STUDIO GEOLOGICO TECNICO AMBIENTALE

Dott. Geol. ANDREA VALENTE ARNALDI

Geotecnica - Geofisica - Prove geotecniche e geomeccaniche in sito e di laboratorio
Sondaggi geognostici - Palificazioni - Tiranti - Consolidamenti - Monitoraggi
Verifiche di stabilità di pendii e di fronti di scavo - Bonifiche movimenti franosi
Idrogeologia - Pozzi per acqua - Opere sotterranee (tunnel) - Discariche - Cave - Dighe
Idrologia ed idraulica - Sistemazioni fluviali e marittime - Ingegneria naturalistica
Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) - Valutazione Ambientale Strategica (VAS)
Studi di Fattibilità Ambientale - Valutazione d'incidenza Ambientale
Caratterizzazioni, bonifiche e recuperi ambientali - Consulenze ambientali
Sistemi di Gestione Ambientale per certificazione ISO 14001 e/o per registrazione EMAS
Pianificazione territoriale - Piani di Protezione Civile
Valutazione rischio sismico, idrogeologico ed ambientale

Provincia	IMPERIA	**Comuni**	SANREMO e TAGGIA
Oggetto	Proposta di realizzazione di un impianto provinciale di trattamento rifiuti solidi urbani e discarica di servizio con finanza di progetto ai sensi dell'articolo 153 del D.lgs 163/2006 in località Colli di Taggia. Progetto di soluzione temporanea per lo smaltimento R.S.U. per il territorio provinciale nella discarica di Collette Ozotto per mesi 24 a far data dal 01/05/2011 **RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**		

Dati catastali	Riferimenti normativi nazionali	Riferimenti normativi locali
Fogli: vedasi progetto Mappali: vedasi progetto	D.M. 14.01 2008. Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003. R.D. n. 3267 del 30.12.1923. D.Lgs n. 152 del 03.04.2006 D.Lgs 4/2008, art. 1 comma 3	L.R. 29/83. L.R. n. 4 del 22.01.1999. D.G.R. n. 878 del 04.08.2006 Piano di Bacino dei torrenti Argentina ed Armea. P.R.G.C.

Committente	**Denominazione**	Spett. IDROEDIL s.r.l.
	Indirizzo	Via Colombo 54 - Arma di Taggia (IM)
Il Tecnico	Dott. Geol. Andrea VALENTE ARNALDI	
Progettista	Ing. Antonino TETAMO	
Codice documento	10.SR.IDROEDIL	

Rev.	Copie	Data	Redazione	Verifica	Validazione	Descrizione
00	n. 3	20.12.2010	Geol. A. Valente Arnaldi	Geol. A. Valente Arnaldi	Geol. A. Valente Arnaldi	1° emissione

18038 SANREMO (IM) - Via Manzoni 61 (Piazza Colombo) - Tel./Fax 0184.570051
10126 TORINO - Via Spotorno 59/C (Lingotto) - Tel./Fax 011.6960115
12042 BRA (CN) - Strada San Michele 14 - Tel./Fax 0172.44016
335.6458897
E-mail : geostudiovalente@tiscali.it
www.geostudiovalente.com

INDICE

1 PREMESSA **Pag. 3**
2 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO **Pag. 8**
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DELL'AREA **Pag. 10**
4 CARATTERI GEOMORFOLOGICI, GEOLITOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDROLOGICI DELL'AREA D'INDAGINE **Pag. 20**
5 SISMICITA' DEL PONENTE LIGURE **Pag. 33**
6 INDAGINI GEOFISICHE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO **Pag. 42**
7 VALUTAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE LOCALI ED APPLICAZIONE DELLE NUOVE NORME TECNICHE AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3274 DEL 20 MARZO 2003 E DEL D.M. 14.01.2008 **Pag. 47**
8 PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI OTTENUTI DALLA ELABORAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI **Pag. 53**
9 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO IN CONDIZIONI SISMICHE **Pag. 54**
10 PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI PRESENTI NELL'AREA D'INDAGINE **Pag. 57**
11 PROPRIETA' GEOTECNICHE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI **Pag. 57**
12 CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA **Pag. 60**
13 ANALISI DELLA STABILITÀ DEI CORPO DI DISCARICA, DELLA COPERTURA FINALE E DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA **Pag. 61**
14 INDICAZIONI RELATIVE AL PIANO DI MONITORAGGIO DELLA DISCARICA SUCCESSIVAMENTE ALLA CHIUSURA DELL'IMPIANTO **Pag. 92**
15 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE **Pag. 94**

Allegati fuori testo

- Tavola unica: Cartografia geologica, geomorfologica, litologica, idrogeologica

1. PREMESSA

La presente **relazione geologica** e **geotecnica** è stata eseguita a supporto della **proposta di realizzazione di un impianto provinciale di trattamento di rifiuti solidi urbani e di una discarica di servizio con finanza di progetto, ai sensi dell'articolo 153 del D.lgs 163/2006, in località Colli di Taggia** e del **progetto di soluzione temporanea per lo smaltimento R.S.U. per il territorio provinciale nella discarica di Collette Ozotto per mesi 24, a far data dal 01/05/2011**, su incarico conferito allo scrivente dalla **società IDROEDIL s.r.l.,** avente sede in via Colombo 54 - Arma di Taggia (IM), nonché dal **Progettista** dell'intervento, **dott. ing. Antonino TETAMO**.

Il sito è stato predisposto inizialmente in base al progetto approvato dall'Amministrazione Provinciale con l'atto di Giunta n. 342 del 18 giugno 2003, a seguito della procedura concertativa di cui all'articolo 27 del D.Lgs. 22/97 ed a seguito del parere regionale favorevole di Valutazione di Impatto Ambientale espresso con l'Atto di Giunta n. 1409 del 22.11.2002 e successivamente con il Provvedimento Dirigenziale dell'Amministrazione Provinciale M79 del 30 aprile 2009 per la saturazione della volumetria residua, a seguito del parere regionale favorevole di Valutazione di Impatto Ambientale espresso con l'atto di Giunta n. 1884 del 30 dicembre 2008.

A seguito di intese raggiunte in data 6 luglio 2010 tra Regione Liguria, Provincia di Imperia e Savona e Comune di Vado Ligure si è convenuto che per un periodo di 4 mesi per un quantitativo massimo di t 45.000 la frazione secca dei RSU prodotti nella Provincia di Imperia verranno conferiti nella discarica in località Boscaccio in Comune di Vado Ligure (SV), mentre l'attività di trattamento e separazione dei RSU e l'allocazione della frazione umida biostabilizzata sarà effettuata nell'unica discarica provinciale attualmente operante, quella di Collette Ozotto, essendo l'altra discarica provinciale sottoposta da tempo a sequestro giudiziario.

Questa soluzione è conforme al Piano d'Ambito Stralcio, di cui al paragrafo precedente, e consente i necessari tempi tecnici per l'approvazione di questo progetto oltre alla ricostruzione della congruenza normativa tra Stato e Regione.

Gli interventi previsti dal progetto in esame non comporteranno un sostanziale ampliamento del sito di discarica di Collette Ozotto, bensì una riconformazione con estensione della perimetrazione verso N, consentendo un abbancamento aggiuntivo di m^3 250.000 di R.S.U. Inoltre, a N rispetto alla zona di stoccaggio, verrà realizzato un impianto di trattamento dei rifiuti, nel quale verranno lavorati i materiali provenienti dal territorio regionale.

Il progetto prevede la formazione di un bacino, ricavato nella roccia compatta da mina sul crinale collinare, con quota media di fondo a m 374 s.l.m., depresso rispetto all'attuale quota dell'area a servizi di m 21. L'impianto di trattamento sopra citato verrà collocato alla quota di m 405 s.l.m., comportando uno sbancamento in roccia di altezza massima pari a m 30 circa.

La ragione essenziale per la formazione di un bacino con scavi in roccia compatta particolarmente onerosi consiste nella necessità di controllare il battente del percolato di discarica in qualsiasi condizione meteorologica, anche con eventi eccezionali, senza, quindi, che il percolato possa debordare sui lati dell'abbancamento.

Dal punto di vista costruttivo le pareti laterali del bacino, in alcuni punti alte fino a m 30, non sono realizzate verticalmente, che pur sarebbe possibile per la compattezza della roccia, ma che non garantirebbero una sicura impermeabilizzazione per la tensione a cui sarebbero sottoposti i teli impermeabilizzanti, ma sono realizzate con gradatura costituita da tratti verticali massimi di m 10 con pendenza di 80° alternati a tratti orizzontali di m 5.

I teli impermeabilizzanti sulle pareti verticali verranno quindi fissati, mediante una trincea bloccante di ancoraggio su ogni gradino, talché la tensione massima supportata è limitata all'altezza di m 10, per di più mitigata dall'inclinazione della parete a 80°.

La coltivazione della discarica, una volta provveduto alle impermeabilizzazioni di fondo e laterali con l'installazione del sistema di fondo di raccolta del percolato, sarà effettuata previo trattamento e vagliatura dei RSU con sottrazione di una percentuale del 10% della frazione organica

del rifiuto che con i fanghi di depurazione (circa il 50%) verrà biostabilizzata con un processo aerobico in 20 biocelle dotate di 4 biofiltri collocate contigue alla discarica.

Il sopravaglio, ovvero il rifiuto non recuperato o comunque biostabilizzato (frazione secca), verrà allocato nel bacino di discarica in banchi di potenza di cm 50 con ricopertura giornaliera mediante la frazione umida sottratta e biostabilizzata.

La coltivazione sarà accompagnata dalla realizzazione della rete di estrazione del biogas che verrà convogliata nell'impianto di recupero energetico già esistente realizzato all'interno del perimetro della discarica.

Particolare rilievo hanno i presidi ambientali e di sicurezza che saranno adottati nella realizzazione della discarica che qui di seguito ci limiteremo ad elencare rinviando le specifiche di progetto ai relativi paragrafi nel successivo quadro progettuale:

- impianto di raccolta, deposito e smaltimento percolato;
- impianto di estrazione del biogas con recupero energetico;
- pozzi di monitoraggio del battente del percolato di discarica;
- pozzi piezometrici esterni al bacino di discarica, verticali o sub orizzontali, per il controllo della falda idrica;
- impianto antincendio con riserva idrica, rete perimetrale ed idranti;
- impianto raccolta e trattamento di prima pioggia;
- stazione meteorologica.

