



COMUNE DI PESCO SANNITA
Provincia di Benevento

**PROGETTO DEFINITIVO
APPALTABILE**

appalto integrato ai sensi dell'articolo 53, comma 2,
lettera b) del D. Lgs. n. 163/2006

OGGETTO:

**LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA
DELL'EX DISCARICA COMUNALE LOCALITA' LAME**

P.d.C. approvato in conferenza dei servizi del 07-07-2015

TAV. N.

15

Scala

STUDIO GEOLOGICO

Il Sindaco
Geom. Antonio MICHELE

Il RUP
Ing. Giuseppe CORBO

Il geologo
Dott. Lucio Gerardo D' AGOSTINO

Il geologo collaboratore
Dott. Gianni SIMEONE

Data:

INDICE

PREMESSA	pag. 4
INTRODUZIONE	pag. 5
1. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO	pag. 6
2. SUPERFICIE DELLA DISCARICA E DEI SETTORI IN CUI È SUDDIVISA	pag. 9
3. QUANTITÀ E VOLUMI DI RIFIUTI STOCCATI	pag. 10
4. STATO DEI LUOGHI, IMPIANTI ED INFRASTRUTTURE SOTTERRANEE DELLA DISCARICA E DELL'AREA CIRCOSTANTE	pag. 11
5. TIPOLOGIA E VOLUME DEI RIFIUTI, CONDIZIONI DI IMPERMEABILIZZAZIONE E RICOPRIMENTO, PRESENZA DI PERCOLATO E DI EMISSIONI GASSOSE.	pag. 12
6. CLASSIFICAZIONE DEI RIFIUTI E RELATIVO LIVELLO DI PERICOLOSITÀ	pag. 18
7. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL SITO	pag. 19
8. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	pag. 21
9. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMICHE DELL'AREA	pag. 24
10. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE	pag. 30
11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	pag. 31
12. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE	pag. 33
13. STABILITÀ DEL PENDIO E PREDISPOSIZIONE AL DISSESTO	pag. 34
14. CONDIZIONI IDROLOGICHE DEL SITO E BILANCIO IDROLOGICO	pag. 36
15. OBIETTIVI PROGETTUALI PER LA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO OPERATIVO DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA	pag. 40
16. OBIETTIVI PROGETTUALI GENERALI	pag. 41
17. INTERVENTI DI PROGETTO	pag. 41
17.1 Ripulitura manto erbaceo ed arboreo	pag. 43
17.2 Risagomatura del corpo di discarica	pag. 43
17.3 Capping	pag. 44
17.4. Copertura vegetativa	pag. 46
17.5. Terreno di copertura	pag. 47
17.6. Strato di regolazione	pag. 48
17.7. Strato di impermeabilizzazione	pag. 48

17.8. <i>Strato protettivo</i>	pag. 50
17.9. <i>Strato drenante</i>	pag. 51
18. SISTEMA DI DRENAGGIO E REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE	pag. 54
19. RIPRISTINO MORFOLOGICO E COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA	pag. 55
20. RIPRISTINO PIEZOMETRI ESISTENTI	pag. 57
21. REGIMAZIONE ACQUE DI INFILTRAZIONE	pag. 57
22. SCHEMA PROGETTUALE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA	pag. 59
23. TIPOLOGIA DI INTERVENTO DI BONIFICA PROPOSTO	pag. 60
24. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	pag. 60
25. CONCLUSIONI	pag. 61

PREMESSA

A seguito della Conferenza dei Servizi del 07/07/2015 svoltasi a Benevento presso U.O.D. - *Autorizzazione Ambientali e Rifiuti - Dipartimento di BN* in cui sono state approvate in via definitiva le risultanze emerse dal Piano di Caratterizzazione Sito Specifica dell'ex discarica comunale in località Lama del comune di Pesco Sannita, il sottoscritto professionista Dott. Geologo Lucio Gerardo D'Agostino, coadiuvato dal Dott. Geologo collaboratore Gianni Simeone, è stato incaricato di eseguire uno studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico di dettaglio dell'area da allegare al "*Progetto di Bonifica e messa in sicurezza*" dell'ex discarica comunale sita in località Lama.

Lo studio geologico è stato articolato in varie fasi tra loro consequenziali che ha avuto come base di partenza il rilievo geologico e geomorfologico di superficie a cui sono seguite l'interpretazione delle indagini geognostiche realizzate durante la fase di Caratterizzazione del Sito in esame.

Con il presente studio geologico, in definitiva si propone di:

- riconoscere i lineamenti stratigrafici e le caratteristiche geolitologiche essenziali del sottosuolo;
- individuare gli andamenti geomorfologici del territorio nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali;
- fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea indicando la più idonea sistemazione idraulica dell'area;
- caratterizzare, da un punto di vista geotecnico, i terreni di sedime fondale;
- proporre una valutazione sulla sismicità della zona indicando i coefficienti sismici di progetto ed eventualmente i principali parametri elastico-dinamici;
- offrire, infine, il supporto tecnico-professionale per la realizzazione delle opere necessarie per la messa in sicurezza e/o bonifica del sito in oggetto.

Inoltre, tutto il lavoro svolto è stato eseguito seguendo le direttive pubblicate dall'Autorità di Bacino dei *Fiumi Liri-Garigliano e Volturno*, nelle norme di attuazione a corredo al Piano Stralcio¹ per l'assetto idrogeologico.

¹ D.L. 11/06/98 n.180 convertito in Legge 03/08/98, n.267
D.P.C.M. 29/09/98
D.L. 13/05/99 n.132 convertito in Legge 13/07/99, n.226

Nelle pagine seguenti si espongono le risultanze emerse dall'analisi di tutti i dati a disposizione dalle quali derivano i principi geologici, geotecnici e sismici su cui devono essere basate le successive fasi di realizzazione delle opere previste in progetto.

INTRODUZIONE

Il problema dei siti contaminati è generalmente il risultato di molteplici attività. Le sorgenti di potenziale contaminazione sono rappresentate, da tutte le possibili situazioni di criticità, individuabili dalla storia lavorativa di un sito, che possono causare un potenziale/reale inquinamento dei diversi media ambientali. Le opere di bonifica con misure di sicurezza da effettuare nel comune di Pesco Sannita (BN), presso il sito dell'ex discarica comunale R.S.U. in località Lame, si identificano con l'insieme degli interventi atti a ridurre le concentrazioni delle sostanze inquinanti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee a valori di concentrazione limite accettabili, così come stabiliti per la destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici vigenti. In tali casi per l'uso del sito devono essere previste apposite misure di sicurezza, piani di monitoraggio e controllo ed eventuali limitazioni rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici. I valori di concentrazione residui di sostanze inquinanti devono comunque essere tali da garantire la tutela della salute pubblica e la protezione dell'ambiente naturale o costruito. Le attività di bonifica e di messa in sicurezza saranno condotte in modo tale da permettere la validazione dei risultati finali da parte delle Pubbliche Autorità in un quadro realistico e condiviso delle situazioni di contaminazione emerse durante le fasi di caratterizzazione del sito in oggetto.

La discarica secondo il DPR n. 915/82 risulta di I categoria, cioè Rifiuti Solidi Urbani, rifiuti speciali assimilabili agli urbani e fanghi non tossici. L'intervento proposto fa riferimento alle seguenti leggi, decreti, nonché circolari regionali:

- ✓ *Degreto Legislativo n. 152/2006 – art.242 comma 7 – Progetto operativo di bonifica o messa in sicurezza;*
- ✓ *D.G.R. n. 129/2013 - Piano Regionale di Bonifica della Campania.*

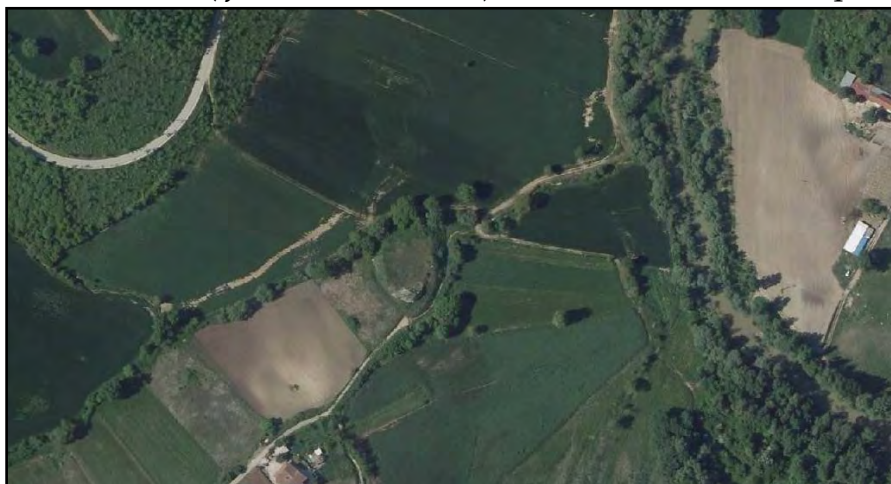
1. INQUADRAMENTO GENERALE DEL SITO

La discarica oggetto dell'intervento, riportata in catasto alle particelle n. 1 e 2 del Foglio catastale n. 14 (cfr. Tav. 15.1), è ubicata nella porzione nord-occidentale del territorio comunale di Pesco Sannita (*Tavoletta I.G.M. I. S.O. – Pesco Sannita del foglio 173 della Carta Geologica d'Italia*), localizzata alla località Lama (cfr. Tav. 15.2).

La posizione mediana dell'area di intervento ha coordinate (*Gauss-Boaga*):

N 4565691 E 2503835

In particolare il sito in oggetto si inserisce in un ampio ed articolato pendio che, con pendenze disuniformi e spesso accentuate, degrada verso la valle alluvionale del "Fiume Tammaro" (cfr. Tav. 15.3 e 15.4), caratterizzata da una quota media di circa 300 m s.l.m., il



pendio presenta vergenza a NW ed acclività variabile tra il 5 % ed il 10 % (a cui corrisponde un'inclinazione media di circa 5°), con valori che tendono sensibilmente a diminuire verso valle (cfr. Tav. 15.5).

Fig. 1 - Vista panoramica della discarica situata in località Lama (Pesco Sannita).



Fig. 2 - Vista frontale della discarica situata in località Lama (Pesco Sannita)

La strada di accesso alla discarica risulta sgombra e praticabile per gran parte del suo tratto, mentre in prossimità di essa il manto stradale è dissestato e privo di qualsiasi tipo di manutenzione, mentre a valle della discarica la strada è in terra battuta (cfr. fig. 3). Non tutta l'area di discarica risulta essere totalmente recintata, infatti la rete di recinzione, alta circa 1,50 m, in alcuni punti risulta rotta o mancante, il cancello di ingresso è presente e limita l'accesso ai mezzi meccanici ma non alle persone in quanto in un punto manca la rete di recinzione (cfr. fig. 4).



Fig.3 - Particolare della strada di accesso alla discarica

Non si riscontrano nelle vicinanze dell'area interessata significativi centri abitati ad esclusione di alcune abitazioni situate a monte di essa (a circa 140 m).



Fig. 4 - Particolare dell'accesso alla discarica comunale in località Lame.

I rifiuti sono disposti regolarmente solo all'interno dell'area adibita a discarica e costituiti prevalentemente da rifiuti solidi urbani indifferenziati. Le attività di conferimento rifiuti e coltivazione della discarica, in passato, sono state eseguite in maniera blanda per cui la produzione di polvere è assai ridotta.

Lo stato attuale dei luoghi non evidenzia l'esposizione dei materiali di rifiuto, in quanto il sito di discarica è stato colmato prestando attenzione ad alternare livelli di R.S.U., con livelli di materiale argilloso impermeabilizzante. Si evidenzia dal sopralluogo effettuato che la parte a valle della discarica, a ridosso del torrente Cammarotta, a causa dello scalzamento al piede del torrente susseguitosi nel tempo si sono verificati cedimenti nella parete di contenimento, costituita da pannelli prefabbricati in cls, con conseguente fuoriuscita di rifiuti (*cfr. fig. 5*).

Il corpo della discarica, anche nei tempi passati, non ha mai subito modificazioni in seguito ad assestamenti e dilavamenti da acque meteoriche, infatti non sono stati rilevati ristagni di acqua al di fuori del perimetro di recinzione. I rifiuti prodotti conferiti in



discarica, hanno una matrice inorganica, per cui è da escludersi qualsiasi produzione di gas in seguito a decomposizioni o reazioni chimiche, né tantomeno emissioni di odori. Per il resto la vegetazione spontanea, lungo la recinzione, e le piante presenti evidenziano uno stato vegetativo normale. La vasca di raccolta del percolato non è presente.

Fig. 5 - Particolare dell'area esterna alla discarica

2. SUPERFICIE DELLA DISCARICA E DEI SETTORI IN CUI È SUDDIVISA

Il sito è stato utilizzato dai primi mesi del 1982 fino al 1994, periodo in cui il Comune, con l'adesione al Consorzio BN1, ne ha decretata la chiusura della stessa. Successivamente la produzione di R.S.U. è stata smaltita presso l'impianto di Piano Borea, il CDR di Casalduni e, successivamente, presso la discarica Consortile Autorizzata di Sant'Arcangelo Trimonte.

La superficie attuale della discarica è equivalente a circa 2800 m² ed è solo in parte recintata da rete metallica (lato monte), mentre parte del lato a valle è recintata con pannelli di c.a. prefabbricati a vista.

La superficie utilizzata è stata semplicemente interdetta all'accesso dei non addetti allo sversamento ed è dunque priva di qualsiasi tipo di impermeabilizzazione basale. Il rifiuto si trova in diretto contatto con l'originaria superficie topografica e l'interferenza con la falda freatica, se presente, è sicuramente elevata.

Dalle indagini effettuate sul sito di interesse, la parte superficiale della discarica è stata ricoperta da terreni di natura argillosa al fine di eseguire l'impermeabilizzazione, di impedire qualsiasi tipo di esalazioni e per evitare lo spargimento dei rifiuti sul territorio circostante ad opera di animali o causati da fatti occasionali. Allo stato attuale si presenta completamente ricoperta di vegetazione spontanea e non si notano rifiuti scoperti né liquidi di percolazione.

Nell'area a valle, lungo il corso del torrente Cammarotta, si sono verificati cedimenti nei pannelli in calcestruzzo causando la fuoriuscita di R.S.U. (*cfr. fig. 5*), i quali vengono a contatto con il corso d'acqua specie durante il periodo di piena, legato agli eventi meteorologici di maggiore intensità. Tali rifiuti, così disposti, vengono presi in carico dalla corrente e trasportati a valle del corso d'acqua.

In riferimento allo spessore dei rifiuti stoccati in discarica, è possibile fare una valutazione abbastanza precisa in funzione dei rilievi planoaltimetrici realizzati nelle fasi di investigazione preliminare. Si possono dunque considerare spessori massimi al centro della discarica prossimi a 4,50 metri. Detti spessori tendono a diminuire linearmente fino ad annullarsi, verso i limiti della discarica seguendo il profilo naturale del pendio.

3. QUANTITÀ E VOLUMI DI RIFIUTI STOCCATI

Dagli elementi raccolti durante la fase di indagine, unita all'intersezione dei dati cartografici e modelli DTM, si stima che il volume complessivo della stessa si attesta sul valore di circa 4.350 m³, anche se in effetti è stato raggiunto, come riferito dai Responsabili comunali, un volume minore prossimo al valore di saturazione.

È stato possibile valutare il volume di rifiuti stoccati in discarica utilizzando la restituzione planoaltimetrica del sito. Al fine di verificare la volumetria calcolata, è coerente fare un confronto con l'effettiva produzione di rifiuti prodotta annualmente in funzione della popolazione residente e dunque del prodotto pro-capite.

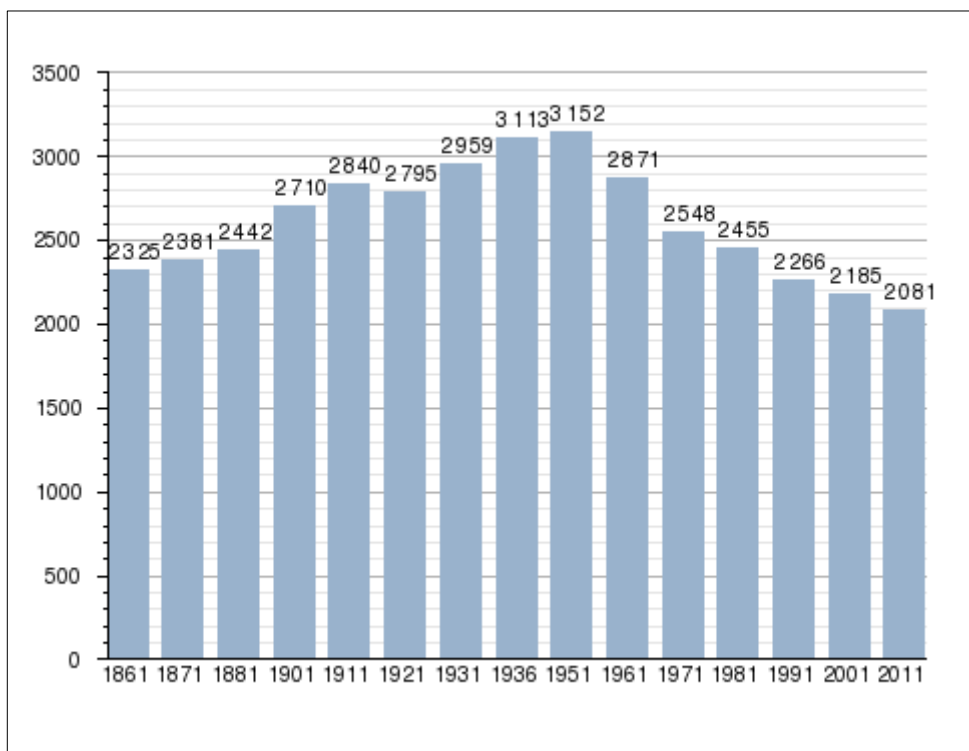
Dalle informazioni fornite dagli operatori del settore e dai dati ISTAT della Regione Campania emerge che la produzione annua per abitante si attesta mediamente intorno ai 195 Kg/Ab * anno. Essendo la popolazione urbana circa la metà di quella totale e la raccolta dei rifiuti limitata ad essa cioè per circa 1.200 abitanti e considerando un intervallo temporale di utilizzo di circa 12 anni, si ottiene un totale di 2.808.000 Kg, pari a 28.080 q.li che equivale ad un volume complessivo di 4.320 m³, considerando un peso specifico di 650-700 kg/ m³. È da considerare che il volume di rifiuti non ha subito un buon livello di compattazione ed il cumulo di rifiuto scaricato ha assunto ai margini una pendenza caratteristica dovuta alle caratteristiche merceologiche del rifiuto stesso.

