

COMUNE DI FERMO

Provincia di Fermo



PROGETTO DI AMPLIAMENTO (240.500 mc) MEDIANTE
SORMONTO DELLA DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI,
SITA NEL COMUNE DI FERMO, LOCALITA' SAN BIAGIO,
ALL'INTERNO DEL CENTRO INTEGRATO DI GESTIONE RIFIUTI
URBANI (CIGRU)

Procedura di V.I.A ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.s. e art. 12 della L.R. 3/2012
A.I.A. ai sensi dell'art. 29 ter del D.Lgs 152/2006 e s.m.i.

Committente: Fermo A.s.i.t.e. surl



INDAGINE GEOLOGICA - RELAZIONE

Sezione A

Allegato 1G.a

GRUPPO DI LAVORO:
geologi Massimo Basili
Fabio Del Moro
Diana Talamonti
ingegnere Diego Santandrea
geometra Stefano Antognozzi

IL TECNICO INCARICATO:

Dr. Massimo Basili
geologo



Porto Sant'Elpidio, Aprile 2018

Studio Geologico Ambientale via Fratte, 73 63821 Porto Sant'Elpidio (FM) tel 0734.992797
e-mail: info@studiogeologiabasili.it pec: basili.geologo@epap.sicurezzapostale.it

OPERA DELL'INGEGNO. RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE CONSENTITA SOLO PREVIA AUTORIZZAZIONE SCRITTA ART.99 L. 633/41

COMUNE DI FERMO
(PROVINCIA DI FERMO)

**" PROGETTO DI AMPLIAMENTO (240.500 mc) MEDIANTE SORMONTO DELLA
DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI, SITA IN COMUNE DI FERMO, LOCALITÀ
SAN BIAGIO, ALL'INTERNO DEL CENTRO INTEGRATO DI GESTIONE DEI RIFIUTI
URBANI (CIGRU)"**

Committente: *società FERMO ASITE surl*

INDAGINE GEOLOGICA, MORFOLOGICA, GEOTECNICA IDROGEOLOGICA E SISMICA

INDICE

1	PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI.....	pag. 3
1.1	Finalità	pag. 3
1.2	Metodologia di analisi.....	pag. 4
1.3	Dati esistenti reperiti	pag. 7
1.4	Descrizione dell'impianto e cronologia degli interventi eseguiti.....	pag. 8
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARATTERI CLIMATICI	pag. 11
3	CARATTERI MORFOLOGICI.....	pag. 13
3.1	Forme e processi ascrivibili all'azione della gravità.....	pag. 14
3.1.1	Verifica di compatibilità idrogeologica dell'opera rispetto al PAI	pag. 15
3.2	Forme e processi ascrivibili all'azione delle acque superficiali	pag. 15
3.3	Forme antropiche	pag. 17
4	CARATTERI GEOLOGICO-STRUTTURALI	pag. 18
4.1	Inquadramento geologico.....	pag. 18
4.2	Assetto strutturale	pag. 19
4.3	Metodologia	pag. 19
4.4	Geolitologia	pag. 20
5	CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI.....	pag. 21
5.1	Sezioni geologiche	pag. 23
6	CARATTERI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI.....	pag. 24
6.1	Idrologia superficiale	pag. 24
6.2	Idrologia profonda	pag. 25
6.3	Permeabilità	pag. 26
7	CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE TERRENI	pag. 28
8	CATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE RIFIUTI.....	pag. 32
9	RICOSTRUZIONE GEOMETRICA DEI CORPI DI ABBANCAMENTO	pag. 52
9.1	Indagine geofisica	pag. 52
9.2	Sismica a rifrazione.....	pag. 53
9.3	Tomografia elettrica (ERT).....	pag. 54
9.4	Risultati indagini HVSR	pag. 55
9.5	Caratterizzazione sismica del sito	pag. 55
10	IPOTESI PROGETTUALE	pag. 58
10.1	Intervento ipotizzato	pag. 58
10.2	Fattibilità tecnica.....	pag. 59
11	CONCLUSIONI	pag. 69

La presente relazione è composta da n° 72 pagine e dai seguenti allegati:

ALLEGATI

TAV.1 COROGRAFIA scala 1:25.000
TAV.2 COROGRAFIA scala 1:10.000
TAV.3 CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO P.A.I. -TAVOLA RI_60c
TAV.4 CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

ALLEGATO 1G.b –Elaborati grafici

TAV.5 CARTA IDROGEOLOGICA
TAV.6 PLANIMETRIA VASCHE ESISTENTI
TAV.7 PLANIMETRIA PROVE IN SITO REALIZZATE scala 1:2000 (rilievo topografico dicembre 2015)
N° 5 RISULTANZE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH) effettuate
N° 1 RISULTANZE PROVA PENETROMETRICA STATICA (CPT) effettuate
TAV.8 SEZIONE GEOLOGICA L5
TAV.9 SEZIONE GEOLOGICA T11
N° 5 VERIFICHE STABILITA' GRAVITATIVA SEZIONE GEOLOGICA L5

IPOTESI DI PROGETTO

TAV.10 SEZIONE DI PROGETTO L5
TAV.11 SEZIONE DI PROGETTO T11

ALLEGATI FUORI TESTO

APPENDICE

ALL.A RISULTANZE INDAGINI GEOFISICHE –SISMICA A RIGRAFIONE/TOMOGRFIA ELETTRICA
ALL.B RISULTANZE INDAGINI SISMICA PASSIVA HVSR

DATI REPERITI

Studio Geologico adeguamento al 36/2003 - Dott. Geol. Raccichini (2005)

N° 11 STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI
N° 3 RISULTANZE PROVE DI LABORATORIO
N° 2 RISULTANZE PROVE DI PERMEABILITA' IN SITO

Studio Geologico- Verifica stabilità fronti di abbancamento "corpo c" - Dott. Geol. Cutini (2013)

N° 2 STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI
N° 2 RISULTANZE PROVE DI LABORATORIO

Studio Geologico- Costruzione impianto di digestione anaerobica di rifiuti -Dott. Geol. Cutini (2015)

N° 4 STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI
N° 4 PROVE DI LABORATORIO

Studio Geologico- Verifica stabilità fronti di abbancamento "corpo c" - Dott. Geol. Cutini (2013)

N° 3 STRATIGRAFIE SONDAGGI GEOGNOSTICI

1 PREMESSA E METODOLOGIA D'ANALISI

1.1 Finalità

Su incarico della ditta *Fermo Asite surl* è stata espletata la presente indagine geologico-tecnica, finalizzata al progetto di ampliamento mediante sormonto da attuare su una porzione della discarica presente all'interno del centro integrato per la gestione dei rifiuti urbani sito in *C.da San Biagio*, nel comune di Fermo.

Nello specifico è stato condotto uno studio, volto ad identificare ed inquadrare lo stato attuale dell'impianto di stoccaggio, sulla base delle caratteristiche proprie della discarica e del quadro geologico, geotecnico ed idrogeologico all'interno del quale la stessa risulta ad oggi inserita, con lo scopo di valutare la fattibilità tecnica dell'aumento volumetrico mediante sormonto parziale previsto dal presente progetto.

L'indagine risulta pertanto finalizzata alla conoscenza e definizione delle matrici ambientali sito specifiche, quali la situazione geomorfologica e geostrutturale dell'area, la ricostruzione stratigrafica locale, la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi presenti, unitamente alla definizione del modello idrogeologico e dei flussi idrici sotterranei con la determinazione dei relativi parametri idraulici. Inoltre si è cercato di identificare e ricostruire, in maniera indiretta, le caratteristiche costruttive dell'impianto esistente, le geometrie e le peculiarità tecniche degli ammassi abbancati, con lo scopo di valutarne le potenzialità e le possibili criticità tecniche, inquadrare all'interno del progetto volto all'aumento volumetrico del sito mediante sormonto.

La scelta di sviluppare un progetto di ampliamento mediante sormonto di una porzione dell'impianto esistente ha la precisa finalità di evitare l'ampliamento e/o la delocalizzazione della discarica, con importanti vantaggi sia dal punto di vista logistico ed economico connessi al mantenimento di tutti gli impianti ed i servizi oggi posti a contorno delle vasche di abbancamento, ma soprattutto con indubbi benefici ambientali derivanti dal mancato consumo di suolo, che in alternativa andrebbe necessariamente reperito per la realizzazione di una nuova discarica in sostituzione di quella attuale ormai in via di completamento.

1.2 Metodologia di analisi

Nel corso dell'indagine si è proceduto dapprima ad una ricerca storica di archivio e quindi al reperimento dei numerosi dati esistenti utili allo scopo del presente lavoro, dati questi che, emersi nel corso dei precedenti studi effettuati per lo stesso impianto, sono risultati piuttosto abbondanti e significativi, lavori che verranno elencati in dettaglio nei capitoli seguenti.

Lo studio è proseguito con un rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, al fine di risalire alle caratteristiche litologiche del territorio e individuare i processi morfogenetici che lo interessano, con un'area di indagine che si è ritenuto utile allargare oltre alla zona di discarica per un intorno significativo allo scopo di avere un quadro lito-stratigrafico generale eloquente. In particolare, l'analisi geomorfologica di dettaglio, espletata attraverso l'osservazione delle forme e degli eventuali depositi ad esse connessi, ha permesso di ricostruire il quadro morfogenetico dell'area in cui ricade il corpo di discarica in esame e di formulare delle ragionevoli previsioni sulle tendenze evolutive future in relazione sia alle caratteristiche lito-stratigrafiche, che alla dinamica geomorfologica.

Una più approfondita conoscenza della geologia dell'area è stata ottenuta attraverso il reperimento dei dati emersi dall'esecuzione dei numerosi sondaggi geognostici realizzati da vari autori, nel corso delle numerose campagne geognostiche precedentemente effettuate sia all'interno dei corpi di vasca attuali che nell'immediato intorno del corpo di discarica esistente, alcuni dei quali strumentati a piezometri di controllo delle acque sotterranee. Le informazioni fornite da tali studi pregressi, hanno fornito sufficienti informazioni circa le caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei sedimenti presenti nel sottosuolo (*natura, colore, qualità, ecc...*), inoltre hanno permesso di valutare lo spessore e la geometria dei litotipi, e quindi di risalire alla successione stratigrafica locale dell'area in cui incide il corpo di discarica.

La ricostruzione della geometria della discarica e la definizione dei diversi profili delle singole vasche che compongono l'intero impianto, nonché per gli spessori dei rifiuti abbancati si è fatto riferimento alla abbondante documentazione tecnica esistente, relativa ai progetti esecutivi approvati dagli organi competenti durante l'evoluzione e lo sviluppo negli anni dell'impianto in questione. Unitamente a ciò, sempre allo scopo di ricostruire la geometria di massima (spessore, estensione) delle singole vasche esistenti, nonché di risalire alle velocità delle onde di taglio sia dei rifiuti abbancati, sia dei terreni sottostanti presenti, sono state eseguite, delle prospezioni geofisiche e geoelettriche a mezzo di "tomografia elettrica" lungo n°4 differenti tracciati diversamente ubicati all'interno del corpo di discarica.

Per la caratterizzazione geomeccanica dei litotipi presenti nella porzione di sottosuolo ritenuta significativa ai fini dello studio, ci si è avvalsi delle numerose informazioni derivanti da precedenti indagini realizzate nell'area ed in particolare:

- la realizzazione di prove penetrometriche statiche, effettuate con strumento statico da 10 tonn. tipo "TG 63-100 ISM. C";
- l'esecuzione di diverse prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi realizzati, prove che hanno fornito dati in merito alla resistenza di picco e residua dei litotipi presenti (Taglio diretto CD, RS), nonché la granulometria, il grado di plasticità ecc. (limiti di Atterberg, ecc.), unitamente alla permeabilità dei materiali interessati (permeabilità diretta a carico variabile in cella edometrica);

Unitamente alla ricostruzione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti si è provveduto anche alla caratterizzazione meccanica dei rifiuti attualmente abbancati, almeno per uno spessore ritenuto significativo ai fini di un ampliamento mediante sormonto della discarica stessa, al fine di valutarne la resistenza, lo stato di compattazione, nonché la loro capacità deformativa in relazione ad un ipotetico carico indotto. A tal fine al di sopra dell'attuale corpo di discarica sono state effettuate le seguenti prove in sito:

- esecuzione di complessive n°5 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH) realizzate con strumento Pagani tipo "TG 63-100 ISM. C";
- esecuzione n°1 prova penetrometrica statica con strumento statico da 10 tonn. tipo "TG 63-100 ISM. C";
- esecuzione di complessive n°10 prove sismiche passive (HVSr) con strumento tipo "Tromino";

Lo studio idrogeologico dell'area è stato condotto attraverso delle misure freaticmetriche all'interno sia dei diversi piezometri fenestrati presenti all'interno dell'area di discarica, sia su alcuni pozzi freatici esterni ritenuti significativi tra quelli situati nella zona più prossima alla zona investigata. La misura puntuale e dettagliata dei diversi livelli freaticmetrici ha permesso di ricostruire le caratteristiche idrauliche del sito, di evidenziare la presenza o meno di acquiferi sotterranei e quindi avere una valutazione, se presente, dell'andamento delle acque sotterranee, l'individuazione di falde freatiche sia superficiali che profonde, nonché di risalire ai gradienti idraulici, le principali direzioni di flussi idrici, la soggiacenza della/e falda/e dal piano campagna e le relazioni di quest'ultime con le acque di superficie.

Infine il presente studio si è avvalso di rilievi plano-altimetrici di precisione realizzati dal geom. Stefano Antognozzi, tecnico specializzato incaricato dalla proprietà per precedenti studi in essere, che hanno permesso di ubicare esattamente la posizione plano-altimetrica di tutte le prove e le attività in sito realizzate, nonché di correlarle in maniera precisa alle quote attuali e future degli abbancamenti. Il rilievo effettuato nel gennaio 2016 ha permesso inoltre una ricostruzione puntuale dell'attuale morfologia della discarica, il posizionamento delle opere antropiche esistenti (*canalette di raccolta delle acque meteoriche, strade di accesso, ecc.*), unitamente alla stesura delle sezioni topografiche sia longitudinali che trasversali, sulla base delle quali sono state elaborate le sezioni geologiche ed i calcoli di stabilità gravitativa effettuati. In sintesi, la metodologia di lavoro adottata, può essere così schematizzata:

- studio dati esistenti;
- rilevamento geologico-geomorfologico di campagna;
- esecuzione di n°1 prova penetrometrica statica "Cpt";
- esecuzione di n°5 prove penetrometriche dinamiche "Dpsh";
- esecuzione di n°10 prove sismiche passive (HVSr);
- esecuzione prospezioni geofisiche;
- esecuzione prospezioni geoelettriche tipo "Tomografia Elettrica";
- valutazione delle caratteristiche idrogeologiche;
- valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti;
- stesura della presente relazione generale esplicativa;

La base cartografica utilizzata per le indagini e la stesura degli elaborati di dettaglio (Planimetria generale, sezioni geologiche, ecc.) è la carta del rilievo plano-altimetrico e relative sezioni alla scala 1:1.000, mentre come base topografica per la realizzazione delle carte a grande scala (carta geologico-geomorfologica, carta idrogeologica), è stata utilizzata la carta aereofotogrammetrica 1:5.000 del comune di Fermo.

1.3 Dati esistenti reperiti

Come detto numerosi sono stati gli studi di carattere geologico-tecnico che si sono succeduti nel tempo nell'area di discarica, indagini che sono state redatte da professionisti diversi sia per la realizzazione delle diverse vasche che compongono l'attuale impianto e/o per l'adeguamento dello stesso, che per valutare la stabilità gravitativa dell'intera area di discarica. Essi possono essere così riassunti:

"Indagine per la localizzazione di area da adibire a discarica (località S. Biagio)" -Dott. Geol. Ricci A. (1984)

"Indagine sulla situazione idrogeologica nella zona di San Biagio, in rapporto alla messa in funzione della discarica controllata del Comune di Fermo - Dott. Geol. Didero M (1984)

"Discarica controllata per i rifiuti solidi Urbani -Comune di Fermo - Relazione tecnica" -Dott. Kodram F. (1984)

"Discarica controllata per rifiuti solidi Urbani in contrada San Biagio a Fermo" -Dott. Geol. Raccichini S. (1989)

"Indagine geologica -Progetto definitivo sistemazione, riqualificazione ambientale e ampliamento del centro integrato per la gestione dei rifiuti Urbani Discarica -C.da S. Biagio Fermo- Applicazione del decreto legislativo n.36 del 13.01.2003 " -Dott. Geol. Raccichini S. (2005)

"Indagine geologica con verifica stabilità fronti di abbancamento "Corpo C-Discarica per rifiuti non pericolosi C.da San Biagio, Fermo" -Dott. Geol. Cutini Gabriele (2013)

"Indagine geologica per la stabilizzazione della scarpata interessata da dissesti gravitativi ubicata all'interno della Discarica per rifiuti non pericolosi sita in C.da San Biagio, nel comune di Fermo " -Dott. Geol. Cutini Gabriele (2013)

"Indagine geologica per il progetto di scavo e riprofilatura porzione settore corpo C " -Dott. Geol. Cutini Gabriele (2015)

"Indagine fattibilità geologica, sismica e geotecnica per il progetto di costruzione di un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti organici" - Dott. Geol. Cutini Gabriele (2015)

Al fine di reperire ulteriori dati geologici di carattere generale dell'area oggetto di studio, sono state consultate le carte geologiche e tematiche emerse da studi a più grande scala realizzati dal comune di Fermo, dall'Università di Camerino e dalla Regione Marche, studi questi anche di recente pubblicazione, le quali possono essere come di seguito elencate:

-L'AMBIENTE FISICO DELLE MARCHE -*autori vari*- Edito a cura dell'Assessorato Urbanistica-Ambiente della regione Marche; 1991

-LA GEOLOGIA DELLE MARCHE -*Centamore E., Deiana G.*- Studi geologici camerti; numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana; Roma, 1986.

-CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA scala 1:10.000 del P.R.G. del Comune di Fermo (*Dott. Geol. Ioio*)

-CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO scala 1:10.000 del "*Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI)*" L. 183/89- L. 365/00 -L.R. 13/99 redatto dalla regione Marche -Autorità di Bacino Regionale

1.4 Descrizione dell'impianto e cronologia dei diversi interventi effettuati.

L'intero impianto in esame, nel suo insieme, si estende su di una superficie complessiva di circa 224.000 mq e si compone di una serie di strutture adibite ad uffici, alla selezione e compostaggio dei rifiuti, alla depurazione e raffinazione del percolato, unitamente a n°3 vasche di abbancamento di rifiuti denominate sulle varie planimetrie allegate in appendice con le lettere A, B e C, realizzate in tempi differenti, di cui n°2 più recenti (vasche B e C), progettate e costruite nel rispetto DL 36/2003 corredate, quindi, sia lungo i fianchi che alla base delle stesse, da una barriera geologica naturale, una barriera di confinamento supplementare, una geomembrana ed uno strato drenante secondo quanto previsto dalla legge vigente. In adiacenza alle due vasche è presente una terza vasca più antica (vasca A), realizzata nel 1985 ed in funzione sino al 1992, che risulta sprovvista della barriera di confinamento supplementare e di geomembrana previste dal d.lgs. 36/03, mentre è presente sul fondo ed ai lati la sola barriera geologica naturale con spessore $\gg 1$ mt. e permeabilità $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s, ciò in quanto la stessa risulta ubicata, così come le due più recenti, completamente all'interno di sedimenti pelitici pliocenici di origine marina, praticamente impermeabili ed aventi uno spessore superiore ai 100 mt. In base alle informazioni e ai dati forniti dalla committenza è emerso che a partire dallo studio del geol. Ricci del 1984 (*Indagine per la localizzazione di area da adibire a discarica*) sono state realizzate prima la vasca di conferimento A e successivamente la vasca di abbancamento B. Con

lo studio del 2003 viene autorizzato il progetto definitivo di riqualificazione ambientale ed ampliamento dell'impianto attraverso il quale viene realizzata la terza ed ultima vasca di abbancamento (corpo C), mentre con un successivo progetto approvato nel 2009 l'intero impianto viene adeguato al dlgs n.36 del 13.01.2003. Attualmente è in fase di approvazione di un ulteriore progetto che prevede lo scavo e la riprofilatura della porzione di un settore del corpo C. Infine è stato presentato, ed è ad oggi anch'esso in fase di approvazione, un progetto per la costruzione di un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti organici nell'area di proprietà che si estende immediatamente ad Ovest dell'area di abbancamento.

Per la ricostruzione della geometria sotterranea di massima delle vasche di abbancamento esistenti si è fatto riferimento alle informazioni emerse dai diversi studi effettuati in precedenza in occasione dei vari steps di ampliamento/adeguamento dell'impianto, i quali sono stati integrati con i dati scaturiti dalla realizzazione di prospezioni geofisiche e geoelettriche a mezzo di "tomografia elettrica" lungo differenti tracciati diversamente ubicati all'interno del corpo di discarica, i cui risultati verranno illustrati, nel dettaglio, nei capitoli successivi. Benchè le indagini geofisiche non abbiano permesso di risalire per intero alla geometria delle vasche di abbancamento, per la loro talora importante profondità, dalla ricostruzione delle sezioni ragguagliate tracciate sulla base degli studi pregressi, sono stati tracciati i profili di massima delle diverse vasche presenti, confortati e coadiuvati anche da testimonianze orali fornite dal personale della *Fermo Asite* operante all'interno dell'impianto sin dalla apertura dello stesso. Per quanto concerne la vasca A più antica, dalle sezioni L5 e T15 (vedi elaborati allegati) emerge come la stessa risulta contraddistinta da dei fianchi inclinati a 45° e da uno spessore di rifiuti abbancati dell'ordine di 25-28 mt. In aderenza a due dei quattro fianchi della discarica A sono ubicate le restanti n°2 vasche più recenti che compongono l'impianto. La vasca B risulta composta da tre distinti ripiani, ubicati a quote differenti, raccordati da altrettante scarpate di altezze variabili, aventi un'inclinazione stimabile dell'ordine di 30-35°. Gli spessori dei rifiuti abbancati risultano piuttosto importanti in quanto stimabili in valori massimi dell'ordine di 34-38 mt nella zona centrale, spessori che si riducono progressivamente verso i margini dove presentano delle potenze prossime ai 18-24 mt. Infine, la vasca di abbancamento più recente (vasca C) è composta anch'essa da quattro ripiani diversamente dislocati e raccordati mediante scarpate. Sulla vasca, che risulta oggi in fase di abbancamento, da progetto approvato è previsto uno spessore massimo di rifiuti conferibili dell'ordine di 28-30 mt., in gran parte già abbancati, spessore che si riduce

progressivamente, anche in questo caso, verso i bordi dove le altezze di abbancamento si riducono a 12-15 mt.

