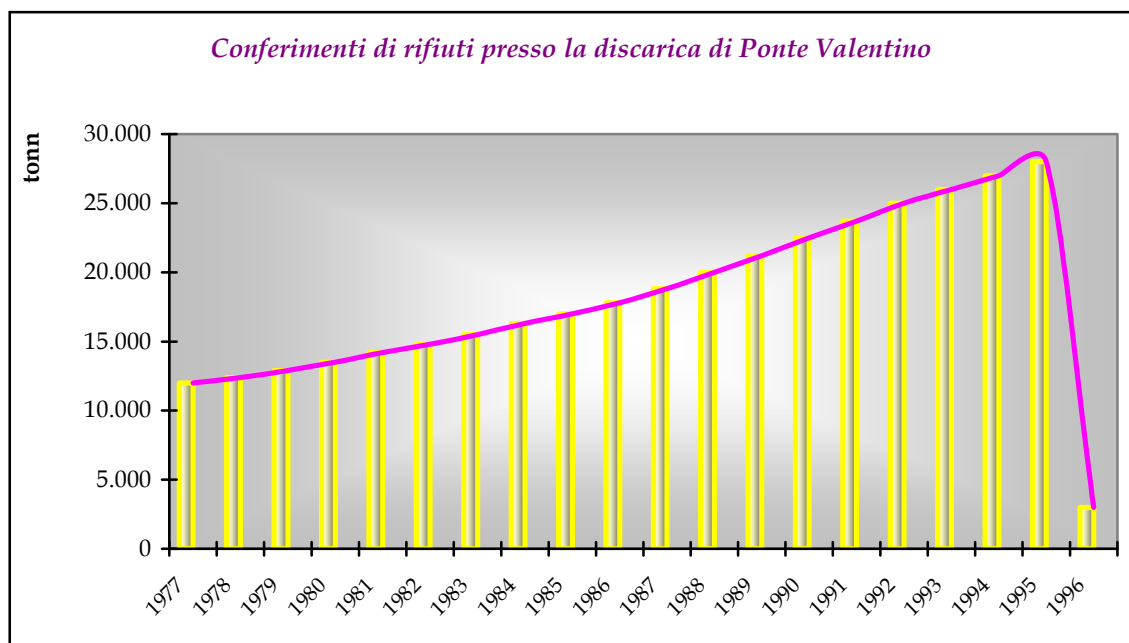


Grafico 5 – Conferimenti presso la discarica di Ponte Valentino

I numerosi cicli di analisi eseguite dall'A.R.P.A.C., Settore Provinciale di Benevento, infatti, hanno evidenziato l'elevato tasso di inquinamento da percolato che caratterizza la falda idrica esistente immediatamente al di sotto del cumulo di rifiuti, falda che è in diretta relazione con la subalvea del Fiume Calore.

Gli interventi prioritari, quindi, di seguito sommariamente descritti, saranno tesi alla protezione delle acque di falda da infiltrazioni di percolato ed alla copertura ed impermeabilizzazione del corpo rifiuti, con conseguente realizzazione di un adeguato impianto di captazione e smaltimento del biogas; completano il progetto interventi di ripristino e monitoraggio ambientale.

11.2 - Protezione della falda idrica

Le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di accertare l'esistenza di una falda a pelo libero ubicata al di sotto del corpo rifiuti, a modesta profondità, che interessa l'intera area in studio; essa è strettamente correlata alla subalvea del *Fiume Calore*.

Le analisi chimico batteriologiche eseguite evidenziano l'elevato tasso di inquinamento da percolato che caratterizza detta falda.

E' stata, inoltre, accertata l'esistenza, a modesta profondità, di un substrato di natura limoso argilloso, impermeabile, non interessato dai fenomeni di inquinamento, caratterizzato da continuità sia in senso distale che verticale.

Sulla scorta, pertanto, delle caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche del sito interessato, si ritiene che l'intervento in grado di garantire il perfetto isolamento della massa di rifiuti con l'ambiente circostante, ed in particolare con la falda idrica, sia rappresentato da un diaframma continuo verticale impermeabile che circonda l'intera area di discarica e tanto in perfetta analogia e continuità con l'intervento eseguito nel corso della messa in sicurezza del I° Lotto di discarica.