La valutazione in funzione della popolazione residente è stata fatta esaminando l'intervallo temporale compreso tra il 1981 e la fine del 2001. Dal diagramma riassuntivo si nota che in detto intervallo si è verificato un decremento della popolazione che è passata da 2455 a 2185 unità. Conseguentemente si supporrebbe un decremento parallelo della produzione di rifiuti. In verità l'evoluzione dei sistemi di presentazione e conservazione delle merci in generale, ha visto l'introduzione in misura massiccia di plastiche e prodotti sintetici di vario tipo che in un certo senso hanno causato l'aumento della aliquota di rifiuto rispetto alla conformazione complessiva della merce.

ALTIDUDINE	393 m s.l.m.
SUPERFICIE	24,10 Km ²
ABITANTI	2.081 (31-12-2010)
DENSITÀ	86,35 ab/Km ²
FRAZIONI	Monteleone I°; Monteleone II°; Monteleone III°; Simonini.

**LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE**

*Andamento demografico storico dei censimenti della popolazione di **Pesco Sannita** dal 1861 al 2011.
Variazioni percentuali della popolazione, grafici e statistiche su dati ISTAT*



4. STATO DEI LUOGHI, IMPIANTI ED INFRASTRUTTURE SOTTERRANEE DELLA DISCARICA E DELL'AREA CIRCOSTANTE

La discarica é dotata solo parzialmente di recinzione, costituita da rete metallica di altezza pari a 1,50 m priva di qualsiasi manutenzione ed in pessime condizioni statiche, ed è priva dei sistemi minimi di controllo e protezione dall'inquinamento nei confronti del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e profonde, dell'aria. Nella fase di esercizio i rifiuti venivano periodicamente compattati e ricoperti di materiale argillosi. Riguardo alla copertura impermeabile non si riscontra nessuna membrana collegata al perimetro della stessa. Inoltre, lungo la strada non si riscontra nessun tipo di opera atta a convogliare le acque meteoriche. Il cancello di accesso è solo parzialmente chiuso e privo di qualsiasi segnaletica (*cfr fig. 6*) che indica la presenza della discarica e dei relativi rischi; al momento del sopralluogo non è presente una vasca di raccolta del percolato interna alla discarica. È presente un sistema di copertura superficiale che è costituito da uno strato continuo di terreno compattato completamente ricoperto di vegetazione spontanea(*cfr fig. 7*).



Fig. 6 - Nessuna segnaletica nei pressi discarica



Fig. 7 - Area della discarica

5. TIPOLOGIA E VOLUME DEI RIFIUTI, CONDIZIONI DI IMPERMEABILIZZAZIONE E RICOPRIMENTO, PRESENZA DI PERCOLATO E DI EMISSIONI GASSOSE.

Nel periodo di utilizzo documentato, la discarica è stata utilizzata per lo stoccaggio controllato dei R.S.U. prodotti dagli abitati del comune di Pesco Sannita, nell'arco temporale di circa 12 anni. Purtroppo, come spesso è accaduto anche in altri siti di sversamento, il sito ha assorbito non solo R.S.U. ma anche una piccola percentuale di rifiuti speciali (pneumatici, materiali ferrosi, accumulatori d'auto, ingombranti, ecc.), fino a raggiungere il volume complessivo attuale. Gli ultimi sopralluoghi eseguiti hanno evidenziato che il sito non è sede occasionalmente di abbandono di rifiuti all'esterno del perimetro. Da quanto esposto finora, si comprende l'impossibilità di elencare e classificare tutti i rifiuti non appartenenti ai R.S.U.

In definitiva, dunque, essendo la discarica un impianto di smaltimento di R.S.U. è presumibile ipotizzare che questi costituiscano la gran parte dei rifiuti presenti, differenziandosi per un diverso stato di invecchiamento, da 19 a 30 anni. Sicuramente, visto che per l'abbancamento non sono state utilizzate tecniche particolari si può dedurre che il grado di compattazione non è elevato (circa 0,5 - 0,7 t/m³). Ipotizzando una parziale mancanza di impermeabilizzazione di sottofondo e contemplando la mancata raccolta di percolato, è probabile che quest'ultimo si sia infiltrato nella falda o sia stato lisciviato dalle acque superficiali. Le indagini da effettuare dovranno verificare il coefficiente di

permeabilità dei litotipi su cui giace il cumulo dei rifiuti.

Infine, per quanto riguarda le condizioni ambientali e della vegetazione spontanea non sono stati evidenziati particolari segni di sofferenza legati alla presenza delle discarica. I rischi maggiori, però, sono quelli che interessano le componenti suolo e risorsa idrica; infatti, il sopralluogo preliminare ha evidenziato i seguenti elementi di altissima criticità ambientale:

- 1) I rifiuti potrebbero essere in diretto contatto con il substrato geologico, ovvero potrebbe essere compromessa la protezione contro l'infiltrazione degli inquinanti nel suolo e nella falda idrica;
- 2) Non si è a conoscenza della concentrazione, della quantità e delle direzioni di infiltrazione del percolato.

I punti precedentemente menzionati possono indurre alla considerazione dei seguenti danni ambientali per il sito (*cf. Tav. 15.11*), ma anche e principalmente per l'alveo del Torrente Cammarotta, affluente in destra orografica del Fiume Tammaro, situato immediatamente a ridosso della discarica:

- *la mancanza di protezione integrale dall'infiltrazione di percolato può aver prodotto l'inquinamento del suolo e probabilmente della falda idrica. Il substrato geologico su cui poggia la discarica, anche se dotato di permeabilità primaria medio-bassa, è caratterizzato da sottili livelli calcareo-marnosi e argilloso-sabbiosi che definiscono falde idriche localizzate, ma comunque dotate di apprezzabile portata e dunque veicolazione del percolato.*

Da sopralluoghi effettuati, non si osserva la presenza di percolato sul cumulo di rifiuti. Negli anni appena successivi alla data della dismissione, sono stati osservati processi di auto-combustione, con emissioni localizzate, evidenziando un'attività di fermentazione organica molto attiva; allo stato tali fenomeni non sono più evidenti. L'area della discarica appare, allo stato, ricoperta da un livello di terra su cui ha attecchito la vegetazione spontanea. Con buona approssimazione è possibile affermare, anche sulla base delle notizie raccolte presso gli operatori che hanno espletato il servizio di raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti, presso la discarica nel periodo di funzionamento della stessa, che la tipologia merceologica dei rifiuti è ascrivibile quasi esclusivamente ai Rifiuti Solidi Urbani tranne in casi sporadici non controllati.

Gli stendimenti geoelettrici (*cfr fig. 8*) realizzati hanno permesso di individuare in modo preciso la geometria della discarica e di riassumere le condizioni salienti del sito, inoltre con la procedura di inversione dei dati acquisiti si è costruita la tomografia geoelettrica e della caricabilità per la quale è stata eseguita anche la correzione tomografica, vista l'articolazione del rilievo, in base al rilievo speditivo fatto dai tecnici in campagna. Dalle tomografie ottenute si osserva che:

- I sondaggi geoelettrici hanno esplorato il sottosuolo per uno spessore compreso fra i 7,00 e gli 11,00 m;
- I valori di resistività sono molto alti e non permettono di distinguere chiaramente il limite fra rifiuti e calcari in posto;
- Nelle sezioni della caricabilità i valori sono bassi e non vi sono anomalie;
- In entrambe le sezioni la caricabilità aumenta con la profondità ed a maggiore profondità, la distribuzione dei valori di caricabilità è omogenea rispetto a quello che succede nella parte alta. Il limite fra queste due zone segna, evidentemente, il passaggio fra rifiuti (caricabilità < 14.3 m/sec) e calcari;
- I valori bassi di caricabilità che si rilevano in corrispondenza dei rifiuti sono indicativi di processi di mineralizzazione avanzati e dell'assenza di percolato;
- Non si evidenziano plumes che indicano la migrazione di inquinanti verso il bedrock;
- Dei valori di resistività $\rho_a < 5.4 \Omega \cdot m$ (dal celeste al blu) caratterizzano uno strato superficiale dello spessore di circa 1,00 m che è il riporto che ricopre i rifiuti;
- Nel sondaggio **SE01**, in corrispondenza dei calcari (*vedi fig. 9.a e 9.b*), alla profondità media di 4,00 m e alle progressive 12,00, 27,00 e 33,00 m si rilevano tre anomalie basse di resistività che indicano la presenza di terreni più alterati e/o fratturati con probabile circolazione idrica.

Alla luce delle considerazioni effettuate, si può concludere affermando che:

- Il confronto fra la sezione della caricabilità e della resistività ha permesso di distinguere il corpo dei rifiuti che è ricoperto da uno strato di terreno.
- I rifiuti sono mineralizzati e non contengono più percolato, sono molto resistivi (colore rosso nella sezione della resistività) ed hanno una caricabilità molto più

bassa di quella dei calcari, caratteristica che consente di discriminarli da questi ultimi.

- Hanno uno spessore che oscilla fra 2 m e 3 m circa.
- Nella sezione **SE01** alla profondità media di 4 m (nei calcari) e alle progressive 12, 27 e 33 m, vi sono tre anomalie basse di resistività legate probabilmente alla presenza di una zona fratturata con circolazione idrica.

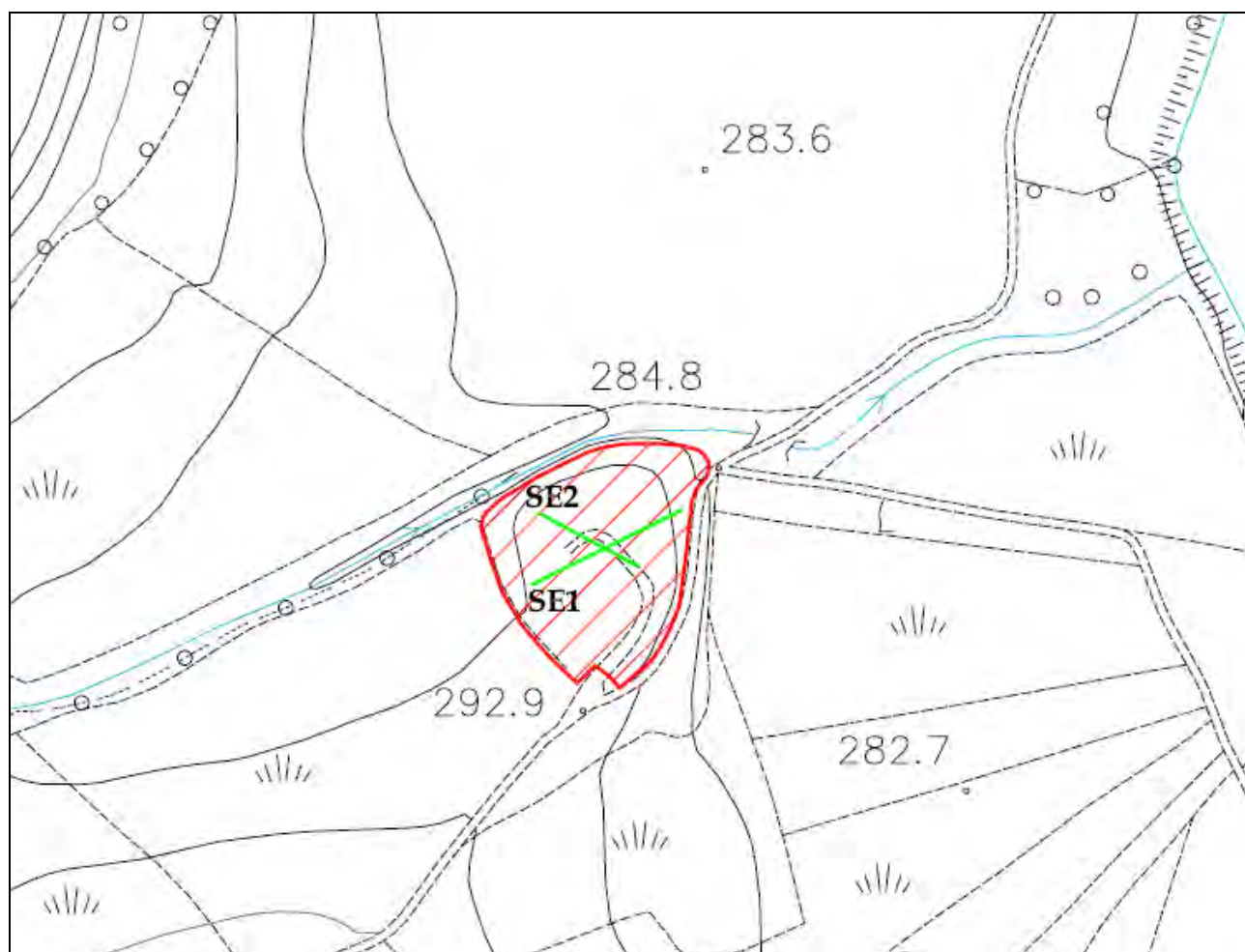


Fig. 8 – Ubicazione degli stendimenti effettuati.