Sull'intero impianto è presente una rete di pozzi per la raccolta sia del biogas che del percolato, unitamente ad un rete di regimazione delle acque pluviali mediante canalette composte da una dorsale centrale disposta lungo la linea di massima pendenza con sul fondo un telo di in HDPE ed una serie di canalette minori trasversali che si allacciano alla stessa. Nella porzione più a valle dell'impianto sono state realizzate due vasche con fondo impermeabile in cui viene convogliato il percolato in uscita dalla discarica, percolato che poi viene rinviato all'impianto di depurazione situato più a monte.

Infine all'interno del sito, in prossimità del perimetro delle vasche di abbancamento, è presente una rete di pozzi e piezometri per il controllo delle acque sotterranee, parte dei quali ad oggi non risultano più utilizzabili allo scopo. Comunque, in base alle informazioni raccolte, risulta che sin dalla realizzazione dell'impianto sino ad oggi non si sono verificati fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee che conferma l'ottima collocazione geologico-ambientale dell'intera discarica (presenza di terreni marini impermeabili e l'assenza di una falda diffusa propriamente detta) e l'integrità della stessa.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARATTERI CLIMATICI

L'area di discarica oggetto di studio ricade geograficamente nella sezione n°315050 dell'ortofotocarta in scala 1:10000 della Regione Marche, e risulta ubicata nella porzione Sud-occidentale del territorio comunale di Fermo, ad una distanza di circa 3.5 chilometri, in direzione Ovest dalla frazione di *Ponte D'Ete Caldarette*.

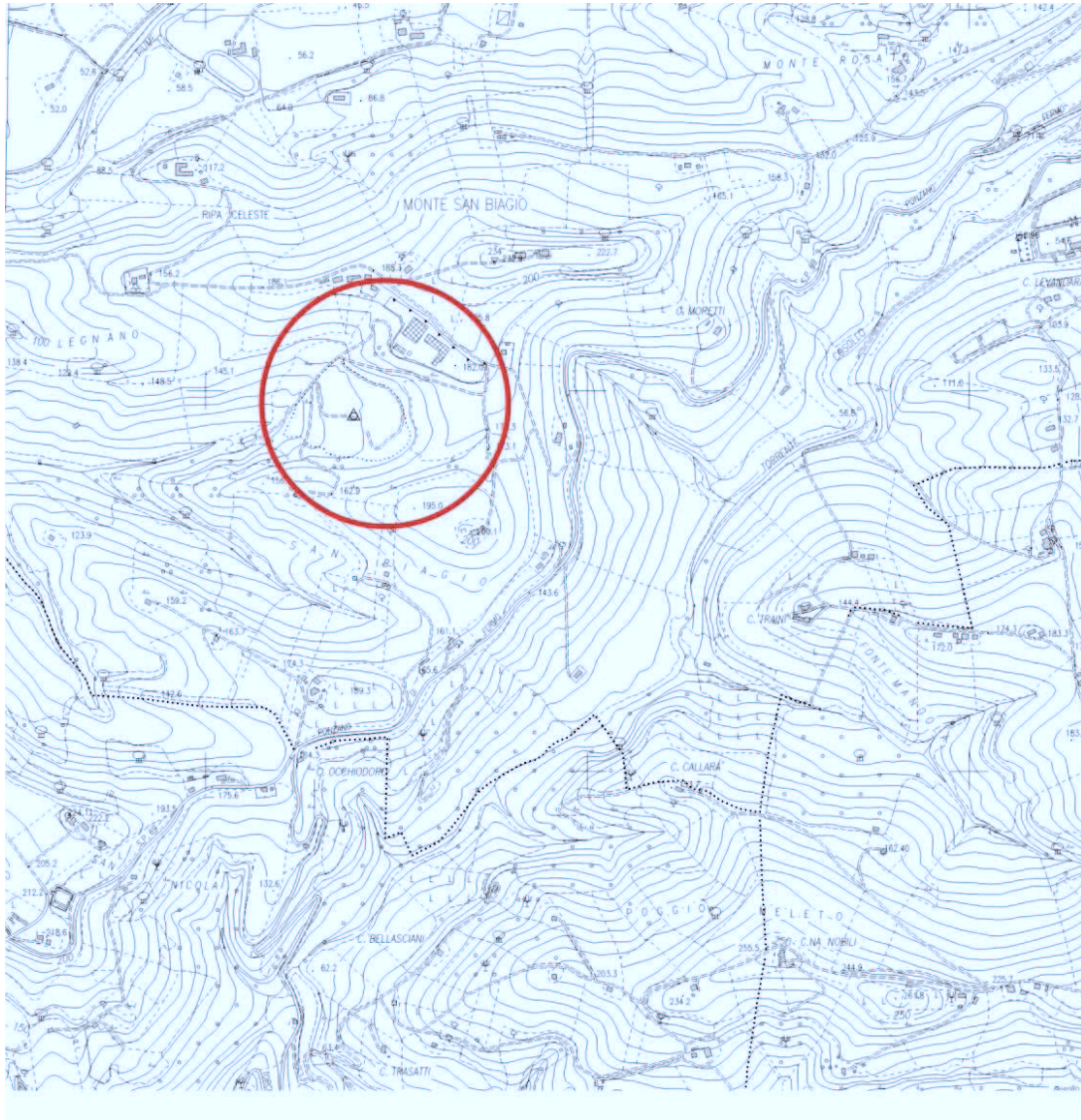


Figura 1: Ubicazione area in esame

Dal punto di vista climatologico l'area può essere inserita, secondo la classifica adottata dal Mori (1957), che suddivide l'intera regione in tre tipi

climatici in rapporto sia dell'altitudine che della distanza dalla costa, nel tipo "*Adriatico Centro-Meridionale*". Nel complesso si tratta di un clima mite con inverni non molto freddi anche se alquanto rigidi, dove si registrano delle temperature minime prossime allo zero durante i mesi invernali, ed estati mediamente calde ed asciutte, nel corso delle quali, nei mesi di Luglio e Agosto, si raggiungono temperature superiori a 30 C°. Nel complesso la regione marchigiana, e quindi anche la porzione di territorio in esame, è caratterizzata dal punto di vista pluviometrico, da una piovosità che mostra generalmente dei picchi in corrispondenza delle stagioni intermedie, in accordo con quanto accade nelle rimanenti regioni dell'Italia centrale (*Mosiello e Piccinini, 1982; Enea-Ogs.1987*). Le precipitazioni medie annue risultano condizionate dall'altitudine, in quanto i massimi valori di piovosità si registrano nell'interno, in corrispondenza dei maggiori rilievi montuosi (media annua di circa 1255 mm oltre i 1000 m s.l.m.), mentre lungo la costa i valori risultano sensibilmente inferiori (minori ai 700 mm annui), per cui è plausibile ipotizzare che nell'area in esame i valori di piovosità possono essere stimati tra i 600 e gli 800 mm annui.

3 CARATTERI MORFOLOGICI

Morfologicamente l'area oggetto di studio ricade lungo il versante di destra idrografica del Fiume Ete Vivo, il cui alveo dista circa 1400 metri dalla porzione inferiore del corpo di discarica esistente. Il versante su cui è ubicato l'impianto in esame, che si estende su di una superficie compresa tra le quote topografiche 175 e 100 mt. sopra il livello medio del mare, rappresenta il fianco settentrionale di una struttura collinare con asse di allungamento disposto secondo la direzione NNE-SSW. L'attuale assetto geomorfologico dell'area risulta condizionato dalla natura litologica dei terreni presenti, le cui caratteristiche verranno ampiamente trattate nei capitoli successivi; la loro distribuzione nello spazio, nonché dall'azione combinata della tettonica trasversale avvenuta a partire dal *Pleistocene* (Coltorti & Nanni, 1986) e l'erosione lineare esercitata dalle acque correnti superficiali. Ciò ha determinato un rapido approfondimento dell'intero sistema idrografico, con la formazione quindi di numerosi impluvi simili a quello in cui ricade l'area in esame, all'interno della quale scorre un elemento idrico secondario, *fosso Catalini*, rappresentante un modesto affluente di destra del Fiume Ete Vivo.

In particolare il sito in parola, dal punto di vista clivometrico, risulta posto in corrispondenza di una zona di impluvio (testata del fosso Catalini) compreso tra due aree di versante particolarmente acclivi, una ubicata a Nord caratterizzata da una pendenza media di 13-14°, ed una ubicata a Sud contraddistinta da una vergenza media addirittura maggiore (15-16°). Entrambe le aree di versante digradano in maniera molto omogenea senza rotture di pendio e/o avvallamenti.

Per quanto riguarda l'area di discarica, l'attuale morfologia della stessa deriva dalla diverse fasi di intervento che si sono succedute nel tempo, morfologia che risulta, almeno per ciò che riguarda la porzione Sud-Orientale dell'impianto, tuttora in continua evoluzione conseguente alle attività di abbancamenti in atto. Nel dettaglio l'impianto in oggetto, composto da tre diverse vasche di stoccaggio adiacenti realizzate in tempi differenti, presenta un'area pressoché pianeggiante posta ad una quota media di 175 mt. s.l.m. ubicata nel settore Nord-orientale che viene delimitata verso Sud da una scarpata piuttosto acclive (30-35°) dove attualmente vengono svolte le attività di abbancamento e coltivazione dei rifiuti. Procedendo verso valle, oltrepassato il pianoro suddetto, la superficie sommitale dell'impianto digrada fino alla quota 155 mt s.l.m. in maniera blanda con una pendenza media dell'ordine di 6-7°, oltre tale quota il profilo topografico assume un andamento

maggiormente declinante (15-16°) sino alla base dell'impianto posto a quota 100 mt. slm, zona questa dove risultano ubicati i due laghetti artificiali di raccolta del percolato.

Il rilevamento geomorfologico di dettaglio dell'area circostante l'impianto, l'esame delle foto aeree, unitamente alla raccolta dei dati esistenti, hanno permesso di individuare e quindi cartografare (vedi *Carta Geologica e Geomorfologica allegata in appendice*) diverse forme e processi morfologici dovuti a:

- azione della forza di gravità;
- azione delle acque correnti superficiali;
- azioni antropiche;

3.1 Forme e processi ascrivibili all'azione della gravità

Lungo i versanti che circondano l'impianto in esame non si rinvennero forme morfologiche evidenti riconducibili a fenomeni gravitativi, in quanto gli stessi digradano in maniera piuttosto regolare senza ondulazioni e/o avvallamenti particolari. Questo, grazie alla presenza di uno spessore estremamente limitato di sedimenti di copertura detritico-colluviali al di sotto dei quali si riscontrano subito i terreni piuttosto competenti pelitico-arenacei ed arenaceo pelitici della formazione marina, i quali, addirittura, risultano pressoché in affioramento in gran parte dell'area circostante l'impianto.

In virtù del favorevole quadro litostratigrafico presente, si riscontrano, lungo i versanti che circondano la discarica, solo dei modesti e sporadici fenomeni di soliflusso e/o di creep che sono da ricondurre ad una lenta "plasticizzazione" dei terreni più superficiali, associati talora, a lievi fenomeni di dissesto evidenziati dalla presenza di scarpate di modesta altezza neo-formazionali, unitamente a fratture di trazione di limitata lunghezza che si rinvennero nella porzione medio-superiore del versante che si estende immediatamente a Nord dell'impianto, fenomeni gravitativi, questi che, secondo l'opinione dello scrivente sono da imputare a fenomeni di *scalzamento al piede* generati dagli sbancamenti che vengono realizzati alla base del versante stesso per l'approvvigionamento dei terreni di copertura dei rifiuti abbancati. Per ultimo, fenomeni gravitativi localizzati e piuttosto modesti, hanno interessato in passato la scarpata antropica ubicata immediatamente a valle dei fabbricati dell'impianto, fenomeni che hanno reso necessario la realizzazione di un'opera di sostegno realizzata con la tecnica delle *terre armate*, nella zona di scarpata compresa tra i sovrastanti impianti tecnici e la vasca di abbancamento B.

Per ciò che riguarda sempre la stabilità gravitativa dell'area infine, si può affermare che non si sono riscontrate lesioni da ascrivere all'azione della gravità, né sugli edifici esistenti all'interno dell'impianto, né sui fabbricati presenti nell'intorno dell'area. A conferma di quanto scritto, circa l'assenza di movimenti gravitativi in atto nell'area, si può far riferimento al *Piano per l'assetto idrogeologico* (PAI) della regione Marche, che individua le aree a maggior rischio idrogeologico relative ai bacini idrografici regionali, in cui si evince, come l'impianto in esame e le zone circostanti lo stesso non risultano attualmente comprese tra le aree a rischio di frana e/o alluvionamento, se si eccettua una limitata area cartografata con grado di rischio di frana moderato AVD_R1, così come un grado di pericolosità moderato AVD_P1, che interessa l'estrema area meridionale dell'impianto ormai completamente antropizzata ed asportata con la realizzazione della vasca C (vedi stralcio Tavola PAI allegato).

3.1.1 -Verifica di compatibilità idrogeologica dell'opera in esame in merito al Piano d'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Marche

L'area in cui è in progetto l'intervento di sormonto non è interessata dalla perimetrazione delle aree di pericolosità e rischio idraulico e/o aree di pericolosità e rischio idrogeologico, ad eccezione di una piccola porzione sud-orientale in cui come detto nel capitolo precedente viene individuata dal PAI un'area con grado di rischio di frana moderato (R1) e grado di pericolosità moderato (P1), che ormai non ha più significato di esistere in quanto ricadente all'interno del corpo di discarica esistente in una zona in cui i terreni sono stati completamente asportati per la realizzazione del corpo C. Per le ragioni suddette l'area, considerato che i corpi di discarica esistenti sono impostati tutti all'interno dei terreni marini fortemente competenti, è da considerarsi morfologicamente stabile per cui, alla luce della tipologia di intervento proposto (sormonto su corpo di discarica esistente), **si esprime preliminarmente un parere favorevole circa la compatibilità geologico tecnica del progetto in esame**, così come previsto dalla normativa in materia Norme di Attuazione del PAI DELIBERA CONSIGLIO REGIONALE n. 116/2004 artt.11-12.

3.2 Forme e processi ascrivibili all'azione delle acque superficiali

Nell'area l'elemento idrografico principale risulta essere il Fiume *Ete Vivo* mentre la rete idrografica superficiale minore che caratterizza la zona circostante l'impianto, risulta composta da un unico modesto fossetto,

denominato *fosso Catalini*, che si origina proprio all'altezza della discarica e pertanto caratterizzato da portate saltuarie ed effimere. Il rivolo, dopo un percorso di circa 1.5 chilometri, confluisce all'interno di un ulteriore fosso secondario affluente di destra del Fiume *Ete Vivo*. Altri elementi e/o forme morfologiche connesse alle acque superficiali, nell'area in esame possono essere classificati secondo i seguenti processi e forme:

-*ruscellamento diffuso*

-*erosione concentrata in alveo*

-*orlo di scarpate di erosione fluviale o torrentizia*

Il ruscellamento diffuso si manifesta nei tratti dei versanti circostanti l'impianto più acclivi privi di vegetazione. Esso si esplica con particolare efficacia in estate in occasione di brevi ma intense precipitazioni. Durante tali eventi si verificano dei processi di dilavamento, ossia uno scorrimento diffuso delle acque in superficie, che provocano erosione e presa in carico di materiali dal versante. Fenomeno questo riscontrato principalmente sul tratto di versante posto immediatamente a valle della discarica. Nel corso del rilevamento di campagna, inoltre, sempre lungo i tratti di versante più acclivi, dove attualmente risulta presente una vegetazione esclusivamente erbacea, si notano dei "solchi" e dei "rivi" di modeste estensioni, che talora si uniscono dando vita a veri e propri solchi d'erosione (*gully erosion*).

Processi di erosione concentrata in alveo invece si rinvencono lungo il fosso ubicato lungo il confine settentrionale dell'impianto ed in corrispondenza dell'elemento idrografico minore posto più a Sud. In particolare, lungo gli assi di drenaggio dei fossi suddetti, si riscontrano dei processi erosivi, che hanno determinato l'approfondimento degli alvei. L'acclività dell'area, la mancanza di una fitta rete di drenaggio, l'attuale uso del suolo, unitamente alla elevata propensione all'erosione e alla bassa permeabilità dei sedimenti presenti, possono essere verosimilmente considerati i fattori predisponenti che innescano i processi di approfondimento degli assi di drenaggio, particolarmente attivi in occasione di eventi meteorici intensi e copiosi, che hanno generato talora delle scarpate piuttosto acclivi che a luoghi raggiungono altezze dell'ordine di 1-2 metri. In corrispondenza del corso d'acqua meridionale, inoltre, si possono riscontrare zone caratterizzate anche da erosione laterale di sponda, manifestazioni queste strettamente connesse ai processi prima descritti, che interessano le pareti delle scarpate che bordano l'alveo.

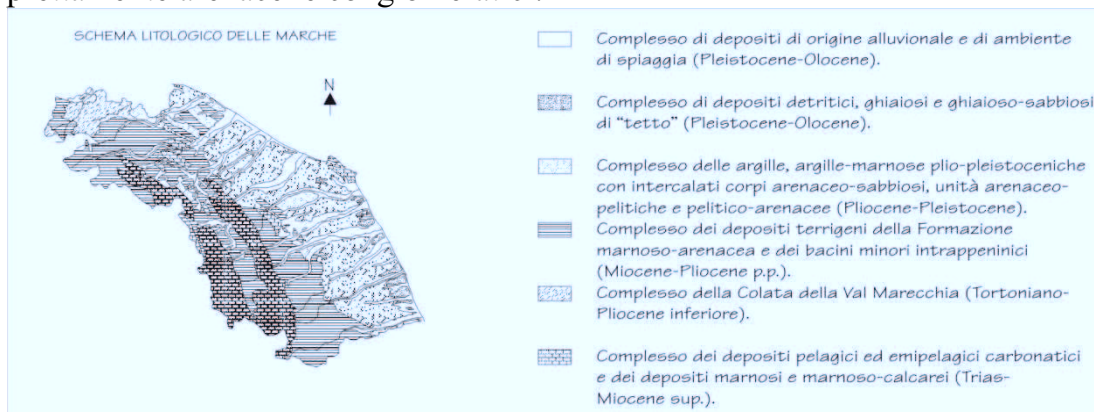
3.3 Forme antropiche

Piuttosto limitati nell'area circostante l'impianto risultano i riporti e gli sbancamenti effettuati per urbanizzazioni e costruzioni di fabbricati e/o spiazzi, come pure modesta risulta essere la presenza, in prossimità delle abitazioni di muri, rilevati e/o strutture di sostegno in genere. Numerose sono invece le scarpate antropiche, coincidenti spesso con il bordo di monte e di valle delle strade vicinali presenti, scarpate che comunque presentano delle altezze piuttosto modeste (1-3 mt). Particolarmente evidenti risultano invece, all'interno dell'impianto, le scarpate artificiali poste subito a valle dei fabbricati e delle strutture logistiche; greppi che a luoghi presentano un'altezza massima valutabile intorno a 8-9 mt. Infine altre forme morfologiche indotte e trascurabili sono rappresentate da alcuni canali di guardia, unitamente a piccole opere idrauliche utilizzate per l'attraversamento delle acque di scolo.

4 CARATTERI GEOLOGICO-STRUTTURALI

4.1- Inquadramento geologico

Geologicamente l'area in esame ricade nella porzione centro-orientale del *Bacino Marchigiano Esterno* (Bacino Periadriatico), unità questa compresa tra la Dorsale Marchigiana Esterna ed il litorale adriatico, caratterizzata da un rilievo principalmente collinare (con altezze medie inferiori ai 200 metri), digradante dolcemente verso il mare. Lungo la fascia collinare suddetta si rinvengono i depositi plio-pleistocenici di genesi marina, i quali, trasgressivi sui depositi torbiditici miocenici dei bacini minori umbro-marchigiani, risultano costituiti da una potente serie pelitica, pelitico arenacea e arenaceo-pelitica in cui sono intercalati, nella porzione sommitale, complessi prettamente arenacei e conglomeratici.



I passaggi tra le varie unità litologiche, ad eccezione delle unità più grossolane, risultano piuttosto gradualì, ed avvengono attraverso una progressiva variazione della percentuale relativa tra i vari costituenti (argilla, sabbia). La natura e il contenuto microfaunistico dei complessi litologici in questione indicano verosimilmente ambienti di sedimentazione diversi ed in particolare sempre meno profondi. Infatti, dalle peliti epibatiali e/o di piattaforma si passa a sabbie di ambiente dapprima sub-tidale, poi intertidale e infine sopra-tidale. Il complesso di terreni marini plio-pleistocenici viene ricoperto a luoghi dai depositi continentali del Quaternario rappresentati da materiali detritico-colluviali costituiti prevalentemente da limi-argillosi e limi-sabbiosi. La composizione litologica di tali materiali è dovuta a processi di alterazione e disgregazione con successiva risedimentazione dei terreni appartenenti al substrato; essi si rinvengono principalmente all'interno degli impluvi e/o piccole valli, ed in generale lungo i fianchi delle maggiori dorsali-collinari. In particolare di seguito vengono elencati e descritti i singoli litotipi rinvenuti nel corso del rilevamento di campagna nella zona circostante l'area di discarica (*Carta Geologico-geomorfologica -Tav.2*), area che è stata estesa

per un intorno ritenuto significativo, al fine di avere una quadro lito-stratigrafico d'insieme esaustivo. Le informazioni emerse dal rilevamento di campagna sono state correlate con i dati scaturiti dalle campagne geognostiche in sito e con le informazioni derivanti da indagini pregresse reperite.