Il presente elaborato fa seguito a nuovi sopralluoghi e ad un'indagine geologica e geotecnica eseguita in sito, al fine di fornire utili indicazioni sulle caratteristiche geologico strutturali, geomorfologiche, geolitologiche, geotecniche, stratigrafiche, sismiche, idrogeologiche ed idrologiche dell'area interessata dagli interventi, con particolare riferimento alla valutazione della pericolosità geomorfologica e sismica del sito (allo stato attuale ed alla luce degli interventi in progetto), nonché ad un'indagine geotecnica finalizzata a creare un modello geotecnico in grado di fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e le relative verifiche, nonché per l'impostazione delle eventuali attività di monitoraggio.

Più precisamente è stato definito un modello geologico - tecnico del volume di sottosuolo interagente con le opere da realizzare, determinando le proprietà geotecniche - geomeccaniche iniziali per i diversi litotipi e le diverse zone d'omogeneità con riferimento al volume significativo, al fine permettere la classificazione del sottosuolo.

Si è pertanto proceduto all'esecuzione di una serie di indagini di natura geologica e geotecnica, le risultanze delle quali sono state riportate nella relazione, finalizzata alla costruzione del ***modello geologico e geotecnico***, nel rispetto dei dettami della normativa vigente (Decreto Ministeriale 14.01.2008 e s.m.i.).

Il presente studio è stato sviluppato in modo tale da costituire un utile elemento di riferimento per il Progettista al fine di inquadrare le eventuali problematiche geologiche - geotecniche e per definire il programma delle eventuali ulteriori indagini sui terreni.

Le indagini, eseguite (estese ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi) in ottemperanza al Testo Unitario – Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14.01.2008 e s.m.i.), sono state finalizzate alla definizione delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito ed alle caratteristiche geotecniche dei materiali ricadenti nel volume significativo degli interventi, verificando i possibili scenari di rischio e le problematiche esecutive, con il preciso intento di definirne le potenzialità di fruizione in relazione all'assetto territoriale, verificando le condizioni di stabilità, l'eventuale presenza di elementi morfogenici dissestivi e lo stato di fatto, traendone le opportune valutazioni sulla compatibilità degli interventi con la situazione sismica, litologica geomorfologica ed idrogeologica locale.

Si elencano di seguito i contenuti principali del presente elaborato:

Indagine geologica

- Inquadramento normativo di riferimento ed esame dell'intervento nel contesto degli strumenti di pianificazione vigenti, con analisi del quadro conoscitivo esistente.
- Caratteristiche generali del progetto e suo inquadramento in ambito territoriale.
- Definizione delle caratteristiche tettonico - strutturali dell'area d'intervento.
- Definizione dei lineamenti geomorfologici della zona e analisi dei processi morfogenetici con specifico riferimento ai dissesti in atto o potenziali ed alla loro tendenza evolutiva, al fine di valutare le reali incidenze dell'opera in progetto sulle condizioni di stabilità pre e post-intervento.
- Definizione della caratteristiche geologiche del sito: caratterizzazione della successione litostratigrafia del sito per un intorno areale significativo al fine di caratterizzare il "volume significativo".
- Definizione della distribuzione areale e volumetrica dei litotipi, nonché del loro stato di fratturazione ed alterazione, con un primo giudizio qualitativo sulle loro caratteristiche geomeccaniche.
- Definizione delle condizioni idrogeologiche del sito, tenendo conto dello schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea, dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale e delle indicazioni sulla loro escursione stagionale (misurata o stimata sulla base dei valori medi conosciuti, oppure derivata da dati bibliografici o dalle carte dello strumento urbanistico vigente).
- Cenni sulle metodologie di scavo e stoccaggio previste da progetto.
- Valutazioni specifiche degli effetti indotti complessivamente dalle opere in progetto anche in relazione a tutti gli interventi necessari per la loro realizzazione (scavi, riporti, drenaggi, etc.).
- Definizione di "zona nota" o "zona non nota" in relazione alla valutazione della stabilità complessiva struttura/opera-terreno.
- Ricerca delle risultanze delle prove ed indagini geognostiche e geotecniche realizzate in sito ed in un suo intorno significativo, con relativa documentazione tecnica, avente l'obiettivo di ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e geofisiche locali: indicazione degli standard di riferimento e delle specifiche tecniche adottate, delle attrezzature impiegate e delle metodologie di esecuzione delle indagini, interpretazione ed elaborazione dei risultati; cartografia di corredo, rapporti di prova.
- Risultanze di eventuali prove ed indagini geognostiche e geotecniche eseguite in siti limitrofi o ricavati da bibliografia, particolarmente per le "zone note".
- Considerazioni sulla stabilità del pendio e dei fronti di scavo con individuazione delle ipotetiche superfici di scivolamento.
- Definizione della Zona sismica d'appartenenza e della Categoria di suolo di fondazione del sito in relazione alla normativa adottata.
- Valutazioni sulle problematiche sismiche locali presenti in sito, anche in riferimento agli elementi di pericolosità sismica locali, e valutazione delle condizioni predisponenti per la suscettibilità a liquefazione dei terreni nei casi previsti dalla normativa vigente.

Indagine geotecnica

- Indicazione ed elaborazione dei dati derivanti dalle indagini geognostiche e/o dalla bibliografia, utilizzati per la caratterizzazione geotecnica e/o geomeccanica del terreno interessato dalle opere in progetto.
- Inserimento delle opere in progetto in profili stratigrafici rappresentativi del sito d'intervento, con correlazioni tra i diversi punti oggetto d'indagine.
- Parametrizzazione geotecnica del sottosuolo: definizione dei parametri geotecnici caratteristici di riferimento per la progettazione.

- Considerazioni sulla permeabilità dei terreni e la localizzazione della/e falda/e idrica/che, anche in rapporto ai metodi di scavo ed ai sistemi di drenaggio degli stessi e delle opere in progetto.
- Verifica dei fronti di scavo previsti da progetto.
- Analisi di stabilità e/o verifiche del pendio con i carichi di progetto (durante e post-intervento) con i relativi tabulati e calcoli. Le analisi sono state effettuate utilizzando i dati stratigrafici e geomeccanici derivanti dalle indagini geognostiche e geotecniche realizzate per lo specifico progetto, corredati da dati di bibliografia fedelmente riportati e motivati.
- Verifiche di stabilità del sito d'intervento nei confronti della liquefazione dei terreni costituenti il sottosuolo in condizioni sismiche.

Ai fini del presente studio è stata quindi eseguita un'attenta indagine geologico - tecnica sull'area ubicata lungo lo spartiacque di confine tra i territori comunali di Taggia e Sanremo, comprendente i settori di versante a cavallo di questo, ricadenti in località Collette Ozotto, ove ha sede la discarica controllata di R.S.U. "Collette Ozotto", al fine di:

- valutare il contesto fisico nel quale quest'area, nel suo complesso, si inserisce;
- acquisire una dettagliata conoscenza delle caratteristiche geologiche l.s. (geologico - ambientali, stratigrafico - strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche, idrologiche, geotecniche e sismiche) della zona e del suo intorno;
- verificare la presenza di fenomenologie morfogeniche dissestive in atto o potenziali (allo stato attuale ed alla luce degli interventi in progetto);
- verificare la presenza di una circolazione idrica sub-superficiale, anche di modesta entità ed a carattere non continuo;
- definire la tipologia, dal punto di vista sismico, dei litotipi presenti in sito nel loro contesto geomorfologico (ai sensi dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e D.M. 14.01.2008);
- valutare le principali caratteristiche geotecniche del substrato roccioso in posto;
- verificare la permeabilità dei terreni naturali presenti in sito;
- fornire indicazioni sulle corrette modalità di regimazione idraulica (raccolta, convogliamento e smaltimento) delle acque di precipitazione diretta e provenienti da monte;
- valutare la stabilità delle scarpate (allo stato attuale ed a sistemazione finale ultimata), dei rifiuti urbani stoccati e dei versanti naturali del lotto di discarica di Collette Ozotto interessato dagli interventi.
- verificare la stabilità del corpo di discarica e della copertura finale (capping),

il tutto nell'ottica di fornire i necessari caratteri geologico – ambientali e geotecnici, generali e di dettaglio, per il progetto di saturazione e chiusura definitiva del sito di discarica controllata di Collette Ozotto.

Al fine di verificare l'eventuale presenza di una falda idrica e/o di venute idriche sotterranee nel settore di monte della discarica interessato dall'ampliamento in progetto, sono stati previsti **n. 2 nuovi sondaggi geognostici** da eseguirsi a distruzione di nucleo, della lunghezza di m 60 ciascuno, all'interno dei quali saranno ubicati **n. 2 tubi piezometrici.**

Il presente studio geologico e geotecnico ha, pertanto, il compito principale di verificare che la soluzione proposta con il progetto in esame costituisca la scelta migliore tra quelle tecnicamente possibili, dal punto di vista geologico l.s., nel pieno rispetto delle norme e leggi vigenti in materia.

E' opportuno ricordare già nella premessa come l'attività di smaltimento di R.S.U. di Collette Ozotto sia stata oggetto in passato di numerosi ed approfonditi studi geologico - tecnici (molti dei quali effettuati dallo scrivente, ovvero quelli degli ultimi 10 anni) al momento della progettazione, realizzazione e gestione dei precedenti lotti.

Il progetto in esame costituisce l'ampliamento di un'attività già autorizzata per numerosi anni ed il presente studio geologico e geotecnico costituisce un approfondimento integrativo di quelli prodotti in passato.

Alla saturazione della discarica si avvieranno le operazioni di ripristino ambientale per l'intero sito di Collette Ozotto, al fine di ripristinare le condizioni morfologiche ed ambientali originali dei luoghi. Tali operazioni saranno condotte secondo tecniche e cautele che saranno dettate in sede di Valutazione d'Impatto Ambientale a seguito dei necessari qualificati studi geomorfologici e vegetazionali.

Il materiale lapideo (e secondariamente terroso) scavato, salvo quello riutilizzato per la ricopertura giornaliera ed il ripristino finale del sito, verrà smaltito in appositi siti autorizzati.