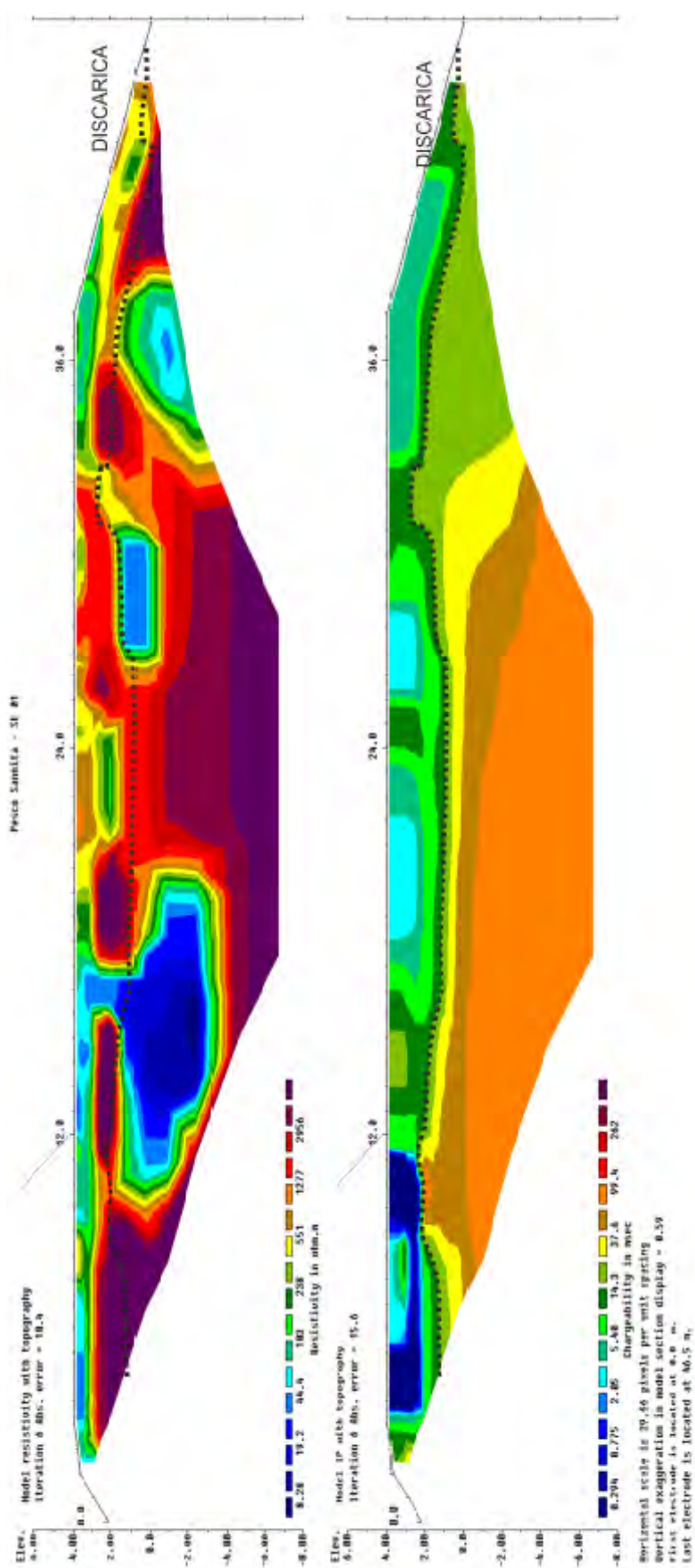


Figura 9.a - Profili geoelettrotomografici – stendimento SE1

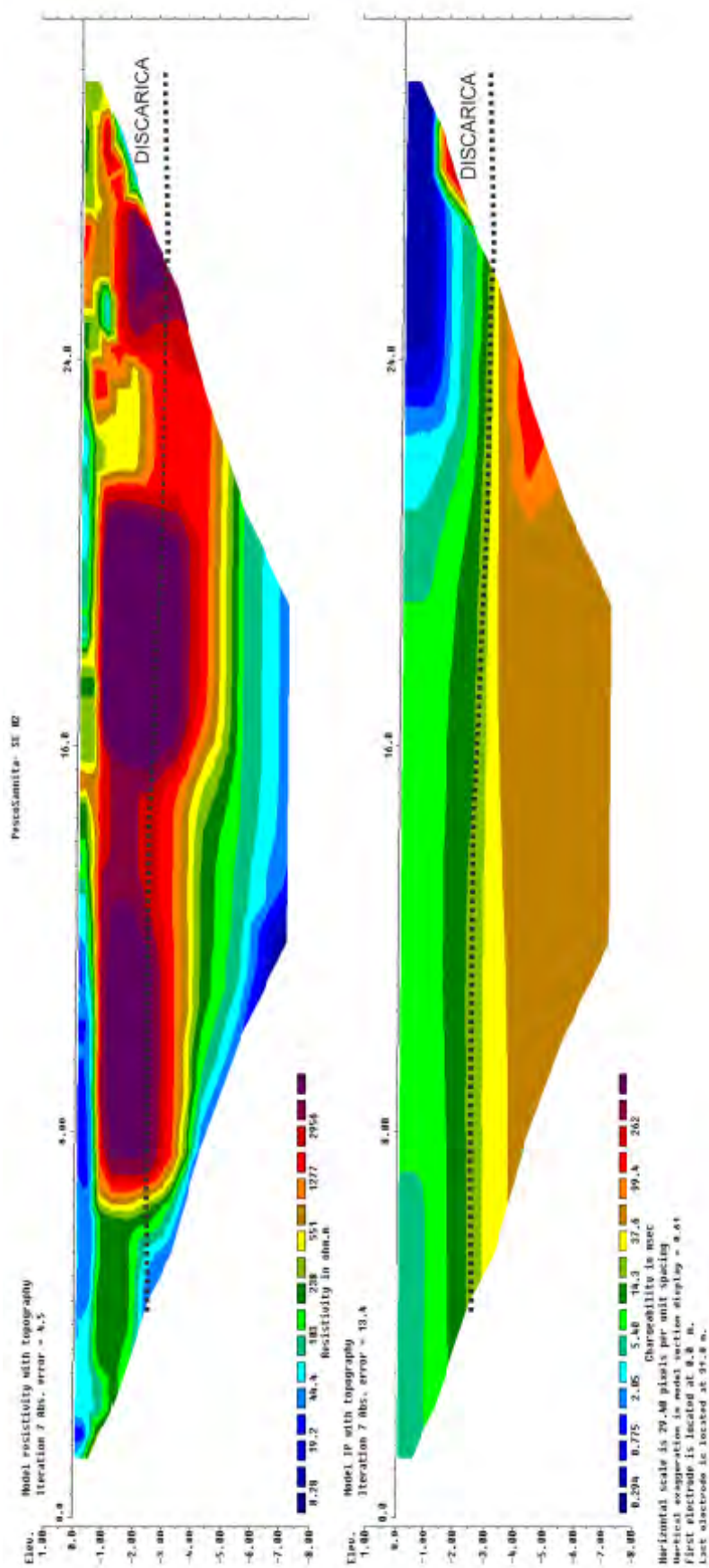


Figura 9.b - Profili geoelettrotomografici - stendimento SE2

6. CLASSIFICAZIONE DEI RIFIUTI E RELATIVO LIVELLO DI PERICOLOSITÀ

Una delle difficoltà maggiori riferibili alle discariche per R.S.U. consiste nel poter elencare in modo dettagliato tutti i rifiuti presenti. Per quanto concerne la stratificazione dei R.S.U. in discarica e al loro tempo di giacenza, non si è in grado di restituire notizie esaurienti in quanto, anche se a conoscenza dell'età minima e massima di permanenza in discarica (si va da 30 a circa 19 anni), si è certi che il conferimento in discarica si è protratto in maniera casuale, senza un progetto di gestione ben definito. Da questo si può asserire che la massa stoccata ha una marcata eterogeneità per quanto riguarda l'età e pariteticamente per assortimento merceologico.

Di seguito viene riportata la classificazione di pericolosità dei rifiuti più comuni, presumibilmente rinvenibili nel sito.

Cod. CER	Tipologia del rifiuto	Pericolosità
020110	Rifiuti metallici	Non Pericoloso
130205	Scarti di olio minerale per motori, ingranaggi, lubrificazione, non clorurati.	Pericoloso
080319	Oli dispersi	Pericoloso
130701	Olio combustibile e carburante diesel	Pericoloso
160114	Liquido antigelo contenente sostanze pericolose	Pericoloso
150101	Imballaggi in carta e cartone	Non Pericoloso
150102	Imballaggi in plastica	Non pericoloso
150104	Imballaggi Metallici	Non Pericoloso
150110	Imballaggi Metallici contenenti sostanze pericolose	Pericoloso
160102	Pneumatici fuori uso	Non pericoloso
160104	Veicoli fuori uso	Pericoloso
160116	Serbatoi per gas liquido	Non Pericoloso
160117	Metalli ferrosi	Non Pericoloso
160118	Metalli non ferrosi	Non Pericoloso
160119	Plastica	Non Pericoloso
160601	Batterie al Piombo	Pericoloso
170106 170107	Miscugli di scorie di cemento, mattoni, mattonelle, ceramiche ecc. non meglio caratterizzati	Pericoloso
170605	Materiali da costruzione contenenti amianto	Pericoloso
200301	R.S.U. non differenziati	Non pericoloso
200307	Rifiuti ingombranti	Non Pericoloso

7. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL SITO

Situato a ridosso del capoluogo di provincia, Benevento, dal quale dista solo 12 Km; il comune di Pesco Sannita (*cfr. Tav. 15.2*) si estende per circa 26 kmq ed è attraversato dalla valle del Fiume Tammaro. La morfologia di questo territorio è tipicamente collinare con rilievi modesti e pendii generalmente dolci. Generalmente l'orografia è poco aspra e il paesaggio presenta delle forme dolci e modellate specialmente dove si riscontra la presenza di terreni argillosi e argilloso marnosi. In corrispondenza di masse e blocchi di consistenza lapidea (calcari - arenarie) la pendenza si accentua fino a formare delle alte creste con fianchi scoscesi. Verso Sud Ovest si assiste ad un costante aumento di altitudine con quota massima di 569 m (Toppo Barrata), invece verso Est e Sud Est, lungo la valle del Fiume Tammaro, l'altitudine tende a diminuire fino alla quota minima di 152 metri.

Il centro abitato di Pesco Sannita è adagiato su di un costone roccioso che mediante un salto morfologico si ricollega con le formazioni argillose ed arenaceo marnose presenti a valle dove scorre il Fiume Tammaro; invece verso Sud e verso Est si collega gradualmente con le formazioni argillose ed arenaceo marnose presenti intorno. Da un punto di vista morfologico il territorio, considerato nelle sue linee generali, si presenta ondulato con il caratteristico aspetto collinare, determinato da un susseguirsi di modeste alture, a volte instabili, che presentano segni evidenti d'erosione differenziata dovuta alla natura eterogenea dei terreni affioranti ed alla loro giacitura. Questo susseguirsi di dolci declivi evidenzia la presenza di un flysch prevalentemente argilloso; solo in corrispondenza degli affioramenti calcarei, calcareo marnosi ed arenacei i pendii diventano più acclivi e le forme più accidentate e vivaci.

L'aspetto morfologico superficiale ha anche risentito dei movimenti tettonici (legati alla fase compressiva e distensiva dell'Appennino centro meridionale), in particolare per quanto riguarda le evidenti variazioni del gradiente morfologico medio sia sui versanti che nel fondovalle. Gli intensi fenomeni erosivi sviluppatisi nel corso della fase di sollevamento dell'edificio appenninico ed il conseguente elevato trasporto solido operato dai corsi d'acqua, hanno determinato l'accumulo di materiali alluvionali grossolani specie nelle aree di fondovalle. Gli assetti superficiali della zona presentano caratteri morfologici strettamente connessi con l'evoluzione dinamica dei corsi d'acqua relativi, la cui intensa azione erosiva ha determinato la formazione delle attuali incisioni vallive, spesso dotate di

una maggiore acclività. L'azione erosiva dei corsi d'acqua risulta ad oggi ridotta ma non terminata.

Per quanto concerne poi l'assetto idrogeologico, è evidente una stretta correlazione con la generale eterogeneità dei complessi litologici in affioramento e le precipitazioni atmosferiche dell'area; infatti nel corso del tempo si verificano forti variazioni nella portata dei corsi d'acqua sopra citati. Nell'area in esame il reticolo idrografico ha una forte ramificazione, tipica dei sistemi di drenaggio impostati su terreni coesivi. Per la maggior parte del suo sviluppo, infatti, il reticolo idrografico è costituito da aste fluviali in fase di erosione ed approfondimento, infatti i terreni sono scompaginati dall'azione delle acque, che esercitano un incessante lavoro d'erosione e di dilavamento superficiale accelerato dall'eterogeneità dei complessi geologici che li costituiscono e, laddove sono presenti, da fenomeni franosi di colata, di soil creep e di soliflusso. Difatti alle falde dei rilievi della zona sono visibili versanti con lievi ondulazioni e con fianchi profondamente incisi da caratteristiche forme erosive spesso di natura franosa.

Infine, laddove le aste fluvio-torrentizie hanno modo di divagare sulle proprie alluvioni, sono riconoscibili alcuni fenomeni franosi innescati da erosione di sponda al piede dei versanti. Da un punto di vista strettamente idrologico i versanti della zona esaminata sono incisi da corsi d'acqua di 1° e 2° ordine con recapito finale il Fiume Tammaro.

Per l'area in oggetto, il rilevamento morfologico e morfometrico di superficie ha evidenziato che l'intero versante non è interessato da nessun tipo di movimento superficiale (*cfr. Tav. 15.6*). Solo a valle, in prossimità del torrente Cammarotta si possono notare dei lenti e gradualmente scivolamenti delle coltri più superficiali di terreno, plasticizzate ed alterate. Questi fenomeni sono da attribuire essenzialmente all'azione delle acque meteoriche che, nel tempo, e soprattutto in corrispondenza delle stagioni piovose, ha lentamente imbibito la coltre più superficiale della formazione affiorante, eminentemente argillosa, favorendo, quindi, il passaggio da stati di consistenza solido plastici a stati francamente plastici. A valle del sito in oggetto è presente un corso d'acqua, Torrente Cammarotta, modernamente inciso che ha una modesta portata, con punte maggiori durante il periodo invernale. Detto vallone è il recapito finale delle acque superficiali del versante, il quale, poi, confluisce in destra orografica nel Fiume Tammaro.

Si fa presente che sull'area interessata dalla discarica non ricade nessun tipo di vincolo idrogeologico così come evidenziato dalla cartografia redatta dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno (*cfr. Tav. 15.7*), inoltre l'area non è sottoposta a nessun tipo di vincolo in riferimento alla perimetrazione delle aree SIC (Siti di Interesse Comunitario) e ZPS (Zona a Protezione Speciale).

8. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Il rilevamento geologico e geolitologico di superficie, correlato con i dati ricavati dagli studi geologici già citati, ha permesso di distinguere i litotipi affioranti secondo due tipologie:

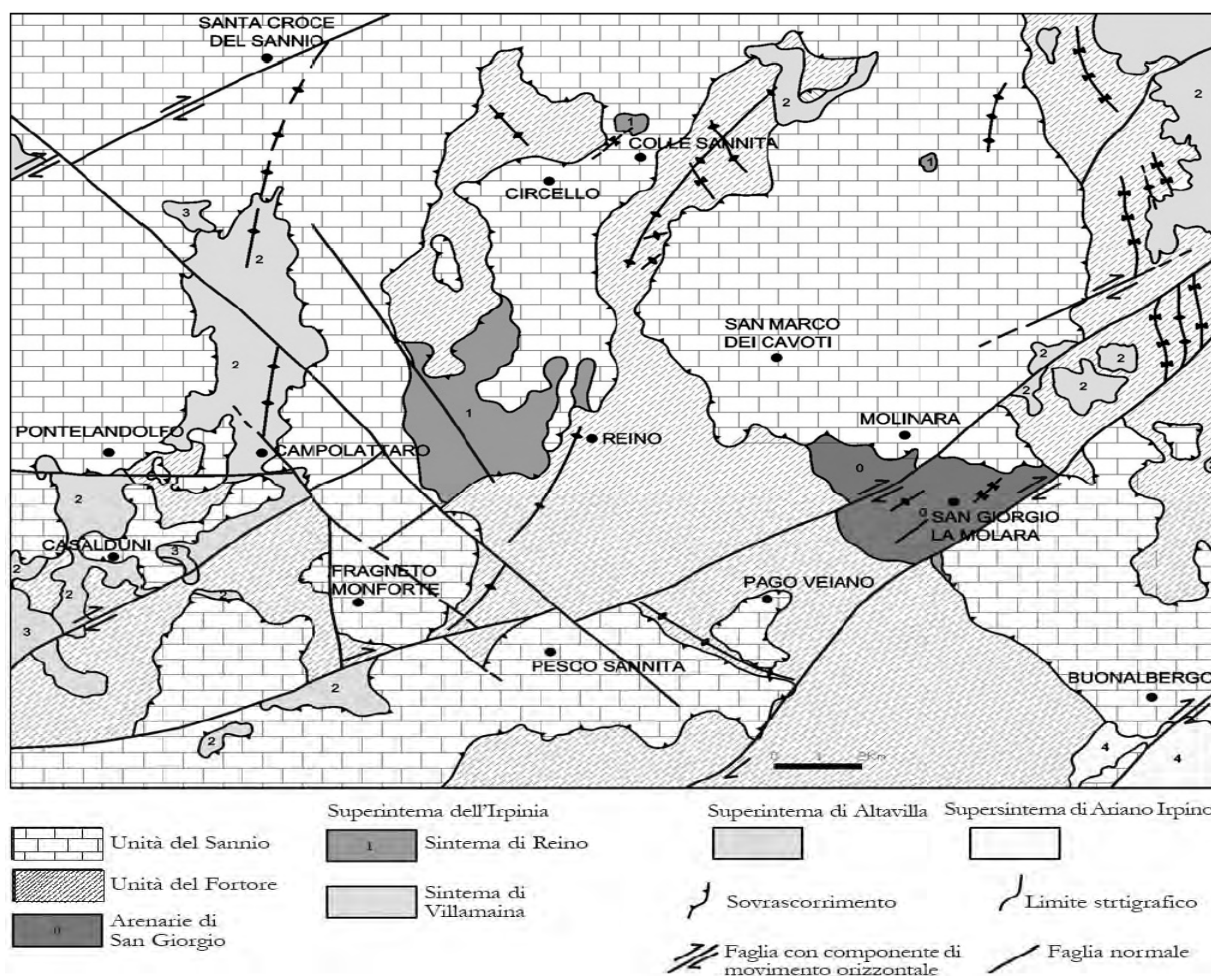
- Terreni del substrato;
- Terreni di copertura.

Nel riconoscimento e nel collegamento dei terreni del substrato alle rispettive formazioni geologiche si è tenuto conto dei dati bibliografici e dell'esperienza diretta dello scrivente, ed ha avuto come base di partenza la carta geologica di Benevento, i cui dati sono stati opportunamente aggiornati secondo le più moderne teorie sulla struttura complessa dell'Appennino centromeridionale. In realtà studi più recenti ci consentono di definire con maggiore precisione le caratteristiche geologiche del substrato.

• Terreni del substrato

Nel corso degli anni 2001-2003, a seguito del Progetto CARG, sono stati eseguiti rilievi geologici di dettaglio (scala 1:10.000) che hanno interessato l'area dei monti del Sannio. In base a questi studi si ritiene possibile individuare nell'area in oggetto, successioni afferenti alla Unità Tettonica del Sannio (DAZZARO et alii, 1988; PESCATORE et alii, 1996; CENTAMORE et alii, 1970, 1971), formata nell'area in esame, dal basso verso l'alto, dalle formazioni del Flysch Rosso (Cretacico sup. - Miocene inf.) e da un intervallo pre-numidico costituito anch'esso da una formazione flyshoide, (Miocene med.). L'unità è interpretata come la porzione superiore dell'*Unità di Frigento* (DI NOCERA et alii, 2002), che viene riferita al margine settentrionale interno del bacino lagonegrese-molisano (PESCATORE & TRAMUTOLI, 1980; PESCATORE et alii, 1996, 2000; DI NOCERA et alii, 2002, 2006).

LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE



Si tratta di formazioni flyschoidi molto discontinue ed eterogenee, sia in senso orizzontale che verticale, per cui risulta assai difficile adottare uno schema litostratigrafico che abbia valenza regionale (*cfr. Tav. 15.8*).

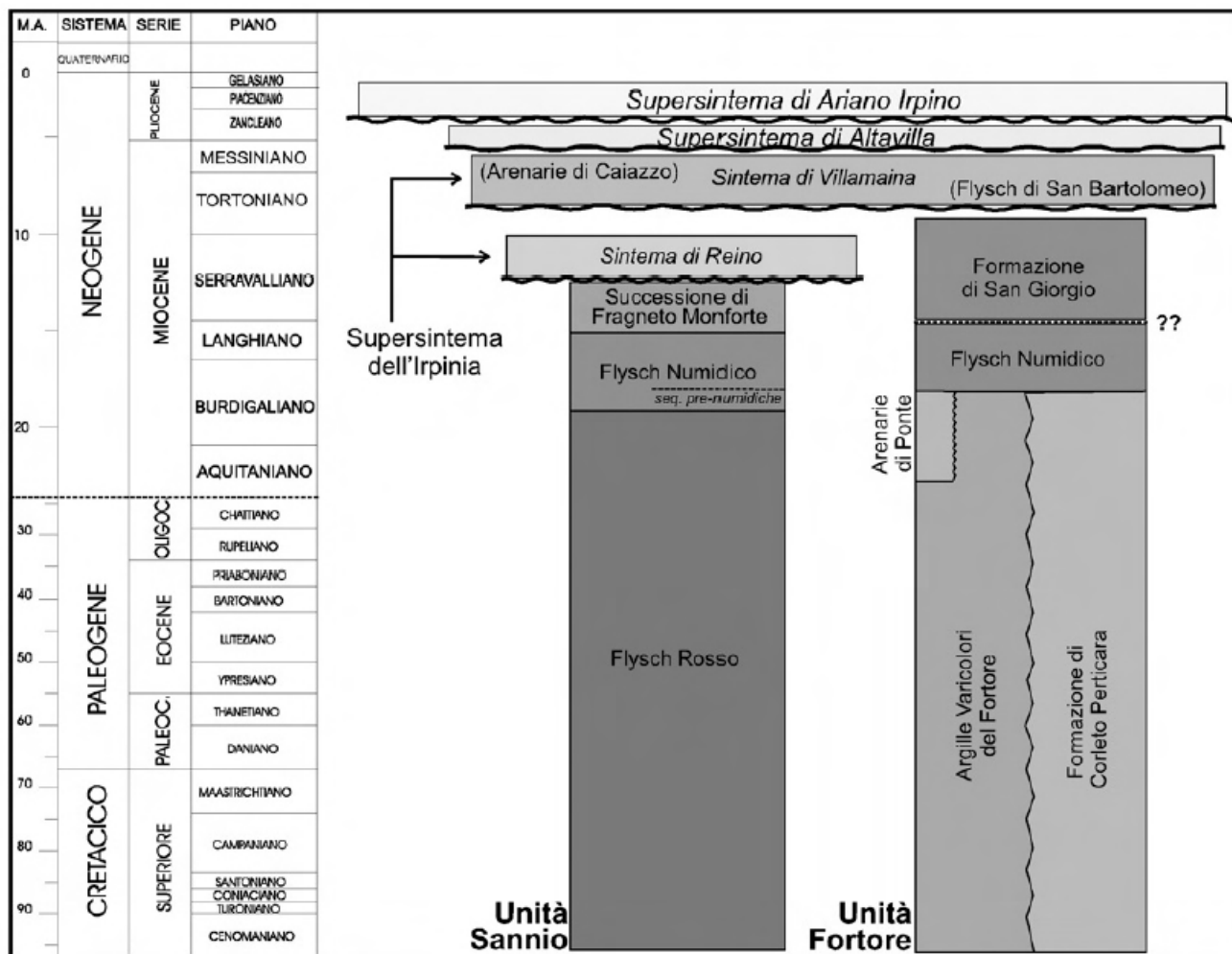
Nella formazione del Flysch Rosso, che è quella prevalentemente affiorante nell'area, sono state riconosciute due sub unità litostratigrafiche:

- un membro calcareo;
- un membro argilloso-marnoso-calcareo o membro pelitico.