4.2 Assetto strutturale

Nel corso del rilevamento geologico-strutturale di campagna non è stato rinvenuto alcun elemento geo-strutturale. Da studi effettuati a più ampia scala è emerso che l'area risulta ubicata all'interno di un sistema macro-strutturale, di bacino di avanfossa, caratterizzato da diverse fasi compressive e distensive. In particolare l'evoluzione strutturale dell'area in questione è da mettere in relazione con la tettonica Plio-pleistocenica. Infatti è emerso, da studi specifici, come la tettonica quaternaria, ed in particolare quella trasversale, risulti responsabile dell'attuale assetto morfostrutturale delle valli. Dopo la fase di sollevamento delle aree, iniziata nel Pleistocene inferiore, le faglie trasversali hanno controllato l'evoluzione dell'intero reticolo idrografico ed in particolare delle valli fluviali (*Nanni ed altri, 1986*). Le principali valli fluviali, impostatesi su linee tettoniche trasversali, possono considerarsi verosimilmente come valli di faglia (*Coltorti & Nanni, 1986*), come d'altronde l'andamento dei singoli elementi idrografici minori localmente possono essere stati condizionati dalla presenza di antiche linee di discontinuità (faglie). Dal punto di vista morfo-strutturale si è dedotto dalla campagna geognostica e dal rilevamento geologico di campagna, che l'andamento stratigrafico della formazione marina è caratterizzato tendenzialmente da un andamento leggermente immergente verso Est concordante con l'andamento della struttura sedimentaria, appartenente al fianco occidentale della Sinclinale Periadriatica.

4.3 Metodologia

Per quanto riguarda il rilevamento geologico, esso è stato condotto attraverso l'individuazione dei sedimenti marini costituenti il substrato (terreni primari), la definizione del loro assetto strutturale e la cartografia delle coltri di ricoprimento, ad esclusione tra queste, dei depositi coinvolti in fenomeni di instabilità gravitativa. Nel corso del rilevamento sono stati cartografati i sedimenti marini solo quando questi sono in affioramento o il cui tetto risulta presumibilmente posto ad una profondità inferiore ai 2.0 mt. La cartografia di base utilizzata è la carta topografica a curve di livello alla scala 1:5.000 del

territorio comunale di Fermo, carta che è stata successivamente trasformata a scala 1:2.000 per avere un esame più dettagliato dell'area.

4.4 Geolitologia

I terreni che sono stati distinti nel corso del rilevamento di campagna possono essere schematicamente descritti nel modo seguente, passando dai depositi più recenti ai depositi più antichi:

-Depositi antropici (riporti) - si tratta di sedimenti eterogenei dovuti alla deposizione di materiali di risulta di scavi e/o sbancamenti. Nell'intorno dell'area di discarica gli stessi si rinvergono principalmente nei piazzali antistanti i rari edifici ubicati nell'area e/o localmente lungo i bordi delle sedi viarie delle strade vicinali presenti, nonché in corrispondenza dell'area di prestito posta a valle dell'area dell'impianto.

-Depositi detritico-colluviali (coltre)- costituiti prevalentemente da limi argillosi e limi-sabbiosi. La composizione litologica di tali materiali come detto è dovuta a processi di alterazione e disgregazione con successiva risedimentazione dei terreni appartenenti al substrato. Proprio per la loro genesi i depositi suddetti costituiscono il riempimento dei piccoli impluvi presenti e si rinvergono invece solo sporadicamente lungo le aree di versante.

-Depositi Arenaceo-pelitici (formazione marina del Pliocene Medio-Superiore)- composti da sabbie dalla colorazione giallognola stratificate a livelli argillosi di limitato spessore. Si tratta di depositi sedimentati in ambiente di transizione, i quali affiorano nell'area esclusivamente lungo le scarpate poste più a Nord dell'impianto poste a quote altimetriche maggiori in prossimità delle aree sommitali di versante.

-Depositi Pelitico-arenacei e pelitici i (formazione marina del Pliocene Medio-Superiore) sedimenti costituiti da argille talora leggermente marnose stratificate, di colore grigio-azzurro (nocciola se alterate), con rare intercalazioni di livelli e veli sabbiosi gialli e/o grigi. Trattasi di depositi sedimentati in ambiente da *neritico* ad *epibatiale*, i quali affiorano e/o risultano ubicati ad una profondità inferiore a 2.0 mt, in gran parte dell'area in esame nonché alla base delle vasche di abbancamento che compongono l'impianto.

5 CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI

Il reperimento delle risultanze dei numerosi sondaggi geognostici e prove penetrometriche statiche (Cpt), realizzati all'interno e/o immediatamente a ridosso dell'area di discarica, tutti ubicati come da Planimetria allegata, derivanti dagli studi pregressi reperiti, hanno permesso sia l'individuazione puntuale dei litotipi presenti, oltre alla ricostruzione di dettaglio della loro sequenza stratigrafica locale. Da ciò è emersa la presenza di un limitato spessore di sedimenti di genesi continentale (oltre di copertura) esclusivamente nell'area perimetrale le vasche esistenti, oltre che invece, dai dati reperiti, risulta completamente assente al di sotto delle vasche in quanto asportata nel corso degli sbancamenti effettuati per la realizzazione delle stesse. Tali depositi, di genesi detritico-colluviale, sono composti prevalentemente da sedimenti limoso-argillosi e/o argilloso-sabbiosi derivanti da processi di alterazione e degradazione avvenuti in ambiente subaereo, che hanno interessato i sedimenti marini più antichi retrostanti. Alla base dei terreni di genesi detritico-colluviale suddetti è posto un sub-strato marino *Plio-pleistocenico* costituito superficialmente da argille sovraconsolidate leggermente marnose di colore avana-nocciola stratificate a rari livelli sabbiosi. La locale successione dei terreni presenti nell'area di sedime dell'impianto Asite, può essere nel dettaglio quindi così schematizzata:

- b) ARGILLA LIMOSO-SABBIOSA > deposito detritico-colluviale
- c) ARGILLA stratificata a SABBIA alterata > formazione marina
- d) ARGILLA stratificata a SABBIA integra > formazione marina

a) LIMO-ARGILLOSO-SABBIOSO (deposito detritico-colluviale): litotipo costituito da sedimenti prevalentemente limoso sabbiosi e subordinatamente argillosi di colore avana nocciola. Materiale piuttosto omogeneo all'interno del quale è presente un quantitativo variabile di tracce organiche sparse e/o in noduli che conferiscono al deposito talora una colorazione più scura, unitamente a rari livelli caratterizzati da un alta percentuale di concrezioni carbonatiche, distribuite in corpi filamentosi e talora nodulari. Tendenzialmente nella porzione inferiore del deposito si registra una progressiva diminuzione sia del quantitativo di concrezioni carbonatiche che delle tracce organiche. Deposito piuttosto rimaneggiato dalla struttura caotica, di limitato spessore (1.0-2.0 mt) il quale addirittura risulta spesso assente in occasione dei numerosi sondaggi effettuati all'interno dell'ingombro dell'impianto (S1/2001, S7/86', S6/86).

c) ARGILLA stratificata a SABBIA alterata: (Formazione marina Plio pleistocenica)
litotipo costituito da un'alternanza stratificata di argille marnose talora limose, di colore nocciola-grigio e sabbie giallo-rossicce disposte in sottilissimi livelli e/o strati. Litotipo decompresso e variamente fessurato all'interno del quale si riscontra la presenza di numerosi giunti di alterazione variamente orientati e/o sub-verticali. La forte alterazione che caratterizza il deposito, soprattutto nella porzione sommitale, rende a luoghi piuttosto difficoltosa la distinzione con i sovrastanti materiali continentali. Nell'individuazione del limite stratigrafico quindi si potrebbero riscontrare delle interpretazioni leggermente differenti con i diversi autori degli studi realizzati nell'area, reperiti nel presente studio, di cui si allegano le rispettive risultanze. A profondità via via crescenti si registra comunque una progressiva diminuzione dello stato di alterazione del deposito e quindi un assetto stratigrafico sempre meno disturbato e quindi più visibile. Materiale complessivamente caratterizzato da una netta prevalenza della componente argillosa rispetto a quella sabbiosa, e quindi contraddistinto da un rapporto di stratificazione Argilla/Sabbia maggiore di 10/1, anche se talora, a varie altezze stratigrafiche, i livelli sabbiosi possono presentare degli spessori decimetrici. Litotipo riscontrato con potenze differenti e variabili in relazione ai processi di alterazione e/o fratturazione che in maniera difforme e con modalità differenti hanno interessato i sedimenti stessi. Spessori che risultano compresi tra 3-4 mt. e 6-7 mt (S2/86, S2/2013).

d) ARGILLA stratificata a SABBIA integra: (Formazione marina Plio pleistocenica)
trattasi dello stesso litotipo descritto in precedenza, ma privo di segni di alterazione e decompressione. Materiale piuttosto compatto, caratterizzato da una frattura di tipo concoide testimonianza della presenza di una componente marnosa. La frazione argillosa all'interno del deposito risulta nettamente prevalente rispetto a quella sabbiosa (*rapporto di stratificazione Argilla/Sabbia > 10/1*) che può essere considerata pressoché trascurabile nel comportamento reologico complessivo del sedimento. Talora, similmente con quanto riscontrato nel litotipo sovrastante, ad altezze stratigrafie differenti sono state registrate delle discrete manifestazioni idriche in corrispondenza del rinvenimento di uno e/o più livelli sabbiosi di maggior spessore. Il tetto del substrato marino risulta ubicato a profondità sempre piuttosto contenute, substrato in cui risultano impostate quindi le tre vasche di abbancamento che compongono l'impianto, comprensive del nuovo adeguamento della vasca C in fase di approvazione.

5.1 Sezioni geologiche

Sulla base dei *logs* stratigrafici emersi dai sondaggi reperiti effettuati all'interno dell'area di impianto sono state costruite complessivamente n°2 sezioni geologiche di cui n°1 longitudinale (sezione L5) e n°1 trasversale (sezioni T11). Le stesse redatte in scale diverse (1:1.700, 1:1.000) sono state disegnate su profili topografici elaborati in occasione dei diversi studi pregressi in cui sono riportati i corpi che compongono l'impianto, approvati e realizzati in tempi differenti. Unitamente a quanto suddetto vengono riportati i profili dei progetti pregressi approvati ed autorizzati (limite lordo e limite netto autorizzato). Per la ricostruzione del quadro litostratigrafico dell'area e quindi lo spessore e la geometria degli orizzonti geologici presenti lungo ogni singola sezione si è eseguita un'interpolazione tra i diversi punti di indagine. In particolare per l'individuazione dei depositi presenti direttamente al di sotto del fondo delle vasche, dove per non pregiudicare l'integrità dei teli HDPE, non è stato possibile realizzazione direttamente delle prove in sito, ci si è avvalsi delle stratigrafie emerse in occasione dei sondaggi pregressi, raffrontando le quote ante-operam delle indagini introspettive con le quote di progetto del fondo delle vasche presenti. Da ciò si evince come nell'impianto i depositi continentali superficiali (coltre) risultano completamente asportati a seguito degli sbancamenti realizzati in occasione della realizzazione delle n°3 vasche esistenti. In particolare, limitatissimi spessori di coltre si rinvencono esclusivamente nella porzione superiore dei fianchi della vasca B, coltre che può essere considerata assente nel settore più a monte dell'area, dove risultano ubicate la vasca A e la vasca C di recente costruzione. La porzione superiore alterata del substrato marino, anche se in maniera minore rispetto alla coltre, risulta anch'essa localmente asportata a seguito della realizzazione delle vasche ubicate più a monte. Il tetto del substrato marino integro infine, sembra intersecare la parte medio-inferiore e il fondo di tutte le vasche presenti, in principal modo quelle ubicate nel settore più a monte dove è posizionata la vasca A più antica priva di telo HDPE.

6 CARATTERI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

6.1 Idrologia superficiale

Nell'area, come detto, l'elemento principale di drenaggio delle acque superficiale è rappresentato dall'alveo del Fiume Ete Vivo, caratterizzato da un tracciato moderatamente sinuoso. Lo stesso, orientamento con direzione NE-SW, drena le proprie acque direttamente nel mare Adriatico, la cui foce dista dall'area circa 12 chilometri. Il bacino idrografico del Fiume Ete Vivo presenta una rete idrografica composta da una serie di sub-bacini minori che uniti compongono il bacino principale. Secondo il metodo di gerarchizzazione del reticolo idrografico di Strahler, il corso d'acqua principale presenta, in questo tratto, un numero di ordine gerarchico pari a 5. In particolare in destra idrografica del Fiume Ete Vivo lato in cui ricade l'area oggetto di studio, è presente un reticolo idrografico superficiale composto da fossi e/o rivoli di limitate estensioni. Gli elementi idrografici secondari più significativi risultano ubicati nella porzione inferiore del versante, dove gli stessi dopo un tracciato piuttosto limitato e sinuoso (300-400 mt.) drenano le proprie acque all'interno del Fiume Ete Vivo. I fossi medesimi risultano caratterizzati da un gradiente di pendio apprezzabile (rapporto tra dislivello e lunghezza) e da processi di approfondimento in alveo, come riportato in precedenza, talora marcati. I rivi ubicati più a monte rappresentano verosimilmente degli elementi di effettivo drenaggio esclusivamente per brevi tratti, in quanto gli alvei risultano completamente obliterati da una folta vegetazione arbustiva, talora arborea, e/o da sedimenti. A conferma di ciò, particolarmente significativo risulta il fosso ubicato lungo il confine settentrionale dell'area di scarica il quale immediatamente a valle si unisce con un secondo elemento idrografico secondario ed insieme confluiscono all'interno dell'asta fluviale principale dopo un percorso di circa 1.5 chilometri. Da testimonianze orali raccolte durante i sopralluoghi in campagna, è emerso che il regime degli elementi idrografici minori risulta essere di tipo prettamente "stagionale", ovvero caratterizzati da portate saltuarie ed effimere, con lunghi periodi in totale assenza di acqua. Veri e propri deflussi idrici si registrano esclusivamente in occasione di eventi meteorici copiosi. Data la scarsa permeabilità dei litotipi l'infiltrazione delle acque meteoriche nell'area risulta piuttosto limitata. Oltre al sistema di drenaggio naturale nell'area di scarica è presente una rete di canali artificiali realizzati in tempi diversi per la raccolta e lo smaltimento delle acque pluviali. La rete medesima risulta composta principalmente da un canale di guardia ubicato lungo l'asse centrale dell'area di scarica e da canali di raccolta superficiali posti lungo i confini settentrionali e meridionali dell'impianto, che drenano verso valle le acque raccolte facendole confluire al fosso naturale precedentemente menzionato.

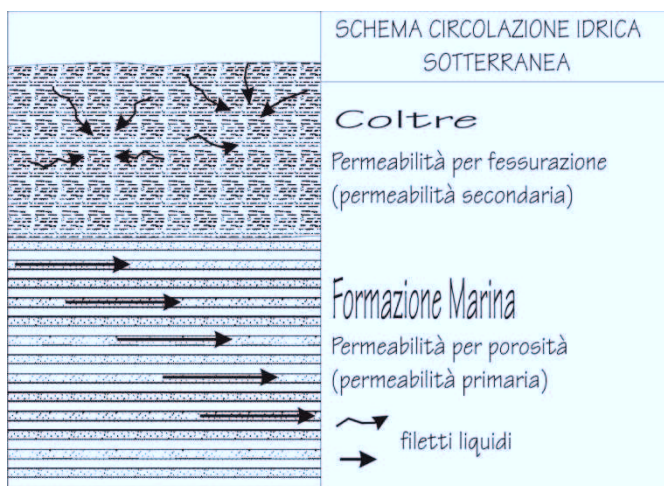
6.2 Idrologia profonda

(vedi carta idrogeologica allegata in appendice)

La ricostruzione del quadro idrogeologico dell'area è avvenuto attraverso sia le misure freatiche effettuate all'interno dei diversi piezometri fenestrati e pozzi freatici presenti all'interno dell'impianto, che facendo riferimento alle misurazioni ed ai dati riportati nei numerosi studi pregressi realizzati all'interno del sito. Dati che hanno evidenziato, nell'area, l'assenza di un vero e proprio acquifero diffuso, mentre si sono individuati frequenti livelli saturi localizzati e/o piccole faldine di estensione areale estremamente ridotte, di carattere per lo più "stagionale", rinvenibili principalmente all'interno dei rari livelli sabbiosi intercalati nel substrato marino. Ciò viene testimoniato dal rinvenimento nell'area di diversi piezometri/pozzi completamente asciutti, associati ad altri in cui si misurano livelli piezometrici ubicati a quote molto differenti ed estremamente fluttuanti, che quindi non possono essere ricondotti ad una unica falda acquifera propriamente detta. La

circolazione idrica sotterranea risulta quindi estremamente complessa in quanto legata alle variazioni spaziali delle litofacies e dall'andamento plano-altimetrico dei livelli sabbiosi più permeabili in cui risultano intestati i singoli acquiferi e/o zone di saturazione. Alla luce

dell'assetto litostratigrafico dei sedimenti marini, caratterizzati da un'alternanza di strati argillosi e livelli sabbiosi, considerando le diverse quote dei livelli piezometrici rinvenuti si può ragionevolmente ipotizzare che si tratti, più che di un singolo acquifero, di un insieme di piccoli acquiferi di scarsa trasmissività talora in leggera pressione, rappresentati dai livelli sabbiosi intercalati nella formazione marina e delimitati inferiormente e superiormente dagli orizzonti argillosi impermeabili che fungono da piccoli e localizzati "acquicludi". Pertanto, in considerazione delle caratteristiche dell'acquifero la circolazione idrica sotterranea risulta condizionata dal locale assetto lito-stratigrafico del sub-strato, nonché dalle condizioni strutturali dello stesso, che a luoghi possono innescare dei fenomeni di intercomunicabilità delle diverse falde sovrapposte. In ragione alla profondità delle faldine e/o livelli saturi misurati in campagna, è possibile ipotizzare un'area di



alimentazione degli stessi piuttosto vasta. La principale fonte di ricarica degli stessi è dovuta all'infiltrazione delle acque correnti superficiali e profonde provenienti dal versante retrostante, nonché dalle acque meteoriche che né condizionano presumibilmente anche il regime. I livelli piezometrici pertanto dipenderanno strettamente dal regime pluviometrico stagionale, con massimi nel periodo primaverile-invernale e minimi nel periodo estivo-autunnale mentre vista la natura delle faldine la ricarica degli stessi potrebbe risentire delle precipitazioni verosimilmente con dei ritardi piuttosto marcati. Visti gli esigui spessori degli orizzonti sabbiosi e considerando l'elevato rapporto di stratificazione (A/S) che caratterizza il substrato, la trasmissività complessiva delle faldine e/o livelli saturi risulta estremamente limitata, per cui è possibile prevedere **complessivamente una bassa/trascurabile produttività idrica, così come estremamente bassa risulta essere la vulnerabilità di tali acquiferi visto il confinamento degli stessi all'interno di sedimenti praticamente impermeabili** (vedi considerazioni successive).

6.3 Permeabilità

Per la determinazione della permeabilità dei singoli litotipi presenti nell'area ci si è avvalsi dei dati emersi sia dalle prove di laboratorio (*permeabilità diretta a carico variabile e misurazioni in cella edometrica*) effettuate sui campioni di terreno prelevati direttamente nel corso dei numerosi sondaggi reperiti, che dalle prove in sito con permeametro tipo "Boutwell". Particolarmente significativi sono risultati i dati emersi dalle prove effettuate in occasione dello studio Raccichini (*Indagine geologica -Progetto definitivo sistemazione, riqualificazione ambientale e ampliamento del centro integrato per la gestione dei rifiuti Urbani Discarica -C.da S. Biagio Fermo- Applicazione del decreto legislativo n.36 del 13.01.2003 "* e dell'indagine effettuata per la realizzazione per la costruzione di un impianto di digestione nell'area immediatamente al di fuori dell'impianto (*Indagine fattibilità geologica, sismica e geotecnica per il progetto di costruzione di un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti organici"* -Dott. Geol. Cutini Gabriele - 2015). Le prove suddette, le cui rispettive risultanze vengono allegate in appendice, hanno interessato i depositi della formazione marina alterata, unitamente al substrato integro più profondo.

I risultati ottenuti, per i singoli litotipi possono essere così schematicamente sintetizzati:

-prove di laboratorio	
-ARGILLA strat. a SABBIA alterata	$K = 4.71 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$
-prove di assordimento in sito a carico variabile	
-ARGILLA strat. a SABBIA integra	$4.3 \times 10^{-10} > K > 1.9 \times 10^{-10} \text{ m/sec}$

Alla luce di tali evidenze risulta lecito ipotizzare che i valori di permeabilità in occasione delle prove di permeabilità in sito risultino maggiori rispetto a quelle in laboratorio, in quanto le prove di campagna, coinvolgendo un volume di terreno più esteso, risentono in maniera più marcata delle anisotropie litologiche (permeabilità primaria), del grado di alterazione e fratturazione (permeabilità secondaria) dei singoli depositi. I dati suddetti, in ogni caso, testimoniano che i terreni del substrato appartenenti alla formazione marina **risultano essere praticamente impermeabili** con valori compresi tra $4.71 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ della formazione alterata fino a $1.9 \times 10^{-10} \text{ m/sec}$ per il substrato integro. Alla luce della natura dei sedimenti della formazione marina presenti, la permeabilità complessiva degli stessi risulta essere prevalentemente di tipo secondario in quanto indotta dalla fessurazione delle argille, a cui si somma localmente una permeabilità primaria legata all'esistenza dei livelli sabbiosi.