Per quanto riguarda Collette Ozotto le modalità di smaltimento consistono essenzialmente nell'interramento controllato dei R.S.U.; in particolare, essi vengono depositati secondo differenti strati, successivamente ben compattati (livello medio di compattazione: t/m^3 0,9 – 1,0) e regolarmente ricoperti da materiale drenante fino alla completa colmatura della depressione artificiale, derivante da operazioni di sbancamento. A completamento della discarica si provvederà al recupero ambientale del sito e del suo intorno, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia.

Premettendo l'importanza e la diffusione che le attività di discarica rivestono ancora oggi nelle operazioni di smaltimento dei rifiuti (con particolare riferimento alla Provincia di Imperia), nonostante il progressivo affermarsi di nuove tecnologie (incenerimento, compostaggio, etc.), occorre, comunque, tenere presente le notevoli implicazioni e problematiche geologico - ambientali derivanti da un'eventuale non adeguata conduzione delle attività di discarica controllata o da una non opportuna scelta del sito. Secondo quanto affermato risulta, quindi, estremamente importante, in fase di progettazione, individuare aree non solo vantaggiose dal punto di vista prettamente economico e/o logistico, ma, soprattutto, che garantiscano elevati margini di sicurezza dal punto di vista geologico l.s ed ambientale, con particolare riferimento ad eventuali problematiche legate all'inquinamento delle acque, siano esse superficiali o sotterranee, od a fenomeni d'instabilità in atto o potenziali.

Preliminarmente all'esecuzione dell'indagine in sito, è stata condotta una ricerca dei dati bibliografici e delle cartografie tecniche disponibili riguardanti l'area in oggetto, inclusi gli studi geologici l.s. redatti a supporto dei progetti di esecuzione dei precedenti lotti di discariche controllate in esercizio o colmate presenti nell'area d'indagine, nonchè degli elaborati geologico - tecnici allegati ai vigenti P.R.G.C. dei Comuni di Taggia e Sanremo ed ai Piani di Bacino stralcio per la difesa idraulica ed idrogeologica dei torrenti Armea ed Argentina.

Poiché il lotto di discarica in progetto, derivante dalla prosecuzione dell'attività di smaltimento controllato, ricalcherà con tutta probabilità le modalità di stoccaggio già utilizzate per i lotti adiacenti (quasi totalmente colmati), e poiché la situazione geologica l.s. appare nel complesso omogenea, priva di significative variazioni verticali e/o orizzontali, si è ritenuto estremamente efficace verificare ed analizzare le condizioni nelle quali riversano tali lotti, con riferimento sia ai settori ancora, temporaneamente, in attività, che alle porzioni per le quali si è già provveduto al ripristino ambientale finale.

La presente indagine è eseguita ai sensi della seguente normativa di riferimento:

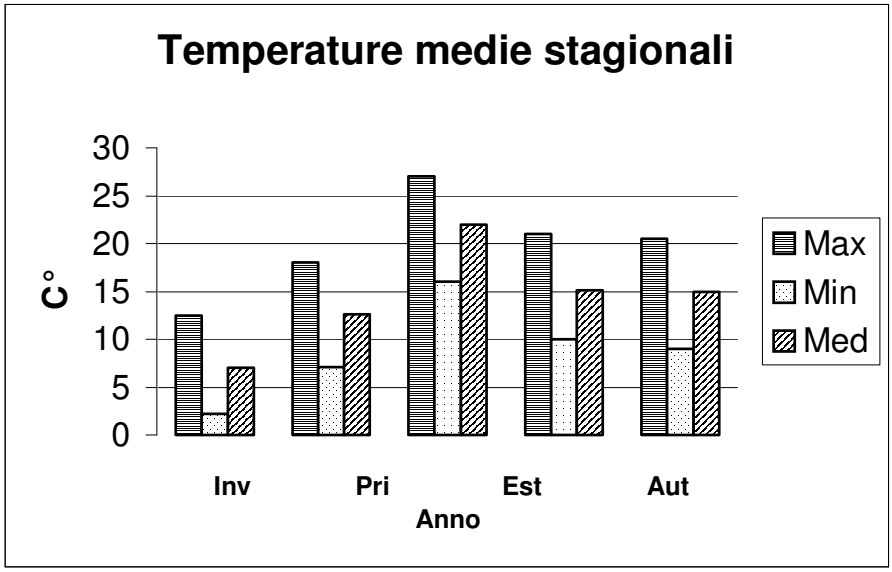
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale 14.01.2008);
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008. Circolare 2 febbraio 2009 (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici);
- Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici);
- Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003) (Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture);
- Progettazione geotecnica - Parte I : Regole Generali. – UNI (Eurocodice 7.1 - 2002);

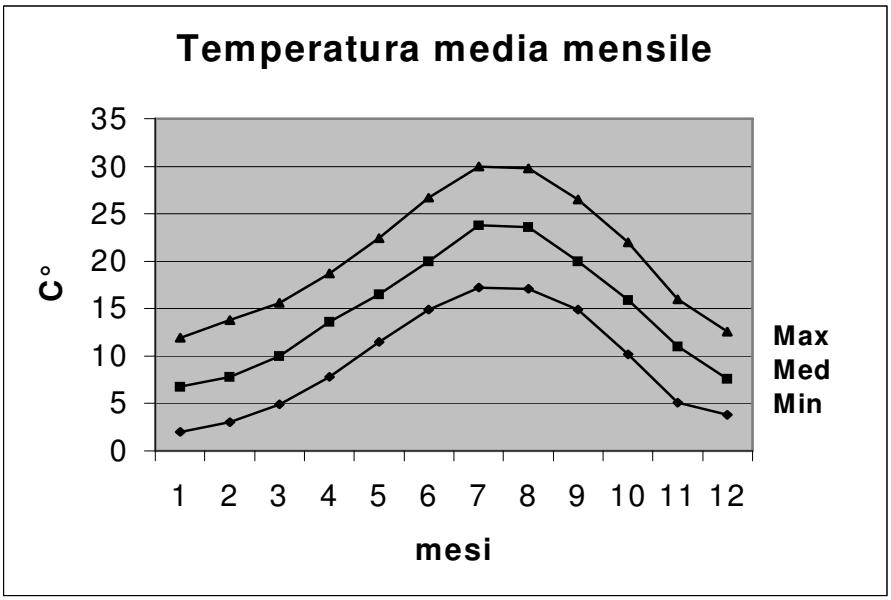
- Progettazione geotecnica - Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI (Eurocodice 7.2 - 2002);
- Progettazione geotecnica - Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI (Eurocodice 7.3 - 2002);
- L.R. 29/83;
- Piani di Bacino;
- P.R.G.C.

2. INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO

L'intero settore in esame gode di condizioni climatiche privilegiate; in particolare esse sono conseguenza della sua orografia, poiché i rilievi della regione, verso N, non solo costituiscono un efficace schermo contro le fredde correnti settentrionali, ma anche intiepidiscono poi quest'ultime per riscaldamento dinamico durante la loro discesa al mare. La radiazione solare effettiva è elevata.

Queste condizioni particolari agiscono in modo decisivo su tutti gli elementi del clima ed, in primo luogo, sulla temperatura, che è eccezionalmente mite. Al fine di fornire un'accurata caratterizzazione termometrica dell'area in esame, si sono attentamente esaminati ed interpretati i dati forniti dalla stazione termometrica di Rocchetta Nervina, allo stato attuale la stazione operativa più vicina all'area in esame. Le condizioni altimetriche dell'area ove tale stazione di misura è ubicata consentono di estrapolare con buona approssimazione i dati relativi alle condizioni termiche della zona interessata dagli interventi in progetto. In particolare, l'elaborazione dei dati relativamente al periodo 1934 – 1985, desunti dalla consultazione degli Annali Idrologici, editi a cura del Ministero dei Lavori Pubblici (LL.PP.) – Servizio Idrografico – Sezione Autonoma del Genio Civile di Genova, ha consentito di pervenire alla valutazione delle medie mensili e stagionali della temperatura, i cui valori vengono di seguito riportati sottoforma di grafici di facile lettura e comprensione.





Da tali elaborazioni si evince principalmente quanto segue:

- complessivamente la temperatura media annua si aggira intorno ai 15°;
- le medie mensili del periodo estivo (Luglio – Agosto) raggiungono valori prossimi ai 30°;
- i valori delle temperature medie invernali sono sempre abbondantemente al di sopra dei 5° (media di Gennaio prossima a circa 7°, Febbraio 8,5 e Dicembre 9,0).

La particolare configurazione della zona influisce oltre che sulle caratteristiche termometriche anche sulla quantità e sulla distribuzione delle piogge, concentrate, prevalentemente, nel periodo autunnale. Gli apporti meteorici medi annuali si aggirano sui mm 678 circa (inverno mm 234, primavera mm 133, estate mm 73 ed autunno mm 238), con soli 60,5 giorni di pioggia all'anno. Il clima risulta, pertanto, generalmente asciutto e costante, con cielo prevalentemente sereno.

I valori dell'umidità dell'aria, alla luce di quanto sopra brevemente esposto, risultano alquanto limitati.

Si rappresenta che i dati sopra indicati sono stati rilevati in stazioni di misura poste nelle vicinanze del sito in esame, applicando opportunamente il criterio di similitudine idrologica e termica.

Dal punto di vista vegetazionale, non si è rilevata la presenza di coltivazioni agricole, anche a causa dell'assenza d'acqua per l'irrigazione. L'area in esame ospita cespugli annoverabili tra la macchia mediterranea, arbusti, roveti e, limitatamente, pini marittimi; in queste biocenosi sono riscontrabili solo localmente devastazioni apportate ai luoghi dallo sviluppo di alcuni limitati incendi nel corso degli ultimi decenni (sempre, comunque, ad una distanza di sicurezza dall'area adibita in passato a discarica).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DELL'AREA

3.1 INTRODUZIONE

Nell'area esaminata nel presente lavoro affiorano i terreni noti nella letteratura geologica come "Lembi Pliocenici della Liguria Occidentale" (Boni & Peloso, 1973; 1976; Marini, 2000).

Sulla Carta Geologica d'Italia concernente la zona costiera della Liguria occidentale (Foglio n.102, Sanremo) sono individuati alcuni lembi, attribuiti al Pliocene, chiaramente discordanti sopra un substrato d'età differente a seconda delle località.