Il membro calcareo è costituito da calcareniti e calciruditi grigio chiare con abbondanti nummuliti ed alveoline; in strati medi e spessi con marcata stratificazione interna ondulata e lenticolare; calcari cristallini saccaroidi biancastri e grigio avana a luoghi ridotti a brecce di frizione; ed alla base strati calciruditici con stratificazione irregolare. Il membro calcareo passa gradualmente ad un membro superiore argilloso-marnoso-calcareo o membro pelitico che affiora ampiamente nel resto del territorio comunale. Questo è formato da marne argillose rosse, argille marnose e siltose, argilliti grigio verdognole e rosso-brune,

**LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE**

con stratificazione interna piano parallela; calcilutiti fini grigio-verdastre laminate, con stratificazione interna piano-parallela o ondulata, calcareniti fini e marne grigio-verdastre laminate.



Il membro superiore argilloso-marnoso-calcareo o membro pelitico passa gradatamente verso l'alto alla formazione pre-numidica, caratterizzata da alternanze di calcareniti ibride, marne siltose e calcari parzialmente silicizzati; si rinvencono, inoltre, microconglomerati granulari quarzosi in strati spessi, banchi massivi e amalgamati a luoghi gradati ed arenarie quarzose feldspatiche grigiastre e livelli quarzoarenitici giallastri in strati e banchi di quarzoareniti grossolane che diventano via via più abbondanti.

In alcuni settori la presenza di una abbondante frazione calcarea consente di distinguere una "litofacies calcareo-argilloso-arenacea", formata da strati medi e sottili di calcareniti fini e laminate grigiastre, argille marnose verdastre, marne argillose biancastre e, subordinatamente, orizzonti di argille scagliose rossastre.

In prossimità dei corsi d'acqua principali, tale successione, si trova in contatto stratigrafico con depositi fluviali attuali e recenti (con sabbie e limi in stratificazione complessa ed incrociata), d'età olocenica (*cfr. Tav. 15.8*).

- **Terreni di copertura**

Il substrato, dove è presente nella porzione argillosa, arenacea e calcareo marnosa, è ricoperto da una coltre di materiale di disfacimento, di spessore variabile, di origine eluvio colluviale, di frana o antropico. Nell'area tale materiale è costituito da materiali argillosi con inclusi litici eterodimensionali di natura calcarea e calcareo marnosa a disposizione caotica, ad assortimento e spessore variabile, con matrice siltosa brunastra, originatosi in posto a spese della formazione medesima per effetto dei processi di alterazione e degradazione dovuti agli agenti atmosferici. Lo spessore della coltre superficiale, umificata ed aerata, è di circa 0.40 – 0.70 m, con un aumento di spessore in corrispondenza delle zone di riporto, dei cumuli di frana ed ai piedi dei versanti.

9. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMICHE DELL'AREA

Dal punto di vista strutturale, l'area sannita costituisce una depressione tettonica colmata da potenti depositi pliocenici e quaternari di ambiente marino e successivamente continentale poggianti in discordanza angolare su antiche successioni intensamente deformate dalle spinte tettoniche compressive cenozoiche. La storia geologico-strutturale di tale area 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.

Il territorio comunale di Pesco Sannita, in particolare, 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. A tali condizioni sono connessi i numerosi eventi sismici che, sia in tempi storici sia in tempi recenti, hanno

colpito il Comune di Pesco Sannita. Detto comune, in base al D.M. del 07.03.1981 ed alla Deliberazione della Giunta Regionale del 07/11/2002 n° 5447, è stato classificato sismico di I Categoria, cui compete il grado di sismicità $S = 12$ ed un coefficiente sismico $C = 0.1$. Con l'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 il predetto Comune è stato classificato in zona 1, con accelerazione di picco orizzontale del suolo $a_g = 0,35$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. L'elevata pericolosità sismica del territorio comunale citato deriva dall'essere stato interessato, in epoca storica, almeno una volta da un terremoto di elevata intensità macrosismica. Secondo l'O.P.C.M. del 12 giugno 1998, il suddetto Comune risulta così classificato:

- Massima Intensità Macrosismica osservata, IMCS = > 10
- Indice di Rischio, IR = 0,2076

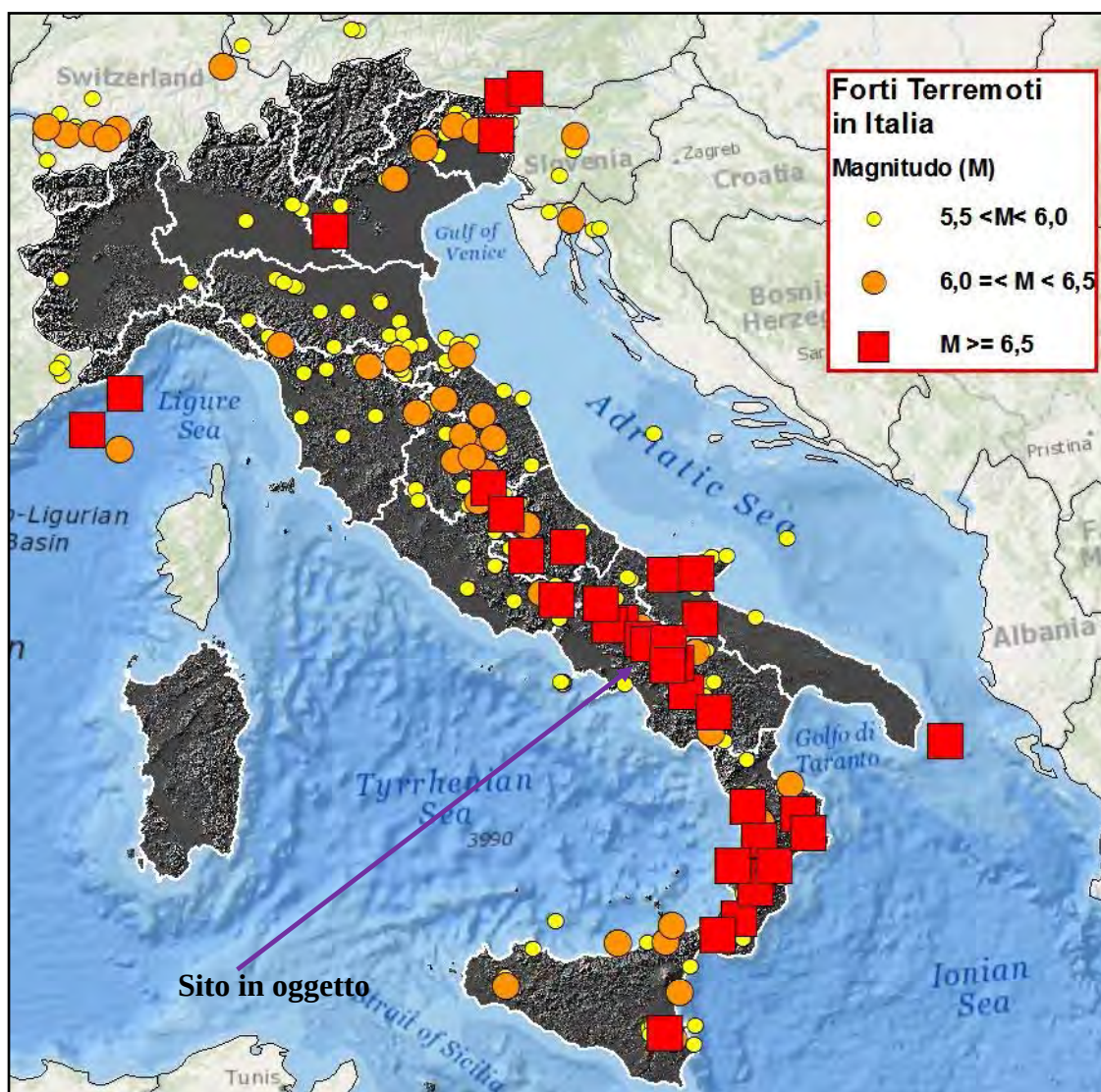


Fig. 10 - Rappresentazione eventi sismici di massima intensità.

LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE

Secondo la citata O.P.C.M. del 12.06.1998 i Comuni ad elevato rischio sismico sono quelli che hanno un indice di rischio superiore al valore medio nazionale $IR = 0.0455$. Il comune sopra individuato presentando un indice di rischio superiore a detto valore è da ritenersi ad elevato rischio sismico. La storia sismica complessiva dell'area, ottenuta dal Catalogo C.P.T.I., è riportata nella seguente tabella:

Anno	Latitudine	Longitudine	Località epicentro	Intensità sismica x 10
99	41,35	14,8	Circello	95
346	41,38	14,43	Sannio	90
848	41,48	14,27	Sannio	90
1293	41,3	14,55	Sannio	85
1456	41,302	14,711	MOLISE	100
1517	41,15	15,08	Ariano Irpino	80
1688	41,2	14,9	PIETRELCINA	60
1688	41,28	14,57	Sannio	110
1699	41,333	14,333	ALIFE	60
1805	41,5	14,47	Molise	100
1807	41,594	14,231	ISERNIA	55
1831	41,5	14,5	BOIANO	60
1882	41,55	14,2	Monti del Matese	70
1898	41,233	15	MONTECALVO	60
1907	41,6	14,517	CASTROPIGNANO	70
1913	41,513	14,716	MATESE	75
1914	41,583	14,25	S,AGAPITO	70
1924	41,267	14,764	SANNIO	50
1927	41,25	14,624	CERRETO	65
1941	41,2	15	MONTECALVO	70
1950	41,2	14,9	PIETRELCINA	60
1956	41,583	14,4	MACCHIAGODENA	60
1964	41,167	15,167	SAVIGNANO PUGLIA	60
1971	41,15	15,233	MONTELEONE	70
1985	41,544	14,239	ISERNIA	60

PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Per la caratterizzazione del sottosuolo e per evidenziare il substrato e le caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni interessati dai "Lavori di bonifica e messa in sicurezza dell'ex discarica comunale sita in località Lama" si è tenuto conto di indagini sismiche eseguite su terreni simili a quelli in affioramento, che opportunamente interpretate ci hanno permesso di ricavare i parametri sismici per la nuova normativa.

Resta sottinteso che in fase esecutiva tali parametri saranno definiti con maggior dettaglio.

La nuova Normativa Sismica Nazionale, adottata con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) - D.M. 14 Gennaio 2008, ha definito la nuova classificazione

sismica del territorio nazionale e le nuove norme tecniche per le costruzioni in zona sismica. La filosofia della normativa propone l'adozione di un sistema normativo coerente con l'EC8, al fine di abbandonare il carattere convenzionale e prescrittivo della precedente normativa e favorendo un'ipostazione prestazionale, con un'esplicita dichiarazione degli obiettivi della progettazione e una giustificazione delle metodologie utilizzate (procedure di analisi strutturale e dimensionamento degli elementi). L'utilizzo di un sistema normativo coerente con l'EC8 comporta la definizione del "grado di sismicità" delle diverse zone del territorio nazionale, con riferimento ai valori di accelerazione al suolo.

L'intero territorio nazionale viene suddiviso in quattro zone sismiche (ex categorie), in relazione ai valori di accelerazione di picco. Le "Norme tecniche" indicano 4 valori di accelerazioni (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto il numero delle zone è fissato in 4. Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione massima del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

Zona	$A_{(g)}$
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

Per quanto riguarda l'aspetto legato all'amplificazione dei terreni in relazione all'azione sismica, la normativa prevede la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, definendo cinque tipologie di suoli (*cfr. Fig. 11*) da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui 30 m di terreno (V_{s30}).

**LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE**

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt} > 50$ o coesione non drenata > 250 kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < cu < 250$ kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $cu < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di V_{s30} simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Fig. 11 - Definizione delle categorie di suolo di fondazione

Il parametro V_{s30} viene calcolato utilizzando una media ponderata dei primi 30 m di profondità, mediante la seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Per tutte le categorie di suolo di fondazione presenti vengono riportate in normativa gli spettri di risposta (cfr. Fig. 12) e i parametri utilizzati per la costruzione degli spettri (cfr. Fig. 13):

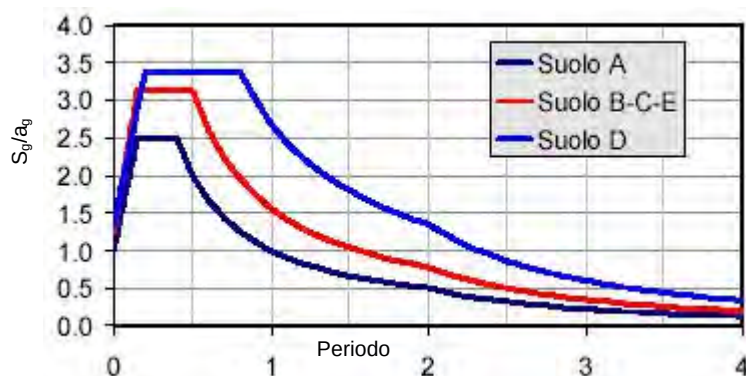


Fig. 12 - Spettri di risposta elastica
(componente orizzontale)

Terreno	S	T_b	T_c	T_d
A	1.0	0.15	0.40	2.0
B	1.25	0.15	0.50	2.0
C	1.25	0.15	0.50	2.0
D	1.35	0.20	0.80	2.0
E	1.25	0.15	0.50	2.0

Fig. 13 - Parametri degli spettri di risposta elastica

La normativa propone di incrementare l'azione sismica al suolo di un fattore di amplificazione S che tenga conto dell'amplificazione stratigrafica del terreno che può

variare in relazione alla tipologia di suolo di fondazione individuata. Risulta quindi estremamente importante l'individuazione, la corretta programmazione ed esecuzione di metodologie d'indagine, atte all'acquisizione del parametro V_s .

Le metodologie per la determinazione delle V_s indicata dalla normativa sismica sono:

- misure dirette in sito;
- correlazione con N_{spt} e C_u

La derivazione delle V_s dal parametro N_{spt} risulta, per la maggior parte dei terreni, fortemente fuorviante, perché:

- non è possibile eseguire prove SPT su tutti i tipi di terreno;
- i valori di V_s ottenuti, tramite questa correlazione, si discostano spesso in modo eccessivo dai valori misurati in sito.

Inoltre la normativa prevede di individuare le categorie di suolo dal parametro N_{spt} direttamente ricavato dalle prove in situ. La normativa però non fornisce indicazioni sulla modalità di determinazione dello stesso e di attribuzione alle categorie di suolo; e non fornisce indicazioni sul modo di gestire l'eterogeneità di tali parametri in relazione ai depositi di copertura eterogenei. Per quanto riguarda il parametro C_u , questo è un parametro geotecnico legato alla resistenza al taglio del materiale in condizioni non drenate e quindi è fortemente condizionato dal contenuto in acqua del materiale e dipende dalle condizioni in cui viene effettuata la prova, si può ricavare anche in terreni coesivi.

In conclusione, dall'analisi dei dati raccolti, possiamo definire in linea di massima per i terreni presenti nell'area di intervento i seguenti parametri:

- Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido	$a_g = 0.25$
- Classe di Suolo tipo	$B = 360 < V_s < 800$
- Classe di Suolo tipo	$C = 180 < V_s < 360$
- Coefficiente di amplificazione locale	$S = 1.25$
- Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T = 1.2$

Fermo restando che in fase esecutiva verranno eseguite prove sismiche sia in foro che superficiali in modo da investigare tutta l'area interessata dall'intervento. Successivamente i dati, integrati da osservazioni di superficie, dalle indagini geognostiche

eseguite nella fase di caratterizzazione, ci permetteranno di definire il profilo sismo stratigrafico tipico dell'area.

10. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Per ciò che concerne la situazione idrologica si può affermare che il quadro di superficie è caratterizzato dall'azione delle acque dilavanti, fenomeno discontinuo nel tempo che dipende direttamente dal ritmo e dall'intensità delle precipitazioni e che si arresta poco dopo il cessare delle stesse. Le precipitazioni atmosferiche, concentrate in massima parte nel periodo settembre-maggio e caratterizzate da una pluviometria media annua di circa 876 mm (dati riportati negli Annali del Servizio Idrografico recepiti presso la **Regione Campania** e ricavati da una media dei pluviometri più prossimi all'area di intervento), defluiscono attraverso il reticolo idrografico esistente di tipo subparallelo dendritico. Quest'azione assume un carattere estensivo e si esplica attraverso un'erosione lineare accentuata producendo fossi e solchi d'erosione che tendono ad allungarsi ed a ramificarsi drenando a sé l'acqua che scorre nell'area circostante. Tale azione risulta più marcata laddove la frazione argillosa predomina su quella sabbiosa (*cfr. Tav. 15.6*).