Tale soluzione progettuale, infatti, ben si presta segnatamente in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche del sito, le quali evidenziano la presenza a profondità tecnicamente accettabili di un adeguato substrato impermeabile naturale che garantisce da un lato la perfetta tenuta nei confronti di possibili infiltrazioni in verticale delle sostanze inquinanti e dall'altro funge da ottimo ammorsamento per la barriera verticale da realizzare; si otterrà, in tal modo, un continuo impermeabile che isola completamente la massa di rifiuti – fonte accertata di inquinamento – dalle matrici ambientali circostanti e garantisce adeguatamente anche contro ulteriori ingressioni di acque sotterranee, sia provenienti da monte che dall'alveo del *Fiume Calore*, le quali, come accade allo stato, sono inquinate dai reflui provenienti dalla discarica.

La cinturazione del sito (da eseguire su soli tre lati del cumulo oggetto di intervento, in quanto sul fronte NNW, in corrispondenza della viabilità ASI, la cinturazione è già stata realizzata durante l'esecuzione del I° Lotto di intervento) verrà, pertanto, realizzata mediante l'esecuzione di paratie di sezione pari a 0,60 m eseguite in tratti affiancati ed idoneamente giuntati con giunto a "coda di rondine" tipo *waterstop* per garantire l'impermeabilità della barriera verticale; la profondità di scavo dei singoli pannelli sarà tale da garantire una penetrazione nel banco argilloso sottostante per un'altezza di almeno 1,50 m.

In considerazione della presenza di falda idrica e di terreni sciolti passibili di franamento, lo scavo dei singoli elementi verrà eseguito utilizzando quale fluido di perforazione e di sostegno una miscela a base di fango bentonitico, composto con bentonite attiva miscelata con acqua in modo da avere un peso di volume non inferiore

a $1,02 \text{ kg/dm}^3$ in argilla compatta (4% in peso di bentonite) e non inferiore a $1,06 \text{ kg/dm}^3$ (10% in peso di bentonite) in materiale granulare.

Deve, peraltro, considerarsi che il diaframma impermeabile innanzi descritto potrà essere realizzato soli sui fronti WSW e SSE del cumulo, in quanto in corrispondenza di detti fronti sussistono gli spazi necessari all'impianto del cantiere di perforazione e getto.

Sul terzo fronte (ENE) del cumulo, di contro, la presenza di una scarpata ad elevata acclività e la vicinanza della recinzione di un opificio industriale non consentono l'adozione di detta metodologia tecnica.

Su detto fronte, pertanto, la cinturazione del sito di discarica verrà effettuata mediante *jet-grouting* e tanto in perfetta analogia con quanto realizzato nel corso del I° Lotto di intervento, in particolare per quanto attiene il tratto di discarica sottoposto alla viabilità ASI; detta metodologia, infatti, necessità di macchinari di minori dimensioni e quindi di spazi operativi ridotti a fronte di risultati tecnicamente analoghi a quelli conseguiti con l'adozione della pannellatura verticale continua.

Nello specifico, il *jet-grouting* consiste nell'iniezione di un fluido stabilizzante ad altissima pressione nel terreno e che ha come scopo il consolidamento di volumi delimitati di terreno in posto al fine di migliorarne – nel caso specifico – le caratteristiche di permeabilità.

Tra le varie metodologie operative oggi esistenti sul mercato si è optato, in relazione alla caratteristiche litostratigrafiche del sito di intervento ed alle finalità da perseguire, per una tecnologia "*monofluido*" caratterizzata da una preventiva perforazione a vuoto o a circolazione di fanghi bentonitici per il sostegno delle pareti, di diametro pari ad 800 mm fino a raggiungere il banco limoso argilloso di fondo e ad attraversare il medesimo per una profondità non inferiore ad 1,50 m e la successiva iniezione ad alta pressione di una sospensione fluida costituita da acqua e cemento con l'eventuale additivazione di bentonite sodica; in virtù della pressione di iniezione si ottiene il consolidamento di una "*colonna*" di terreno di sezione più ampia rispetto a quella effettivamente perforata.