Da notare infine come al di sotto di tutte le vasche che costituiscono la discarica i terreni caratterizzati da una conducibilità idraulica leggermente superiore (argilla stratificata a sabbia alterata) risultano assenti in quanto completamente asportati a seguito degli sbancamenti effettuati per la realizzazione delle vasche stesse (*vedi sezioni geologiche e di permeabilità*). Il substrato integro posto sul fondo di tutte le vasche di discarica, alla luce dei valori ottenuti, presenta complessivamente dei requisiti di permeabilità e spessore che possono essere considerati compatibili con quelli previsti dalla legge di riferimento (*D.L. 36/2003 All. 1 cap. 2.4.2*). L'impermeabilizzazione delle pareti delle vasche più recenti, inoltre (vasche B e C), come si evince dai progetti, risulta garantita dalla presenza di geomembrane (HDPE) ubicate al di sopra di strati di argilla compattata a strati dello spessore di un metro nella zona di base, e di 30 cm lungo i fianchi più acclivi.

7 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE TERRENI

Per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni presenti (*granulometria, parametri di resistenza, limiti di consistenza, contenuto d'acqua, peso volume, ecc...*) ci si avvalsi dei dati emersi nel corso delle seguenti prove sia in sito che di laboratorio effettuate nel corso dei precedenti studi ubicate come da planimetria allegata. In particolare, nell'area, in occasione delle diverse indagini sono state realizzare:

-prove penetrometriche statiche, effettuate in sito con penetrometro statico da 10 tonn. tipo "TG 63-100 ISM. C";

- prove di laboratorio su un numero consistente di campioni indisturbati prelevati con campionatore tipo "Shelby" nel corso dei sondaggi realizzati, prove che hanno fornito dati in merito alla resistenza di picco e residua dei litotipi presenti (Taglio diretto CD, RS), la granulometria, il grado di plasticità ecc. (limiti di Atterberg, ecc.), unitamente alla permeabilità dei materiali interessati di cui si è ampiamente trattato nel capitolo precedente (permeabilità diretta a carico variabile in cella edometrica);

- prove di permeabilità a carico variabile con permeametro tipo "Boutwell".

I risultati della parametrizzazione suddetta, per ogni singolo litotipo, possono essere così riassunti:

a) ARGILLA LIMOSO-SABBIOSA: deposito contraddistinto da un contenuto di acqua naturale variabile e da un comportamento reologico “coerente”, composto prevalentemente da sedimenti ascrivibili alle argille e subordinatamente ai limi, inglobanti una discreta frazione sabbiosa. Materiale mediamente compressibile ($E_d=60-100$) classificabile, secondo la carta di Casagrande, come argille di media e alta plasticità (CL-CH). Il grado di plasticità del deposito risulta fortemente condizionato dal contenuto d'acqua. I valori di resistenza a breve termine (C_u) sono compresi tra un intervallo piuttosto ampio di 0.4 Kg/cmq e 1.2 Kg/cmq, mentre si registra una coesione intercetta di picco (C') che va da 0.04 a 0.08 Kg/cmq ed un angolo di attrito compreso tra 26° e 28° . In condizioni residue si riscontra una sensibile riduzione della coesione (0.02 Kg/cmq) e una diminuzione dell'angolo di attrito che viene compreso tra 19° e 20° . Litotipo quindi dalle caratteristiche geotecniche da mediocri a discrete, comunque estremamente variabili e dipendenti dal contenuto naturale d'acqua del sedimento, così come quelle volumetriche dello stesso, con spiccata tendenza al rigonfiamento a seguito di

assunzione idrica e conseguente ritiro per effetto di essiccazione e/o perdita di contenuto d'acqua in genere

b) ARGILLA stratificata a SABBIA alterata: litotipo composto da sedimenti prevalentemente coesivi (argille 57,75%, limo 40,43%) mediamente consolidati, stratificati a sottili livelli e/o veli sabbiosi (sabbia 1,72%) classificabile nel complesso, secondo Casagrande, nelle categorie delle argille di bassa e medio-alta plasticità (CL-CH). Materiale fortemente alterato e decompresso nella porzione superiore, grado di alterazione che diminuisce progressivamente all'aumentare della profondità, così come la componente sabbiosa che può essere quindi considerata, da un punto di vista geotecnico, trascurabile. Deposito piuttosto consistente ($I_c=1.29$) dalle buone qualità geomeccaniche contraddistinto da una coesione non drenata (C_u) compresa tra 1.6 e 2.2 Kg/cmq e da una spiccata differenza tra i valori di resistenza di picco ($C'=0.06-0.21$ Kg/cmq, $\phi'=27-31^\circ$) e residui ($C'_R=0.0$ Kg/cmq, $\phi'=17-19^\circ$).

d) ARGILLA stratificata a SABBIA integra: litotipo granulometricamente simile a quello sopradescritto, rinvenuto però in condizione pressoché integre. Materiale molto compatto ($I_c=1.3$), e poco plastico come dimostra la differenza riscontrata tra i valori del limite plastico ($w_p=25.26\%$) e l'indice di plasticità ($I_p=18,65\%$), e da un elevato grado di sovraconsolidazione e quindi caratterizzato da qualità geotecniche elevate, nel quale la componente argillosa risulta prevalente rispetto a quella sabbiosa (rapporto di stratificazione Argilla/Sabbia $> 10/1$) che può essere considerata pressoché trascurabile nel comportamento reologico complessivo del sedimento. Deposito quindi di bassa plasticità (CL) contraddistinto da una coesione non drenata (C_u) compresa tra 2.2 e 2.8 Kg/cmq. Infine risulta spiccata la differenza tra i valori di resistenza di picco ($C'=0.2-0.3$ Kg/cmq, $\phi'=28-29^\circ$) e residui ($C'_R=0.02$ Kg/cmq, $\phi'=19^\circ$).

Nel dettaglio le proprietà fisiche e meccaniche dei singoli litotipi ottenute dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Appollonia ed altri recenti autori delle prove penetrometriche, unitamente ai numerosi altri ricavati da prove geotecniche di laboratorio sono state schematicamente riassunte e riportate nella seguente tabella:

PARAMETRI	unità misura	Litotipo "a"	Litotipo "b"	Litotipo "c"
-----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

		Argilla sabbioso- limosa	Argilla strat. a sabbia alterata	Argilla strat. a sabbia integra
CLASSIFICAZIONE (USCS-AGI)		CH-CL	CH-CL	CL
γ	(g/cm ³)	2.00	1.95-2.08	2.0-2.1
$\gamma(\text{sat.})$	(g/cm ³)	2.10	2.20	2.20
γ_d	(g/cm ³)		1.6-1.7	1.7-1.8
γ'_k	(g/cm ³)	2.00	2.0	1.85
W _n	%	18-22	20.8-21.7	17.3-19.6
W _l	%	-	44.73	43.91
W _p	%	-	26.24	25.26
I _p		-	18.49	18.65
I _c		-	1.29	1.30
IL		-	-0.29	-0.30
C _u	(Kg/cm ²)	0.4-1.2	1.6-2.2	2.2-2.8
C _{u_k}	(Kg/cm ²)	0.8	1.8	2.4
C'	(Kg/cm ²)	0.04-0.08	0.06-0.21	0.21-0.30
C' _k	(Kg/cm ²)	0.05	0.08	0.25
C' _R	(Kg/cm ²)	0.02	0.00	0.02
ϕ'	(gradi)	25-28°	27.4-31.2	28-29°
ϕ'_k	(gradi)	27°	28	28°
ϕ'_R	(gradi)	19°-20°	17.2-19.2	19.3
Ed	(Kg/cm ²)	60-100	150-200	> 200
V		0.35	0.45	0.45
K _(in situ)	(m/s)		-	4.3x10 ⁻¹⁰ -1.9x10 ⁻¹⁰
K _(in lab.)	(m/s)		4.71x 10 ⁻⁸	

La simbologia usata è la seguente:

γ = peso di volume del terreno;

$\gamma(\text{sat.})$ = peso di volume saturo

γ_d	= peso volume secco;
W_n	= contenuto di acqua naturale
W_l	= limite liquido;
W_p	= limite plastico;
I_p	= indice plastico
I_c	= indice di consistenza;
I_l	= indice di liquidità;
C_u	= coesione non drenata;
E_d	= modulo deformazione;
C'	= coesione drenata di picco;
ϕ'	= angolo di attrito di picco;
C'_R	= coesione drenata residua;
ϕ'_R	= angolo di attrito residuo;
$\gamma'_k, C_{u,k}, C'_{k}, \phi'_k$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08)
$K_{(in\ situ)}$	= coefficiente di permeabilità da prove in situ
$K_{(in\ lab.)}$	= coefficiente di permeabilità da prove di laboratorio

* I parametri caratteristici sono stati determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$X_K = X_{med} \left(1 - \frac{COV}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti valori:

Angolo di attrito Φ	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

Non sono stati forniti i parametri geotecnici dei livelli concrezionati presenti all'interno della coltre (litotipo "a"), in quanto difficilmente determinabili sia per la variabilità laterale, sia per il diverso comportamento reologico di questi materiali in base al loro contenuto naturale d'acqua, così come non sono stati riportati i parametri riferiti ai livelli sabbiosi presenti all'interno della formazione marina alterata ed integra (litotipo "b"; "c") in quanto si ritiene che il contributo offerto dalla frazione sabbiosa nel comportamento reologico complessivo del materiale, in questo caso (rapporto di stratificazione Argilla/Sabbia >10/1), può praticamente essere considerato trascurabile.

8 CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE RIFIUTI

Allo scopo di effettuare una valutazione della consistenza ovvero della capacità deformativa dei rifiuti abbancati all'interno dell'impianto ed una stima dei potenziali cedimenti attesi sotto il peso del sormonto in progetto sono state realizzate complessivamente n°5 prove penetrometriche dinamiche super pesanti e n°1 prova penetrometrica statica con strumento Pagani "TG63-100", tutte ubicate come da planimetria in allegato. Inoltre è stato condotto uno studio bibliografico in merito alle proprietà fisico-meccaniche e alle proprietà idrauliche generali dei rifiuti solidi urbani (RSU) i cui risultati possono essere come di seguito riassunti.

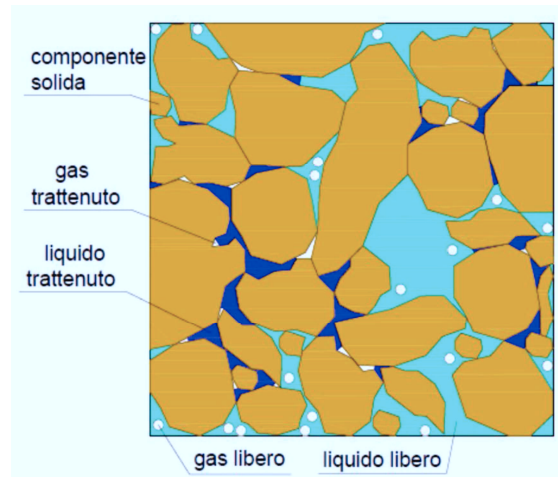
Il rifiuto è un mezzo polifasico costituito da:

- una **fase solida**, considerata come inerte e non deformabile per le terre, nel rifiuto può essere separata schematicamente in tre parti:

- materia inerte,
- materia deformabile,
- materia decomponibile;

- una **fase liquida**, composta dai residui liquidi provenienti dalla decomposizione dei rifiuti organici e dall'acqua di percolazione proveniente dalle precipitazioni;

- una **fase gassosa**, composta d'aria e di gas essenzialmente organici o azotati, prodotti dalla decomposizione della sostanza organica.



Il comportamento complessivo del rifiuto dipende dal comportamento di ciascuna delle sue componenti, ma anche dalle loro interazioni.

Granulometria

- 1) influisce sulla densità, durante la fase di messa in opera del rifiuto;
- 2) è dipendente dalla composizione del rifiuto e del suo eventuale pretrattamento prima dello stoccaggio.

Alle due estremità della scala granulometrica si trovano le **particelle fini**, la cui taglia arriva a qualche millimetro, e gli **ingombranti** voluminosi, che possono superare il metro.

Negli **RSU**, la forma particolare, principalmente lamellare, di queste componenti, determina un'importantissima influenza sul comportamento

meccanico (rinforzo) e idraulico (tortuosità del mezzo poroso) e quindi altera sensibilmente il comportamento globale del mezzo poroso, le cui caratteristiche principali possono essere così riassunte:

- 1) **forma**, ovvero la distinzione tra componenti tridimensionali (particelle granulari di terreno) e componenti bidimensionali (fogli di carta, elementi lamellari, ecc.);
- 2) **dimensione delle componenti** rifiuto;
- 3) **distinzione dei materiali** costituiscono il rifiuto e loro quantità (carta, cartone, legno, elementi putrescibili, ecc.);
- 4) della **compressibilità** ciascun elemento;
- 5) **potenziale di degradazione** sostanza organica.

I principali criteri di classificazione dei rifiuti, in letteratura, e parametri considerati:

Autore	Criteri di classificazione	Parametri considerati
Turczynski, 1988	Tipo di rifiuto	Densità, parametri di taglio, limiti liquidi/plastici, permeabilità
Siegel et al., 1990	Gruppi di materiali	Parte della composizione
Landva e Clark, 1990	materiali organici e minerali	Degradabilità (veloce, lenta, nessuna), forma (cava, piatta, allungata, ingombrante)
Grisolia et al., 1995a	Gruppi di materiali degradabili, inerti e deformabili	Resistenza, deformabilità, degradabilità
Kölsch, 1996	Gruppi di materiali	Taglia, dimensione
Manassero et al., 1996	Soil like ed altri	Parametri indice
Thomas et al., 1999	Soil like e non soil like	Gruppi di materiali

La letteratura specialistica sui rifiuti solidi urbani tra i quali la pubblicazione “Proprietà geotecniche dei rifiuti solidi urbani” a firma di W.F. Van Impe e N. Squeglia, Hevelius Editore, collana diretta da Ing. Carlo Viggiani (geotecnico) evidenzia la difficoltà della redazione di un progetto di una discarica

controllata in quanto coinvolge una varietà di problemi per i quali è necessario una conoscenza affidabile delle proprietà geotecniche del RSU. La quantificazione di queste proprietà è molto difficile: i RSU sono essenzialmente eterogenei e molto variabili fra differenti zone geografiche, le proprietà variano sensibilmente con il tempo, inoltre è difficile ottenere campioni di dimensioni tali da essere rappresentativi delle condizioni in sito e non esistono procedure unificate di campionamento e prova. Per assicurare nel tempo la stabilità della massa dei rifiuti e degli elementi di rivestimento nella loro funzione di drenaggio ed impermeabilità, è necessaria un'attenta valutazione delle tensioni e deformazioni nei vari elementi. La pubblicazione fa emergere che in questo momento si è in una fase sperimentale della parametrizzazione geotecnica dei rifiuti, pertanto esistono dei limiti di applicazione dei valori dei parametri che si ottengono dalle prove in sito e/o in laboratorio; pertanto è frequente ai fini dei calcoli geotecnici affidarsi alla stima dei valori da attribuire ai parametri geotecnici

Contenuto d'acqua

Il contenuto d'acqua dei rifiuti solidi può variare a causa di diversi fattori tra i quali composizione dei rifiuti, dal periodo dell'anno, dell'umidità naturale, dalle condizioni meteorologiche, in particolare la pioggia. Dalla sperimentazione in campo si è notato che l'eterogeneità dei rifiuti solidi urbani può produrre zone di rilevante variabilità del contenuto d'acqua, ma con una tendenza generalizzata all'aumento della profondità. Non si deve dimenticare che gli strati di ricoprimento intermedi, costituiti mettendo in opera strati di terreno, hanno contenuto d'acqua diversa da quello dei RSU, e in genere minore. Le più importanti caratteristiche dei RSU sono la granulometria, il contenuto d'acqua, il peso dell'unità di volume, e il contenuto di sostanza organica. Nello studiare tali proprietà bisogna tener presente le caratteristiche specifiche dei materiali da discarica; infatti, i rifiuti generalmente contengono molti tipi di costituenti, usualmente molto porosi e non completamente saturi. Landva & Clark (1990) hanno messo in evidenza che, a causa della natura porosa di alcuni costituenti, è necessario distinguere tra vuoti intraparticellari (all'interno delle particelle) ed interparticellari (tra le particelle). E' possibile avere, per esempio, i vuoti intraparticellari parzialmente o completamente saturi e i vuoti interparticellari secchi o viceversa. In ogni caso, sebbene sia ormai possibile determinare le caratteristiche fisiche dei RSU, la loro classificazione in senso geotecnico è ancora una procedura alquanto complessa. La determinazione delle proprietà indice è, infatti, estremamente difficile. Fra l'altro, poichè si tratta spesso di materiale molto compressibile, le proprietà come il peso per unità di volume o la permeabilità devono essere

determinate in funzione della porosità, la quale a sua volta è una funzione del metodo di messa in opera del materiale, del sovraccarico e dell'età della discarica. Nelle discariche il contenuto d'acqua è fortemente dipendente da diversi fattori tra loro correlati, i quali includono: la composizione iniziale dei rifiuti, le condizioni climatiche locali, le operative, la presenza di un sistema di raccolta del percolato, la storia di ricoprimento, la quantità di percolato generato dai processi biologici nella discarica e la quantità di percolato sottratta dai gas.

Peso dell'unità di volume

Il peso specifico dell'unità di volume varia attraverso tutta la discarica ed è difficile da determinare a causa della variabilità nella composizione, nel metodo di posa, dal grado di compattazione, dell'invecchiamento, nella profondità e nel contenuto d'acqua locale dei rifiuti. Elementi che influenzano il peso di volume sono:

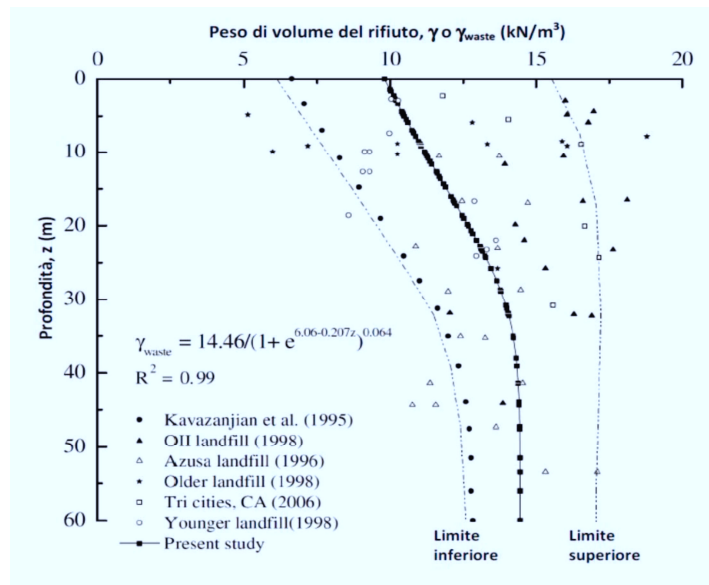
- **composizione**, compresa la presenza di copertura giornaliera: più il rifiuto è ricco in metalli o inerti, più il peso del cumulo di rifiuti è elevato;
- **spessore degli strati**;
- metodo e **grado di compattazione**;
- **contenuto d'acqua** del rifiuto;
- **grado di decomposizione** biologica dei solidi organici;
- **profondità** in cui la densità è calcolata: più la posizione del rifiuto è lontana dalla superficie, più questo risulta sovraccaricato, a causa degli sforzi verticali indotti;
- **età del rifiuto**: più il rifiuto è stagionato, più ha subito un aumento della densità nel tempo, poiché le particelle di sostanza organica sono state quasi tutte degradate e sono rimasti solamente i materiali più pesanti.

Il possibile campo di variazione del peso dell'unità di volume medio può essere determinato dalla combinazione dei materiali più leggeri con il loro peso secco, oppure dei materiali più pesanti con il loro peso saturo.

Tabella 3: Composizione tipica dei rifiuti (adattata da Van Impe, 1996)

Categoria	Percentuale in peso	Peso unitario secco (kN/m ³)	Peso unitario saturato (kN/m ³)
Cibi	5-42	1.0 ²	1.0 ²
Vegetali	4-20	0.3	0.6
Carta	20-55	0.4	1.2
Plastica	2-15	1.1	1.1
Tessuti	0-4	0.3	0.6
Legno	0.4-15	0.45	1.0
Metallo	6-15	6.0	6.0
Vetro	2-15	2.9	2.9
Ceneri	0-15	1.8	2.0

La composizione più leggera porta ad un peso dell'unità di volume medio di 3,8 kN/mc e la combinazione più pesante fornisce 16,3 kN/mc. E' opportuno sottolineare ancora una volta che questi sono i pesi unitari delle particelle costituenti e non il peso dei rifiuti aggregati. Quest'ultimo può essere calcolato solo se si conosce la porosità interparticellare dei rifiuti ed il contenuto d'acqua dei "vuoti" (per i rifiuti posti al di sopra del livello di falda, il contenuto d'acqua sarà funzione della capacità di ritenere l'acqua). Usando tale metodo, sono stati ottenuti valori del peso dell'unità di volume che variano da 7 a 14 kN/mc in funzione della composizione e del contenuto d'acqua. E' generalmente riconosciuto che il peso dell'unità di volume dei RSU aumenta con la profondità. Infatti, il peso iniziale aumenterà con la compressione immediatamente conseguente all'applicazione del sovraccarico dovuto alla messa in opera di ulteriori rifiuti. Il peso dell'unità di volume può inoltre aumentare in seguito ad una compressione aggiuntiva che avviene nel tempo. W.F. Van Impe et al. (1994) hanno dimostrato che, al di sotto di circa 10 m di profondità, il peso dell'unità di volume inizialmente poco compattato raggiungerà quello di uno strato compattato. La Figura mostra la variazione del parametro in funzione della profondità e un'espressione empirica per la sua determinazione (Choudhury e Savoikar, 2008).