• Modalità di circolazione idrica

Come detto in precedenza i complessi in affioramento hanno una permeabilità medio bassa, infatti si comportano da impermeabile facendo delle vere e proprie barriere agli acquiferi dei complessi carbonatici ed arenacei. Però può capitare, in alcune piccole aree, di trovarci in presenza di acquiferi in materiali litoidi, le cui aree con maggiore produttività idrica si localizzano a valle delle zone di ricarica stessa, interessata da intensa fatturazione e da fenomeni dissolutivi prolungati nel tempo che hanno creato nuove e più capaci vie di drenaggio preferenziale. Negli acquiferi di tipo prevalentemente non litoide la circolazione idrica sotterranea si localizza, in genere, nelle coltri di alterazione subaerea. In essi, pertanto, al di là della circolazione idrica lungo eventuali fratture e piani di stratificazione, si riconosce la presenza di falde sub-superficiali che, seppure localmente limitate, danno luogo a sorgenti per affioramento della piezometrica laddove si ha un assottigliamento o la totale asportazione delle coltri di copertura. I suddetti processi possono dar luogo anche alla formazione di falde idriche nei litotipi argilloso-marnosi impermeabili qualora non alterati, che sono quelli presenti nella nostra area. Negli

acquiferi di tipo sciolto, quelli delle aree alluvionali, la circolazione idrica sotterranea risponde agli schemi classici degli acquiferi multifalda. Le diverse falde, che hanno sede nei depositi a granulometria più grossolana, quindi a maggiore permeabilità relativa, risultano separate da depositi meno permeabili rappresentati, in genere, da lenti più o meno continue di sabbie fini, di limi ed di argille. In genere nell'area in studio i principali corsi d'acqua svolgono funzione drenante nei confronti della circolazione idrica sotterranea e superficiale.

11. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico si assiste ad una situazione tipica delle coltri arenaceo-marnose dell'Appennino Meridionale in cui non è possibile definire correttamente la dinamica e la circolazione nel sottosuolo dei complessi acquiferi influenzati in maniera negativa dalla eterogeneità dei terreni e dalla distribuzione incostante delle precipitazioni. Il luogo in esame rientra in un dominio caratterizzato dall'assenza di falde freatiche ben definite e dall'interazione variabile di falde isolate, sospese o effimere che interagiscono reciprocamente raggiungendo i valori di produttività relativa migliori nei periodi invernali, anche se il tipo di produttività è diffuso ed impedisce spesso un recapito concentrato delle acque. Idrogeologicamente i sedimenti affioranti nell'area possono essere considerati come scarsamente permeabili o impermeabili, caratterizzati da basso frazionamento litologico ed elevato valore del coefficiente unitario di ruscellamento superficiale. Nel loro ambito, quindi, non potranno verificarsi percettibili movimenti di acqua per mancanza di meati intergranulari sufficientemente ampi e comunicanti fra loro. In buon accordo con il modello idrogeologico innanzi descritto, durante l'esecuzione dei rilievi in campo non è stata rilevata la presenza di falde idriche significative ad eccezione di localizzati livelli di passaggio idrico rinvenibili in coincidenza di materiale più litoidi e di superfici di scorrimento. Come già accennato, l'intera area è caratterizzata da un assetto geologico-strutturale piuttosto complesso, al quale fa riscontro una situazione idrogeologica altrettanto complicata. Le formazioni geologiche affioranti (*cfr. Tav. 15.9*), diffusamente rappresentate da sedimenti argillosi, arenacei, calcareo marnosi e marnosi, ai quali sono sovrapposti depositi alluvionali recenti che bordano i principali corsi d'acqua, sono caratterizzate da comportamenti sostanzialmente diversi tra loro nei riguardi della

circolazione idrica sotterranea. Sulla base di questo riconoscimento le formazioni sono state raggruppate in funzione delle loro caratteristiche idrogeologiche comuni. In base a ciò è stato possibile definire, nell'area, i seguenti complessi idrogeologici:

- **Complesso detritico (Attuale-Olocene)**

Il complesso detritico è costituito principalmente da un'alternanza di frammenti lapidei irregolarmente stratificati di natura calcarea, marnosa e silicea. Nell'area è presente solo in piccolissimi punti ubicati ai piedi degli affioramenti litoidi. Il grado di permeabilità dell'intero complesso si può considerare medio alto per porosità.

- **Complesso alluvionale (Attuale-Olocene)**

Il complesso è costituito da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limoso - argillosi di fondovalle. Esso è permeabile per porosità ed il grado di permeabilità si può considerare medio - alto, anche se in realtà esso varia da zona a zona in funzione della granulometria dei depositi. Nell'area è presente solo in prossimità dei corsi d'acqua principali come il Fiume Tammaro.

- **Complesso calcarenitico (Miocene)**

Il complesso calcarenitico, è costituito da calcareniti, calcari, brecciole calcaree con alternanza di livelli argillo-sabbiosi di piccole dimensioni. La permeabilità del complesso, per fessurazione, è globalmente medio - alta, variabile in funzione del diverso grado di fratturazione. Nell'area di interesse è presente in piccole porzioni sottoforma di olistoliti.

- **Complesso arenaceo-molassico (Miocene)**

Nel suo insieme, il complesso arenaceo molassico è abbastanza omogeneo dal punto di vista litologico, costituito da sabbie argillose ed arenarie grossolane gradate alternate a livelli di puddinghe. Caratteristica è la circolazione idrica subsuperficiale, che si sviluppa con una superficie piezometrica a profondità di 5-6 metri dal piano campagna, accolta prevalentemente entro le coltri superficiali rese permeabili dall'alterazione subaerea, e generalmente limitata dal substrato sottostante, più o meno integro, che funge da impermeabile relativo. Tale complesso è in gran parte presente nell'area a monte della discarica ed è caratterizzato da un grado di permeabilità da basso a medio per porosità e fatturazione.

- **Complesso argilloso (Miocene)**

Il complesso argilloso - marnoso è costituito da argille e marne siltose, grigie e varicolori, con intercalazione di calcari e calcari marnosi, di calcareniti con liste di selce bruna e di arenarie talora grossolane. Generalmente esso è caratterizzato da corpi idrici a profondità modeste (in genere 4-5 metri) accolti entro le coltri superficiali rese più permeabili dall'allentamento e dall'alterazione subaerea, e limitati inferiormente dal substrato non alterato che funge da impermeabile relativo. Il grado di permeabilità è, ovviamente basso, in funzione del diverso grado di alterazione a cui si trova. Per tale motivo il complesso in questione, diffusamente presente nell'area di interesse, si comporta sempre da impermeabile relativo nei confronti dei litotipi con i quali viene a contatto.

12. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

I terreni indagati sono costituiti, oltre alla coltre superficiale altamente rimaneggiata e con parametri fisico meccanici scadenti; da depositi sedimentari detritici, generati da fenomeni di erosione superficiale, costituiti da materiali argillosi con inclusi litici eterodimensionali di natura calcarea e calcareo marnosa a disposizione caotica, ad assortimento e spessore variabile. Al disotto di questa fascia sedimentaria troviamo il substrato costituito dalla litofacies pelitica del Flysch rosso, si tratta di argille, argille marnose e marne prevalentemente siltose, grigie e varicolori, con differente grado di costipazione e scistosità; interstrati o complessi di strati calcarei, calcareo-marnosi, e di arenarie varie.

Sulla scorta dei risultati emersi dalle indagini in sito, eseguite durante la fase di caratterizzazione, sui campioni di terreno prelevati è stato possibile caratterizzare geotecnicamente i sedimenti interessati dall'opera in oggetto di studio. Pertanto, in funzione delle analisi di laboratorio geotecnico, è possibile attribuire ai materiali rilevati, i seguenti valori dei principali parametri geotecnici e fisico-meccanici:

✓ Peso di Volume:	$\gamma = 18,73 \text{ kN/m}^3$
✓ Peso specifico dei grani:	$\gamma_s = 25,99 \text{ kN/m}^3$
✓ Indice dei vuoti	$e = 0,81$
✓ Porosità	$n = 44,6\%$
✓ Grado di saturazione	$S_r = 99,1 \%$

✓ Contenuto d'acqua	$w = 30,18\%$
✓ Limite Liquido	$W_L = 54\%$
✓ Limite Plastico	$W_P = 30\%$
✓ Indice di Plasticità	$IP = 25\%$
✓ Angolo di attrito interno:	$\varphi = 21,54^\circ$
✓ Coesione drenata:	$C' = 24,68 \text{ kN/m}^2$
✓ Coesione non drenata:	$C_u = 65,96 \text{ kPa}$
✓ Prova di Compressione	$ELL = 131,9 \text{ kPa}$
✓ Prova di permeabilità	$K = 5,29741 \text{ E-08 m/s}$
✓ Modulo Edometrico	$Ed = 4095,56 \text{ kN/m}^2$

Tali caratteristiche risultano buone in termini di elasticità, di deformabilità e di portanza. L'ammasso può essere influenzato dagli atmosferici che inducono in degrado la parte superiore ed il suo spessore è legato alla presenza del "grosso" (maggiore se esso è carente), riducendo le resistenze alla compressione.

Si rimanda alla tavola 15.12 "Indagini Pregresse" per il dettaglio delle caratteristiche geotecniche dei terreni indagati.

13. STABILITÀ DEL PENDIO E PREDISPOSIZIONE AL DISSESTO

L'evoluzione geomorfologica dell'area è essenzialmente connessa all'azione di dilavamento con limitata erosione da parte delle acque meteoriche. Fenomeni di dissesti (*colamenti umidi di suolo*) e rigonfiamenti superficiali generati da "*soliflussioni gravitative*" della coltre, che interessano, marginalmente, il tetto del substrato, sono osservabili a valle dell'area di intervento. Il versante oggetto di studio, a valle è delimitato dal Torrente Cammarotta in cui la circolazione idrica è in stretta connessione con gli eventi meteorici a cui è legata anche la capacità erosiva del corso d'acqua. Esiste quindi di fatto una diffusa e potenziale propensione al dissesto, dovuta alla instabilità e franosità congenite alle formazioni presenti, la quale si attualizza laddove sussistono condizioni morfologiche sfavorevoli o dove più intensa è l'opera di richiamo delle acque torrentizie.

È da tener presente al riguardo che i terreni costituenti il comprensorio sono alquanto infidi, che pur essendo nel complesso poco permeabili consentono infiltrazioni d'acqua sufficienti a mobilitare la frazione argillosa e che, in questo caso, la formazione diventa estremamente mobile tendendo a raggiungere nuove configurazioni stabili ogni qualvolta

l'equilibrio naturale venga turbato. I dissesti cui si accennava si manifestano per lo più sotto forma di movimenti con componente orizzontale prevalente ed interessano prevalentemente la coltre argillosa superficiale. In tal caso si hanno delle vere e proprie "lame" la cui velocità dipende essenzialmente dall'acclività del pendio.

In conclusione la fenomenologia del dissesto nel versante oggetto di studio, trova spiegazione nella concomitanza dei seguenti fattori:

- natura e caratteristiche fisico-meccaniche delle formazioni geologiche presenti;
- entità della componente argillosa;
- valore delle pendenze;
- acque di ruscellamento;
- scalzamento al piede dei pendii ad opera del torrente Cammarotta causando incisioni più o meno profonde dell'alveo a ridosso della discarica (lato valle).

In riferimento alla perimetrazione effettuata dall'Autorità di Bacino Liri - Garigliano - Volturno **"l'area non è perimetrata"** pertanto non soggetto a rischio idrogeologico. Tale condizione è suffragata dal Piano Straordinario per la Rimozione del Rischio Idrogeologico effettuato dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, per cui l'area è classificata, come **"Area senza rischio frane"** e nel contorno come **"Area di possibile ampliamento dei fenomeni franosi - C1"** (cfr. Tav. 15.7).

Secondo il **PsAI**, infatti, in tali aree è possibile eseguire tutti i tipi di interventi i quali sono subordinati al **non aggravamento delle condizioni di stabilità del pendio**, alla garanzia di sicurezza determinata dal fatto che l'opera sia progettata ed eseguita in misura adeguata al rischio dell'area. Inoltre all'applicazione della normativa vigente in materia, con particolare riguardo al rispetto delle disposizioni contenute nel D.M. 11 marzo 1988, nella Circolare LL.PP. 24/09/88 n. 3483 e successive norme e istruzioni e nel D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, nonché in base al D.M. 14 gennaio 2008.

Al fine di preservare ed elevare le condizioni di stabilità è coerente predisporre misure specifiche per la disciplina delle acque superficiali e di infiltrazione.

14. CONDIZIONI IDROLOGICHE DEL SITO E BILANCIO IDROLOGICO

La permeabilità dei sedimenti costituenti l'area risulta variabile da media a medio-scarso per porosità secondaria nelle porzioni episuperficiali, corrispondenti all'alterato dei Sedimenti Argillosi ed ai sovrastanti sedimenti di Copertura, a praticamente nulla nelle porzioni profonde, infatti, il relativo coefficiente di permeabilità "K" è compreso tra 10^{-8} e 10^{-9} m/sec.

La circolazione idrica sotterranea, quindi si può insediare all'interno oppure a letto dello strato episuperficiale (*copertura ed alterato del substrato*) caratterizzato da una maggiore permeabilità relativa. In relazione alle predette condizioni di permeabilità, alle condizioni morfologiche (presenza di spartiacque superficiali) ed allo spessore non trascurabile della copertura, l'aliquota di acque di infiltrazione può comportare la formazione di una falda episuperficiale a carattere principalmente stagionale ma con portate che per diversi mesi all'anno possono essere valutate intorno al litro/secondo. Tale falda, sostenuta da substrato impermeabile, trova recapito nell'alveo del *Torrente Cammarotta*.

Premesso che dai rilievi eseguiti nell'area in esame non sono stati censiti punti d'acqua quali pozzi e sorgenti, le indagini ed i pozzi all'uopo realizzati hanno confermato pienamente il su esposto schema idrogeologico. In ognuno dei sondaggi geognostici, tranne nel piezometro S₄, è stata evidenziata una circolazione idrica alla base del terreno di copertura (*copertura ed alterato dei Sedimenti Argillosi marnosi*).

Nell'area è, quindi, presente una falda idrica distribuita in modo omogeneo lungo un versante con piezometrica ad andamento articolato (*la quota di rinvenimento nei sondaggi risulta variabile da m 5,00 a m 6,90 dal p.c.*) e con deflusso verso il *Torrente Cammarotta*.

Nelle linee guida generali la predetta falda presenta una superficie piezometrica sub-parallela alla superficie topografica e direzioni di flusso perpendicolari alle isoipse. Il gradiente idraulico dell'acquifero in esame corrisponde all'incirca alle pendenze topografiche e risulta variabile tra il 5 ed il 10% circa mentre la *conducibilità idraulica* coincide con il coefficiente di permeabilità.

Le *acque meteoriche* interessanti il versante in esame e le *acque di infiltrazione* che alimentano la falda episuperficiale riscontrata, trovano recapito finale nell'alveo del

Torrente Cammarotta. Il *bilancio idrologico* dell'area permette di valutare l'entità annua di tale afflusso idrico:

$$P = R + I + T$$

Con **P** "quantità di pioggia media annua", **R** "quantità di acqua di ruscellamento", **I** "quantità di acqua di infiltrazione" e **T** "quantità di acqua di evapotraspirazione".

L'*afflusso idrico* del versante in esame al *Torrente Cammarotta* sarà pari ad $R + I$ e quindi

$$R + I = P - T.$$

La quantità di pioggia scaturisce dalla piovosità media annua che è pari a **876 mm** (ottenuta dai dati del Servizio Idrografico dello Stato per la Stazione Pluviometrica di Pesco Sannita) e dalla superficie interessata che è pari a **2.800 mq**;

$$P = 0,876 \text{ m} \times 2.800 \text{ m}^2 = 2.452,8 \text{ m}^3$$

L'*evapotraspirazione* valutata con la *formula di Turc* (la temperatura media annua dell'area, assunta pari a 14,2° C, è stata computata per regressione lineare considerando i dati raccolti dal Servizio Idrografico alle stazioni di Benevento, Apice, Ariano Irpino e Montevergine) è pari a 568,10 mm e quindi la quantità di acqua di evapotraspirazione è pari a

$$T = 0,5681 \text{ m} \times 2.800 \text{ m}^2 = 1.590,68 \text{ m}^3$$

Le acque di ruscellamento e di infiltrazione che interessano l'area in esame prima di confluire nel *Torrente Cammarotta* sono quindi pari a **862,12 mc/anno**.

- **Legge di Darcy e carico idraulico Bacino discarica "Lame"**

Premesso che dal punto di vista idrogeologico l'area in esame presenta una situazione tipica delle coltri arenaceo-marnose dell'Appennino Meridionale in cui non è possibile definire correttamente la dinamica e la circolazione nel sottosuolo dei complessi acquiferi influenzati, in maniera negativa, dalla eterogeneità dei terreni e dalla distribuzione incostante delle precipitazioni. Il luogo in esame rientra in un dominio caratterizzato dall'assenza di falde freatiche ben definite e dall'interazione variabile di falde isolate, sospese o effimere che interagiscono reciprocamente raggiungendo i valori di produttività relativa migliori nei periodi invernali, anche se il tipo di produttività è diffuso ed impedisce spesso un recapito concentrato delle acque. Idrogeologicamente i sedimenti affioranti nell'area possono essere considerati come scarsamente permeabili o

impermeabili, caratterizzati da basso frazionamento litologico ed elevato valore del coefficiente unitario di ruscellamento superficiale.

Negli acquiferi di questo tipo è possibile calcolare la portata che attraversa un volume significativo mediante la **legge di Darcy**, la quale permette di calcolare la portata $(Q)[m^3/s]$ che transita attraverso il volume identificato, come funzione del gradiente idraulico (i) e della permeabilità (K) , quando il sistema si trova in condizioni di moto a regime permanente.

Indicando con A l'area della sezione interessata dalla filtrazione si può quindi scrivere la seguente relazione:

$$Q = k i A$$

dove k rappresenta il coefficiente di permeabilità dei terreni, mentre il gradiente idraulico (i) si ricava dalla seguente relazione:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

in cui L è la lunghezza dell'ipotetica falda disposta orizzontalmente e sottoposta ad una differenza di carico $\Delta H = H - h$, dove H e h rappresentano i valori del carico idraulico nei due estremi dell'acquifero. Questa relazione può essere definita come l'equazione fondamentale dell'idrogeologia e rappresenta il punto di partenza per lo sviluppo di una serie di formule di notevole importanza pratica.