Operando per colonne contigue parzialmente sovrapposte e disposte su di un singolo allineamento, si otterrà, pertanto, un diaframma colonnare continuo; per dette motivazioni, le perforazioni verranno eseguite ad un interasse non superiore a 500 mm.

La composizione della boiaccia di iniezione sarà definita nelle componenti chimico fisiche, granulometriche e quantitative in modo tale da garantire la massima affidabilità dal punto di vista statico, plastico e della impermeabilizzazione; il dosaggio della stessa sarà preventivamente eseguito in laboratorio, e successivamente in cantiere mediante opportune prove di qualificazione.

Con le tecniche innanzi descritte, in conclusione, si garantirà il perfetto isolamento del corpo rifiuti dall'ambiente circostante.

Nell'ambito del tronco di discarica interessato dall'intervento, infine, e seguendo le linee di flusso della falda idrica, verranno complessivamente realizzati, all'interno della zona protetta con diaframma plastico, n° 2 pozzi per il prelievo del percolato residuo, spinti a profondità tale da penetrare significativamente nel banco di argilla impermeabile sottostante il corpo rifiuti; da tali pozzi il percolato residuo verrà periodicamente asportato a mezzo di autobotti e trasferito presso impianti di depurazione autorizzati.

11.3 - Copertura e impermeabilizzazione del corpo rifiuti

In ossequio alle principali direttive in materia, il presente progetto di messa in sicurezza permanente non prevede alcuna significativa movimentazione dei rifiuti stoccati, se non per zone estremamente limitate e per spessori ridotti.

Si provvederà, pertanto, alla sola sommaria risagomatura del corpo rifiuti ed alla regolarizzazione delle scarpate artificiali, sagomandole, laddove necessario e possibile, su pendenze comprese tra 30.0 ° e 35.0 °.

In considerazione delle elevate pendenze che comunque caratterizzano il corpo rifiuti, non modificabili, che non consentono l'adozione di sistemi di impermeabilizzazione e di drenaggio delle acque meteoriche di tipo minerale, si è optato per sistema di chiusura che utilizza quasi esclusivamente geosintetici, che comunque rispetta appieno le prescrizioni di cui all'allegato 1, punto 2.4.3 del D. Lgs. n° 36/2003.

Partendo dal corpo rifiuti adeguatamente regolarizzato, si provvederà a predisporre geocomposito drenante gas permeabile, con la funzione di captare e convogliare verso i pozzi di aspirazione tutte le fuoriuscite incontrollate di biogas che dovessero verificarsi lungo le scarpate, evitando, così la creazione di pericolose sovrappressioni nell'ambito dei rifiuti stoccati; tale geocomposito, inoltre, ha la funzione

di scongiurare la possibilità di eventuali risalite capillari, nonché di ammortizzare ed omogeneizzare gli assestamenti del sistema di impermeabilizzazione in relazione ai prevedibili assestamenti del corpo rifiuti, dovuti anche alla degassazione.

Al di sopra di tale strato verrà disposto un sistema impermeabilizzante artificiale, deputato essenzialmente ad evitare infiltrazioni di acque meteoriche nel corpo rifiuti con conseguente formazione di percolato, costituito da un geocomposito bentonitico agugliato di adeguate caratteristiche, dotato di un coefficiente di permeabilità non inferiore a $k = 1.00 \cdot 10^{-9}$ cm/sec; esso è costituito da due supporti in tessuto-non tessuto, rinforzato con un tessuto di piattina ed uno strato centrale di bentonite sodica in polvere; il collegamento meccanico degli strati componenti il geosintetico è ottenuto mediante agugliatura di fibre sintetiche dallo strato superiore a quello inferiore, permettendo un'espansione controllata della bentonite.

Si è optato per l'utilizzo di un geocomposito bentonitico rispetto alla più classica guaina in HDPE in relazione, tra l'altro, alla facilità e rapidità di posa in opera della prima, stesa in teli parzialmente sovrapposti, senza dover ricorrere ad operazione di saldatura a caldo, particolarmente complesse in presenza di elevate pendenze; inoltre l'elevata resistenza al taglio del geocomposito bentonitico agugliato, non vincolato da saldature, lo rende più idoneo a resistere agli sforzi di taglio e di trazione dovuti ai fenomeni di assestamento, spesso di notevoli entità, senza rischi di lacerazioni o diminuzioni del coefficiente di permeabilità.