Nel caso in esame viene preso in considerazione il lembo di Taggia e Castellaro, posto tra i territori comunali di Sanremo e Taggia. Questo complesso è riferibile ad un settore di delta – conoide impostatosi sul lineamento tettonico Saorge – Taggia (Marini, 2000). Le facies e i processi deposizionali, secondo MARINI (2000) si distribuiscono su un continuum nella direzione del flusso così articolato:

- depositi di frana, di conoide detritica e di debris flow non coesivo;
- depositi ghiaiosi per flussi inerziali iperdensi, da massicci e disorganizzati a stratificati e organizzati;
- depositi ghiaioso – sabbiosi e sabbiosi per flussi torbiditici ad alta densità;
- depositi sabbiosi torbiditici a bassa densità;
- depositi argilloso – siltosi di decantazione.

Per oltre un secolo, a partire dai primi lavori di FRANCHI per il Regio Ufficio Geologico, la stratigrafia del Pliocene ligure ha fatto riferimento alla distinzione elementare fra le due litofacies più appariscenti, così sovrapposte dal basso: Argille di Ortovero e Conglomerati del Monte Villa (Boni et alii, 1971). Questa semplificazione non riflette però in maniera corretta né il reale sviluppo litostratigrafico della successione né la sua storia deposizionale. Dalla bibliografia più recente si evince, per esempio, che al di sotto delle argille si può riscontrare un'unità clastica di spessore anche cospicuo e che argille e conglomerati possono essere distribuiti in più livelli (Marini, 1976; Boni et alii, 1986; Marini, 1987, 1998 e 2000).

3.2 MORFOLOGIA, STRATIGRAFIA E STRUTTURA DEL LEMBO DI TAGGIA - CASTELLARO

Il complesso pliocenico di Taggia – Castellaro, per quanto molto deformato in qualche sua parte, mostra con compiutezza di caratteri e con continuità spaziale tutti i termini stratigrafici della successione. Esso occupa le porzioni terminali delle valli del torrente Argentina (Arma di Taggia) e del torrente Armea (zona di Bussana Vecchia) e conserva la caratteristica forma triangolare dell'apparato deltizio originario, con una base di circa km 6 verso la costa e uno sviluppo a partire dall'apice di pari misura. La superficie erosiva inferiore si trova, nel punto topograficamente più elevato (Punta Pistorin), alla quota di m 375, mentre sottoflusso essa prosegue sotto la piattaforma sommersa. La sua inclinazione va da 5° a 10°.

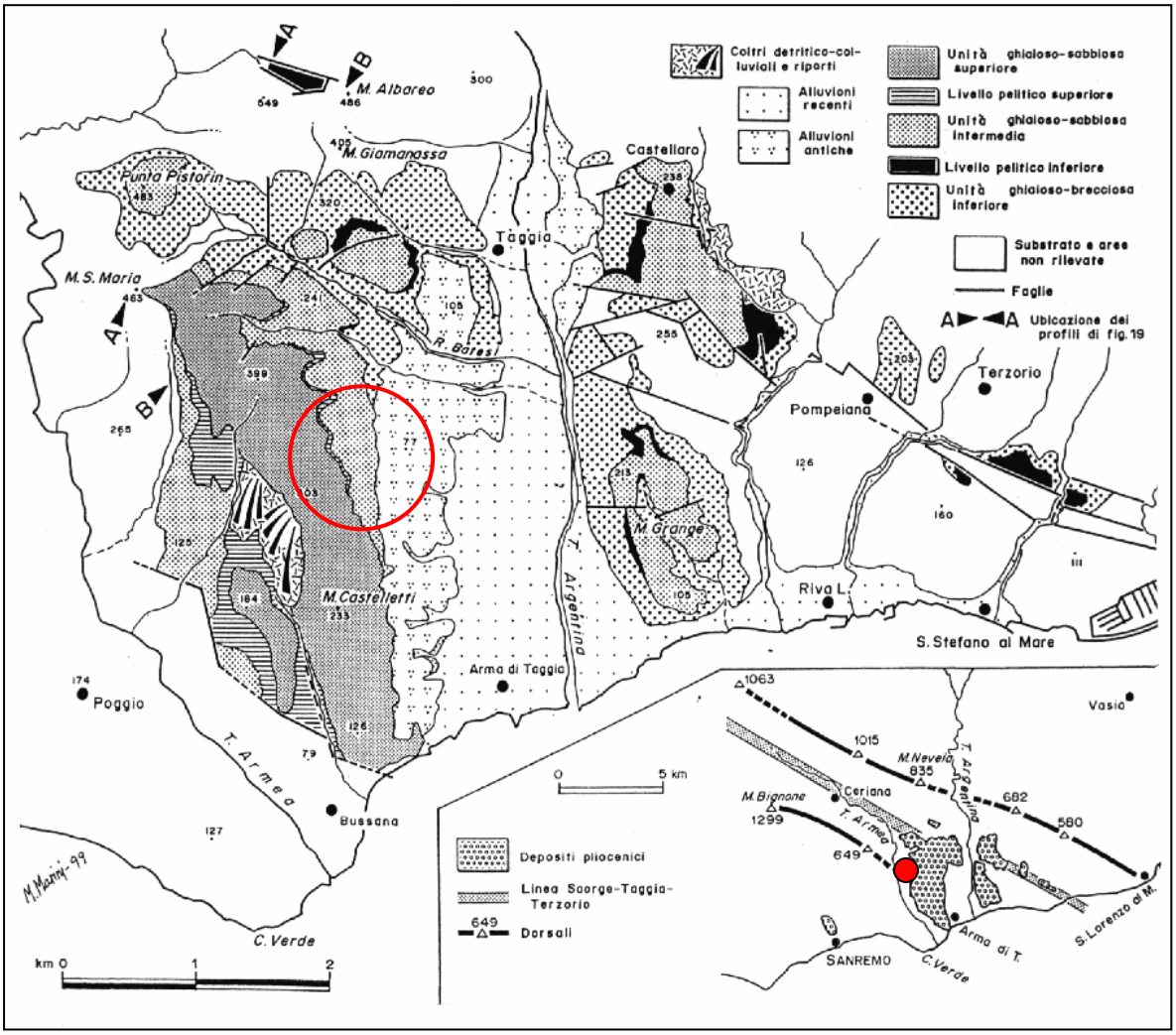


Fig. 1 - *Carta geologica generale schematica dei depositi pliocenici di Taggia – Castellaro (Riviera di Ponente, Provincia d'Imperia), con la loro suddivisione stratigrafica in tre unità sovrapposte. Nel riquadro in basso è rappresentato un inquadramento geologico - strutturale schematico (da MARINI; 2000). In rosso è evidenziata la zona di studio.*

Il complesso è compreso in un'ampia area depressa limitata ai due lati da due dorsali montuose, che terminano in mare col Capo Verde (W) e con la Punta di S. Lorenzo al Mare (E). Come accade nella maggior parte dei lembi pliocenici liguri, anche in questo caso i depositi grossolani si addentrano lungo valli che presumibilmente ricalcano i bacini alimentatori dei delta – conoidi, mentre i resti delle dorsali, per quanto in parte attualmente interrotte e rimodellate, forniscono un'idea dei promontori laterali che dovevano esercitare il necessario contenimento ai flussi di massa, secondo i modelli genetici correnti di delta – conoide (McPerson et alii, 1987; Prior & Bornhold, 1990; Nemec, 1990; Reading & Collinson, 1996). I depositi pliocenici si adagiano interamente, così come i bacini idrografici da essi sottesi, sul Flysch a Helmintoidi del Cretaceo superiore, a prevalente composizione marnoso – calcarea ed arenacea (unità di Sanremo – Monte Saccarello). La loro età viene di norma attribuita al Pliocene inferiore. BONI et alii (1985) hanno però segnalato la presenza di associazioni planctoniche e bentoniche da plioceniche inferiori a plioceniche superiori – pleistoceniche basali disposte in sequenza stratigrafica. Tali attribuzioni non sono state peraltro confermate da altri autori.

La successione pliocenica di Taggia – Castellaro (al pari di quella di Ventimiglia – Bordighera; MARINI, dati inediti) è composta da tre corpi ghiaioso – sabbiosi sovrapposti, ben

distinguibili per litologia, posizione geometrica ed evidenza morfologica. Tali corpi sono scanditi da due livelli pelitici principali, e sono così disposti:

- un corpo inferiore, costituito da brecce e megabrecce sormontate sottoflusso da prevalenti conglomerati sabbiosi grossolani. Il suo spessore varia da m 80 ad oltre 150 ed è massimo nei settori prossimali;
- un corpo intermedio ed un corpo superiore, costituiti da conglomerati più o meno sabbiosi, piuttosto immaturi e disorganizzati nei livelli basali e prossimali, ma ben organizzati e stratificati nei livelli superiori e distali. Sono inoltre presenti arenarie laminate o stratificate nei livelli superiori o distali e arenarie laminate o stratificate in direzione di sottoflusso. Lo spessore complessivo di questi due corpi è certamente superiore a m 250.

I due livelli pelitici principali che separano le tre unità grossolane descritte sono esclusivamente argilloso – siltosi e argilloso – marnosi, massicci e solo raramente con intercalazioni sabbiose fini o microconglomeratiche. Hanno spessori da pochi metri a m 60 – 80, ma possono anche mancare, a causa dell'erosione operata dai successivi flussi concentrati grossolani, od a causa di irregolarità morfologiche del substrato. Il livello più basso è attribuibile con certezza al Pliocene inferiore, avendo fornito con regolarità, nell'area di Ventimiglia, associazioni che comprendono le zone a Sphaleroidinellopsis sp. e Globorotalia margaritae (Irr, 1975; Boni et alii, 1985; Giammarino et alii, 1984). Ancora a Ventimiglia, il livello più alto viene assegnato con qualche incertezza da IRR (1975) e BONI et alii (1985) rispettivamente alle zone a G. crassula – crotonensis - bononiensis e a G. puncticulata, e sarebbe di poco successivo a quello precedente. Secondo SCHRÖDER & CAROBENE (1999) tutti i livelli pelitici della successione di Taggia – Castellaro sarebbero invece inquadrabili nelle zone a Sphaleroidinellopsis sp. e G. margaritae.