La discarica Lama è ubicata nella parte terminale, bassa, del bacino avendo una estensione A pari a circa 97.113 m^2 , nel contempo il bacino presenta un dislivello ΔH pari a 75 m , dato dalla differenza tra la $H=360 \text{ m s.l.m.}$ e $h=285 \text{ m s.l.m.}$; la lunghezza L dell'acquifero è pari a 490 m ; il coefficiente di permeabilità k è stato ricavato dalle prove di laboratorio eseguite sul campione geotecnico prelevato durante la fase di caratterizzazione ed è pari a $5,29741\text{E-}08 \text{ m/s}$.

Riassumendo:

A	97.113 m²
ΔH	75 m
L	490 m
K	5,29741E-08 m/s

Pertanto applicando la **legge di Darcy**

$$Q = k \frac{\Delta h}{L} A$$

per il nostro bacino in esame otteniamo $Q = 0,0007874 \text{ m}^3/\text{s}$

che può essere espressa:

$$Q = 0,7874 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,7874 \text{ l/s}$$

15. OBIETTIVI PROGETTUALI PER LA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO OPERATIVO DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA

Per valutare l'incidenza degli interventi di bonifica sulla riqualificazione dell'area ex discarica comunale ubicata in località Lame, e di conseguenza verificare la fattibilità e la remuneratività dell'intervento di sviluppo dell'area stessa, occorre fare riferimento a più parametri operativi, di cui i principali possono essere ritenuti i seguenti:

- costi degli interventi;
- tempistiche per arrivare a certificazione dell'area;
- certezza del raggiungimento degli obiettivi di bonifica;
- occupazione superficiale delle aree durante gli interventi di bonifica;
- permanenza di eventuali vincoli sull'area a valle degli interventi di bonifica (per realizzazione Messa in Sicurezza Permanente, applicazione Analisi di Rischio, etc.).

Nell'analisi delle differenti tipologie di intervento applicabili all'area oggetto di studio gioca una parte fondamentale l'implementazione dell'analisi di rischio sanitario ambientale (D.Lgs. 152/06). L'analisi di rischio sanitario ambientale ha fornito una valutazione sito-specifica, e gli scenari di esposizione variano in funzione dell'utilizzo previsto dell'area; risulta estremamente utile pertanto implementare l'analisi di rischio per diversi scenari di sviluppo possibili delle aree, al fine di individuare soluzioni progettuali che integrino uno sviluppo ottimale e costi di bonifica sostenibili.

Di non secondaria importanza è inoltre l'analisi delle incertezze presenti all'interno della valutazione delle tecnologie di bonifica (oltre naturalmente alle incertezze relative alle prospettive effettive di sviluppo dell'area); i principali fattori di incertezza influenti sull'analisi sono:

- modellizzazione della contaminazione presente a partire dai dati disponibili relativi all'area scaturiti dalla fase di caratterizzazione;
- eventuali vincoli o richieste di modifica/integrazione da parte degli Enti di controllo nel corso del procedimento di bonifica e/o messa in sicurezza;
- eventuali varianti in corso d'opera necessarie durante l'esecuzione degli interventi di bonifica.

16. OBIETTIVI PROGETTUALI GENERALI

L'obiettivo primario del Piano Operativo di Bonifica Ambientale è quello di garantire la messa in sicurezza delle aree attualmente interessate da elevati valori di inquinanti ai danni dell'acquifero e dei terreni circostanti in modo da migliorare le condizioni ecologiche del sito allo scopo di poter realizzare il suo inserimento nel contesto paesaggistico di riferimento. In questi casi l'intervento di bonifica più ovvio è la rimozione dei rifiuti e il loro trasferimento in una nuova discarica controllata, previo eventuale trattamento (recupero di materiali riciclabili es. vetro, metalli e incenerimento del residuo). Questa soluzione risulta tuttavia spesso impraticabile a causa di:

- costi elevati dato che si tratta di trasferire volumi ingenti di rifiuti;
- rischi per l'uomo e per l'ambiente connessi all'escavazione e al trasporto di materiali contaminati;
- difficoltà di reperire un nuovo sito idoneo dove costruire una discarica controllata, a cui si aggiunge spesso l'opposizione dei cittadini residenti.

Esclusa la possibilità di trasferire i rifiuti in un nuovo sito controllato, ne deriva la necessità di mettere in sicurezza quello esistente, tramite sistemi di contenimento in situ.

L'intervento ha carattere definitivo e dunque la messa in sicurezza è permanente, in quanto il sito non è interessato da attività di conferimento e di esercizio e non è possibile procedere alla rimozione integrale degli inquinanti pur applicando le migliori tecnologie disponibili a costi sostenibili. Nelle operazioni di messa in sicurezza sono comprese le azioni di monitoraggio e controllo finalizzate alla verifica nel tempo delle soluzioni adottate ed il mantenimento dei valori di concentrazione degli inquinanti, nelle matrici ambientali interessate, al di sotto dei valori soglia di rischio (CSR).

17. INTERVENTI DI PROGETTO

Le coperture superficiali hanno subito negli ultimi anni una notevole evoluzione, supportata da approfonditi studi sperimentali effettuati in laboratorio e in sito. Questi studi hanno permesso di evidenziare i principali problemi che affliggono le coperture e di migliorarne le prestazioni. Le barriere di fondo vengono invece messe in opera solo in casi particolari, anche perché la loro esecuzione risulta spesso problematica e a oggi esistono solo pochissime tecnologie utilizzabili in modo efficace, ma sempre con costi molto elevati.

La copertura superficiale finale delle discariche deve rispondere ai seguenti criteri dettati dall'Appendice 2 - *"Linee guida per le procedure tecniche degli interventi"* - allegate al PRB della Regione Campania, pubblicate sul BURC n. 30 del 5 giugno 2013:

- ✓ Impermeabilizzazione della superficie della discarica e isolamento dall'ambiente esterno;
- ✓ Minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
- ✓ Riduzione al minimo della necessità di manutenzione;
- ✓ Minimizzazione dei fenomeni di erosione;
- ✓ Resistenza agli assestamenti ed ai fenomeni di subsidenza localizzata.

L'infiltrazione delle acque meteoriche in caso di pioggia, può innescare un processo di inquinamento di falde e corsi d'acqua per infiltrazione o dilavamento; nel particolare caso delle discariche, tale infiltrazione aumenta la produzione di percolato e può produrre aumenti di volume delle masse, favorendo fenomeni di scivolamento dei rifiuti.

L'intervento scelto è da considerarsi definitivo e mira a renderlo successivamente fruibile per gli utilizzi previsti dagli strumenti urbanistici.

In riferimento alle misure di sicurezza da adottare a tutela degli operatori che realizzeranno la messa in sicurezza, si specifica che il sito non è caratterizzato dalla presenza di inquinanti pericolosi localizzabili nel sistema out-door in quanto dalle risultanze degli studi di caratterizzazione sono stati rilevati inquinanti esclusivamente nelle acque sotterranee. Verrà dunque applicato un piano di sicurezza e coordinamento dei lavori del tipo standard al quale verranno applicate le correzioni ed integrazioni minime che si applicano per condizioni di lavoro in ambienti contaminati.

Gli interventi proposti includono l'assoluto divieto di movimentazione della massa di RSU stoccati.

In particolare, il processo di messa in sicurezza sarà costituito dalle seguenti azioni:

- ❖ Ripulitura manto erbaceo ed arboreo;
- ❖ Risagomatura del corpo di discarica;
- ❖ Capping (Copertura definitiva della discarica);
- ❖ Regimazione acque meteoriche;
- ❖ Sistemazione piezometri esistenti;
- ❖ Ripristino alveo torrente sottostante la discarica.

Come già riportato in precedenza, preliminarmente agli interventi di messa in sicurezza verrà realizzata una indagine geofisica volta alla caratterizzazione sismica del sito da bonificare.

17.1 Ripulitura manto erbaceo ed arboreo

Si provvederà ad eliminare tutta la copertura erbacea ed eventualmente arborea presente sul corpo della discarica al fine di eliminare l'interferenza creata dagli apparati radicali con la parte corticale della discarica. Verranno utilizzati esclusivamente attrezzature manuali di taglio e sfalcio precludendo la rimozione meccanica della parte superficiale della discarica in modo da non creare disturbo all'assetto degli RSU stoccati. La superficie da trattare è equivalente a 2.800 mq.

17.2 Risagomatura del corpo di discarica

I rifiuti, con il trascorrere del tempo subiscono varie trasformazioni fisico-chimiche, producendo una porzione liquida (percolato) ed una porzione di gas metano (biogas).

La trasformazione della materia comporta contemporaneamente una variazione di volume che diviene notevole in quanto sia la porzione liquida che quella gassosa in genere migrano verso l'esterno del corpo di discarica. Per questo motivo, essendo trascorso già diversi anni dall'abbancamento, diventa necessaria una nuova sagomatura del corpo della discarica, in modo da ottenere una superficie definitiva priva di discontinuità plano-altimetriche o depressioni localizzate che possono ostacolare un efficiente allontanamento delle acque di afflusso. Senza tale intervento non risulterebbe, inoltre, possibile la corretta posa in opera della copertura di *capping definitivo*.

Per conferire maggiore stabilità all'abbanco di rifiuti e consentire la posa della copertura superficiale si consiglia un intervento di riprofilatura con una configurazione convessa della superficie di chiusura ed osservando, nei settori di scarpata, pendenze non superiori a 45° (equivalente ad un rapporto verticale/orizzontale pari a 1/1). In questo modo si garantirà un efficace migrazione delle acque meteoriche verso i collettori di base costituiti da specifiche cunette anch'esse impermeabilizzate.

La risagomatura sarà effettuata evitando in assoluto il compensamento, con scavi e riporti, che possa intercettare i rifiuti. Verrà infatti apportato materiale argilloso naturale con elevate caratteristiche di impermeabilizzazione. Prima di procedere con la risagomatura delle aree oggetto di intervento risulta necessario un intervento di

risagomatura dell'olistolite affiorante nell'area del corpo discarica, tale materiale può essere riutilizzato come materiale per drenaggi e/o sottofondo stradale per la strada di accesso al sito. Inoltre, prevedere un preliminare intervento di razionalizzazione dei sistemi di estrazione del biogas presente, allo scopo verranno infissi nella parte superficiale del corpo di discarica, una serie di specifici camini che avranno il compito di fungere da sfiato dei gas di origine organica.

Effettuata la risagomatura ed ottenuta la configurazione finale si realizzeranno al piede di tutte le scarpate, prima di procedere con la copertura superficiale, delle cunette di drenaggio superficiale in grado di intercettare ed allontanare le acque meteoriche precludendone l'eventuale infiltrazione nel corpo di discarica.

17.3 Capping

Con il termine "*capping*" si intende un complesso sistema progettuale finalizzato ad un riassetto del territorio dal punto di vista paesaggistico, igienico e di tutela ambientale. Il "*capping*" prevede la copertura del sito inquinato, può essere:

- temporaneo, in attesa dell'asportazione del materiale contaminato o dei suoi assestamenti (*non nel nostro caso progettuale*);
- definitivo, a cui fa seguito una seconda copertura di terreno, successivamente rinaturalizzato con piantumazione (*come da progetto*).

Una copertura di solo terreno argilloso non garantisce un'impermeabilità assoluta, soprattutto nel caso di manufatti in rilevato, con sponde pendenti ed elevate, interrotte da serie di berme rompitratta. Inoltre essa risente particolarmente di alcuni fattori climatici, come pioggia (sovra saturazione e lisciviazione) e variazioni di temperatura (disseccamento e screpolatura) nonché un aggravio delle condizioni di stabilità del versante. È necessario dunque l'utilizzo di rivestimenti adeguati, come guaine geosintetiche e geotessuti, in grado di rispondere a precisi requisiti come:

- ❖ facilità e rapidità di posa in opera anche su vaste aree, in elevazione e con sponde ripide ed irregolari;
- ❖ elevata resistenza a trazione e punzonamento, per contrastare efficacemente tensioni indotte sia dal peso della copertura vegetale sia da eventuali cedimenti differenziali e assestamenti del substrato;
- ❖ costi e tempi di realizzazione contenuti.

La rapida copertura dell'area interessata (*capping*) è una delle azioni preliminari adottate per la messa in sicurezza di siti inquinati, ed in particolare per le discariche, che unita alle tecniche di ingegneria naturalistica raggiungono il più delle volte l'obiettivo di risanare ampie aree dissestate nel completo rispetto dell'ambiente, tenendo quindi in opportuna considerazione in ogni momento l'impatto ambientale. Inoltre, il *capping* evita l'inquinamento di falde e corsi d'acqua per infiltrazione o dilavamento, la dispersione di odori, fluidi gassosi e polveri contaminanti; nonché la proliferazione di insetti e la presenza di animali randagi ed uccelli, potenziali veicoli di infezioni.

La realizzazione del *capping* consiste essenzialmente nell'ancoraggio dei geosintetici ai muri di sostegno e al terreno mediante sovrapposizioni e saldature (*copertura multistrato*). Come dice il nome, si tratta di *sistemi di copertura* costituiti da più strati sovrapposti, ognuno dotato di una specifica funzione. Partendo dalla superficie si ha (fig. 14):

- ❖ terreno superficiale di copertura vegetale
- ❖ sistema di drenaggio delle acque meteoriche
- ❖ strato di impermeabilizzazione
- ❖ strato di drenaggio del biogas e di rottura capillare
- ❖ terreno di regolazione discarica esistente (materiale inerte)

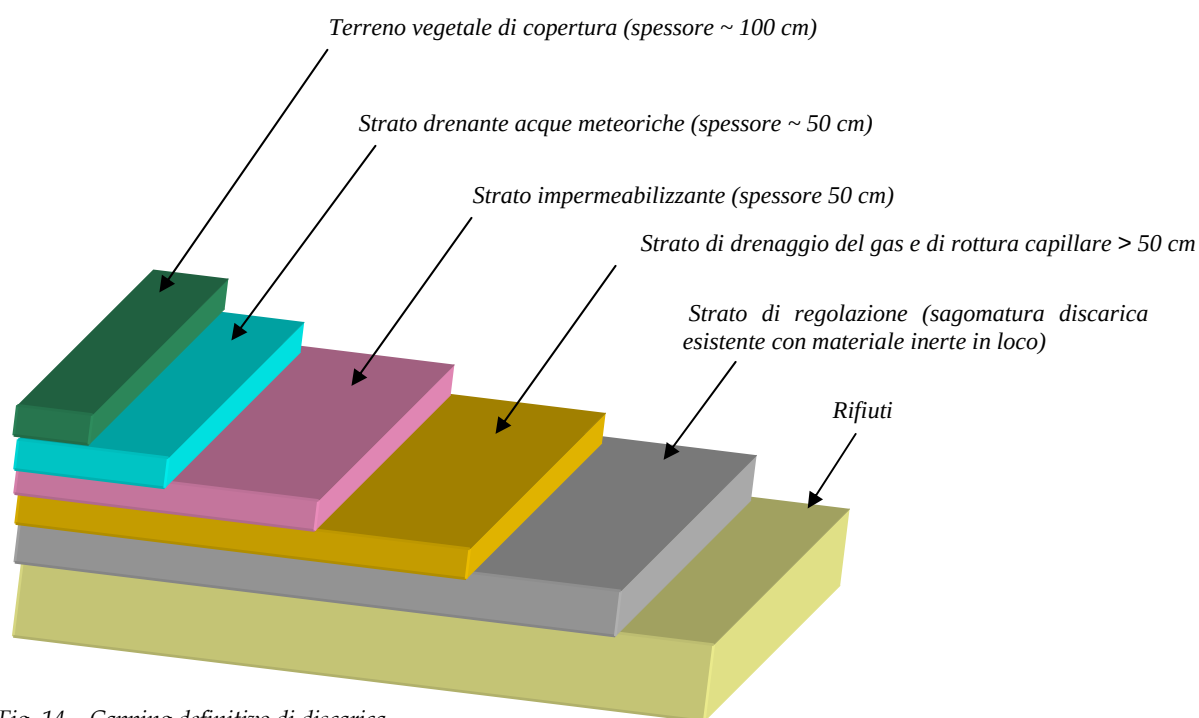


Fig. 14 – Capping definitivo di discarica.

Tale *copertura a multistrato* avrà come finalità quella di:

- ✓ evitare l'infiltrazione delle acque meteoriche nella massa di rifiuti, prevenendo la formazione di percolato che potrebbe contaminare il suolo e gli acquiferi sottostanti;
- ✓ evitare l'emissione di gas maleodoranti o tossici;
- ✓ consentire il recupero dell'area degradata da un punto di vista estetico e ambientale, mediante la rivegetazione della superficie;
- ✓ contribuire alla stabilità geologica del sito;
- ✓ resistere nel tempo all'azione erosiva degli agenti atmosferici, alle escursioni termiche, ai cicli di gelo e disgelo e di essiccamento periodici.

Premessi questi distinguo, è opportuno anche precisare che molte coperture finali sono state sino ad oggi, e vengono ancora progettate, con materiali naturali (argille e ghiaie, ecc.) così come proposto dallo schema riportato nel D.L. 13 gennaio 2003 n. 36. In alternativa, visto le condizioni morfologiche dell'area di intervento, **si propone un capping con materiali geosintetici** dimensionati applicando il criterio di equivalenza prestazionale e funzionale come quello di seguito riportato: *materiale inerte, geocomposito drenante e di rottura capillare per il biogas, geomembrana impermeabile in HDPE, geocomposito drenante - antipunzionante, terreno da coltivazione con biorete in fibra naturale anti-erosione.*

17.4. Copertura vegetativa

Finalità:

- ✓ incremento della quota di evaporazione delle acque di infiltrazione, attraverso il processo di evapotraspirazione operato dalle piante;
- ✓ consolidamento del terreno da parte degli apparati radicali, quindi riduzione del rischio erosivo;
- ✓ miglioramento dell'aspetto estetico dell'area.

Criteri per la scelta delle specie vegetali da utilizzare:

- profondità dello strato di copertura (in relazione al grado di approfondimento dell'apparato radicale);
- pendenza della superficie;
- caratteristiche chimico-fisiche del terreno (pH, contenuto in sostanza organica e nutrienti, struttura e tessitura, permeabilità);

- disponibilità di acqua;
- clima.