Al di sopra dello strato impermeabile verrà disposto un sistema per il drenaggio controllato ed il completo allontanamento delle acque di provenienza meteorica: anche in tal caso, per l'elevata pendenza delle scarpate, si utilizzerà un geocomposito drenante sintetico capace di garantire elevata trasmissione del fluido e basso rischio di intasamento a fronte di rapida ed economica posa in opera; lo spessore e la porosità del geocomposito drenante verrà definita in funzione della granulometria del sovrastante strato di terreno di coltivo.

La acque così captate e convogliate verso il piede delle scarpate verranno allontanate a mezzo di un sistema di tubazioni di raccolta posizionato a tergo del muro di recinzione; il sistema verrà annegato in uno strato granulare minerale di idonea pezzatura per favorire anche la raccolta delle acque di corrivazione e sarà dotato di pozzetti di ispezione e manutenzione idoneamente intervallati e da un pozzetto di

recapito finale che convoglierà le acque captate verso un esistente canale superficiale avente adeguata capacità ricettiva e, quindi, scaricate nell'alveo del Fiume Calore.

Al di sopra dello strato di drenaggio verrà disposto uno strato di terreno vegetale avente spessore variabile tra 0.40 m sulle scarpate, laddove si rilevano elevate pendenze, ed 1.00 m sulle zone di sommità, laddove le pendenze risultano molto più contenute.

Al fine di aumentare la resistenza al taglio lungo la superficie di contatto tra terreno vegetale e sottostante geocomposito, verrà posata in opera una georete di armatura opportunamente ancorata in testa mediante specifica trincea; se ritenuto necessario, potranno anche prevedersi trincee di ancoraggio intermedie lungo le scarpate a maggior sviluppo verticale.

In relazione alla elevata acclività che caratterizza le scarpate del cumulo di discarica, segnatamente sui fronti NNW (prospiciente la viabilità ASI) e NNE, sarà necessario predisporre opportuni presidi finalizzati essenzialmente a garantire la stabilità dei medesimi fronti ed a consentire la corretta posa in opera del pacchetto di impermeabilizzazione superficiale.

Nel dettaglio, sul fronte NNW, laddove la presenza di un esistente muro di sostegno - da preservare per evidenti motivi di opportunità - non consente la risagomatura della scarpata, sarà opportuno prevedere la realizzazione di una struttura di contenimento in terra rinforzata che garantirà adeguatamente la stabilità della scarpata a monte: l'intervento, interessante un fronte di circa 70 m a tergo del muro di sostegno, consisterà nella realizzazione di una terra rinforzata di altezza pari mediamente a 2,50 m, costituito da strati di terreno a matrice granulare di altezza non inferiore a 30 cm e non superiore a 60 cm, opportunamente compattati con mezzo meccanico e rinforzati con geogriglie in HDPE monorientate aventi resistenza alla trazione non inferiore a 45 kN/m².

Il paramento a vista sarà inclinato di 65° rispetto all'orizzontale e contenuto in un cassero guida a perdere in rete metallica elettrosaldata a maglia 15 * 15 cm e correnti ϕ 8,0 mm, protetta da una barriera antierosione costituita da una geostuoia accoppiata ad un biofiltro preseminato in fibre cellulosiche per favorire l'inerbimento.

Il pacchetto di impermeabilizzazione superficiale verrà posato in opera al di sotto della terra armata.

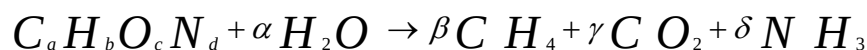
Sul fronte NNE, di contro, laddove - oltre alla elevata acclività - sussistono oggettivi problemi di spazi operativi per la immediata vicinanza di una proprietà terza, si potrà optare, ai fini della stabilizzazione della scarpata, per l'utilizzo di elementi prefabbricati in calcestruzzo vibrato poroso, posti in opera a secco salvo la fila di base, opportunamente riempiti con terreno granulare ad elevata permeabilità e sovrastante terreno vegetale per l'attecchimento della vegetazione.