Un ulteriore processo che influisce sull'entità del peso volume risulta essere la compattazione operata sul rifiuto. Una valutazione dei pesi di volume degli RSU in fase progettuale sulla base dell'energia di compattazione può essere fatta considerando la seguente formula (Zekkos et al., 2005): $\gamma = \gamma_i + z / (a + bz)$ dove γ è il peso di volume dei rifiuti in prossimità della superficie del deposito (kN/m³), z è la profondità dal piano campagna (m), a, b sono parametri di calibrazione (m⁴/kN e m³/kN). La compattazione riduce i vuoti tra i differenti elementi, diminuisce lo spessore degli strati di rifiuto, fa guadagnare spazio per accogliere altri RSU, aumenta la capacità portante del cumulo di rifiuti e la resistenza al taglio, riduce ulteriori cedimenti.

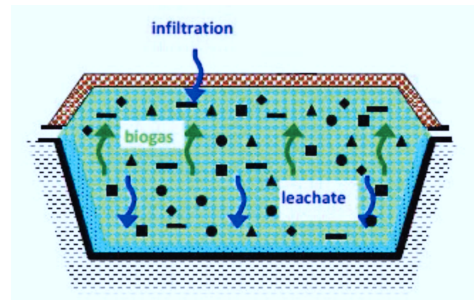
Parametro relativi al peso di volume (Fassett et al. 1994)	Compattazione debole	Compattazione media	Compattazione buona
Media (kN/m ³)	5,3	7.0	9,6

Permeabilità

Il flusso di percolato in discarica dipende da:

- precipitazioni,
- infiltrazioni e ricircolo,
- natura dei rifiuti (granulometria, struttura, contenuto)

d'acqua iniziale, addensamento, livello tensionale, anisotropia, produzione di gas, eterogeneità e degradazione),
 ● modalità di pretrattamento.



Il coefficiente di permeabilità, in opere su vera grandezza, assume valori più frequentemente compresi tra **10^{-7} m/s e 10^{-5} m/s**.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle misurazioni di permeabilità dei RSU, nonché i relativi pesi di volume e la metodologia delle misure effettuate.

Tabella 4: Sintesi delle misure della permeabilità dei RSU (Van Impe, 1996)

Fonte	Peso unitario (kN/m ³)	Permeabilità (m/s)	Peso unitario
Fungaroli <i>et al.</i> (1979)	1.1 ÷ 4	da 10^{-5} a $2 \cdot 10^{-4}$	Determinazione mediante lisimetro
Koriantes <i>et al.</i> (1983)	8.6	da $5.1 \cdot 10^{-5}$ a $3.15 \cdot 10^{-5}$	Prove di laboratorio
Oweis & Khera (1986)	6.45	10^{-5}	Stima da misure in sito
Oweis <i>et al.</i> (1990)	6.45 9.4 ÷ 14 9.5 ÷ 2.4	10^{-5} $1.5 \cdot 10^{-5}$ $1.1 \cdot 10^{-5}$	Prove di pompaggio Prove in foro a carico costante
Lavda & Clark (1990)	10.1 ÷ 14.4	da $1 \cdot 10^{-5}$ a $4 \cdot 10^{-5}$	Prove in foro
Gabr & Valero (1995)	-	da $1 \cdot 10^{-7}$ a $1 \cdot 10^{-5}$	Prove di laboratorio
Blengino <i>et al.</i> (1996)	9 ÷ 11	da $3 \cdot 10^{-7}$ a $3 \cdot 10^{-6}$	Prove in sito a carico costante in foro profondo
Manassero (1990)	8 ÷ 10	da $1.5 \cdot 10^{-5}$ a $2.6 \cdot 10^{-4}$	Prove di pompaggio
Beaven & Powrie (1995)	5 ÷ 13	da $1 \cdot 10^{-7}$ a $1 \cdot 10^{-4}$	Prove di laboratorio
Brandl (1990)	11 ÷ 14 13 ÷ 16 rullatura e CD	da $2 \cdot 10^{-5}$ a $7 \cdot 10^{-6}$ da $5 \cdot 10^{-6}$ a $3 \cdot 10^{-7}$	Prove in sito a carico costante
Brandl (1990)	9 ÷ 12 (pretrattati)	da $2 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-6}$	Prove di laboratorio
Brandl (1990)	9 ÷ 12 (pretrattati)	da $5 \cdot 10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-3}$	Prove di laboratorio
Brandl (1990)	13 ÷ 17 (molto compattati)	da $2 \cdot 10^{-6}$ a $3 \cdot 10^{-8}$	Prove di laboratorio

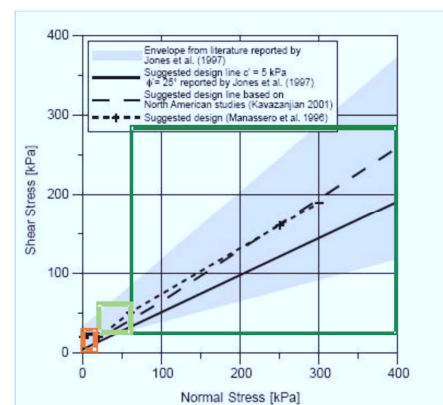
I moti dei liquidi avvengono, principalmente, in orizzontale e rimangono collegati tra loro mediante corti percorsi verticali. L'anisotropia della permeabilità idraulica è un fattore importante da tenere in conto nella modellazione del comportamento degli RSU in relazione ai problemi di stabilità.

Principali valori del rapporto tra permeabilità idraulica orizzontale (K_h) e verticale (K_v) (Zekkos, 2005; Manassero et al., 2011).

Riferimento	Tipologia di rifiuto	Rapporto
Landva et al., 1998	Artificiale	0,5-1,0
Landva et al., 1998	discarica dellago Spruce	8
Buchanan, 1997	rifiuti triturati (< 38 mm)	1,2-2,3
Munnich et al., 2005	RSU pretrattati	1,0-250,0

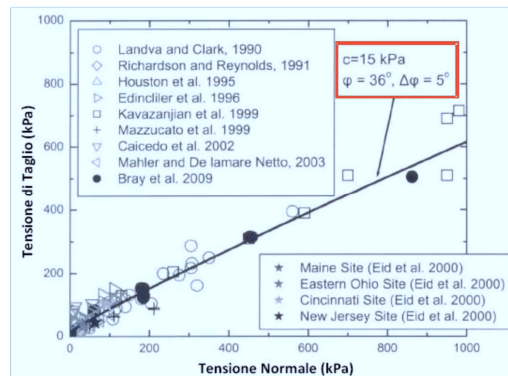
Proprietà meccaniche

Considera le variazioni della resistenza a taglio di un materiale come conseguenza alle variazioni nello sforzo verticale applicato. Le particelle di rifiuto, essendo compressibili, caratterizzano l'intero cumulo con un comportamento elasto-plastico, che può variare nel tempo a causa della degradazione. Definizione del piano di rottura del materiale e dei parametri intrinseci ad essa correlati, come l'angolo d'attrito (ϕ') e la coesione (c'). Tuttavia, a causa della sua eterogeneità e degli effetti di *interlocking*, confinamento e compressione, una completa caratterizzazione del rifiuto usando solamente i parametri di Mohr-Coulomb è impossibile (Van Impe e Squeglia, 1997). Manassero et al. (1996) hanno definito i valori dei parametri c' e ϕ' , tramite la suddivisione, nel grafico $\sigma'_v - \tau$, in tre zone diverse:

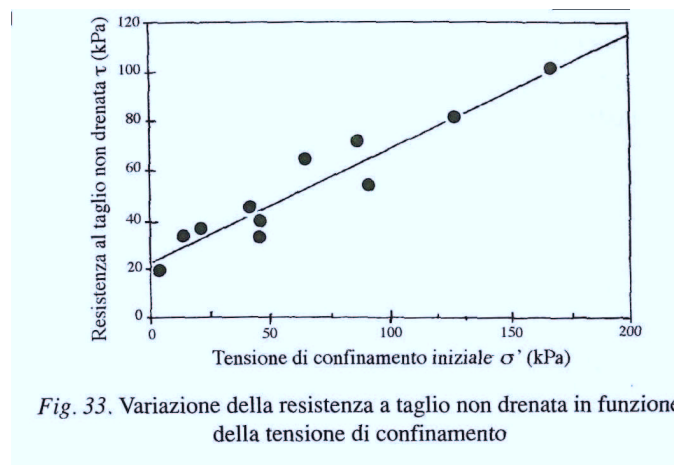


- **zona A:** il rifiuto è descritto come puramente coesivo ($0 < \sigma'_v < 20$ kPa e $c' = 20$ kPa)
- **zona B:** corrisponde ad una zona di sforzo medio ($20 < \sigma'_v < 60$ kPa, $c' = 20$ kPa e $\phi' = 38^\circ$)

- **zona C**: corrisponde ad una zona di grande sforzo ($\sigma'_v > 60$ kPa, $c' > 20$ kPa e $\varphi' = 30^\circ$).



Il comportamento del cumulo di rifiuti alla resistenza a taglio può essere assimilato a quello di un **TERRENO RINFORZATO**, dove le componenti fibrose forniscono questa resistenza. L'**EFFETTO DI RINFORZO** delle fibre è considerato dipendente dall'entità dello sforzo verticale applicato. Dai risultati di prove di laboratorio (*prove di compressione triassiale*) è emerso che diversamente dai terreni i rifiuti solidi civili possono sopportare grandi deformazioni senza raggiungere la rottura. Le resistenze ottenute sui RSU sono alquanto elevate, e possono essere considerate una conferma di un comportamento simile alla terra armata. Le componenti fibrose dei rifiuti come la plastica, i tessuti ed il legno agiscono come “rinforzo” della miscela e contribuiscono ad incrementare la resistenza, di norma in termini di intercetta di coesione. In quest'ottica, la matrice di rifiuti può essere considerata come un materiale composito consistente in due componenti: una matrice simile ad un terreno, comprendente le particelle a grana medio fine, ed una componente fibrosa. Quando l'effetto “terra armata” non rappresenta il fattore predominante, per esempio a causa di una particolare composizione (più carta, meno plastica), come era da attendersi, il contenuto d'acqua gioca un ruolo essenziale (vedi grafico sotto).



Kockel & jessberger (1995) hanno mostrato che la resistenza al taglio della matrice di base è principalmente di tipo attritivo, con un valore massimo di φ' tra 42° e 45° mobilitato per grandi deformazioni e poco influenzato dagli elementi di plastica di rinforzo. L'intercetta di coesione dipende principalmente dalla matrice fibrosa ed è dovuta alla resistenza a trazione degli elementi di rinforzo. La sua mobilitazione, tuttavia, necessita di grandi deformazioni e parte da circa 20% di deformazione, quando la resistenza d'attrito è oramai quasi completamente mobilitata. Una tipologia di prove che rappresentano un buon punto di partenza per procedure più accurate per la determinazione dei parametri di resistenza a taglio dei rifiuti (Tabb. 5,6) o in alcuni casi della superficie di contatto tra balle di rifiuti (Van Impe, 1993) risultano essere le prove di taglio diretta

Tabella 5: Parametri di resistenza degli RSU (da Kavazanjian *et al.*, 1995)

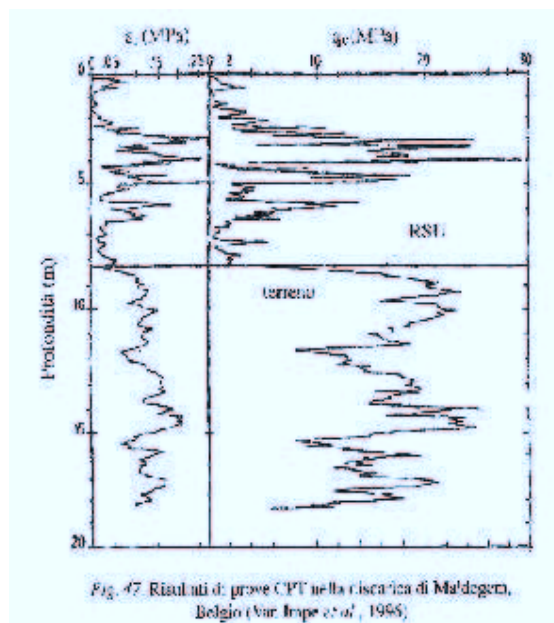
Fonte	Metodo	Parametri di resistenza	Commenti
Lambe & Uline (1966)	Prove di taglio diretto in laboratorio	$\alpha = 24^\circ$, $c = 22 \text{ kPa}$ $\phi = 39^\circ$, $e = 19 \text{ kPa}$	Tensioni normali fino a 483 kPa
Richardson & Reynolds (1992)	Prove di taglio diretto in sito di grandi dimensioni	$\alpha = 18^\circ - 43^\circ$ $c = 10 \text{ kPa}$	Tensioni normali da 14 a 58 kPa

Tabella 6: Analisi di scarpate esistenti (da Kavazanjian et al., 1995)

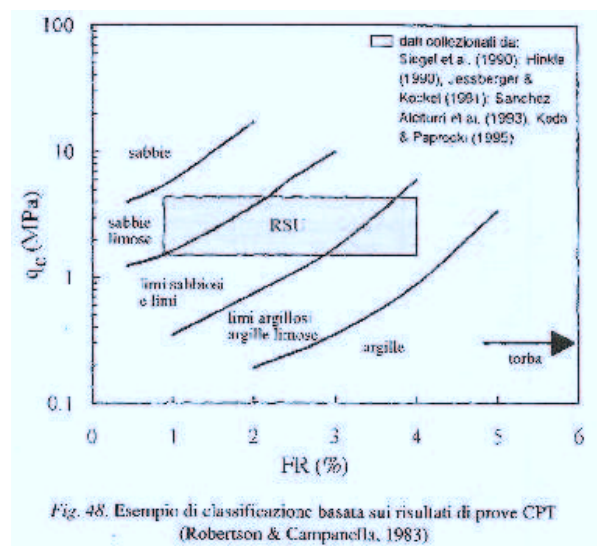
Discarica	Pendenza media		Pendenza massima		Angolo di attrito ($^{\circ}$)		
	Altezza (m)	Pendenza (H:V)	Altezza (m)	Pendenza (H:V)	FS=1.0	FS=1.1	FS=1.2
Lopez Canyon, CA	120	2.5 : 1	35	1.7 : 1	25	27	29
OH, CA	75	2 : 1	20	1.6 : 1	28	30	31
Bahylon, NY	30	1.9 : 1	10	1.25 : 1	30	34	38
Discarica privata, OH	40	2 : 1	10	1.2 : 1	34	34	37

In generale la resistenza viene caratterizzata da alla Mohr-Coulomb, in termini di intercetta di coesione c ed angolo di attrito ϕ' . E' da osservare però che le prove di laboratorio forniscono un involuppo nel piano di Coulomb e quindi una coppia di parametri (c , ϕ') che soddisfano l'equilibrio sono il risultato di un'unica equazione di equilibrio con due parametri incogniti. Sulla base di questo tipo di analisi si può concludere che un'unica caratterizzazione alla Mohr-Coulomb, della resistenza dei rifiuti è impossibile, a meno di non disporre di una relazione fra p , q ed e che consenta più sofisticate analisi (Van Impe-Squeglia).

Unitamente alle prove di laboratorio, per l'acquisizione dei dati relativi alla resistenza dei rifiuti, vengono effettuate delle prove in sito sia dinamiche (SPT) che statiche (CPT). L'interpretazione dei dati delle prove suddette viene condotta facendo uso delle correlazioni esistenti per i terreni. In particolare benché manca una sperimentazione specifica per i RSU per cui l'utilizzazione dei risultati in sede di progetto è affetta da notevoli incertezze, le prove penetrometriche statiche possono essere utili per l'acquisizione di informazioni sulla massa dei rifiuti (per es. per localizzare quantitativamente le aree ove è presente materiale scadente che riduce la stabilità della discarica). Alcuni risultati tipici di prove CPT eseguite su RSU in una discarica sono sotto riportati:



I picchi della resistenza alla punta q_c sono l'indicazione che il cono incontra frequentemente oggetti di elevata consistenza; le letture si presentano con un andamento alquanto erratico, ma può comunque essere messa in luce una tendenza generale. I valori medi della resistenza alla punta e del rapporto FR determinati per diverse discariche sono riportati nella tabella sottostante. E' possibile vedere che i rifiuti civili coprono il campo di parametri corrispondenti a terreni compresi tra le argille e le sabbie limose; tuttavia bisogna essere estremamente cauti nella lettura di tali diagrammi.



Compressibilità

Per i rifiuti diversi da quelli assimilabili ai terreni a granulometria da fine a grossa, è necessario eseguire prove in sito o realizzare campi sperimentali; anche in tal caso, per le prove di laboratorio su provini di grandi dimensioni possono essere utili. Molti dei dati riportati in letteratura sulle caratteristiche meccaniche risultano da valutazioni a stima, mentre pochi sono i dati derivati da analisi a ritroso o da prove in sito o in laboratorio. Le proprietà meccaniche come la resistenza al taglio e la compressibilità sono dipendenti dalla composizione dei rifiuti e dalle proprietà meccaniche dei loro costituenti; esse sono inoltre variabili nel tempo e correlate allo stato di decomposizione. Allo scopo di fornire parametri utili alle analisi di stabilità o di deformazione, sarebbe opportuno condurre prove apposite congruenti con il cinematismo del potenziale problema in studio; ad ogni modo, tutti i parametri geotecnici vanno utilizzati con giudizio. L'interpretazione dei risultati delle prove sui rifiuti rimane soggetta ad incertezze dovute alla mancanza di un esauriente modello di comportamento per questi materiali. L'analisi viene ancora usualmente svolta partendo da modelli e metodi concepiti per i terreni, tenendo conto eventualmente conto di un rinforzo tipo "terre armate". Infatti molti rifiuti sono composti di particelle individuali con un certo mutuo incastro, di fogli di strisce di plastica o tessuto; ciò giustifica in qualche modo tale approccio. Tuttavia vi sono differenze significative con i terreni: l'indice dei vuoti è molto alto, e ciò implica una insolita compressibilità volumetrica; le "particelle" sono di differente natura e alcune di esse sono particolarmente deformabili o fragili; vi è un processo di decomposizione nel tempo, il quale causa una insolita "auto-consolidazione" ed una variazione delle proprietà con il tempo.

Cedimenti

I fattori che influenzano l'entità del cedimento (sotto il peso proprio come sotto un sovraccarico) sono molti ed interdipendenti. Essi includono:

- l'indice dei vuoti iniziali dei rifiuti;*
- il contenuto di materiale degradabile;*
- l'altezza dei riempimenti;*
- la storia di carico;*
- il livello di percolato e la sua fluttuazione;*
- i fattori ambientali (come il contenuto d'acqua, la temperatura ed il gas presente o generato nella discarica).*

Huitric (1981) definì tre modelli dei cedimenti per i RSU:

- consolidazione (*variazione delle tensioni efficaci*)
- ritiro (*decomposizione del materiale organico*)
- compattazione (*sovraccarico*).

Il termine consolidazione, sopra suggerito per descrivere una parte della curva carico cedimento per i RSU, si riferisce al cedimento risultante dall'espulsione dell'acqua dai materiali appena depositati. Il ritiro è il processo attraverso il quale i componenti organici e la soluzione sono gradualmente decomposti e convertiti in Anidride carbonica e metano, provocano una diminuzione di volume di materiale. La compattazione è definita come il riordinamento dei solidi in una configurazione più addensata, dovuta alla perdita graduale di rigidità delle particelle solide a causa del creep sotto carico o della decomposizione. E' stato inoltre suggerito che tali particelle solide possano inizialmente fungere da ponte tra i vuoti per poi collassare; tale meccanismo è ritenuto il maggior responsabile potenziale dei cedimenti in una discarica. Sulla base delle misure di

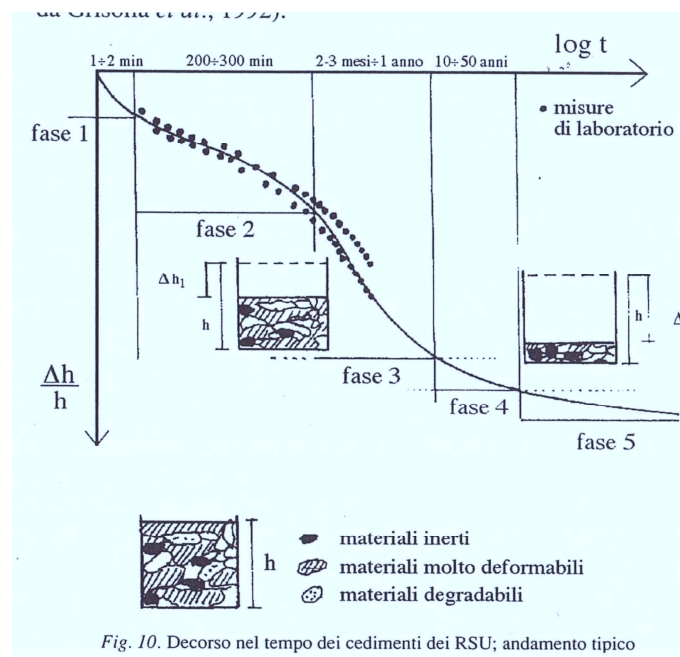


Fig. 10. Decorso nel tempo dei cedimenti dei RSU; andamento tipico

cedimenti alla "canyon 3 fill" Huitric afferma che il cedimento varia tra il 15% ed il 20% nella zona centrale, per poi diminuire rapidamente verso i bordi. Generalmente il cedimento finale di una discarica ha caratteristiche di irregolarità, c'è un cedimento iniziale nei primi mesi (uno o due) dopo la costruzione, seguito da una sostanziale compressione secondaria che si protrae per un esteso lasso di tempo; la velocità di cedimento diminuisce nel tempo e con l'incremento della profondità della discarica. Sotto il peso proprio il cedimento varia tra il 5% ed il 30% dello spessore originario del materiale, con gran parte del cedimento che si sviluppa nei primi uno o due anni.