L'intero complesso è dissecato profondamente in direzione N – S, trasversalmente all'asse, dalla valle terminale del torrente Argentina (Fiumara di Taggia), ingombra in destra di alluvioni grossolane di spessore visibile superiore a m 60 – 80, terrazzate in più ordini e probabilmente riferibili al Pleistocene (depositi a Elephans antiquus di FRANCHI, 1928).

Dal punto di vista geologico – strutturale, il complesso di delta – conoide pliocenico si colloca in corrispondenza di un fascio di lineamenti tettonici principali diretti WNW – ESE ("faglia di S. Stefano al Mare" in MARINI et alii, 1978; "linea Saorge – Taggia" in BONI et alii, 1980, SCHRÖDER, 1996, SCHRÖDER & CAROBENE, 1999; "linea di Terzorio" in MARINI, 1987) coniugati con lineamenti secondari in direzione subortogonale. Prima e durante la sedimentazione, questi lineamenti principali hanno controllato sia la posizione del paleocanale alimentatore dell'apparato di delta – conoide, identificabile con il segmento vallivo alto - intermedio del torrente Armea (Boni et alii, 1980), sia l'espansione dell'apparato di delta – conoide stesso, che appare fortemente asimmetrico e deviato verso S. In alcune porzioni del complesso (zona di Castellaro – Terzorio) si è avuta un'importante riattivazione delle stesse strutture tettoniche anche dopo la deposizione. Tutta l'area ha subito infine un forte sollevamento, presumibilmente in età pliocenico superiore – pleistocenica (Giammarino et alii, 1978; Boni et alii, 1981), pari ad almeno m 600 – 700, considerato che le porzioni di scarpata deltizia si trovano oggi a oltre m 400 d'altitudine.

Ai margini WSW e ENE del complesso deposizionale sono conservate le ossature delle dorsali che in origine lo limitavano lateralmente. Ciò permette di riconoscere che il delta – conoide si è accresciuto all'interno di una depressione con fianchi più o meno acclivi divaricata verso mare, con un'apertura a ventaglio di ampiezza non superiore a 70° - 80°. Questa configurazione a grossolano triangolo equilatero è diversa dagli schemi proposti in letteratura per i delta – conoidi o per le conoidi alluvionali, ove viene prevista di solito una dispersione radiale dei flussi su 180° al piede di pareti di faglia, sui fianchi di fiordi o all'uscita da barriere montuose. Mentre in questi casi i flussi iperconcentrati vengono privati del contenimento laterale appena usciti dal loro canale alimentatore, nel caso del delta – conoide di Taggia – Castellaro un certo contenimento laterale dei flussi permane anche durante il percorso lungo la scarpata deltizia, più simile a uno scalandrone. In

conseguenza di questa circostanza i flussi avrebbero mantenuto più a lungo l'energia sufficiente a trasportare ghiaie grossolane e blocchi (fino a cm 50 – 60 di diametro) a distanze considerevoli dall'apice (fino a km 6). Il complesso risulta essere composto da tre unità ghiaioso - sabbiose sovrapposte separate da spesse unità pelitiche molto estese lateralmente. In generale, riguardo alle tre unità ghiaioso – sabbiose, emergono le seguenti peculiarità comuni:

- la loro base è spesso fortemente erosiva, soprattutto nei settori prossimali, ma talora anche nei segmenti intermedi e distali;
- hanno una forma vistosamente lenticolare sulle sezioni trasversali;
- sui fianchi, si sovrappongono onlap parzialmente concordanti sui depositi sottostanti o sul substrato;
- l'inclinazione delle superfici erosive basali nella direzione del flusso varia in media dai 10° - 12° dei settori apicali a 5° - 8° nei settori intermedi / distali;
- sono prive di strati di tetto (topset beds) e solo in settori distali si incontrano probabili strati di fondo (bottomset beds); tutti e tre i sistemi sembrano pertanto costituiti pressoché per intero da strati frontali (foreset beds).

Nelle tre unità colpisce la mancanza assoluta di facies litorali autentiche, se si esclude il modesto livello di probabili conglomerati litorali trasgressivi alla base delle peliti del M. Albareo, peraltro posto al di fuori del complesso di delta – conoide. Evidentemente, le facies litorali sono state riprese e ridisperse dai flussi catastrofici, ma non può neppure essere escluso che siano state cancellate a causa dell'imponente sollevamento successivo. Ciò che oggi si osserva del complesso di delta – conoide è infatti soltanto la porzione intermedia.

Sulla base della colonna stratigrafica e della distribuzione orizzontale e verticale delle facies è possibile ricostruire i cicli che scandiscono l'evoluzione sedimentaria del complesso di delta – conoide di Taggia – Castellaro. Lo sviluppo ciclico della successione è evidenziato dai due livelli pelitici principali, per lo più massicci, che la separano in tre segmenti di spessore pressoché uguale, definiti come "unità", e praticamente equivalenti a tre distinti delta – conoide sovrapposti. Come anticipato, mentre i livelli pelitici più sottili, identificabili come giunti, possono essere attribuiti a divagazioni locali e temporanee dei flussi, i livelli principali "inferiore" e "superiore", con i loro spessori massimi di entità pluridecametrica e con la loro estensione generalizzata, possono essere attribuiti a lunghe fasi di abbandono del delta – conoide. La sottoalimentazione del delta espressa da questi livelli è da attribuire a fattori eustatici/tettonici (innalzamento relativo del livello del mare e profonde trasgressioni) o a fattori climatici (possibile riduzione delle precipitazioni e dei deflussi).

L'ipotesi tettonico/eustatica pare essere quella più plausibile (Marini, 2000), benché necessiti di una conferma, ottenibile probabilmente dallo studio approfondito degli altri lembi pliocenici della Liguria di Ponente. MARINI (2000) sostiene tale ipotesi sulla base delle seguenti osservazioni:

- i passaggi fra i corpi ghiaioso – sabbiosi e i livelli pelitici nelle fasi trasgressive appaiono bruschi: questo suggerisce fenomenologie tipiche dell'attività tettonica, con pulsazioni ricorrenti che provocano rapidi collassamenti di blocchi crostali;
- la marcata tendenza thinning/fining upward dei tre corpi ghiaiosi lascerebbe intravedere il reiterarsi di cicli di tipo davisiano, nei quali ogni sistema registra dal basso verso l'alto una progressiva riduzione di apporti e granulometrie con la progressiva maturazione del bacino alimentatore. A ogni pulsazione tettonica si incrementerebbe l'energia di rilievo dello stesso bacino, oltre che le aree sorgente e gli apporti (Schröeder & Carobene, 1999), e si ripristinerebbero la profondità d'acqua necessaria ad avviare i flussi iperdensi in ambiente subacqueo profondo;
- la presenza del lembo di peliti "anomalo" del M. Albareo dimostrerebbe che la sedimentazione pelitica non è rimasta circoscritta alle aree di prodelta, come sarebbe avvenuto nel caso di un taglio dell'alimentazione per soli motivi climatici, ma si è verificata in concomitanza ad una sommersione generalizzata dell'area, anche di settori precedentemente

emersi ed esterni all'area di sedimentazione del delta – conoide. Proprio la sommersione avrebbe alimentato, con il disfacimento di suoli rubefatti, i flussi torbiditici, depostisi in forma di crostoni ferruginosi nei depositi pelitici principali.

MARINI (2000) identifica tre possibili cicli di sedimentazione del complesso di delta – conoide, atti a definirne l'evoluzione stratigrafica e temporale, così distinti:

- *Ciclo I*: inizia con una rapida trasgressione legata ad una fase tettonica molto intensa, che determina il collassamento e lo smembramento del margine continentale. Si materializzano i lineamenti principali WNW – ESE, coniugati con altri secondari subortogonali, isolando blocchi basculanti (con innalzamento relativo verso terra) e strutture a horst, graben e semigraben allungati e inclinati verso mare. I lineamenti sono probabilmente collegati a una tettonica di tipo rotazionale (Marini, 1987) che si esprime anche con componenti trascorrenti. La costa pliocenica assume così una configurazione tipo rias dovuta al fatto che il mare penetra profondamente nelle depressioni tettoniche simili a veri e propri scalandroni, mentre gli horst avanzano come promontori verso il largo e si immergono in profondità. La trasgressione è così rapida che viene praticamente fossilizzata la morfologia preesistente, piuttosto mossa (Lorentz, 1972; Boni et alii, 1986), di presumibile età messiniana.

  Su questo scenario si imposta lo stadio ancestrale del delta – conoide, alimentato per la quasi totalità da coni detritico – colluviali, frane e debris flow dai due fianchi opposti (in misura più cospicua da quello a NE, più rialzato) e dal primordiale bacino di drenaggio. Considerando il basso rapporto di profondità iniziale, coni detritico – colluviali e frane si espandono in gran parte in ambiente subacqueo, ove sfuggiranno all'erosione e saranno sigillati dai depositi successivi.

  Il rallentamento e poi l'esaurimento della fase tettonica ha consentito al bacino di drenaggio di evolversi e ampliarsi rapidamente, rifornendo il delta – conoide di sedimenti progressivamente più maturi e consentendo a flussi inerziali di oltrepassare, incidendolo, l'apice del delta – conoide e progradare lungo di esso. Un'evoluzione iniziale analoga è descritta da BLAIR (1986) in conoidi alluvionali mesozoiche controllate dalla tettonica. In questa fase, i depositi si mantengono molto grossolani e disorganizzati per tutto lo sviluppo visibile dell'unità, testimoni del fatto che durante l'intero ciclo si è conservato un alto livello energetico dei flussi, probabilmente in ragione del loro forte contenimento entro la valle di graben.