Gli elementi prefabbricati verranno disposti sul detto fronte su di un singolo allineamento per uno sviluppo lineare complessivo pari a circa 140 ml e su due allineamenti sovrapposti per una lunghezza di circa 60 ml, in modo tale da ottenere una sagomatura a gradoni nella fascia più acclive della scarpata.

Sia le scarpate che la zona sommitale del cumulo di rifiuti verranno adeguatamente sistemati con interventi di piantumazione e di ripristino ambientale.

11.4 - Captazione del biogas

La produzione di biogas all'interno delle discariche è essenzialmente da imputare ai processi di fermentazione del metano che si forma nell'ammasso stoccato per reazioni di tipo anaerobico derivanti dalla demolizione del carbonio organico presente nei rifiuti urbani (circa 200 ÷ 300 Kg/t di rifiuti domestici) secondo la seguente relazione stechiometrica:



Nel corso, inoltre, dei processi di lisciviazione, volatilizzazione e decomposizione biochimica dei composti contenuti nei rifiuti, si formano ulteriori sostanze, diffuse poi dalle emissioni gassose, che producono odori sgradevoli e provocano inquinamento ambientale (composti organici solforati, acidi grassi); la composizione media di un biogas prodotto in discariche di RR.SS.UU. può essere così sintetizzata:

✓ Metano (CH ₄)	⇒	15 ÷ 60 % in volume
✓ Anidride carbonica (CO ₂)	⇒	10 ÷ 40 % in volume
✓ Azoto (N ₂)	⇒	1 ÷ 60 % in volume
✓ Ossigeno (O ₂)	⇒	1 ÷ 8 % in volume
✓ Idrogeno solforato (H ₂ S)	⇒	1 % in volume
✓ Mercaptani (-HS)	⇒	1 % in volume

L'elevato contenuto di metano nel biogas, sostanza fortemente volatile e facilmente infiammabile, favorisce i processi di autocombustione; inoltre, ad

esaurimento della discarica e qualora essa non venga efficacemente degassata, determina la formazione di sovrappressioni nella massa dei rifiuti, anche se l'impermeabilizzazione della superficie non è completa, che possono assumere entità considerevoli con pericolo di esplosioni.

La quantità di biogas prodotta da una discarica di rifiuti urbani ed assimilati è funzione della velocità di demolizione della sostanza organica, che è decrescente nel tempo; si può, quindi, stimare che la maggior produzione di biogas è compresa tra il 3° ed il 7° anno dallo stoccaggio dei rifiuti in discarica, e che entro il 15° anno la produzione risulta mediamente ridotta ad un 30.0 % di quella iniziale; dopo tale periodo la curva di produzione del biogas tende a decrescere in modo asintotico.

Pertanto, in relazione a quanto innanzi, si ritiene necessario dover predisporre un adeguato impianto per la captazione, del biogas, rappresentato essenzialmente da pozzi di degasaggio.

Si provvederà alla trivellazione di pozzi di degasaggio che verranno disposti ad interasse non inferiore a 60.00 m ed in modo tale che i teorici raggi di influenza di ogni singolo pozzo (circa 30.00 m) siano parzialmente sovrapposti.

La trivellazione avrà diametro non inferiore a 600 mm, dovrà essere eseguita con tubo-forma e verrà spinta fino a raggiungere la base dei rifiuti; successivamente, con il tubo-forma ancora in posto, si calerà nel perforo una sonda di drenaggio microfessurata a "canna di mitra" in PEHD di diametro pari a 160 mm, opportunamente protetta da calza in tessuto-non-tessuto, riempiendo l'intercapedine tra tubo-forma e sonda drenante con ghiaia di idonea pezzatura e provvedendo, man mano che si immette ghiaia nel perforo, al ritiro della tubazione di rivestimento.

Le teste di pozzo, adeguatamente protette da pozzetti metallici, saranno dotate di scaricatore di condensa, valvola di intercettazione e presa per analisi.