Sintesi dei parametri meccanici dei rifiuti

La sintesi dei parametri meccanici dei rifiuti derivanti dalla campagna geognostica effettuata e quelli desunti sulla base della ricerca bibliografica precedentemente esposta, avente lo scopo di fornire sufficienti dati per il dimensionamento della struttura di sostegno in progetto da ubicare al piede del sormonto, è stata schematizzata nella tabella di seguito rappresentata, tenendo conto che per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei rifiuti riscontrati mediante l'esecuzione delle prove in situ effettuate (*n.5 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH) e n.1 prova penetrometrica statica (Cpt) realizzate con strumento Pagani tipo "TG 63-100 ISM. C"*), in questo caso ricondotte necessariamente ad un comportamento "geotecnico" ossia assimilato a quelle dei terreni, si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Apollonia, Begemann, Schmertmann Gardner ed altri recenti autori.

PARAMETRI	unità misura	Litotipo RIFIUTI
γ	(g/cm ³)	0.90
$\gamma(\text{sat.})$	(g/cm ³)	1.00
γ'_k	(g/cm ³)	0.90
Cu	(Kg/cm ²)	0.9-1.8
Cu _k	(Kg/cm ²)	1.2
C'	(Kg/cm ²)	0.14-0.22
C' _k	(Kg/cm ²)	0.16
ϕ'	(gradi)	23-30°
ϕ'_k	(gradi)	23
Ed	(Kg/cm ²)	45-160
V		0.25
α		0.4
Kh	(Kg/cm ²)	0.4-1.4

La simbologia usata è la seguente:

γ	= peso di volume;
$\gamma^{(sat.)}$	= peso di volume saturo
C_u	= coesione non drenata;
C'	= coesione drenata;
ϕ'	= angolo di attrito drenato;
$\gamma'_k, C_{u,k}, C'_{k}, \phi'_k$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08)
E_d	= modulo edometrico;
OCR	= grado di sovraconsolidazione
ν	= coefficiente di Poisson;
α	= coefficiente di adesione palo-terreno;
Kh	= coeff. di rigidezza laterale del terreno per un palo di diam. 80 cm.

Dimensionamento “geotecnico” dei pali di fondazione

Il progetto di ampliamento in esame prevede la realizzazione di una struttura di sostegno da ubicare al piede dell’area di sormonto composta in elevazione da una struttura in gabbioni alta 3.0 mt. poggiante su una soletta in c.a ancorata sul corpo di rifiuti per mezzo di una fondazione profonda di pali trivellati.

Per il dimensionamento geotecnico dei pali di fondazione intestati totalmente all’interno dei rifiuti, sulla base delle nuove **Norme Tecniche delle costruzioni (DM2018)**, per ogni stato limite ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

con:

$\gamma_F F_k$ = azioni di progetto;

X_k/γ_M = parametri di progetto;

a_d = geometria di progetto;

γ_R = coeff. di resistenza del sistema specifico per ogni singola opera.

Il valore di progetto della Resistenza R_d può essere determinato in modo analitico, con riferimento al *valore caratteristico dei parametri geotecnici* (X_k) del terreno, diviso per il coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab.6.2.II:

Tabella 6.2.II - Coef. parziali per parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficient e parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente angolo resistenza a taglio	$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	Cu_k	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

Inoltre i coefficienti parziali γ_R che operano direttamente sulla resistenza del sistema sono definiti **per i muri di sostegno** nella seguente tabella:

Tabella 6.5.I - Coef. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.4$
Scorrimento	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.4$

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei coefficienti ζ deve corrispondere al numero di verticali di sondaggio significative e rappresentative della intera stratigrafia di influenza dei pali stessi (sondaggi e/o prove in situ), eseguite nel

corso dell'indagine. Nel caso specifico, del muro considerato pertanto possono essere considerati i coefficienti relativi a **n.6 verticali** (5 Dpsh + 1Cpt), ricondotte a 5, così come previsto dalla normativa, ottenendo:

Tabella 6.4.IV - Fattori di correlazione ζ , per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	>10
ζ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ζ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

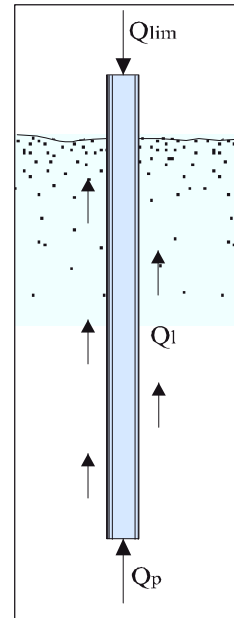
Per il calcolo della resistenza assiale di un palo trivellato possono essere adottate le seguenti relazioni di Terzaghi ed altri:

$$Q_{lim} = Q_p + Q_l \quad (1)$$

$$Q_p = A (\gamma L N_q + C N_c) \quad (2)$$

$$\delta Q_l = \pi D \delta L \alpha C_u \quad \text{terreni coerenti} \quad (3)$$

$$\delta Q_l = \pi D dl S_{med.ult.} \quad \text{terreni incoerenti} \quad (4)$$



dove:

Q = resistenza ultima del singolo palo;

Q_p = resistenza ultima alla punta del palo;

δQ_l = resistenza laterale ultima del tratto di palo considerato;

A = area della sezione alla punta;

D = diametro del palo;

L = lunghezza del palo;

α = coefficiente di adesione palo terreno;

$S_{med.ult.}$ = fattore di resistenza laterale ultima (Vesic, Kerisel);

N_c, N_q = coefficienti di capacità portante.

Per il calcolo dei pali, nel caso venga realizzata una struttura con pali allineati,

il dimensionamento degli stessi dovrà essere fatto assimilandoli ad una paratia e considerando come situazione geotecnica più gravosa quella di *lungo termine*; pertanto il calcolo della resistenza della struttura andrà fatto utilizzando i parametri geotecnici caratteristici di lungo termine.

Nel caso invece i pali di fondazione venissero disposti non allineati tra di loro, ma con una disposizione a quinconce, come nel caso del presente progetto, si verrà a creare un impianto strutturale dove il palo di valle verrà sollecitato a compressione mentre quello di monte a trazione (tipologia a “cavalletto”) e/o al fine di tenere conto dei carichi verticali sulla fondazione, dove la situazione geotecnica più gravosa risulta essere quella di *breve termine* e pertanto per il calcolo della resistenza assiale di un palo trivellato, utilizzando le relazioni precedentemente esposte e considerando la stratigrafia omogenea di rifiuti, si ottiene:

N.B.: Tenendo conto di una possibile compattazione dei rifiuti, magari più recenti, è stato considerato, nel calcolo della resistenza dei pali, ai fini della sicurezza, una azione di attrito negativo esercitato dai primi 2 metri di rifiuti sul fusto dei pali stessi. Mentre per tutta la verticale “tipo” dei pali da realizzare è stata adottata, sulla base dell’indagine in situ eseguita, una stratigrafia omogenea caratterizzata dai seguenti parametri “geotecnici”, sia per la porzione legata alla resistenza dei pali (oltre i 2 mt. dal piano di imposta degli stessi), sia di quella a decremento della resistenza generata dalla compattazione dei rifiuti (0-2 mt.):

Rifiuti $C_{uk} = 12 \text{ t/mq}$, coeff. di adesione palo-rifiuti, $\alpha = 0.4$;

Il Testo unitario DM18 richiede di verificare la capacità portante del sistema terreno-fondazione utilizzando l’approccio 2 che prevede la seguente combinazioni di carico:

Approccio 2

Combinazione : A1 + M1 + R3

PALI TRIVELLATI

Approccio 2 -Combinazione - A1+M1+R3					
D	L*	Rb	Rs	Rd	dRd
0,80	10,00	54,26	72,35	60,29	5,74
0,90	10,00	68,67	81,39	71,46	6,46
1,00	10,00	84,78	90,43	83,43	7,18

D = diametro del palo (mt);

L = lunghezza (mt);

Rb = resistenza di punta (ton);

Rs = sommatoria delle resistenze laterali dei singoli tratti (ton);

Rd = resistenza totale (ton);

dRd = incremento di resistenza totale (ton) per ogni mt. di approfondimento del palo.

Ovviamente nel caso di una disposizione dei pali a quinconce per determinare le corrette resistenze di quelli "di monte" soggetti prevalentemente a trazione, si dovrà considerare solamente il contributo della sommatoria delle resistenze laterali lungo il fusto dei pali (tabulate con il simbolo *Rs*) divise per i relativi coeff. di correzione, trascurando quindi l'apporto di punta dei pali stessi (tabulate con il simbolo *Rb*).

Comunque per il dimensionamento effettivo dei pali (passo, lunghezze, diametri ecc..) si rimanda allo specifico progetto strutturale della fondazione redatto dall'ing. Diego Santandrea, contenuto nella documentazione progettuale.

9 RICOSTRUZIONE GEOMETRICA DEI CORPI DI ABBANCAMENTO

9.1 Indagine geofisica

Al fine di ricostruire l'andamento plano-altimetrico di massima (spessore, estensione) delle diverse vasche presenti nell'impianto, sono state eseguite, dalla ditta *Ge.CO* srl, in data 4 Febbraio 2016, delle prospezioni geofisiche e geoelettriche a mezzo di "Tomografia elettrica". Lo scopo primario delle indagini suddette è stato quello di individuare e ricostruire le geometrie dell'accumulo di rifiuti, il loro stato di costipamento di massima, nonché di rilevare all'interno dello stesso la presenza di liquidi. In particolare dapprima sono stati effettuati due profili campione denominati nella planimetria specifica allegata in appendice, L1, uno di tomografia elettrica (traccia di colore blu) ed uno di sismica a rifrazione (traccia di colore rosso) al fine di poter confrontare i risultati ottenibili dalle due diverse tipologie di indagini e scegliere la più adatta all'uopo che è risultata la sismica a rifrazione. Quindi, complessivamente sono stati effettuati:

- *n.3 stendimenti di sismica a rifrazione di superficie con onde P ed Sh con elaborazione in tecnica tomografica, riportati in planimetria con tracce di colore rosso, denominati L1, L2 e L3.*
- *n 1 profilo di tomografia elettrica, con distanza elettroica di 5 m, riportato in planimetria con un traccia di colore blu, denominato L1.*

In particolare le caratteristiche dei diversi profili studiati possono essere così riassunte:

n° profilo	Lunghezza	Distanza intergeofonica (m)	Tipologia di acquisizione	Data
1	120	5	Onde P e Sh	15/12/15
2	300	5	Onde P e Sh	15/12/15
3	120	5	Onde P e Sh	15/12/15

Tabella 1a – ubicazione e lunghezza profili di sismica a rifrazione

n° profilo	Lunghezza	Distanza intergeofonica (m)	Tipologia di acquisizione	Data
1	235	5	Wenner-Schlumberger	15/12/15

Tabella 1b – ubicazione e lunghezza profili ERT

Per ciò che concerne le specifiche circa le modalità di acquisizione, le tecniche di elaborazione e l'interpretazione di dettaglio dei risultati ottenuti delle due diverse tipologie di indagini (sismica a rifrazione e tomografia elettrica) si rimanda a quanto riportato nel rapporto di prova redatto dalla ditta esecutrice (Ge.CO srl) allegato in appendice, di seguito vengono invece riportate la sintesi delle conclusioni dei risultati ottenuti.

9.2 Sismica a rifrazione

Nelle tavole 2A-2B-2C (sezioni sismostratigrafiche interpretative) è stato evidenziato l'andamento, lo spessore e la velocità sismica media calcolata per ogni intervallo rilevato, e segnalato il principale rifrattore individuato, evidenziato nelle tavole, con una linea tratteggiata viola che indica presumibilmente il passaggio tra i materiali antropici (rifiuti) con il sottostante bedrock. Quest'ultimo infine, data la loro bassa velocità di propagazione, sia delle onde simiche P e sia delle Onde sismiche Sh, sembra presentare un elevato grado di alterazione e/o fratturazione, determinato in maniera qualitativa in virtù delle velocità sismiche calcolate. I materiali investigati sono stati suddivisi in 2 principali sismostrati, che possono essere così riassunti (a partire dalla superficie):

1) il primo intervallo, caratterizzato da velocità medie delle onde P variabili tra 250 e 400 m/sec e velocità delle onde SH di 130-170 m/sec, presenta uno spessore variabile tra un minimo di qualche metro ad un massimo di oltre 40 m riscontrato nel profilo 2. All'interno del suddetto sismostrato è possibile osservare un aumento delle velocità delle onde nella porzione inferiore del deposito che è da imputare verosimilmente ad maggiore grado di consistenza dei rifiuti più antichi abbancati posti alla base a seguito del maggiore carico litostatico e ai processi di mineralizzazione verificatisi e/o ancora in atto. Aumento di velocità visibile cromaticamente sulle sezioni sismiche in quanto si passa da una colorazione azzurra (porzione superiore) ad una verde (porzione inferiore). Tale orizzonte è costituito, oltre che da riporto sommitale, prevalentemente da rifiuti solidi urbani.

2) il secondo sismostrato, è caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione di 600-700 m/sec e velocità delle onde di taglio intorno ai 260-320 m/sec. La litologica risulta ascrivibile alla presenza di un substrato prevalentemente argilloso marnoso con un grado di alterazione e/o fratturazione decisamente alto nella porzione sommitale di tale orizzonte. In particolare nelle sezioni simiche dei profili principalmente delle onde P è

possibile notare un andamento sinuoso del limite superiore del sismostrato che rappresenta verosimilmente la forma geometrica delle diverse vasche di abbancamento presenti.

Mediante i valori di velocità (minimo e massimo) dei sismostrati, sopra individuati, è stato possibile determinare il campo di variabilità dei moduli elastici dinamici, riportati nella tabella seguente:

MODULI ELASTICI DINAMICI							
Intervall o n°	V _p (m/s)	V _s (m/s)	γ (kg/cm ³)	E (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)	V	V _p /V _s
1	250	130	1850	822	32	0.3147 7	1.9231
1	400	180	1850	1646	61	0.3730	2.222
2	600	260	1850	3650	134	0.3844	2.307
2	700	320	1850	5463	204	0.3679	2.187

Dalla interpretazione delle sezioni sismostratigrafiche è stato possibile calcolare il parametro Vs30, (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio, parametro necessario per la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto), sul punto in cui il terreno ha lo spessore maggiore di litologie coesive, considerate più scadenti in termini di velocità sismiche:

Sezione 1 (al geofono 15)- . Vs30 = **124 Cat.D (Categoria NTC)**

Sezione 2 (al geofono 39)- . Vs30 = **153 Cat.D (Categoria NTC)**

Sezione 3 (al geofono 12)- . Vs30 = **190 Cat.C (Categoria NTC)**

La velocità delle onde “VS30” è indicativa ed è stata calcolata dall'attuale piano campagna.

9.3 Tomografia elettrica (ERT)

Nella TAV. 1 si riporta la planimetria dell'area con l'ubicazione delle indagini, mentre, nella TAV. 2d vengono riportati i risultati della sezione di tomografia elettrica. L'area in esame è caratterizzata nella porzione più superficiale caratterizzata da una resistività molto bassa, con valori medi di ca. 1-2 Ohm*m attribuibili ai rifiuti solidi urbani evidenziati con una colorazione blu/celeste.

Al di sotto dei rifiuti e lateralmente alla sezione le resistività tendono ad aumentare attestandosi a valori medi di circa 5/10 Ohm*m evidenti in sezione con la colorazione verde. Tali valori sono attribuiti ai terreni prettamente argilloso limosi o comunque coesivi propri dei terreni autoctoni. Questi ultimi delimitano la vasca di raccolta dei rifiuti e segnalata, in TAV.2d con un tratteggio di colore viola. L'ubicazione, la documentazione fotografica ed i risultati ottenuti delle indagini sono riportati nella relazione e nelle tavole allegate, redatte dalla ditta esecutrice.

9.4 Risultanze indagine HVSR

Al di sopra del corpo di discarica esistente, in data 18 Gennaio e 04 Febbraio 2016, è stata realizzata un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.10 registrazioni a stazione singola, denominate Tr1, Tr2, Tr3, Tr4, Tr5, Tr6, Tr7, Tr8, Tr9 e Tr10 e ubicate sul terreno di sedime come da Planimetria di Tav3, allegata in appendice. Tutte le acquisizioni, ad eccezione della Tr6, hanno generato delle curve dei rapporti spettrali H/V scadenti e di difficile interpretazione che sono risultare inutilizzabili.

Nella progettazione strutturale delle opere dovranno essere tenute in considerazione le informazioni acquisite con l'indagine sismica circa la frequenza di risonanza del sito. Infatti nel caso specifico, trascurando le frequenze superiori a 10 Hz da considerarsi ingegneristicamente non significative, in base ai risultati della prova sismica passiva Tr6 è stata individuata una **frequenza caratteristica di risonanza del sottosuolo compresa tra 1.0 e 2.0 Hz**, a significare che il sito in questione amplifica le onde di superficie (*ed in misura leggermente diversa quelle S*) a quella frequenza rispetto all'imput su bedrock di riferimento.

9.5 Caratterizzazione sismica del sito

(*Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 17/01/2018)

Coordinate <i>WGS84</i> lotto: Latitudine 43.118914°N, Longitudine 13.679747°E

Nel caso specifico, quindi, per l'area dell'impianto è stato determinato, attraverso l'esecuzione dell'indagine geofisica mediante la tecnica della sismica a rifrazione, un valore di **V_{s,eq}** compreso tra **124 m/sec e 190 m/sec**, pertanto considerando cautelativamente il valore di velocità minore, il "suolo" di fondazione in oggetto può essere assimilato, facendo riferimento alla normativa vigente (DM 17/01/18) ed assimilando il complesso terreno-rifiuti

ad un suolo, si ottiene una **categoria “D”**, depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 mt., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

Condizioni topografiche Categoria T1, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche), (vedi considerazioni prf 1.2.).

Per la valutazione delle **azioni sismiche di progetto**, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si deve valutare la **“pericolosità sismica di base”** del sito di costruzione. Secondo il D.M. 17/01/2018, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Considerando la Posizione del sito: Latitudine 43.118914°N e Longitudine 13.679747°E, considerando in maniera estremamente cautelativa una **Classe d’uso IV** (Funzioni pubbliche o strategiche importanti..) e una **Vita nominale 2*** per opere ordinarie (50 anni), e quindi con un periodo di riferimento $V_R \geq 50$ anni, si ottiene:

	SLO (periodo di ritorno =60 anni)	SLD (periodo di ritorno =101 anni)	SLV (periodo di ritorno =949 anni)	SLC (periodo di ritorno =1950anni)
a_g	0.072	0.091	0.235	0.302
F_o	2.433	2.441	2.466	2.480
T_c^*	0.298	0.310	0.335	0.345

SLO = Stato Limite di Operatività

SLD = Stato Limite di Danno

SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso

Coefficienti sismici

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0.026	0.033	0.101	0.108
Kv	0.013	0.016	0.050	0.054
Amax	1.269	1.615	3.521	3.787
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

Kh = *coefficiente sismico orizzontale*

Kv = *coefficiente sismico verticale*

Amax = *accelerazione massima orizz. attesa al suolo*

Beta = *coeff. riduzione per a. max*

10 IPOTESI PROGETTUALE

Attualmente per l'impianto di stoccaggio di *San Biagio* è emersa la necessità impellente di reperire nuove volumetrie utili per l'abbancamento di rifiuti. A tal fine è stata valutata la fattibilità di un intervento di ampliamento volumetrico attraverso un sormonto parziale ovvero una sopraelevazione di una porzione del corpo di discarica esistente. Partendo da tale ipotesi e tenendo conto dell'attuale conformazione del corpo di discarica esistente, il progetto in esame prevede un sormonto principalmente di una porzione della vasca B e solo marginalmente di parte della vasca C, mentre viene esclusa la porzione di impianto più occidentale (porzione di vasca B) che si estende dalla quota 155 mt (zona di monte) sino alla quota 105 (zona di valle) data l'elevata acclività dell'area caratterizzata da una pendenza media importante del 20% circa, con tratti che raggiungono livellette prossime al 30%, così come viene esclusa l'intera area in cui è ubicata la vasca A più antica in quanto non conforme al DL 36/2003 perché priva di barriera di fondo.

10.1 Intervento ipotizzato

Per la costruzione topografica finalizzata alla definizione della geometria del sormonto ipotizzato con i relativi calcoli dei volumi dei rifiuti abbancabili, ci si è avvalsi del rilievo topografico eseguito con tecnica satellitare dal Geom. Antognozzi che ha redatto anche le sezioni topografiche ragguagliate e la planimetria a curve di livello dello stato modificato, mentre per quanto concerne i profili dello stato autorizzato si è fatto riferimento agli elaborati approvati presentati nel corso degli interventi pregressi. Infine la ricostruzione dell'andamento sotterraneo delle vasche di abbancamento esistenti è avvenuta per mezzo dei dati riportati nei diversi progetti redatti nel corso degli anni in occasioni dei vari ampliamenti della discarica stessa e delle informazioni scaturite dall'indagine sismica effettuata. Nel dettaglio l'intervento di ampliamento proposto è rappresentato da un "sormonto" che interessa la porzione centro settentrionale dell'attuale corpo di discarica per una superficie complessiva di circa 70.00 mq (*vedi planimetria intervento in allegato*), che prevede, rispetto al piano di progetto approvato, un aumento di quote di abbancamento, rispetto a quelle ad oggi approvate, differenti, massimo nella porzione centrale, dell'ordine di 7.0-8.0 mt, quote che si riducono progressivamente sia verso Ovest (altezza minima 2.5 mt) che verso Est (zona prossima alla vasca A) sino ad annullarsi (*vedi sezione T11*), per un volume totale netto di rifiuti da abbancare, rispetto ai progetti approvati e al recente progetto di sormonto di 23.300 mc in fase di approvazione, di ulteriori 240.500 mc.