  L'abbandono del delta – conoide e la fine del primo ciclo sono segnati dalla comparsa improvvisa di esili livelli sabbioso – arenacei ricchi di frammenti conchigliari, seguiti dai depositi pelitici del livello inferiore. Questi depositi sono la testimonianza di un rapido nuovo evento di trasgressione, conseguente all'innalzamento relativo del livello del mare presumibilmente indotto da un repentino basculamento dei blocchi.
- *Ciclo II*: non è possibile definire con certezza la durata della deposizione del primo intervallo pelitico, che nel complesso presenta una potenza di circa m 25 – 30, e quindi non si può stabilire l'intervallo di stazionamento dell'alto marino (Marini, 2000). Comunque, anche durante il periodo di stazionamento si reiterava un'attività tettonica piuttosto vivace, i cui segni sono evidenti nei depositi pelitici (Marini, 1987). Il basculamento, il cui punto nodale si mantiene in prossimità della costa, ma verso l'interno, muta la posizione relativa del livello marino e le condizioni energetiche del bacino di drenaggio (un basculamento del margine di solo 1° è sufficiente a produrre un sollevamento nell'entroterra di circa m 80 e un pari affondamento della porzione subacquea a km 5 di distanza dal punto nodale).

  Rispetto al ciclo precedente, il tettonismo ha però modificato la geometria del bacino di deposizione, sollevando in misura maggiore il blocco di NE e inducendo i flussi a spostarsi verso SW, fino ad espandersi sul fianco destro del graben primitivo, geometricamente più basso. In questa fase di accrezione/progradazione del delta – conoide si attuano numerosi onlap laterali sul sistema inferiore, profondamente canalizzato. Sulle sezioni verticali si ha la

sovrapposizione di facies conglomeratiche anche piuttosto mature su brecce e conglomerati immaturi e disorganizzati del ciclo precedente. Si può così supporre che il vertice del bacino alimentatore fosse posizionato, in questa fase, molto più a monte di quello vigente nel ciclo precedente. La chiusura del ciclo è improvvisa, senza l'interposizione delle sabbie, rappresentata dai depositi pelitici del livello superiore, di spessore fino a m 60 – 80 (zona di Bussana Vecchia). Quest'evento è riconducibile ad un nuovo innalzamento relativo del livello marino, indotto dallo stesso meccanismo di basculamento precedente.

- *Ciclo III*: presenta una colonna stratigrafica simile a quella del ciclo precedente. Il sistema viene ulteriormente disassato verso SW per il reiterarsi del sollevamento del fianco sinistro. Questo movimento continuerà anche dopo la fine della sedimentazione, inducendo lo smembramento del delta – conoide.

Il livello relativo del mare, ulteriormente innalzato, sposta l'apice del bacino alimentatore ancora a monte. Nella colonna stratigrafica sono infatti presenti maggiori quantità di sabbia e l'inclinazione degli strati frontali, composti da sedimenti molto maturi, è sempre bassa.

Un'imponente fase tettonica, già identificata da BONI et alii (1980), ha indotto infine l'evidente cambiamento di direzione dei lineamenti tettonici principali, che da NW – SE divengono N – S, e ha portato nel Pliocene superiore – Pleistocene alla rapida emersione del complesso di delta – conoide, determinando inoltre una variazione del reticolo idrografico. Il paleo – Armea devia verso S nel suo tratto terminale, mentre il delta – conoide è dissecato profondamente dall'incisione del torrente Argentina. Il sollevamento progressivo di tutto il settore della catena ha determinato l'erosione completa del complesso verso monte, sia dei depositi subaerei che di quelli subacquei più prossimali.

3.3 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DEI CONGLOMERATI PLIOCENICI

Nel lavoro di MARINI (2000) riguardante il lembo pliocenico di Taggia – Castellaro vengono isolate ben 12 facies sedimentarie, con il fine di descrivere in modo esauriente la litostratigrafia del complesso. Vengono di seguito elencate le distinte facies presenti nell'area d'intervento, le quali costituiscono, nell'insieme, l'unità conglomeratica. Per ogni facies sedimentaria, non distinte nella carta geologica allegata al presente lavoro per motivi di praticità, viene data sommariamente anche un'interpretazione genetica.

I conglomerati contengono non meno del 60 – 70% di ghiaia in una matrice da sabbiosa a granulare. Si riconoscono diversi tipi di facies conglomeratiche in funzione dei diversi caratteri tessiturali e strutturali, a loro volta correlabili con la posizione che occupava la facies nella direzione del flusso. Si osserva, come nel caso delle altre unità grossolane costituenti il lembo in esame, che i clasti provengono esclusivamente dal substrato flyschoide.

Sulla base delle caratteristiche tessiturali macroscopiche esaminate sul terreno, è possibile suddividere tali depositi mediante le seguenti facies:

Facies C1a: conglomerati immaturi disorganizzati clasto – sostenuti

Sono riconoscibili per i seguenti caratteri:

- clasti arrotondati e subarrotondati, rari clasti subangolosi dispersi;
- matrice solitamente inferiore al 10%, ma localmente abbondante, granulare, sabbiosa/arenacea o sabbioso – limosa a seconda delle zone; il cemento è di norma scarso, ma non mancano livelli molto cementati;
- forma dei clasti sia sferica che discoidale, con miscele di entrambe le forme; localmente può prevalere una forma sull'altra;
- dimensioni dei clasti dal ciottolo al grosso ciottolo, con frequenti clasti fuori taglia (blocchi) di ordine fino a metrico; percentuale dominante compresa fra cm 5 e 20; i clasti sferici hanno sempre una taglia relativa maggiore rispetto a quelli discoidali;

- disposizione spaziale clasto – sostenuta;
- assetto complessivamente disorganizzato; orientazione dei ciottoli casuale e solo rudimentali accenni di embriciatura; rare tracce di stratificazione, individuate da intervalli di spessore variabile nei quali prevalgono ciottoli di dimensioni omogenee in grossolani allineamenti o da lenti di sabbie grossolane; l'inclinazione assoluta di questi allineamenti va da 30 – 32° nei sistemi inferiore e medio a 15 - 25° nel sistema superiore;
- evidenti strutture canalizzate, occupate solitamente dai clasti più grossolani.

La complessiva grossolanità e immaturità del deposito ne indicano chiaramente il collegamento con fasi di intensa demolizione e di elevata energia di rilievo del bacino alimentatore. L'embriciatura debole e l'orientazione casuale dei clasti indicano scarsità di collisioni e scarsa mobilità dei clasti all'interno del flusso, che dovrebbe essersi realizzato in forma di colata con blocco e congelamento piuttosto rapidi e senza interazioni evidenti con il fluido. La presenza contemporanea di ciottoli sferici e discoidali di taglia granulometrica diversa rappresenta una peculiarità di questa e di altre facies conglomeratiche. Miscele tessituralmente simili sono descritte da MASSARI & PAREA (1990) negli strati frontali sottomarini di delta ghiaiosi tipo Gibert. Esse potrebbero indicare che questa facies derivi dalla miscelazione di un carico di fondo fluviale molto grossolano e talora immaturo con depositi di spiaggia ghiaioso – sabbiosi piuttosto elaborati. Questa miscelazione potrebbe essere avvenuta nelle zone di transizione, ove i deflussi fluviali hanno potuto canalizzare e asportare i depositi costieri prima di immergersi come flussi inerziali iperdensi (Prior & Bornhold, 1990). La presenza di frammenti spigolosi potrebbe essere ricondotta a depositi di frana o di fascia detritica alimentati dai fianchi vallivi e intercettati dai deflussi nel segmento terminale del canale alimentatore.

Facies C1b: conglomerati rozzamente organizzati da clasto a matrice – sostenuti massicci

Rispetto alla facies C1a, la facies C1b presenta una granulometria media minore, mancanza di blocchi fuori taglia, accenni talora evidenti di organizzazione ed un'embriciatura localmente definita, anche se non generalizzata. Presenta i seguenti elementi caratteristici:

- clasti arrotondati di forma sia sferica che discoidale, in matrice sabbiosa (o sabbioso – limosa) a luoghi abbondante; la cementazione è consistente solo in presenza di matrice francamente arenacea;
- dimensioni dei clasti mediamente compresa fra cm 3 e 10 con diametro massimo fino a cm 15 – 20; le dimensioni relative maggiori appartengono anche qui ai ciottoli sferici;
- disposizione spaziale clasto – sostenuta, a luoghi matrice – sostenuta;
- assetto in parte organizzato, con isorientazione dei ciottoli in vaste porzioni del deposito e costituzione di bande granulometriche piuttosto omogenee dello spessore di qualche decimetro; l'inclinazione assoluta di queste bande va dai 15 ai 25°; presenza di livelli lenticolari sporadici di arenarie laminate, che evidenziano i resti di una grossolana stratificazione; embriciatura, quando evidente, con asse in "a2 nella direzione del flusso e angoli superiori di 30 - 35°;
- frequenti strutture canalizzate.

Per quanto tessituralmente e geneticamente simile alla facies C1a, questa facies mostra segni evidenti di una incipiente organizzazione interna, legata evidentemente a fasi turbolente del flusso nel corso delle quali si è resa possibile anche la separazione della sabbia.

Facies C2: conglomerati organizzati grossolanamente stratificati

Questa facies si incontra diffusamente solo nelle porzioni distali dei sistemi intermedio e superiore, affioranti nell'area d'intervento, ed è tessituralmente simile alla facies C1b. Rispetto ad essa si osserva:

- un'ulteriore riduzione della taglia granulometrica media;
- una taglia granulometrica piuttosto omogenea nell'ambito dello strato;

- un aumento della sabbia, sia come matrice (fino al 30 – 40%) sia in livelli lenticolari al sommo degli strati.

Gli strati sono massicci. La stratificazione grossolana è marcata o da variazioni tessiturali (granulometria e forma delle ghiaie) o da giunti sabbiosi e pelitici discontinui riconducibili presumibilmente al deposito decantativo di pennacchi galleggianti. Una stratificazione caratteristica è data spesso da bande alternate di ciottoli prevalentemente sferici grossolani (diametro dominante fra cm 10 e 15) e di ciottoli prevalentemente discoidali (diametro dominante fra cm 2 e 5). In questi ultimi è maggiormente evidente e generalizzata l'embriciatura, sempre con asse "a" parallelo al flusso ed immersione soprapendio, con inclinazione bassa (5 - 10°). Lo spessore degli strati va da pochi decimetri a m 2; gli strati, che purtroppo sono nella maggior parte dei casi osservabili solo su distanze sottoflusso modeste, si presentano tendenzialmente piani e con un'inclinazione compresa tra 5° e 12°. La conservazione della stratificazione è dovuta evidentemente alla diminuita energia erosiva dei flussi nelle zone più distali, ove essi si muovono su pendenze più ridotte, e all'aumento relativo della frazione sabbiosa. In questi depositi sono pure evidenti gli effetti della turbolenza, che ha contribuito a selezionare le granulometrie e a liberare la sabbia. La deposizione di questa facies stratificata deriva probabilmente da tappeti di trazione alla base di flussi ad alta concentrazione (Lowe, 1982).