In considerazione, infine, che l'intervento di messa in sicurezza di cui al presente progetto viene eseguito su di una discarica inattiva da oltre 18 anni, e verificato che i processi di metanizzazione hanno ampiamente superato la fase di picco (Cfr. *Relazione Dimensionale*) e quindi la produzione di biogas è in rapida diminuzione, visto che i pozzi di captazione del biogas installati in sede di realizzazione del 1° Lotto di intervento (anno 2009) non hanno determinato problemi di sosta e la relativa libera dispersione in atmosfera del biogas non ha creato pregiudizio alle matrici ambientali al contorno ed agli insediamenti antropici, si ritiene di poter omettere - in via definitiva -

la realizzazione di un sistema che preveda il collettamento e la combustione dello stesso biogas.

11.5 – monitoraggio e ripristino ambientale

Ad integrazione di quelli già realizzati nella fase esecutiva del I° Lotto di intervento, si prevede di realizzare un ulteriore pozzo di monitoraggio della falda idrica ubicato in aree esterne rispetto alla barriera plastica impermeabile, spinto a profondità tale da interessare l'intero spessore dell'acquifero; la perforazione del pozzo avverrà con metodologia preferibilmente a secco (in ogni caso con utilizzo esclusivo di acqua chiara senza l'ausilio di fluidi di contenimento a base bentonitica o sintetica) ed a rotazione, con diametro finito a fondo foro pari a 800 mm, spinti a profondità tali da interessare l'intero spessore dell'acquifero.

Il pozzo verrà condizionato con tubazione in PVC atossico Φ 315 mm, con tubi-filtro microfessurati per i tratti in falda e ciechi per i restanti tratti, sarà dotato di sezione drenante di spessore adeguato costituita da ghiaietto calibrato e sarà protetto in testa da pozzetto metallico dotato di chiusura a chiave.

Il tratto più superficiale del pozzo verrà opportunamente sigillato con tampone plastico a base di argilla compattata al fine di scongiurare la possibilità che acque di provenienza superficiale vadano ad inquinare le eventuali acque di falda.

Il pozzo di monitoraggio – unitamente a quelli già realizzati durante il primo intervento di messa in sicurezza del sito di discarica – serviranno a valutare – mediante specifiche analisi da eseguire periodicamente - sia la bontà e l'efficacia dell'intervento di cinturazione eseguito che la presenza di sostanze inquinanti ancora disperse nel corpo idrico e di determinarne, con elevato margine di sicurezza, la provenienza anche la fine di prevedere eventuali interventi correttivi.

Gli interventi di recupero ambientale dell'area di discarica sono essenzialmente finalizzati a favorire il reinserimento del sito nell'ambiente naturale circostante ed a stimolare la possibilità di fruizione dello stesso, in perfetta analogia con gli obiettivi perseguiti in sede di realizzazione del I° Lotto di intervento.

Si provvederà preliminarmente al completo rinverdimento dell'area di discarica utilizzando una biostuoia in juta, totalmente biodegradabile, la quale avrà anche funzione antierosiva, e successiva idrosemina con miscuglio di sementi selezionate e specifiche per la tipologia di intervento; verranno, inoltre, poste a dimora

specie arboree ed arbustive di tipo autoctono, caratterizzate da elevata rusticità ed adattabilità a condizioni pedoclimatiche anche di tipo estremo e con apparato radicale tendenzialmente superficiale ed espanso.

In particolare si provvederà a piantumare – previa realizzazione di una buona base agronomica - nella zona retrostanti la recinzione una specifica specie arborea (*robinia pseudoacacia*) che fornirà, nel tempo, una copertura verde piuttosto compatta e continua dell'intera area, ed a mettere a dimora sia sulle scarpate che nelle zone sommitali, anche con eventuale ausilio di opere di bioingegneria (viminate, fascinate, cordonate, ecc...), essenze prevalentemente arbustive.

Rispetto alle scelte operate in sede di realizzazione del I° Lotto di intervento, allorché si è cercato di diversificare quanto più possibile la tipologia di essenze messe a dimora, ed in relazione ai risultati ottenuti, sarà preferibile uniformare le specie arboree, limitando le stesse a poche tipologie, adatte ad essere allevate sia a gruppi sia a siepe libera o gestita.