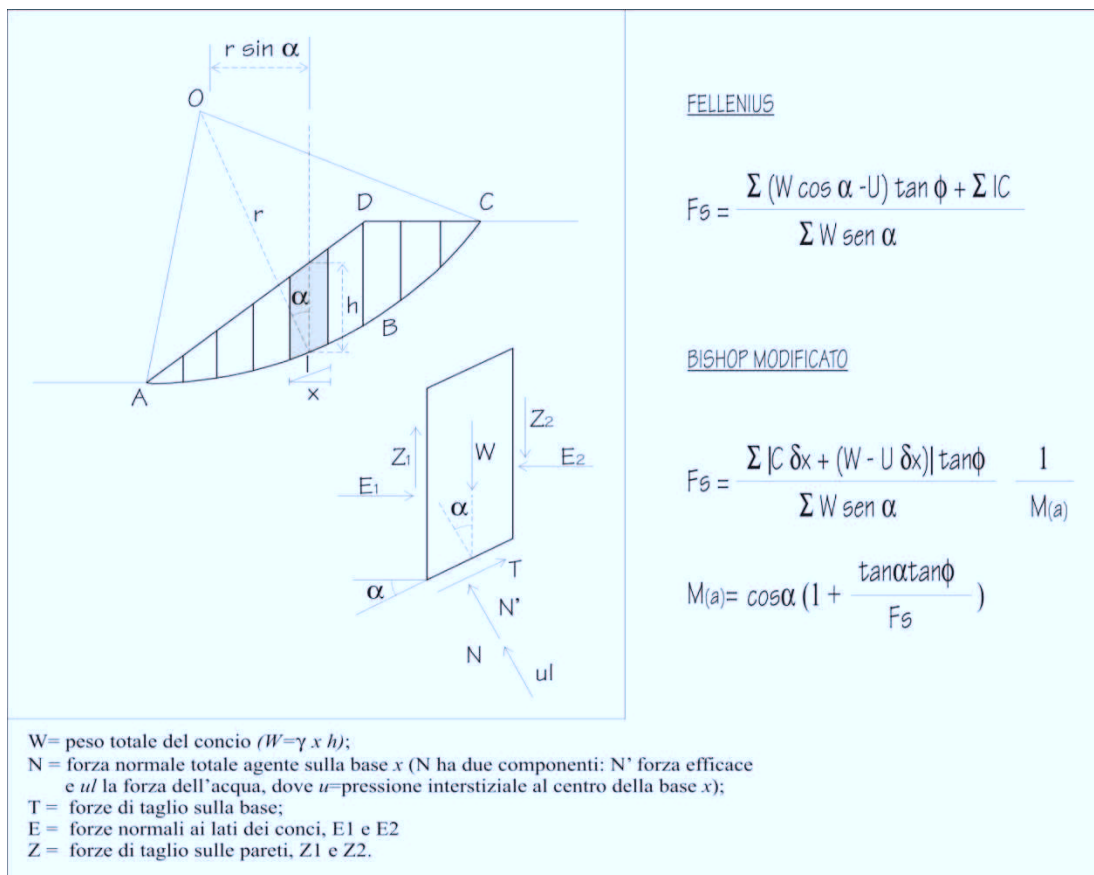
Al fine di assicurare un adeguato grado di stabilità gravitativa dei nuovi volumi di rifiuti di progetto, l'intervento prevede anche la realizzazione, nella zona di valle, di un'opera di contenimento al piede sufficientemente ancorata attraverso dei pali trivellati intestati all'interno del corpo di discarica esistente. L'opera in elevazione invece verrà realizzata per mezzo di un continuo sistema di gabbioni in pietrame avente la funzione di argine, al fine di assicurare un piede di appoggio gravitativo bel saldo al sormonto di progetto, soprattutto considerando che subito a valle dello stesso, il profilo topografico del corpo di discarica declina in maniera più marcata con delle pendenze apprezzabili che superano localmente anche il 20 % di inclinazione.

10.2 Fattibilità tecnica

Al fine di effettuare una valutazione circa la stabilità del corpo di discarica dopo l'abbancamento di un nuovo spessore di rifiuti, costituito nello specifico dal sormonto in progetto, sono state realizzate sia delle verifiche di stabilità dell'insieme terreno di *fondazione-discardica* con particolare riferimento alla stabilità dei pendii ai sensi delle recenti NTC del 2018. Inoltre sono stati eseguiti dei calcoli di cedimento, finalizzati alla valutazione di massima della capacità e tollerabilità deformativa dei rifiuti indotta dalla sopraelevazione in progetto.

Analisi di stabilità gravitativa

Le analisi relative alla stabilità dell'area in esame sono state effettuate lungo il profilo longitudinale ritenuto più significativo (sezione L5), secondo le direzioni di massima pendenza rappresentate nella Planimetria in allegato. Si sono eseguiti, su ogni sezione, vari calcoli su diverse superfici (vedi calcoli di stabilità allegati in appendice), mentre sono state evidenziate le superfici col minimo fattore di stabilità "Fs". La determinazione del fattore di stabilità "Fs" è stata effettuata applicando il metodo delle strisce di Fellenius e Bishop modificato, secondo i quali:



Nella formula di Bishop l'espressione risolutiva contiene "Fs" in entrambi i membri. Il fattore di sicurezza deve pertanto essere calcolato con un procedimento di interazione. Oltre al valore di "Fs" così calcolato, si è ritenuto opportuno tenere conto, come indicato dalla vigente normativa per le zone sismiche (D.M 14 Gennaio 2008 "*Norme tecniche per le costruzioni*"), del possibile grado di sismicità dell'area. Quindi si sono effettuate delle verifiche di stabilità sismica secondo il metodo pseudostatico, in cui la condizione di stato limite ultimo viene riferita al cinematismo di collasso critico (SLC). Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di "terreno" potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Quindi le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come segue:

$$F_h = k_h W$$

$$F_v = k_v W$$

k_h = coefficiente sismico orizzontale;

k_v = coefficiente sismico verticale.

$$k_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione massima orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravitativa.

Tabella 7.11.I - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S a_g = S_S S_T a_g$$

dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T);

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Tabella 3.2.V - Espressioni di S_S e C_C (amplificazione stratigrafica)

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 * F_o * a_g/g \leq 1.20$	$1.10 * (T^*_C)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 * F_o * a_g/g \leq 1.50$	$1.05 * (T^*_C)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 * F_o * a_g/g \leq 1.80$	$1.25 * (T^*_C)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 * F_o * a_g/g \leq 1.60$	$1.15 * (T^*_C)^{-0.40}$

Tabella 3.2.VI - Valori Massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	in corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	in corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	in corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Le verifiche di stabilità sono state effettuate introducendo nel calcolo diverse variabili, in funzione dei parametri geotecnici adottati e delle sollecitazioni esterne. In particolare le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando secondo quanto previsto dalle NTC del 2018

Approccio 1 e Combinazione 2 (A2+M2+R2)

quindi nell'analisi di stabilità così effettuata:

- vengono incrementate le **azioni sfavorevoli (A)**
- ridotti i **parametri geotecnici e meccanici dei rifiuti (M)**
- ridotte le **resistenze (R)**

con **$R_2 = 1.1$** e **$R_d/E_d = 1.1$**

E_d = valore di progetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

Le verifiche in condizioni dinamiche sono state effettuate sulla base dei risultati della caratterizzazione sismica del sito sopra riportati utilizzando i coefficienti sismici degli stati limite di collasso (ipotesi più cautelativa) ovvero $K_h = 0.10$ e $K_v = 0.50$, categoria topografica T1 a cui corrisponde un coefficiente $S_T = 1.0$ e classe di sottosuolo D.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate introducendo nei calcoli diverse variabili in particolare la morfologia ed il livello di percolato, in funzione dei

parametri geotecnici adottati e delle sollecitazioni esterne. Nel dettaglio lungo la sezione longitudinale L5 è stata condotta una prima verifica di stabilità globale lungo termine in condizioni statiche allo stato attuale (situazione ante-operam) con un livello di percolato probabile ipotizzato sulla base delle informazioni raccolte.

Una seconda verifica di stabilità locale lungo termine in condizioni dinamiche della porzione di valle del sormonto in progetto (situazione post-operam), senza l'ipotesi di un'opera di sostegno, considerando anche lo spessore di copertura (capping) della discarica.

Una terza verifica di stabilità globale in condizioni statiche condotta considerando il sormonto in progetto (situazione post-operam) con l'opera di sostegno ai piedi ed una terza verifica di stabilità sempre a lungo termine nella situazione post-operam, ma in condizioni dinamiche (verifica sismica).

Infine è stata elaborata una quarta verifica di stabilità post-operam in condizioni dinamiche, sempre lungo il profilo longitudinale (sezione L5), nell'ipotesi dell'abbattimento medio del livello di percolato di 3.0 mt sull'intero corpo di discarica. Alla luce dei risultati delle numerose prove in sito e in laboratorio effettuate sui terreni esistenti, per i litotipi del substrato marino presenti nel sottosuolo (formazione marina), sono stati adottati nei calcoli di stabilità dei parametri geotecnici di tutta sicurezza.

Per quanto concerne la parametrizzazione dei rifiuti invece, si è tenuto conto sia dei risultati derivanti dalle prove in sito direttamente effettuate dallo scrivente, sia dei parametri e delle considerazioni contenute nei numerosi studi redatti dai diversi autori riportati in sintesi nel capitolo 8. Così come viene proposto da più autori, nelle verifiche, i rifiuti sono stati suddivisi in due classi ovvero in "*rifiuti recenti*" e "*rifiuti antichi*", i primi aventi caratteristiche geotecniche meno qualitative rappresentanti i rifiuti presenti nel corpo di discarica nei primi 8.0 mt di profondità, i secondi quelli ubicati ad una profondità maggiore di 8.0 mt aventi qualità geomeccaniche migliori. Ciò al fine di tener conto dell'età dei rifiuti e quindi del loro diverso stato di consolidazione, di ritiro e mineralizzazione (decomposizione del materiale organico) e di compattazione (sovraccarico). Per ultimo per la copertura finale sono stati utilizzati parametri geomeccanici plausibili da bibliografia associabili a sedimenti sabbiosi opportunamente costipati. I parametri utilizzati, per una più facile lettura sono stati schematicamente riportati nella sottostante tabella:

Litotipo	"C" (Kg/cmq) <i>Coesione drenata</i>	" ϕ " (gradi) <i>Angolo di attrito</i>	" γ " (g/cm ³) <i>Peso/volume</i>
Copertura	0	20°	1.8
Rifiuti recenti	0.14	23°	0.8
Rifiuti antichi	0.22	30°	1.0
Formazione marina	0.3	26°	1.9

Le verifiche condotte lungo la sezione longitudinale L5 possono essere così come di seguito sintetizzate:

- 1) Situazione di **stabilità globale** a lungo termine in **condizioni statiche** del **profilo attuale** con superfici passanti all'interno dei rifiuti, (Sup. 1 -vedi sezione di stabilità in allegato) ipotizzando un livello del percolato probabile all'interno dell'ammasso di rifiuti definito sulla base delle informazioni raccolte e dai dati provenienti dal sistema di raccolta del percolato esistente.
- 2) Situazione di **stabilità locale** a lungo termine in **condizioni dinamiche** con superfici passanti all'interno dei rifiuti e capping considerando **l'ipotesi di sormonto prevista dal progetto** del corpo di discarica, **senza opera di sostegno al piede**, ipotizzando un livello del percolato probabile all'interno dell'ammasso di rifiuti ipotizzato sulla base delle informazioni raccolte e dai dati provenienti dal sistema di raccolta del percolato esistente.
- 3) Situazione di stabilità globale a lungo termine in **condizioni statiche** con superfici passanti all'interno dei rifiuti considerando **l'ipotesi di sormonto prevista dal progetto** del corpo di discarica, **con l'opera di sostegno al piede**, assumendo nei calcoli lo stesso livello di percolato precedentemente considerato.
- 4) Situazione di stabilità a lungo termine in **condizioni dinamiche** con superfici passanti all'interno dei rifiuti considerando **l'ipotesi di sormonto prevista dal progetto** del corpo di discarica, **con l'opera di sostegno al piede**, assumendo nei calcoli lo stesso livello di percolato precedentemente considerato, ma introducendo le sollecitazioni sismiche.
- 5) Situazione di stabilità a lungo termine in **condizioni dinamiche** con superfici passanti all'interno dei rifiuti considerando **l'ipotesi di sormonto prevista dal progetto** del corpo di discarica, **con l'opera di sostegno al piede**, ipotizzando un abbattimento medio di circa 3.0 mt del livello di percolato all'interno del corpo di discarica.

I risultati numerici delle ipotetiche superfici di scivolamento con minimo fattore di stabilità "Fs", possono essere così riassunte:

SEZIONE L5

profilo attuale (situazione ante-operam)

SUP 1	stabilità lungo termine condizioni statiche	Fs = 2.739
-------	---	------------

Sormonto di progetto (situazione post-operam)- Verifica locale

SUP 2	stabilità lungo termine condizioni dinamiche (senza argine)	Fs = 1.110
--------------	--	-------------------

Sormonto di progetto (situazione post-operam)

SUP 1'	stabilità lungo termine condizioni statiche	Fs = 2.575
--------	---	------------

Sormonto di progetto (situazione post-operam)

SUP 1"	stabilità lungo termine condizioni dinamiche	Fs = 1.369
--------	--	------------

Sormonto di progetto (situazione post-operam)

SUP 1"	stabilità lungo termine cond. dinamiche e abbattimento percolato	Fs = 1.438
--------	--	------------

Da quanto emerso nei calcoli si evince come localmente in condizioni sismiche, nell'ipotesi del sormonto di progetto ed in assenza di un opera di sostegno al piede, scaturisce un coefficiente di sicurezza poco superiore a 1 (Fs=1.110) e quindi condizioni di stabilità che non possono essere considerate di sicurezza. Viceversa le verifiche di stabilità effettuate per il dimensionamento dell'opera di sostegno eseguite dall'ing. Santandrea, a cui si rimanda per le specifiche tecniche, attestano come la realizzazione della stessa determina il raggiungimento di sufficienti condizioni di stabilità.

Dall'analisi dei risultati dei calcoli di stabilità globale effettuati, invece, si evince come sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche, emergono per il corpo di discarica delle condizioni di sostanziale stabilità anche nell'ipotesi di un "ricarico" ovvero di un incremento di carico indotto dall'abbancamento di nuovi rifiuti previsto nelle geometrie del sormonto in progetto. In particolare, in condizioni statiche allo stato attuale (situazione ante-operam) emerge un fattore di sicurezza medio-elevato (Fs=2.74), fattore di sicurezza che sempre in condizioni statiche si riduce solo lievemente nell'ipotesi di un potenziale "ricarico" (situazione ante-operam) in quanto emerge un fattore di sicurezza (Fs) pari a 2.57. Nello stato post-operam sussistono condizioni di sostanziale stabilità anche in condizioni sismiche (Fs>1.0) in quanto emerge un coefficiente di stabilità pari a 1.36.

L'ultima verifica (verifica n.5), sempre nella situazione di post-operam, è stata condotta con lo scopo di valutare il ruolo del livello di percolato e quindi delle pressioni interstiziali sulla stabilità d'insieme del corpo di discarica stesso,

valore che a titolo di esempio passa da 1.36 a 1.43, nell'ipotesi di un abbattimento del livello di percolato di circa 3.0 mt con un incremento quindi delle condizioni di stabilità d'insieme della discarica e viceversa analogo discorso può essere condotto nel caso di un innalzamento del livello di percolato all'interno del corpo di discarica, magari connesso ad un mal funzionamento del sistema di drenaggio a gravità attualmente in esercizio.

Valutazione dei cedimenti

Al fine di effettuare una valutazione di massima della capacità deformativa dei rifiuti attualmente abbancati sono stati utilizzati i risultati emersi dalla interpretazione delle n° 6 prove penetrometriche realizzate in situ, di cui n°1 statica e n°5 dinamiche effettuate con penetrometro "Pagani 63-100" ed ubicate secondo le planimetrie allegate in appendice. I risultati ottenuti, funzionale al calcolo dei cedimenti, ovvero i moduli di deformabilità (E) emersi nel corso delle prove in situ vengono di seguito riassunti:

Tabella valori dei moduli di deformabilità (E)

		Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh 5	Cpt1
E	(kg/cmq)	88-430	42 >300	56-130	51-121	57-173	68-287

Dai risultati ottenuti emergono dei moduli di deformabilità complessivamente discreti compresi tra un valore minimo di 42 kg/cmq in occasione della prova Dpsh2 e un valore massimo > 300 kg/cmq sempre in occasione della prova Dpsh2. Dal raffronto con le prove effettuate è possibile notare altresì un certa omogeneità e pressoché assenza di orizzonti particolarmente compressibili e/o addirittura vuoti, a testimonianza di una buona compattazione generale dei rifiuti esistenti. Il "rifiuto" strumentale (numero di colpi > di 50) raggiunto in occasione delle prove Dpsh2 e Dpsh5 attesta infine l'esistenza all'interno del corpo di discarica di elementi medio-grossolani e/o trovanti sparsi.

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito in corrispondenza dei 6 logs di sondaggio effettuati (Dpsh1, Dpsh2, Dpsh3, Dpsh4, Dpsh5, Cpt1) all'interno del corpo di discarica, applicando la formula del consolidamento monodirezionale, considerando come carico il peso unitario indotto da un ipotetico ulteriore spessore medio di rifiuti di 6 mt ubicati al di sopra dell'attuale impianto, considerando per i rifiuti un peso volume (γ) di 10 kN/mc, si ottiene:

$$\delta H = h \cdot \delta P \cdot I_w \cdot 1/E$$

dove:

δH = cedimento calcolato in cm.;

h = spessore dello strato compressibile considerato;

δP = incremento di pressione sul piano campagna

I_w = coefficiente di influenza registrato a metà dello strato considerato;

E = modulo edometrico o di elasticità dei rifiuti.

Tabella valori dei cedimenti assoluti in cm in corrispondenza delle verticali indagate, ipotizzando un abbancamento incrementale di rifiuti dello spessore di 6.0 mt.

Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Cpt1
6.40	7.46	10.48	7.00	7.43	5.29

Dai calcoli emergono, nel caso di un sormonto dell'altezza media di 6.0 mt., dei cedimenti assoluti piuttosto contenuti, considerando la capacità elastica del sistema, compresi tra 5.29 e 10.48 cm che possono essere considerati perfettamente accettabili, vista l'elevata tollerabilità elastica generale dei rifiuti RSU (*vedi considerazioni cap. 8 circa il comportamento assimilabile a dei rilevati di terre armate ecc.....*). Inoltre si può notare come siano stati ottenuti dei valori di cedimento assolutamente confrontabili nei vari punti di indagine, a testimonianza della buona omogeneità dell'ammasso di rifiuti abbancati e del buon grado di compattazione generale degli stessi.

Nell'esempio di calcolo è stato ipotizzato, a titolo di esempio, un sormonto costante di 6.0 mt di altezza, che peraltro non si verificherà nella specifica area dei sedime di esecuzione delle prove in situ (area terminale di valle del sormonto ipotizzato), dove invece è prevista una sopraelevazione di circa 2.5 mt. di altezza. Comunque volendo estendere la valutazione dei cedimenti all'intera area di intervento, in maniera magari non propriamente ortodossa, ma sicuramente indicativa, si possono utilizzare i valori di cedimento unitario calcolati, nel range minimo e massimo ottenuto (0.9-1.8 cm/mt) e moltiplicarlo per le altezze di abbancamento incrementali previste nei vari punti della superficie di discarica interessata dall'aumento volumetrico. In questo caso, considerando una altezza massima di sopraelevazione di 8.0 mt, si otterrebbe un cedimento massimo ipotizzabile compreso tra 7 e 14 cm., valori anche questi assolutamente compatibili con le proprietà deformative dell'ammasso di rifiuti, che non comporterebbe, inoltre, rischi di

contropendenza varie sul corpo della discarica e quindi scongiurando mal funzionamenti dei sistemi di drenaggio pluviale e scolo presenti sul corpo della discarica stessa.

Ovviamente quelli determinati con il calcolo sono i valori dei cedimenti assoluti derivanti dai carichi indotti dai nuovi rifiuti previsti dalla sopraelevazione, ai quali si dovranno aggiungere i cedimenti ad altri interdipendenti fattori (*Edil et ali, 1990*) che includono, l'indice dei vuoti iniziale dei rifiuti, il contenuto di materiale degradabile, l'altezza del riempimento, il livello di percolato, compattazione, ecc. Sotto il peso proprio il cedimento tipicamente varia tra 5% ed il 30% dello spessore originario del materiale, così come precedentemente riportato nel capitolo 8.