Facies C3: conglomerati gradati

La gradazione dei conglomerati stratificati è piuttosto rara. Si incontra sia la gradazione normale che quella da inversa a normale, soprattutto all'interno di strati in facies C2 nelle porzioni intermedie e distali dei sistemi. E' evidente da ciò che solo sporadicamente i flussi grossolani hanno avuto come fattori principali di sostegno la turbolenza interna e una pressione dispersiva tipo Bagnold. Essi presentano analogie con i depositi gradati prodotti da correnti di torbida ad alta densità secondo LOWE (1982).

I depositi conglomeratici affioranti nel sito d'intervento costituiscono il grosso dell'intero complesso pliocenico e raggiungono, normalmente, spessori superiori a m 100. Hanno vari gradi di maturità e di organizzazione interna nella direzione del flusso, passando da conglomerati clasto – sostenuti caotici e molto grossolani a conglomerati stratificati, organizzati e bene assortiti, talora matrice – sostenuti, raramente gradati e con livelli sabbiosi e veli pelitici sommitali. Essi operano di norma profonde canalizzazioni, soprattutto evidenti sui depositi sabbiosi e pelitici, ma nei settori più distali possono adagiarsi su di essi in maniera dolce o solo con leggere abrasioni.

La stratificazione, dove osservabile, disegna unità piane molto continue, sia parallelamente che trasversalmente al flusso, con spessori degli strati compresi fra pochi decimetri ed eccezionalmente 2 metri. Ciò lascia intendere che il moto lungo la scarpata deltizia è avvenuto a mezzo di lamine molto voluminose, ma piuttosto espanse lateralmente. Non mancano peraltro strati frontali ghiaiosi grossolani con vistose terminazioni a cuneo sottopendio. Questa differente geometria sembra ripetere quanto osservato da COLELLA et alii (1987) nei delta – conoide intramontani della valle del Crati. L'inclinazione massima assoluta degli strati oscilla fra i 30° - 32° dei depositi più prossimali (C1a e C1b) e di 5° - 10° di quelli stratificati più distali (C2). Essi sono rapportabili a tipici strati frontali (foreset beds). Nei settori distali gli strati divengono più sottili, più ricchi di sabbia e tangenziali rispetto ai depositi fini di base, in ragione di una diminuzione progressiva della concentrazione dei flussi durante il moto lungo la scarpata deltizia e di un aumento della loro mobilità. A seguito di ciò, ghiaie, ciottoli e blocchi galleggianti fuori taglia possono raggiungere anche le porzioni inferiori della scarpata, a km 5 – 6 dall'apice visibile, come segnalato da NEMEC (1990) in scarpate deltizie subacquee di delta a granulometria grossolana.

A questi depositi si applicano ottimamente i meccanismi proposti da PRIOR & BORNHOLD (1990) e MUTTI et alii (1996). Ghiaia e sabbia grossolana vengono introdotte nel sistema da piene ad alta energia catastrofiche, che, dopo aver asportato e inglobato ghiaie e sabbie dalle barre di foce impiantatesi nei momenti di flusso normale, conservano una velocità e una densità sufficienti ad

attraversare l'apice del conoide, muovendosi lungo la scarpata subacquea come flussi iperpicnali. In pratica, il trasporto fluviale viene sostituito sottopendio dal trasporto gravitativo (Prior & Bornhold, 1990, p. 80). Perché sia possibile la conservazione di un tale livello energetico del flusso fluviale è necessario che il canale fluviale si mantenga stretto fino allo sbocco in mare, così da contenere il flusso stesso ed evitare perdite di energia dispersiva prima della sua immersione in mare. Questa situazione pare attagliarsi bene al caso in esame, nel quale il canale è stato modellato su lineamenti tettonici piuttosto marcati e probabilmente riattivati durante la sedimentazione.

Non è escluso che siano localmente presenti depositi di questo tipo legati a instabilità della scarpata, peraltro non riconosciuti sul terreno. La scarsissima presenza, o l'assenza, di frazione limosa nel sedimento escluderebbe che tali fenomeni abbiano avuto un'importanza significativa nel trasporto sedimentario (Colella et alii, 1987). Strutture di frana a grande scala nei delta – conoide a dominante ghiaioso – sabbiosa sono peraltro esclusi anche da altri autori (Prior & Bornhold, 1990; Massari & Parea, 1990).

Dal punto di vista paleogeografico, questi depositi identificano un ambiente di scarpata deltizia superiore/intermedia, con strati frontali concavi che hanno mantenuto un assetto piuttosto costante nell'ambito di ciascuna unità.

3.4 SCHEMATIZZAZIONE DELLE UNITA' DEL LEMBO PLIOCENICO AFFIORANTI NELL'AREA D'INTERVENTO

Nel sito d'intervento è possibile identificare, come rappresentato nel lavoro pubblicato da MARINI (2000), due delle tre unità conglomeratiche costituenti il complesso pliocenico (quella intermedia e quella superiore), le quali, diversamente da altri settori del complesso stesso, non si presentano separate da un'unità pelitica.

L'unità intermedia giace a NE sull'unità inferiore e a SW sul substrato. Questa migrazione verso il fianco destro ha probabilmente motivazioni tettoniche, documentate da numerose strutture tettoniche sinsedimentarie riconoscibili nei depositi del livello pelitico inferiore (Marini, 1987). Gli stessi episodi tettonici possono avere altresì influenzato la geometria interna del sistema, che è piuttosto articolata e disomogenea, a indicare che esso ha variato ripetutamente.

La giacitura sia degli strati frontali che dell'embriciatura dei ciottoli sono alquanto disperse, pur rispettando l'assetto generale proprio del delta – conoide. In particolare, in ampi settori (come nella zona dello svincolo autostradale di Taggia) gli strati frontali immergono verso la zona assiale o sono orizzontali e l'embriciatura dei ciottoli è parallela al fianco sinistro o a quello destro. Questa particolare configurazione a conca degli strati frontali, accompagnata da frequenti onlap, potrebbe suggerire un'attività tettonica sinsedimentaria che ha progressivamente rinnovato e accentuato il confinamento dei fianchi.

Una situazione geometrica analoga, legata al confinamento dei fianchi vallivi, è descritta da MASSARI & PAREA (1990) nel corpo di Irsina, nella valle del F. Bradano. Tuttavia, nonostante questa variabilità, l'unità intermedia mostra in generale una geometria e un assetto interni così composti:

- gli strati frontali con immersione sottoflusso e inclinazione assoluta dai 30° - 35° delle porzioni prossimali fino agli 8° - 10° di quelle distali;
- giacitura dei ciottoli embriciati con asse in *a* parallelo al flusso e inclinazione soprapendio di 10° - 50°; i valori inferiori sono sempre collegati ai depositi distali ricchi di matrice sabbiosa.

Dall'assetto degli strati frontali lungo l'asse dell'unità si desume una loro configurazione concava verso l'alto, nella quale gli strati frontali a monte incidono obliquamente (downlap) sulla superficie basale erosiva, mentre quelli via via sottopendio tendono ad essere tangenziali. Downlap evidenti si hanno anche nel senso della progradazione fra sequenze distinte di strati frontali, riferibili a subcicli e dovuti a divagazioni del sistema. Dall'assetto prevalente dei ciottoli embriciati (circa il 30 %) si desume una direzione media del flusso orientata N 150° e verso SE.

Per quanto riguarda l'unità superiore, è stato osservato che, nei suoi affioramenti visibili, essa giace interamente su quella intermedia, ma il suo asse pare ulteriormente spostato verso il fianco destro. Ciò confermerebbe la complessiva migrazione del delta – conoide verso WSW.

La giacitura degli strati frontali e dei ciottoli embriciati appare qui molto più omogenea. Essi sono concentrati su un ventaglio d'apertura non superiore a 40° – 50°, probabile conseguenza di un contenimento laterale significativo anche lontano dalle zone apicali e quindi indicativo di una strombatura piuttosto stretta della struttura che ha accolto l'intero complesso. La sua geometria interna è così schematizzabile:

- strati frontali con direzione dominante N 50° – 70° e inclinazione sottoflusso variabile fra il valore massimo di 20° nelle porzioni prossimali e di 5° - 10° in quelle distali;
- giacitura dei ciottoli embriciati molto costante, con asse in "a" parallelo al flusso e inclinazione prevalente soprapendio di 15° - 30°; i valori inferiori sono anche in questo caso rilevabili nei depositi stratificati distali più ricchi di matrice.

Nella zona di Castellaro gli strati frontali immergono chiaramente verso l'asse della paleovalle. Come nell'unità intermedia, anche qui la configurazione degli strati frontali è concava verso l'alto, seppure in maniera meno evidente, e i rapporti con la superficie erosiva basale si mantengono identici nella direzione del flusso. La mancanza di settori con strati frontali di inclinazione superiore a 20° nelle facies più grossolane visibili, contro i 30° - 35° riscontrabili nell'unità intermedia, è probabilmente dovuta al fatto che in questa unità mancano le porzioni più prossimali, essendo state asportate dall'erosione. L'assetto dei ciottoli embriciati (circa il 50 %) indica una direzione prevalente del flusso N 150° verso SE, conforme a quella dell'unità intermedia.