Preventivamente alla fase di messa a dimora delle essenze vegetali, comunque, si provvederà al dissodamento del terreno mediante aratura e successiva fresatura, nonché alla fertilizzazione a pieno campo con utilizzo di concimi organo-minerali additivati con N, P, K, oligo e microelementi.

Competa l'intervento di ripristino ambientale la realizzazione di un vialetto in ghiaia il quale seguirà, in linea di massima, l'ubicazione della pista di servizio realizzata durante le fasi di esercizio della discarica, strettamente raccordato con la vegetazione messa a dimora, separato da staccionate in legno, in modo da creare un percorso pedonale gradevole che culmina in una zona di "belvedere" posizionata nella fascia terminale del corpo discarica.

Completano l'intervento la realizzazione di una recinzione continua costituita da muretto in conglomerato cementizio armato avente altezza f.t. pari ad 1,50 m e sovrastante rete metallica avente altezza pari a 2,00 m, dotata di n° 2 cancelli di ingresso e le già descritte opere per la captazione e l'allontanamento delle acque meteoriche.

Nessun ulteriore intervento, infine, è previsto per il monitoraggio meteorologico in quanto già completamente realizzato durante le fasi esecutive del I° Lotto di intervento.

12. Conclusioni

Gli interventi previsti nel presente progetto esecutivo di messa in sicurezza permanente e ripristino ambientale del dismesso sito di discarica ubicato in Loc. *Ponte Valentino* del Comune di Benevento – II° Lotto di completamento - sono stati dimensionati in funzione dei dati emersi dalle indagini sperimentali specificamente eseguite sul sito di interesse, le quali hanno consentito di caratterizzare dettagliatamente il sito essenzialmente dal punto di vista geolitologico ed idrogeologico.

La completa e dettagliata conoscenza dell'area e delle problematiche ad essa connesse è stata acquisita mediante la realizzazione del *Piano della Caratterizzazione* redatto ai sensi del Decreto del Ministero dell'Ambiente 25 ottobre 1999, n. 471 e secondo le modalità conformi ai Criteri Generali indicati nell'Allegato 4 del Decreto stesso.

Tutti gli interventi previsti nel presente progetto sono stati uniformati ai dettami del D. Lgs. n° 36/03 che, recependo la Direttiva CEE n° 31/99, si applica a tutte le tipologie di discarica, nonché al D. Lgs. n° 152/2006 e ss.mm.ii..

A tal uopo, con particolare riferimento a quanto indicato negli artt. 3, 8 e 9, nonché agli indirizzi esplicitati nell'Allegato 2 (*Piani di Gestione Operativa, di Ripristino Ambientale, di Gestione Post-Operativa, di Sorveglianza e Controllo, Finanziario*) si evidenzia – per gli aspetti specifici del presente progetto - quanto segue:

➤ **La protezione delle matrici ambientali in fase di post-gestione è garantita:**

- a) da un sistema di regimazione e convogliamento delle acque superficiali;
- b) dalla presenza di una barriera geologica sottostante il sito di discarica, caratterizzata da coefficienti di permeabilità compresi tra $3,81 \cdot 10^{-6} \geq k \geq 5,45 \cdot 10^{-8}$ cm/sec;
- c) dalla realizzazione di un diaframma impermeabile continuo che circonda l'intero sito di discarica, adeguatamente ammorsato nella citata barriera geologica e connesso alla cinturazione già eseguita nella fase esecutiva del I° Lotto di intervento; il diaframma verrà ottenuto su due lati (fronti WSW ed SSE) mediante pannelli continui in calcestruzzo armato e su di un lato (fronte

NNE) mediante strutture colonnari impermeabili realizzate mediante jet-grouting;

- d) dalla realizzazione di n° 2 pozzi per il prelievo del percolato residuo all'interno della zona cinturata;
- e) da un sistema di copertura finale della discarica progettato in modo da essere perfettamente rispondente ai seguenti criteri:
 - ✓ garantire il perfetto isolamento dei rifiuti dall'ambiente circostante;
 - ✓ minimizzare le infiltrazioni idriche;
 - ✓ ridurre al minimo gli interventi di manutenzione;
 - ✓ ridurre al minimo i fenomeni di erosione;
 - ✓ offrire ampie garanzie di sicurezza nei confronti di fenomeni di assestamento e subsidenza localizzata;