11 CONCLUSIONI

In considerazione di quanto suesposto, **si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica del progetto di ampliamento della discarica esistente,** in quanto dallo studio è emerso che:

- morfologicamente l'area in oggetto di studio ricade lungo il versante di destra idrografica del Fiume Ete Vivo, il cui alveo dista circa 1400 metri dalla porzione inferiore del corpo di discarica esistente. Il versante su cui è ubicato l'impianto in esame, che si estende su di una superficie compresa tra le quote topografiche 175 e 100 mt. sopra il livello medio del mare, rappresenta il fianco settentrionale di una struttura collinare con asse di allungamento disposto secondo la direzione NNE-SSW. In particolare il sito in parola, dal punto di vista clivometrico, risulta posto in corrispondenza di una zona di impluvio (*testata del fosso Catalini*) compreso tra due aree di versante particolarmente acclivi, una ubicata a Nord caratterizzata da una pendenza media di 13-14°, ed una ubicata a Sud contraddistinta da una vergenza media addirittura maggiore (15-16°). Per quanto riguarda l'area di discarica, l'attuale morfologia della stessa deriva dalla diverse fasi di intervento che si sono succedute nel tempo, morfologia che risulta, almeno per ciò che riguarda la porzione Sud-Orientale dell'impianto, tuttora in continua evoluzione conseguente alle attività di abbancamenti in atto;

- lungo i versanti che circondano l'impianto in esame non si rinvennero forme morfologiche evidenti riconducibili a fenomeni gravitativi, in quanto gli stessi digradano in maniera piuttosto regolare senza ondulazioni e/o avvallamenti particolari. Per ciò che riguarda sempre la stabilità gravitativa dell'area, si può affermare che non si sono riscontrate lesioni da ascrivere all'azione della gravità, nè sugli edifici e/o sui manufatti antropici esistenti all'interno dell'impianto, nè sui fabbricati presenti nell'intorno dell'area. A conferma di quanto scritto, circa l'assenza di movimenti gravitativi in atto nell'area, si può far riferimento al *Piano per l'assetto idrogeologico* (PAI) della regione Marche, che individua le aree a maggior rischio idrogeologico relative ai bacini idrografici regionali, in cui si evince, come l'impianto in esame e le zone circostanti lo stesso non risultano attualmente comprese tra le aree a rischio di frana e/o alluvionamento, se si eccettua una limitata area cartografata con grado di rischio di frana moderato AVD_R1, così come un grado di pericolosità moderato AVD_P1, che interessa l'estrema area meridionale dell'impianto ormai completamente antropizzata ed asportata con la realizzazione della vasca C (vedi stralcio Tavola PAI allegato), che

comunque non coinvolge l'area di discarica oggetto di sormonto.

- l'intera area di discarica geologicamente ricade in una zona particolarmente favorevole in quanto le indagini in sito realizzate unitamente ai dati esistenti derivanti dai numerosi studi pregressi hanno evidenziato la presenza di un limitato spessore di sedimenti appartenenti alla locale coltre di copertura esclusivamente nell'area perimetrale le vasche esistenti, coltre che invece, dai dati reperiti, risulta completamente assente al di sotto delle vasche in quanto asportata nel corso della realizzazione delle stesse. Alla base dei terreni di genesi detritico-colluviale suddetti è posto un sub-strato marino *Plio-pleistocenico* costituito superficialmente da argille sovraconsolidate leggermente marnose di colore avana-nocciola stratificate a rari livelli sabbiosi, che possono **essere ritenute praticamente impermeabili** in quanto caratterizzate da valori di conducibilità idraulica compresi tra 4.71×10^{-8} m/sec (formazione alterata) fino a 1.9×10^{-10} m/sec (substrato integro). Alla luce della natura dei sedimenti della formazione marina presenti, la permeabilità complessiva degli stessi risulta essere prevalentemente di tipo secondario in quando indotta dalla fessurazione delle argille, a cui si somma localmente una permeabilità primaria legata all'esistenza dei livelli sabbiosi.

- al di sotto di tutte le vasche che costituiscono la discarica i terreni caratterizzati da una conducibilità idraulica leggermente superiore (argilla stratificata a sabbia alterata) risultano assenti in quanto completamente asportati a seguito degli sbancamenti effettuati per la realizzazione delle vasche stesse (*vedi sezioni geologiche e di permeabilità*). Il substrato integro posto sul fondo di tutte le vasche di discarica, alla luce dei valori ottenuti, presenta complessivamente dei requisiti di permeabilità e spessore che possono essere considerati compatibili con quelli previsti dalla legge di riferimento (*D.L. 36/2003 All. 1 cap. 2.4.2*). L'impermeabilizzazione delle pareti delle vasche più recenti, inoltre (vasche B e C), come si evince dai progetti, risulta garantita dalla presenza di geomembrane (HDPE) ubicate al di sopra di strati di argilla compattata a strati dello spessore di un metro nella zona di base, e di 30 cm lungo i fianchi più acclivi.

- il progetto di ampliamento in esame prevede il sormonto di una porzione del corpo di discarica esistente che interessa parte della vasca abbancamento B esistente e solo marginalmente la vasca C, per un volume di rifiuti da abbancare piuttosto contenuto, dell'ordine di 240.500 mc se si considera soprattutto che il volume di rifiuti totale attualmente autorizzato e di fatto ormai raggiunto sull'intero impianto è di 2.455.000 mc.

- i risultati della verifica di stabilità locale in condizioni sismiche (verifica n.2) hanno dimostrato la necessità della realizzazione di un'opera di sostegno al piede del sormonto in quanto senza la stessa emerge un coefficiente di sicurezza poco superiore a 1 ($F_s=1.110$) e quindi condizioni di stabilità che non possono essere considerate di sicurezza. I calcoli di stabilità gravitativa globale effettuati confermano invece sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche, la sostanziale stabilità dell'intero corpo di discarica anche nell'ipotesi di un "ricarico" ovvero di un incremento di carico indotto dal potenziale abbancamento di nuovi rifiuti previsto nelle geometrie del sormonto in progetto. In particolare, in condizioni statiche allo stato attuale (situazione ante-operam) emerge un fattore di sicurezza medio-elevato ($F_s=2.74$), fattore di sicurezza che sempre in condizioni statiche si riduce solo lievemente nell'ipotesi del "ricarico" di progetto (situazione ante-operam) in quanto scaturisce un fattore di sicurezza (F_s) pari a 2.57. Nello stato post-operam sussistono condizioni di sostanziale stabilità anche in condizioni sismiche ($F_s>1.0$) in quanto emerge un coefficiente di stabilità pari a 1.36. Infine l'ultima verifica (5° verifica), sempre in situazione di post-operam, ha evidenziato l'importante ruolo del livello di percolato e quindi delle pressioni interstiziali sulla stabilità d'insieme del corpo di discarica stesso. Infatti, nell'ipotesi di un abbattimento del livello di percolato di circa 3.0 mt indotto magari da un implemento della rete di pozzi di raccolta esistente, si registra un incremento del coefficiente di sicurezza che passa da un valore di 1.36 a 1.43, e quindi con un aumento sostanziale delle condizioni di stabilità d'insieme dell'impianto. **E' da considerare quindi che l'opera di rinforzo prevista a valle degli abbancamenti di progetto, andrà ampiamente a compensare il decremento del fattore di stabilità gravitativo generato dal sormonto, ed anzi la struttura di sostegno, migliorerà sensibilmente, in fase di post operam il grado di stabilità complessivo della discarica.**

- la fattibilità tecnica del progetto proposto valutata con i calcoli di stabilità gravitativa suddetti viene confermata dalle risultanze dei calcoli dei cedimenti che hanno mostrato che a fronte di un incremento di carico indotto da uno spessore medio di rifiuti di 6 mt, i cedimenti attesi risultano tutti di bassa entità soprattutto in rapporto alla capacità elastica del sistema. Inoltre i valori di cedimento determinati risultano essere, di una entità assolutamente comparabile, raffrontata nei vari punti di calcolo, a testimonianza di una buona omogeneità di compattazione dei rifiuti presenti.

-E' da considerare, per ultimo, come anche dal punto di vista visivo e

paesaggistico, l'intervento di sistemazione suddetto si inserisce perfettamente all'interno del contesto morfologico dell'area, in quanto vista la conformazione generale dell'intero impianto, il progetto di sormonto proposto determinerà una regolarizzazione morfologica dell'area interessata a seguito di una diminuzione delle pendenze previste a fine coltivazione, come risulta ben visibile dalla planimetria della sistemazione finale in allegato (vedi raffronto curve di livello stato attuale-stato modificato).

Porto Sant'Elpidio, Aprile 2018

il tecnico incaricato

Dr. Massimo Basili

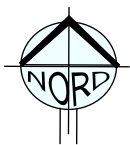
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE
geologo specialista
numero 277 albo sezione A (1989)



Il presente studio è stato redatto in collaborazione con i geologi:

Fabio Del Moro e Diana Talamonti

COROGRAFIA



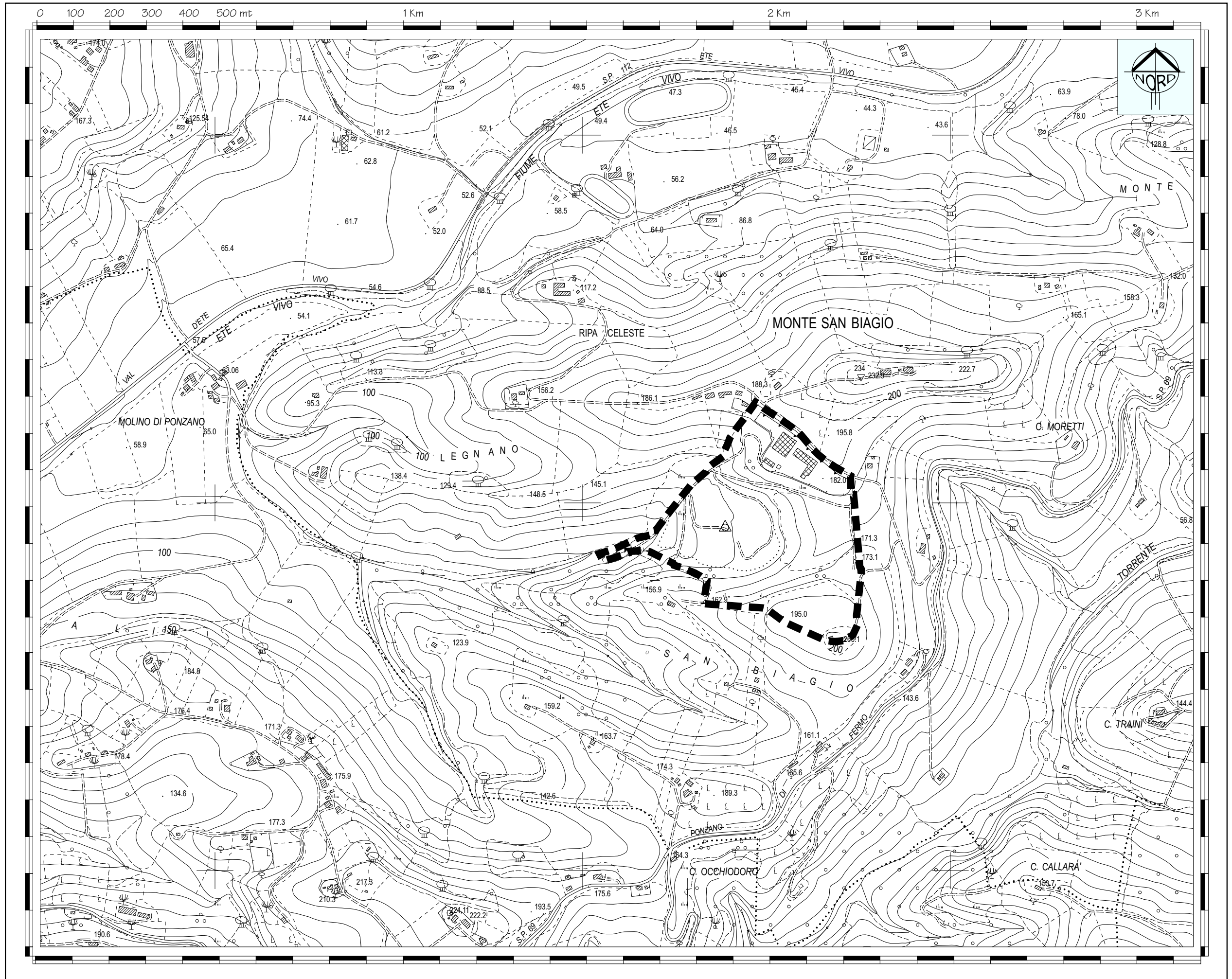
Scala 1:25.000

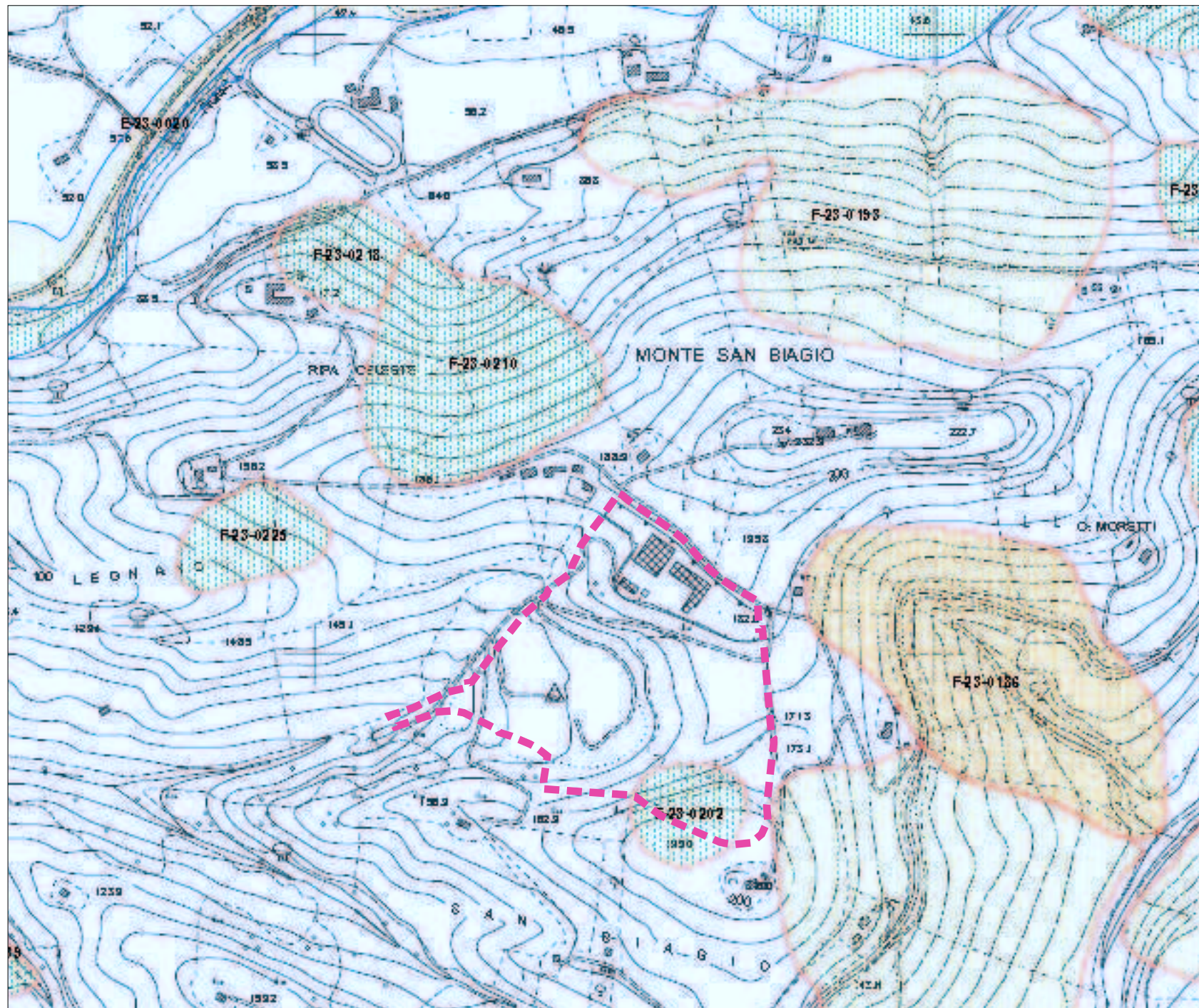


stralcio Carta Topografica Regionale, Regione Marche, Foglio 1:100 000 - 125 Fermo, Quadrante 125 III



AREA IN ESAME





Comune di Fermo (FM), località San Biagio



area di discarica



F-23-0202

Rischio moderato (AVD_R1)

Pericolosità moderato (AVD_P1)



REGIONE MARCHE
Autorità di Bacino Regionale

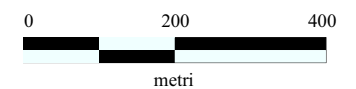
Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Adottato dal Comitato Istituzionale con Delibere n.15/2001 e n. 42/2003
Approvato in via definitiva dal Consiglio Regionale con Delibera n.116/2004

CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Tavola RI 60c

SCALA 1:10.000



PROIEZIONE CONFORME DI GAUSS-BOAGA (SISTEMA NAZIONALE)

L'eqidistanza fra le curve di livello è di m 10
Base Cartografica: C.T.R. regionale 1:10.000 (agg. 2000)
-Carta dei bacini idrografici



LEGENDA

Aree a rischio frana

(Codice F - xx - yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

Aree a rischio esondazione

(Codice E - xx - yyyy)

- Rischio moderato (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

Aree a rischio valanga

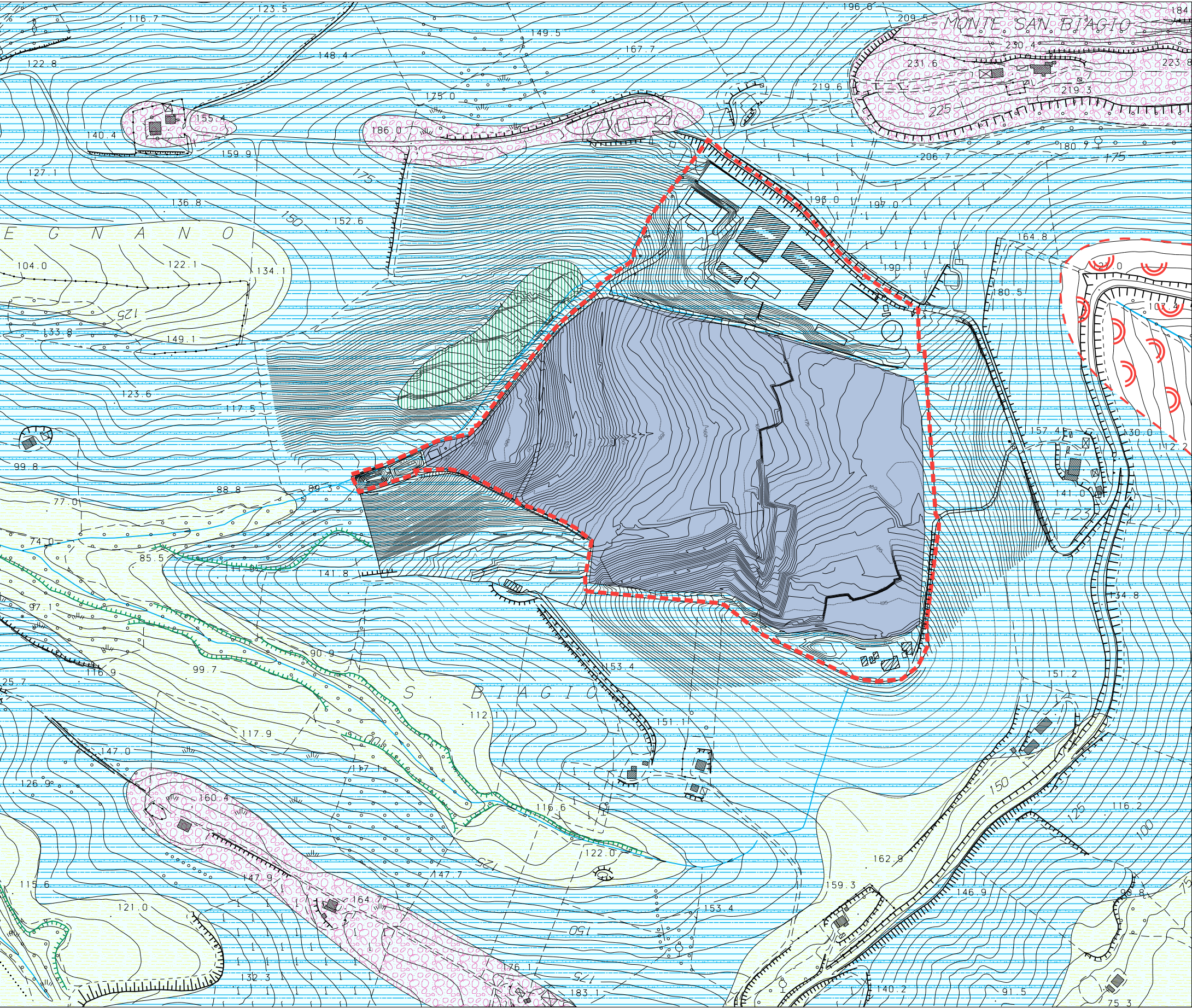
(Codice V - xx - yyyy)

- Rischio molto elevato (R4)

Limite di Bacino Idrografico

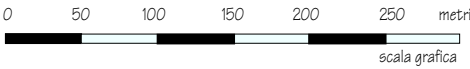
DESCRIZIONE CODICE LEGATO AI FENOMENI

— numero identificativo di bacino
Z - XX - YYYY
— numero progressivo fenomeno
— iniziale tipo di rischio



CARTA GEOLOGICA
e GEOMORFOLOGICA

scala 1:5000



TAV. 4



LEGENDA

- ingombro area di discarica
- DEPOSITI AFFIORANTI
- Area cava di prestito (terreni rimaneggiati)
- Deposito terreni antropici (discarica)
- Depositi eluvio-colluviali (coltre)
Limi argillosi sabbiosi
- Formazione marina Pelitico-Arenacea
Argille strat. a Sabbie
- Formazione marina Arenaceo-Pelitica
Sabbie strat. ad Argille
- FORME E PROCESSI ANTROPICI
- scarpata antropica
- FORME E PROCESSI DOVUTI ALLE ACQUE SUPERFICIALI
- scarpata di erosione fluviale recente e attuale
- reticolo idrografico
- FORME, DEPOSITI E PROCESSI DOVUTI ALLA GRAVITA'
- aree interessate da fenomeni di deformazioni plastiche