È preferibile l'uso di specie autoctone, adattate al clima locale, e con apparato radicale poco profondo, al fine di non danneggiare gli strati di copertura sottostanti con la conseguente formazione di percorsi preferenziali di infiltrazione di acque di pioggia e la fuoriuscita di gas tossici e maleodoranti dai rifiuti. Si possono anche usare specie da fitorimediazione come Salicacee (*pioppo e salice*), Brassicacee (*rafano, colza*), girasole, medica, geraneo odoroso etc., capaci di unire alla funzione estetica e di stabilizzazione anche la depurazione del terreno da inquinanti organici e inorganici.

Le specie erbacee, arboree o arbustive, da sole o in combinazione tra loro, hanno lo scopo di aumentare la gradevolezza paesaggistica e la funzionalità della copertura vegetale stessa:

- erbacee graminacee (es. *festuca, avena*): sviluppano un apparato radicale fitto e poco profondo, attecchiscono in fretta e formano una copertura fitta e durevole. Sono adatte a colonizzare anche le pendenze, stabilizzando quindi il substrato.
- erbacee leguminose (es. *trifoglio o erba medica*): incrementano la fertilità del terreno arricchendolo in azoto, grazie alla simbiosi con batteri azotofissatori.
- arbusti (es. *robinia, olivo, ginestra, nocciolo, agrifoglio, ligustro, biancospino*): garantiscono una copertura fitta e permanente durante tutto l'anno, stabilizzano il terreno colonizzando le superfici scoscese.
- arboree ad alto fusto (es. *carpino acero, ontano, pioppo, salice, olmo*): dotate di apparato radicale tipicamente più profondo di quello delle specie erbacee, sono adatte a stabilizzare il terreno ma bisogna assicurarsi che non danneggino gli strati sottostanti di impermeabilizzazione della discarica; di norma vengono piantate in un secondo tempo, quando il terreno è stato migliorato nella sua struttura e fertilità dalle piante erbacee.

17.5. Terreno di copertura

Funzioni:

- ✓ permettere l'insediamento delle piante di copertura;
- ✓ fornire acqua e nutrienti alle piante;
- ✓ drenare le acque di pioggia;

- ✓ proteggere gli strati sottostanti dagli agenti atmosferici, da sbalzi di temperatura, cicli di gelo-disgelo, che potrebbero danneggiarli e vanificare così l'opera di isolamento.

Se il substrato è povero di nutrienti, si possono aggiungere fertilizzanti organici come compost, reflui zootecnici opportunamente maturati e stabilizzati, o ancora fanghi di depurazione, purché idonei all'uso agronomico; si possono utilizzare anche fertilizzanti di sintesi, che però sono soggetti alla lisciviazione e al dilavamento in profondità.

Lo spessore è funzione delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale utilizzato, e della profondità degli apparati radicali delle piante utilizzate per la copertura. Generalmente si conferisce alla superficie una pendenza del 3-5% per massimizzare il ruscellamento superficiale delle acque piovane rispetto all'infiltrazione, e limitare così la formazione di ristagni d'acqua alla base dello strato di copertura: questi a lungo andare possono provocare instabilità del terreno, aumentare il rischio di infiltrazioni negli strati sottostanti, e rendere il terreno asfittico causando sofferenza radicale. La permeabilità del terreno deve essere tale da permettere il drenaggio delle acque di infiltrazione in eccesso (oltre la capacità di campo) e al contempo soddisfare il fabbisogno idrico delle piante.

17.6. Strato di regolazione

Funzione:

- ✓ regolarizzare il piano di posa del pacchetto di chiusura del capping.

Viene di solito realizzato con terreno di tipo argilloso o con materiale inerte preso in loco al di sopra dello strato di rifiuti. Con riferimento ad applicazioni su superfici piane è consigliabile interporre tra i rifiuti e tale massa di terreno un geotessile non tessuto separatore, al fine di migliorare le prestazioni meccaniche di tale strato e di limitare la quantità di terreno di riporto necessaria a colmare tutte le irregolarità della massa di rifiuti stessa. A tale scopo risulta sufficiente un geotessile non-tessuto. Lo sbancamento con mezzi idonei alla natura del sottofondo, terrà conto della morfologia accidentata e allo stesso modo lo scavo e il livellamento permetterà l'esecuzione di piazzole e il posizionamento di eventuali opere di contenimento (gabbionate, terre armate, ecc.).

17.7. Strato di impermeabilizzazione

Funzione:

- ✓ impedire l'infiltrazione delle acque meteoriche nel corpo della discarica e quindi la formazione di percolato;

- ✓ evitare la fuoriuscita di gas maleodoranti e/o tossici prodotti dalla fermentazione anaerobia della frazione organica dei rifiuti.

Può essere costituito da:

- ❖ materiale naturale;
- ❖ materiale sintetico (geomembrane);
- ❖ sistema composito;
- ❖ barriera capillare;

a) Materiale naturale

- ✓ miscela sabbia-argilla (bentonite) o
- ✓ argilla tal quale, compattata e trattata con sali (es. cloruro di sodio NaCl) che ne aumentano la compattezza con conseguente diminuzione di permeabilità.

Si sfrutta l'azione deflocculante dello ione sodio Na, questo agisce aumentando lo strato diffuso delle particelle di argilla, che si distanziano l'una dall'altra; impedita l'aggregazione in granuli (o fiocchi) dei minerali, la matrice perde struttura e diventa incoerente, compattandosi. L'aggiunta di sali tuttavia tende ad esaltare le variazioni di volume delle argille a seguito di fenomeni di idratazione-disidratazione, processo che può portare alla formazione di crepe e fessure che aumentano drasticamente la permeabilità dello strato impermeabile. Altre cause che portano alla fessurazione dello strato argilloso sono l'azione di animali terricoli e la penetrazione delle radici della vegetazione di superficie.

b) Materiale sintetico

Si utilizzano geomembrane, costituite da fogli trafilati, dello spessore di qualche mm e di larghezza 1,5 - 10 m; flessibili e impermeabili, realizzati impregnando tessuti polimerici come polietilene (PE) o polivinilcloruro (PVC) di prodotti bituminosi (asfalto o bitume).

La geomembrana viene generalmente posata tra due strati di materiale geotessile per essere protetta da lacerazioni o forature.

Vantaggi:

- ✓ convenienti dal punto di vista economico;
- ✓ leggeri, flessibili, resistenti;
- ✓ facili da trasportare;

- ✓ facili da applicare. È sufficiente porre attenzione alla saldatura tra un telo e l'altro, perché questo può costituire un punto preferenziale di rottura e quindi di infiltrazione.

Al contrario le argille richiedono un trattamento preliminare e devono poi essere compattate in situ, quindi le operazioni di posa sono più lunghe e delicate.

c) Sistema composito

I due metodi citati rappresentano i casi estremi: possono infatti essere adottati sistemi misti, costituiti cioè da geomembrana stesa sopra uno strato di argilla compattata a bassa permeabilità.

d) Barriera capillare

Sistema di impermeabilizzazione composto da un primo strato di ghiaia detto "blocco capillare", ricoperto da uno strato di sabbia fine sovrapposto detto "strato capillare".

L'acqua meteorica di percolazione che ha attraversato il terreno di copertura si infiltra nello strato di sabbia fine ma non penetra in quello di ghiaia per effetto della tensione superficiale dei pori allagati della sabbia e di quelli secchi, di dimensioni maggiori, della ghiaia. In sostanza nell'interfaccia sabbia-ghiaia si crea una forte differenza di permeabilità che favorisce lo scorrimento orizzontale anziché verticale dell'acqua: l'acqua quindi dopo aver attraversato lo strato di sabbia scorre orizzontalmente e viene raccolta da una trincea o da un tubo di drenaggio. Questo sistema può presentare difficoltà nel caso di precipitazioni intense che portano a saturazione lo strato capillare (di sabbia), con l'instaurarsi di un carico idraulico che riesce a vincere la differenza di permeabilità e a infiltrarsi nello strato di ghiaia.

17.8. Strato protettivo

Funzione:

- ✓ Questa azione (tale strato non risulta indicato nel disegno della sezione stratigrafica tipo in quanto non prescritto dalle norme) ha la funzione di proteggere l'impermeabilizzazione da possibili fenomeni di danneggiamento e punzonamento per cui è teoricamente sempre da prevedere (i pacchetti di impermeabilizzazione proposti necessitano di gradi di protezione in realtà molto diversi per cui la situazione dovrà essere studiata caso per caso).

In linea di massima si consiglia l'impiego di un geotessile non tessuto qualora sotto lo strato protettivo si trovi una geomembrana mentre non risulterà necessaria alcuna

precauzione in caso di presenza di un geocomposito bentonitico. L'impermeabilizzazione minerale naturale in argilla non necessita di alcuna protezione, ma è comunque buona norma posare sopra di essa un geotessile separatore in modo da evitare la miscelazione tra tale strato e quello successivo di drenaggio (tale osservazione ha validità solo se si pensa di realizzare il drenaggio delle acque meteoriche con inerti, mentre è priva di senso se quest'ultimo verrà realizzato mediante un geocomposito drenante antipunzionante); da ricordare che nella norma viene esplicitamente menzionato il fatto che lo strato drenante deve essere protetto da fenomeni di intasamento che ne comprometterebbero il corretto funzionamento.

17.9. Strato drenante

Funzione:

- ✓ allontanare le acque di percolazione che si accumulano alla base del terreno di copertura e che altrimenti formerebbero ristagni, causando instabilità del terreno, asfissia radicale e rischi di infiltrazione nello strato impermeabile sottostante.

Posto tra il terreno di copertura e lo strato di impermeabilizzazione sottostante, è costituito da una serie di tubazioni di drenaggio ricoperte da uno strato di materiale altamente permeabile. Il materiale permeabile può essere naturale o sintetico:

- materiali naturali: miscela di sabbia, ghiaia e ciottoli con permeabilità non inferiore a 10^{-2} cm/s. I ciottoli dovrebbero avere forma arrotondata per evitare danni alle tubazioni di drenaggio sottostanti.
- materiali di risulta come ceneri o scorie derivanti dalla termodistruzione dei rifiuti solidi, purché non comportino il rilascio di sostanze pericolose.
- materiali sintetici: georeti, ovvero strutture tridimensionali a maglia, realizzate per estrusione di polimeri termoplastici come polietilene o polipropilene; sono dotate di una bassa compressibilità che consente di mantenere una buona permeabilità anche in presenza di sollecitazioni meccaniche.

Le tubazioni di drenaggio sono costituite da tubi ondulati e fessurati che colleghino l'acqua di percolazione e la allontanano. Per la realizzazione di tale strato la norma non fornisce indicazioni al riguardo per cui si farà riferimento alle indicazioni fornite nelle Linee Guida del Comitato Tecnico Discariche. La soluzione classica prevede di realizzare tale strato mediante terreno di riporto con uno spessore tale da permettere la crescita e lo

sviluppo di una adeguata copertura vegetale. Sino ad oggi sulle superfici piane questo aveva uno spessore variabile tra 0,50 m e 1,00 m , mentre sulle scarpate difficilmente si superavano i 0,50 m. Particolare attenzione deve essere prestata in relazione alle porzioni di scarpata, infatti in questi casi si presenta il problema di garantire la stabilità della copertura in funzione dell'angolo di attrito di interfaccia tra il terreno di riporto ed i geosintetici. L'angolo di interfaccia del geosintetico su cui è posato il terreno difficilmente supera, in condizioni bagnate, i 10° - 12°, per cui nelle situazioni standard in cui l'inclinazione della scarpata è prossima a 30°, si ha la necessità di un elemento di rinforzo in grado di assorbire gli sforzi in eccesso e stabilizzare il materiale di riporto. L'utilizzo della soluzione del terreno di riporto in ghiaia pulita (pezzatura 16-32 con una percentuale di fine passante al vaglio 200 ASTM inferiore al 5%) anche su superfici inclinate implica lo studio geotecnico della sua stabilità; essa dovrà essere verificata come indicato al paragrafo "stabilità del terreno di riporto sui geosintetici" nelle Linee Guide CTD, pertanto, si rende necessario l'impiego di geogriglie o geostuoie.

Inoltre bisogna tenere presente che si possono verificare degli assestamenti nella massa dei rifiuti a causa di fenomeni di collasso vero e proprio, oppure legati alla degradazione della frazione biodegradabile dei rifiuti. Sebbene questi assestamenti possano essere uniformemente distribuiti su tutta la superficie e possano verificarsi prima della realizzazione della copertura, si verifica sovente che il sistema possa essere danneggiato da subsidenze localizzate intervenute anche dopo diversi anni dal completamento della discarica. Purtroppo, a causa della grande variabilità delle caratteristiche dei rifiuti, l'entità dei fenomeni di assestamento non può essere prevista con precisione anche se è comunque possibile classificarli in assestamenti dell'intero ammasso e assestamenti differenziati. In genere si ha un iniziale e rapido consolidamento primario seguito dal consolidamento secondario che può durare per anni ed è porzione significativa dell'assestamento totale (tale consolidamento è massimo quando il rifiuto ha una consistente componente organica biodegradabile). Accanto agli assestamenti dell'intero ammasso si possono verificare dei cedimenti differenziali. È probabile che questi si rivelino temporanei e seguiti dal cedimento anche della zona circostante. Essi rappresentano la situazione peggiore ed il sistema deve essere progettato e realizzato in modo da assecondarli. In virtù delle varie fasi di assestamento enunciate ne consegue che il pacchetto sarà soggetto a tensioni e

sforzi multi assiali e dovrà essere strutturato in modo tale da minimizzare i rischi anche quando soggetto a queste condizioni di esercizio ben lontane da quelle ideali. Al fine di trovare una soluzione accettabile si consiglia pertanto di agire secondo due direttive:

- ✓ Irrobustire ed irrigidire la fondazione (interfaccia tra strato di regolarizzazione / strato di drenaggio) mediante l'ausilio di specifici geosintetici di rinforzo o dei geocompositi drenanti rinforzati;
- ✓ Utilizzare per le singole componenti del sistema barriera dei materiali che siano in grado di assorbire sia in termini di resistenza che di deformazione gli stati tensionali indotti. Risulta chiaro che l'impiego di materiali geosintetici soddisfa questa condizione meglio di quanto non possano fare i materiali minerali naturali per cui si suggerisce, per quanto possibile, di favorire il loro impiego rispetto ad una soluzione classica. Come in parte già evidenziato in relazione alle membrane, non tutti i geosintetici hanno prestazioni assimilabili per cui bisognerà operare una scelta all'interno di questa vasta gamma di prodotti per individuare quelli che meglio rispondono alle esigenze tecniche espresse.

18. SISTEMA DI DRENAGGIO E REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE

Con la copertura superficiale impermeabile la raccolta delle acque meteoriche necessita di una buona canalizzazione per il regolare deflusso. Pertanto deve essere previsto un sistema di regimazione (a gravità) delle acque di ruscellamento sulle aree oggetto di intervento. Le canalette drenanti dovranno essere concepite allo scopo di regimare esclusivamente le acque meteoriche insistenti sul corpo della discarica. Dovrà essere interdetto l'apporto di acque provenienti dal contorno della discarica verso la stessa. Questo tipo di deflusso si verifica nei periodi piovosi e corre parallelamente alle isoipse, per sversarsi, trattandosi di acque pulite, nel torrente sottostante. Pertanto la canalizzazione di raccolta delle acque superficiali mediante canaletta di convogliamento oltre ad avere l'effetto di allontanare le acque che filtrano nella massa di rifiuti, salvaguarderà le caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura, e subordinatamente di fondo della discarica, consentendo pertanto un miglioramento della situazione geostatica dell'area. A questo proposito si consiglia la realizzazione di una canaletta drenante a sezione trapezoidale con ampiezza al fondo di circa 1,00 m al piede delle scarpate artificiali, seguendo l'intero perimetro della discarica ed avendo cura di rispettare una pendenza nominale di 5° verso il settore più depresso della discarica stessa. La scelta delle cunette drenanti scaturisce dalla necessità di realizzare dei sistemi efficaci, ma allo stesso tempo economici e di facile e rapida realizzazione.

L'intervento, nel suo complesso, servirà all'allontanamento delle acque di ruscellamento dal corpo della discarica ed a limitare l'infiltrazione, salvaguardando nello stesso tempo le caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura.

L'impianto in oggetto, essendo di limitate dimensioni e trascorsi ormai circa 15 anni dalla fine esercizio e riempimento, produrrà una limitata quantità di biogas che si disperde liberamente nell'atmosfera o addirittura nulla, poiché tale produzione si esaurisce in circa 20 anni quando i composti sono mineralizzati, ridotti cioè a terriccio innocuo.

Al fine di garantire un sistema di drenaggio funzionale (*cfr. fig. 15*) **si dovrà necessariamente procedere al ripristino del muro di contenimento in cls (lato torrente Cammarotta)** dove, attualmente, a seguito dello scalzamento al piede esercitato dal torrente durante i periodi di maggiore piovosità, il corpo rifiuti è direttamente a contatto

con le acque del torrente stesso. Infatti i rifiuti vengono erosi, asportati e dispersi dalle acque in piena lungo tutto il suo percorso fino ad arrivare al fiume Tammaro, ciò è una potenziale fonte di inquinamento che a lungo andare potrebbe far franare l'intero ammasso di RSU.