Il sistema di copertura finale dell'invaso, infatti, realizzato in conformità di quanto prescritto dal D. Lgs. n° 36/03, sarà costituito, previa regolarizzazione della superficie d'appoggio con terreni idonei e conferimento delle opportune pendenze che tengano conto dei prevedibili assestamenti della massa di rifiuti, garantendo, anche in tale ipotesi, il corretto deflusso delle acque di provenienza meteorica, da:

- ☑ uno strato di livellamento gas-permeabile e di rottura capillare, protetto da eventuali intasamenti, costituito da un geocomposito drenante ad elevata resistenza;
- ☑ uno strato impermeabile costituito da geocomposito bentonitico, caratterizzato da conducibilità idraulica d'insieme non superiore a $1,00 \cdot 10^{-9}$ cm/sec;
- ☑ Uno strato costituito da geocomposito drenante ad elevata resistenza, protetto da eventuali fenomeni di intasamento, avente funzione di drenaggio delle acque meteoriche, in grado di impedire la formazione di un battente idrico al di sopra delle barriere innanzi descritte;
- ☑ Uno strato superficiale di copertura avente spessore variabile tra 0,40 m ed 1,00 m, costituito da terreno che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali e garantisca la protezione degli strati sottostanti nei confronti delle escursioni termiche, protetto da eventuali fenomeni di erosione lungo le scarpate mediante adeguata geostuoia di aggrappo;

- f)* dalla realizzazione di un adeguato sistema di captazione e gestione del biogas, progettato gestito in modo da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e la salute umana. costituito da n° 7 pozzi di nuova costruzione;
 - g)* dalla realizzazione di una recinzione continua per la protezione fisica dell'impianto, dotata di n° 2 cancelli di ingresso, avente altezza complessiva di 3.50 m, costituita da muretto in calcestruzzo armato con sovrastante rete metallica.
- **Il monitoraggio delle matrici ambientali in fase di post-gestione è garantito:**
 - h)* dalla realizzazione di n° 1 pozzo di monitoraggio della falda idrica, integrativo rispetto a quelli già realizzati nella fase di esecuzione del I° Lotto di intervento;
 - i)* dalla presenza di pozzetti per il monitoraggio delle acque bianche immesse nel sistema idrico superficiale;
 - j)* dalla presenza di una stazione per il rilevamento dei dati meteorologici installata nella zona sommitale del sito di discarica nella fase di esecuzione del I° Lotto di intervento;
 - k)* dai specifici programmi di controllo dei parametri di cui all'*Allegato 2* del D. Lgs. n° 36/03, *Tabella 1* e *Tabella 2*, anche mediante stipula di apposita convenzione con laboratori qualificati, per i quali si rimanda all'allegato "*Piano di Sorveglianza e Controllo*".
- **Il ripristino ambientale del sito è garantito:**
 - l)* dalla ricostruzione di uno strato edifico avente spessore pari a 0.40 m, opportunamente ammendato e predisposto per la messa a dimora di specie arboree ed arbustive;
 - m)* dal completo inerbimento dell'intera superficie della discarica con essenze perenni , anche con adozione di sistemi antierosione, al fine di una rapida stabilizzazione del suolo posto in opera;
 - n)* dalla ricostruzione della copertura vegetale, con messa a dimora di specie arboree ed arbustive di tipo autoctono al fine di favorire la rinaturalizzazione del sito;
 - o)* dalla creazione di percorsi pedonali attrezzati al fine di favorire la fruizione dell'area.

Il presente progetto è, infine, comprensivo degli elaborati previsti dall'art. 8 del D. Lgs. n° 36/03, ed in particolare:

- piano di manutenzione del sito, redatto secondo i criteri stabiliti dall'*Allegato 2*;
- piano di gestione in fase post-operativa della discarica, redatto secondo i criteri stabiliti dall'*Allegato 2*;
- piano di sorveglianza e controllo nelle fasi di realizzazione, gestione e post-chiusura, relativo a tutti i fattori ambientali di cui all'*Allegato 2*;
- piano di recupero ambientale per la rinaturalizzazione del sito di discarica.

Dott. Massimo Romito

G e o l o g o