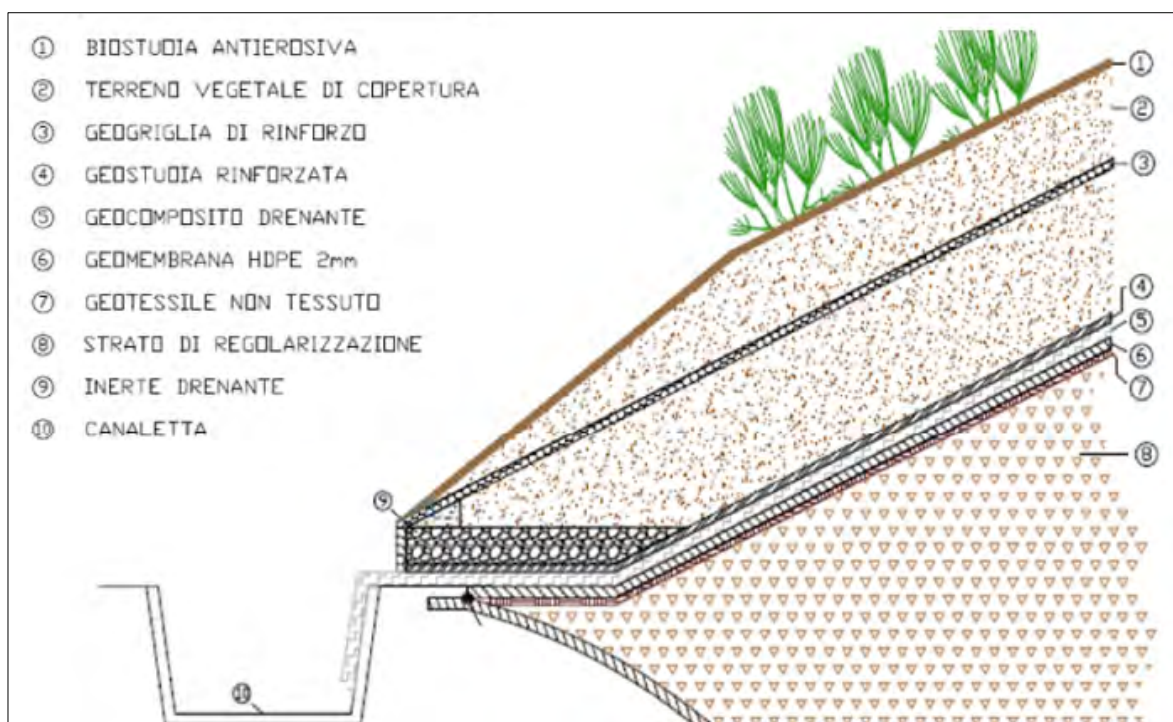


Fig. 15 – Esempio di regimazione acque meteoriche e copertura superficiale.

Per quanto riguarda il controllo delle acque meteoriche si farà riferimento ai valori limite di cui alla Tabella 3 dell'All. 5 alla Parte III del D.lgs. 152/2006. A tale proposito, si rammenta che il monitoraggio delle acque meteoriche dovrà essere effettuato periodicamente prelevando campioni da sottoporre ad analisi nei pozzetti di raccolta delle stesse come da Piano di Monitoraggio post-operativo.

19. RIPRISTINO MORFOLOGICO E COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA

Il corpo della discarica sarà ricoperto da uno strato superficiale di copertura (spessore maggiore di 1.0 m) per consentire una rapida crescita della vegetazione. Per favorire una maggiore stabilizzazione della zona saranno messi a dimora sull'area della discarica, ma anche nelle vicinanze di essa essenze vegetali a rapida crescita, con radici affastellate (*Robinie, Ailanti ecc.*) e soggetti giovani (1-2 anni) fittamente disposte (distanze 1-1,50 m)

**LAVORI DI BONIFICA E MESSA IN SICUREZZA DELL'EX DISCARICA COMUNALE
SITA IN LOCALITÀ LAME NEL COMUNE DI PESCO SANNITA (BN)
PROGETTO DEFINITIVO APPALTABILE**

per evitare di rimpiazzare quelle non sopravvissute. A conclusione di tutte le azioni di carattere prettamente tecnico, descritte in precedenza, si procederà ad un intervento definitivo volto a potenziare la stabilità e garantire un corretto inserimento, dell'intera opera, nel contesto ambientale in cui è collocata.

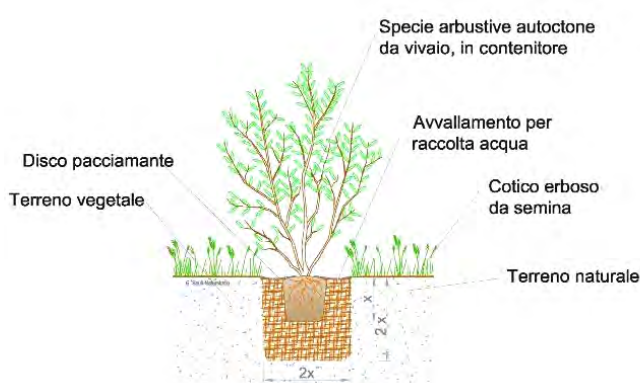


Fig. 16 – Sezione tipo della messa a dimora di arbusti da vivaio.

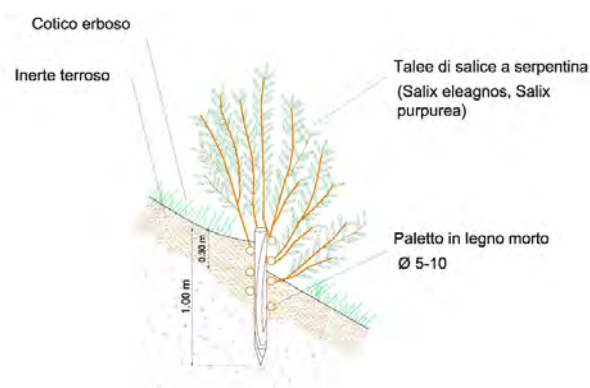
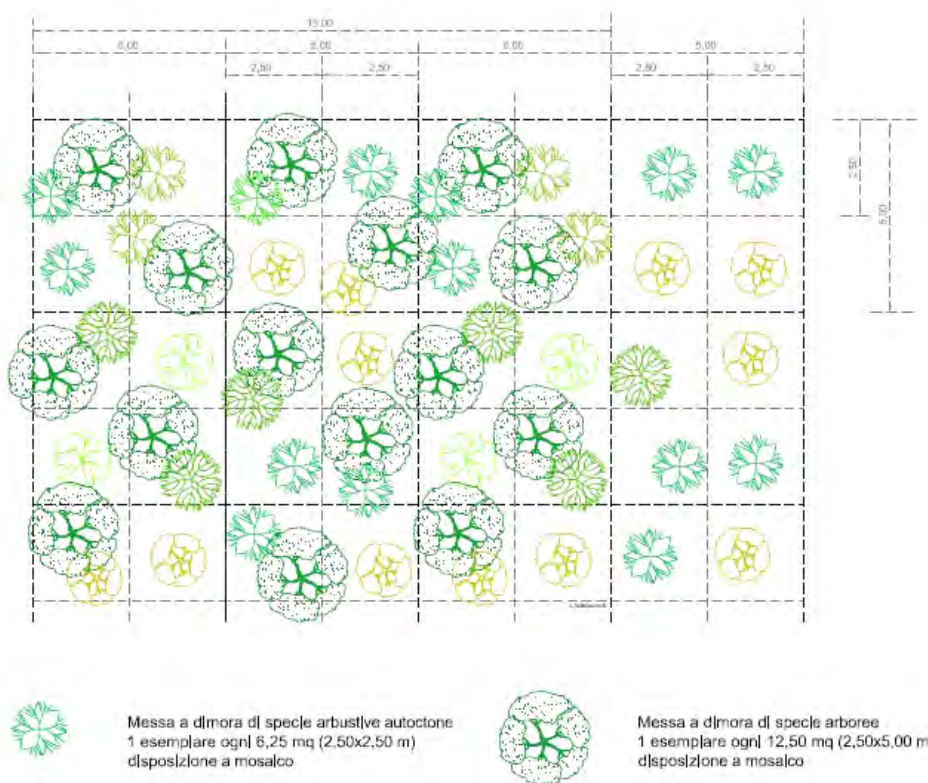


Fig. 17 – Viminata viva seminterrata.

**SCHEMA SESTO D'IMPIANTO
FORMAZIONE FASCIA BOSCATI TAMPONE**



Per giungere a tale fine, si consiglia di inserire sulla nuova superficie topografica, specie erbacee ed arbustive autoctone. Nello specifico effettuare, sull'intera superficie, idrosemina di essenze erbacee suffruttuose, costituite, in media, dal 70-80% di graminacee e dal 15-20% da leguminose, miscelate con acqua, ammendanti, collanti e fitoregolatori di origine naturale. L'idrosemina dovrà essere eseguita con l'ausilio di lancia idraulica collegata a sistema di pompaggio meccanico. A termine dell'idrosemina, si procederà alla messa a dimora di essenze arbustive, anch'esse autoctone. In primo luogo impiantare una siepe con specie vegetali di tipo *laurus nobilis* lungo l'intero perimetro della discarica.

L'azione sarà completata impiantando, sull'intera superficie e con ordine sparso, ulteriori essenze arbustive tipiche del luogo. L'introduzione di essenze arbustive, come già riportato in precedenza, ha una duplice funzione:

- la prima di carattere tecnico, in quanto gli apparati radicali degli arbusti contribuiscono in modo significativo a migliorare le caratteristiche di stabilità della superficie antropica realizzata, contrastando eventuali fenomeni gravitativi e di erosione superficiale;
- la seconda funzione è di carattere qualitativo, in quanto l'introduzione di essenze arbustive, contribuisce a mitigare sensibilmente l'impatto visivo dell'opera realizzata e ne migliora, dunque, la compatibilità nel contesto ecologico ed ambientale in cui è collocato.

20. RIPRISTINO PIEZOMETRI ESISTENTI

A chiusura dei lavori si consiglia una ricognizione con verifica di funzionalità di tutti i piezometri realizzati nella fase di Caratterizzazione sito-specifica, provvedendo a realizzare una sistemazione definitiva mediante apposito pozzetto perimetrale prefabbricato in calcestruzzo, corredato di coperchio di ispezione sigillato e di palina di segnalazione con annessa bandierina di identificazione alfanumerica del piezometro, utilizzando i codici attribuiti in fase di Caratterizzazione sito-specifica.

21. REGIMAZIONE ACQUE DI INFILTRAZIONE

Sull'area esterna alla discarica (lato monte) dovranno essere realizzati dei drenaggi profondi aventi il doppio scopo di captare sia le acque superficiali che quelle di

infiltrazione sotterranee. L'inserimento nel terreno di una trincea drenante del tipo proposto permette di realizzare una linea a forte permeabilità data dalle differenze di pressione esistente tra quella presente all'interno del dreno (pressione atmosferica) e la sovrapposizione dell'acqua che si trova all'interno dei pori del terreno stesso. In virtù della differenza di permeabilità che si verifica all'interfaccia tra trincea drenante e mezzo geologico in posto, si innesca un moto di filtrazione che porta all'abbattimento della falda freatica ed alla diminuzione del tenore di acqua nel terreno.

Il relativo abbattimento delle pressioni interstiziali porta ad un miglioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni, in sostanza si introduce un aumento delle caratteristiche di resistenza. Le acque di infiltrazione verranno intercettate dallo strato drenante e di seguito regimate mediante una rete interrata di tubi drenanti corrugati. Le acque di infiltrazione saranno recapitate presso apposito pozzetto posto nel settore più depresso dell'area. Verranno realizzate esternamente alla discarica, delle trincee drenanti (drenaggi) con profondità compresa tra 5,50 m e 7,00 m. Le trincee, data la profondità, si consiglia di realizzarle con sistemi drenanti geosintetici tipo gabbiodren con tubo collettore al fondo che verranno racchiusi da un telo di tessuto non tessuto.

I drenaggi profondi posti a monte della discarica avranno il compito di convogliare a valle, le acque di infiltrazione, evitando il deflusso verso il corpo della discarica, che alimentano le falde superficiali. Nel punto più depresso dei drenaggi dovrà essere realizzato un pozzetto di raccolta delle acque presso il quale, con la cadenza indicata nel Piano di monitoraggio e controllo post-operativo, verranno effettuati i campionamenti per verificare i livelli di contaminazione.

In caso di accertamento analitico che ne certifichi l'idoneità e a seguito di autorizzazione, ai sensi della Parte Terza del D.Lgs. 152/06, così come previsto dall'art. 243 come modificato dall'art. 41 c.i. del D.l. 69/2013 convertito dalla L. 98/2013, le acque potranno essere immesse in un corpo recettore più vicino che è rappresentato dal Torrente Cammarotta. Pertanto, al raggiungimento di una condizione di assenza di rischio, le acque potranno essere condotte nell'impluvio a valle previa realizzazione di apposito canale per ogni pozzetto esistente. In caso di superamento dei limiti accettabili dei valori di contaminazione, si provvederà all'aspirazione delle acque mediante autobotte ed al conferimento delle stesse presso il più vicino centro di trattamento autorizzato.

22. SCHEMA PROGETTUALE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA

Le operazioni di bonifica verranno coordinate sulla base dei seguenti elaborati cartografici allegati al Progetto Definitivo di Bonifica.

Nella tavola 15.11 - *“Individuazione delle aree contaminate”*, vengono rappresentate le aree totali, risultanti dalla sovrapposizione delle aree riguardanti i singoli analiti, interessate da contaminazione in falda (colore blu); nella stessa cartografia ed allo stesso modo, verranno indicate le aree, interessate da contaminazione del suolo (colore rosso). Le perimetrazioni di cui in precedenza, sono state delimitate in base alle risultanze del Piano di Caratterizzazione approvato dalla Regione Campania.

In planimetria verranno rappresentati anche tutti i punti di campionamento indagati nella fase di Caratterizzazione sito-specifica (*cfr Tav. 15.10*).

Al fine di evitare la movimentazione di volumi considerevoli di terreni contaminati che potrebbero indurre migrazione degli inquinanti già presenti, considerando la volontà di perseguire un coerente equilibrio tra costi e benefici e considerando altresì che gli inquinanti presenti nel suolo e nella falda non rappresentano fonte di rischio in superficie per l'incolumità umana e sanitaria, è stata contemplata la necessità di concentrare le azioni di bonifica sulla falda. In questo modo, l'azione di bonifica si ripercuoterà anche sulla matrice suolo.

Nello specifico, come già ampiamente discusso nei paragrafi precedenti, verrà realizzata una serie di trincee drenanti che avranno il compito di intercettare le acque di falda all'interno del perimetro risultato contaminato. La rete di trincee sarà recapitata ad un pozzo di raccolta, mentre in superficie verranno realizzate una rete di canalette superficiali, allo scopo di allontanare rapidamente le acque di precipitazione meteorica. Riguardo i suoli da escavare per la realizzazione delle trincee drenanti, in funzione di quanto raccomandato nella parte Va del DM 152/06, gli stessi dovranno essere sottoposti, in fase esecutiva, ad analisi di laboratorio, per verificare la presenza di elementi inquinanti ed effettuare il loro eventuale superamento dei valori limite imposti dal DM 152/2006. A seguito di questa verifica si considera il riutilizzo in cantiere o l'allontanamento dei terreni presso un sito di trattamento specializzato o una discarica autorizzata. Qualora in fase esecutiva i terreni risultino esenti da inquinanti o i parametri potenzialmente inquinanti

siano inferiori alle soglie di tolleranza, i terreni potranno rimanere in sito e si procederà esclusivamente ad un riassetto della componente economica.

23. TIPOLOGIA DI INTERVENTO DI BONIFICA PROPOSTO

Gli interventi di bonifica interesseranno principalmente la matrice ambientale costituita dalle sole acque e sarà limitata a quelle che risulteranno contaminate a seguito di analisi sui campioni prelevati nei manufatti di raccolta. Le verifiche dei contaminanti saranno effettuate in riferimento a quanto contemplato nella L. 36/2003 e nella L. 152/2006. A seguito di superamento dei valori tabellari consentiti dalla legge, si provvederà ad effettuare l'aspirazione delle acque mediante autobotte e successivamente verrà effettuato il trasporto presso centri autorizzati al trattamento ed allo smaltimento.

Parametri analitici posti a controllo nel Piano di monitoraggio post-operativo

Nel *Piano di sorveglianza e controllo post-operativo*, dovranno essere riportati tutti i parametri per i quali si è riscontrato il superamento delle CSC, precisando che le verifiche analitiche saranno riferite ai livelli di CSC di cui alla Tabella 2 dell'Allegato 5 della Parte IV^a - Titolo V° "Bonifica Siti Contaminati" del D.Lgs 152/06. I parametri per i quali è previsto quanto appena accennato sono i seguenti:

- Solfati;
- Fluoruri;
- Nitriti;
- Benzo (g.h.i) perilene.

24. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Al fine di dimensionare correttamente le opere di edilizia strutturale e di verificarne le caratteristiche di staticità a seguito di eventuali sollecitazioni sismiche, deve essere realizzata, prima dei lavori esposti sopra, uno studio di caratterizzazione sismica del sito.

Nello studio di caratterizzazione già effettuato, è stata realizzata una ampia descrizione delle caratteristiche geotecniche del substrato geolitologico. Nello specifico, è stato effettuato il prelievo di campioni di terreno indisturbati che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico, ottenendo tutti i parametri geotecnici necessari ad effettuare calcoli e verifiche strutturali. Non è stata effettuata la valutazione delle Vs 30 nel foro di

sondaggio e dunque si provvederà ad ottenere i valori corrispondenti mediante stendimenti geofisici di tipo MASW.

25. CONCLUSIONI

Le azioni proposte in progetto sono rispondenti alle direttive normative in vigore e sono idonee alla messa in sicurezza definitiva del sito. Tutti i prodotti proposti sono realizzati con materiali e sistemi che non producono impatto ambientale, principalmente riguardo al rilascio di eventuali sostanze inquinanti. Il progetto è strutturato al fine di elevare al massimo la funzionalità del sistema di protezione definitivo, contrastando contemporaneamente l'afflusso della matrice idrica dall'esterno verso la discarica e la migrazione di eventuali inquinanti verso l'esterno. Nel contempo, le operazioni di messa in sicurezza saranno condotte, prestando massima attenzione a limitare al massimo l'esposizione dei lavoratori in fase di realizzazione. Tutte le soluzioni tecniche previste in progetto, sono state configurate a seguito di valutazione tecnico-economica e funzionale, al fine di perseguire un livello di spesa sostenibile in riferimento all'obiettivo preposto. Per quanto riguarda l'interferenza, in fase esecutiva, delle criticità ambientali che si verificheranno durante le attività di cantiere, quali ad esempio emissioni diffuse, rumore, inquinamento luminoso, ecc. si rimanda agli elaborati tecnici progettuali.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Data:

Pesco Sannita, Gennaio 2016

Il Geologo
Dr. Lucio Gerardo D'AGOSTINO

Il geologo collaboratore
Dr. Gianni SIMEONE