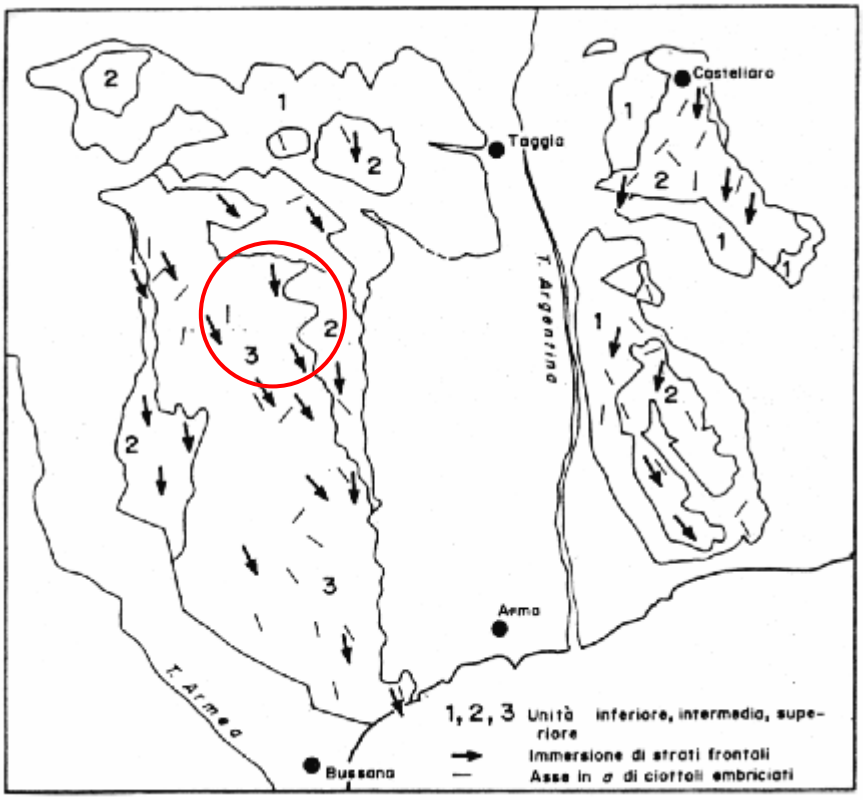


Fig. 2 - *Sintesi planimetrica dei dati significativi relativi alla giacitura deglI strati frontali ed all'asse in a (andamento medio) di ciottoli embriciati. In rosso è evidenziata la zona di studio.*

4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI, GEOLITOLOGICI, IDROGEOLOGICI ED IDROLOGICI DELL'AREA D'INDAGINE

L'area oggetto d'indagine ricade nel territorio comunale di Sanremo in prossimità di quello di Taggia (IM), alle pendici delle Alpi Marittime. Essa è compresa nella cartografia ufficiale del Foglio n° 102 "Sanremo" dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) alla scala 1:100.000.

4.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sito ove è previsto il progetto di saturazione e chiusura definitiva con riqualificazione ambientale della discarica è ubicato in posizione circa culminare, lungo lo spartiacque, ad andamento approssimativamente NNW – SSE, che divide i territori comunali di Sanremo (W) e Taggia (E).

La zona in oggetto ha come principale caratteristica, dal punto di vista geomorfologico, quella di formare un ambiente di tipo collinare marittimo; essa è ubicata in località Collette Ozzotto, in un'area scarsamente edificata in corrispondenza di uno spartiacque primario, su di un rilievo collinare ad acclività variabile da media a medio - alta e caratterizzato da alcune rotture di pendenza da monte verso valle, alcune delle quali di origine antropica. La zona si colloca immediatamente a monte (lato E) di un'incisione valliva parzialmente riempita successivamente alla realizzazione, nel recente passato, della discarica di inerti "Colli". Il nuovo profilo del versante (a seguito della colmata) presenta un'acclività variabile ed è caratterizzato da una rottura di pendenza principale da monte verso valle, corrispondente con il fronte dell'ex discarica. I versanti W, intervallati da alcuni terrazzamenti operati dall'azione antropica, hanno pendenza invece verso WSW nella direzione della rete scolante di superficie, che convoglia le acque nella sottostante valle Armea.

I rilievi eseguiti, le informazioni storiche acquisite nonché l'analisi della Cartografia delle Aree Storicamente Inondate (Foglio n. 59) alla scala 1:25.000, elaborata dalla Regione Liguria – Dipartimento Infrastrutture Trasporti ed Opere Pubbliche – Servizio Protezione Civile – Direzione Centrale Affari Legali ed Organizzativi – S.I.T.A.R. (Servizi Informativi Territoriali ed Ambientali Regionali), con D.G.R. del 01.06.2001, non hanno evidenziato il verificarsi di fenomeni di esondazione per piene ordinarie e straordinarie di corsi d'acqua principali, minori od artificiali, che abbiano coinvolto la zona indagata in tempi recenti.

I rilievi eseguiti non hanno evidenziato fenomeni di erosione accelerata, diffusa o lineare, ad esclusione di piccoli solchi erosivi di limitata estensione ed esterni all'area d'intervento. Data la morfologia dell'area, l'esiguo spessore delle coltri superficiali e la mancanza di acque superficiali e/o sub-superficiali, non si registrano casi di mobilizzazione riguardanti l'areale indagato.

Si rappresenta, inoltre, in tale sede, come si siano riscontrate, nelle immediate vicinanze della zona oggetto d'intervento, alcune pareti rocciose (fronti di scavo) verticali o, comunque, pseudoverticali; esse si presentano, nel complesso stabili ad eccezione di alcuni locali e limitati crolli di ciottoli e blocchi litoidi distaccatisi a causa dell'azione erosiva sul materiale costituente la matrice da parte degli agenti atmosferici.

Alla luce di quanto esposto, l'area in oggetto è da ritenersi complessivamente stabile, escludendo, al momento dell'indagine, fenomeni morfogenici dissestivi in atto o potenziali di particolare entità. Sulla scorta dei dati di campagna, non sono emersi fattori che possano innescare movimenti gravitativi.

Solo localmente si potranno presentare modeste e puntuali problematiche geomorfologiche superficiali connesse con la variazione della composizione e della potenza del materiale sciolto di copertura, del suo stato di consistenza e delle locali condizioni di equilibrio del pendio. Potranno, al massimo, quindi verificarsi fenomeni di piccoli assestamenti legati alla circolazione idrica superficiale e sub-superficiale, anche in settori della zona in esame apparentemente assestati, in tempi più o meno lunghi.

4.2 INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO

Dal punto di vista geolitologico, in base al rilievo effettuato, alle risultanze una serie di sondaggi eseguiti (effettuati nel mese di Aprile 1998), nonché a quanto riportato sul Foglio n° 102 "Sanremo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 e sulla Tavoletta n° 258-2 "Taggia" della Carta Geologica con elementi di Geomorfologia della Regione Liguria alla scala 1:25.000, i terreni presenti nell'area d'indagine, spesso in affioramento, appartengono al Complesso dei conglomerati pliocenici, affioranti in banchi, caratterizzati da una pezzatura variabile e da una matrice fine costituita da sabbie e limi. Talora sono presenti grossi blocchi ed intercalazioni di sabbie trasgressive. Questo complesso occupa la quasi totalità dell'area d'indagine.

L'area indagata è quindi monotona dal punto di vista litostratigrafico poiché insiste quasi esclusivamente sulla formazione terziaria del Conglomerato Pliocenico.

In particolare, sulla base del rilevamento effettuato, si può affermare che nella zona interessata dal progetto e nell'area ad essa circostante, affiorino, naturalmente od a seguito di interventi antropici (tagli stradali, scavi e sbancamenti), esclusivamente i seguenti termini litologici:

- Prevalentemente la tipica facies conglomeratica, costituita da ciottoli e blocchi eterometrici (variabili da centimetrici a pluridecimetrici) e poligenici immersi in matrice sabbioso – argillosa e marnosa; tali ciottoli e blocchi si presentano arrotondati a testimonianza di un'intensa azione di trasporto subita e di natura prevalentemente calcareo – marnosa ed arenacea, così come le formazioni flyschoidi stratigraficamente sottostanti, dalla degradazione e fatturazione delle porzioni superficiali delle quali derivano. Nel complesso l'ammasso roccioso ha una notevole potenza e buone caratteristiche geomeccaniche: è ben integro e compatto (spesso la stratificazione non è riconoscibile), con grado di cementazione generalmente alto, localmente medio - alto, e non presenta evidenti sistemi di discontinuità strutturali; la stessa stratificazione, quando riscontrabile, assume valori di spaziatura abbastanza elevati (alcuni metri). Il conglomerato si presenta, talvolta, e comunque solo superficialmente, degradato ed origina una coltre di alterazione costituita principalmente da argille residuali (terre rosse) non continua e, comunque, di potenza assai limitata (m 1 – 1,5 circa), derivante dalle azioni di natura chimica delle acque superficiali (dissoluzione del carbonato di calcio).
- Rare intercalazioni di livelli argillosi, talvolta lenticolari e di potenza comunque abbastanza limitata; un significativo livello di questa natura è stato rilevato durante le recenti operazioni di scavo autorizzato per la realizzazione dell'invaso attualmente in fase di esercizio per lo stoccaggio dei RSU. Tale banco si sviluppa verso monte, ha una potenza di circa m 5 - 6, si presenta ben compatto, addensato, normalmente consolidato, a discreta plasticità, con stratificazione poco marcata, di colore grigio azzurrognolo a taglio fresco. Non si è rilevata presenza di circolazione idrica in tutte le zone di affioramento.
- Sporadiche passate irregolari, prevalentemente marnose, con blocchi quasi assenti, grado di cementazione medio – basso e discreta alterazione. Piccole differenze litologiche sembrano, a tratti, sottolineate da una parvenza di stratificazione; sulla scorta di esperienze maturate altrove, in terreni analoghi, pare molto più verosimile che si tratti di un'interfaccia originatasi a seguito di fenomeni diagenetici tardivi: acque di percolazione che hanno sciolto il $CaCO_3$ e mobilitato la matrice (frazione fine) dai livelli superficiali per concentrarli in quelli sottostanti.

Dal rilevamento strutturale effettuato per lo più sugli affioramenti (ritenuti i più significativi) di conglomerato riscontrati nella porzione altimetricamente più elevata dell'area oggetto d'intervento, sono emersi i seguenti valori relativamente alla disposizione giaciturale (S_o) principale delle bancate rocciose: direzione media NE – SW, immersione volta verso SE e valori di inclinazione abbastanza limitati e, comunque, compresi tra un minimo di 10° ed un massimo di 30°, in accordo coi numerosi dati desunti a scala regionale.

Come detto, ad eccezione dei corpi di discarica non più in esercizio, non esistono coperture eluvio – colluviali particolarmente significative; ove localmente presenti risultano costituite

esclusivamente dalle suddette terre rosse (argille residuali, cioè d'alterazione del substrato litoide, e limi con percentuale di sabbia fine). La loro potenza, puntualmente, può raggiungere m 1 – 1,5 sebbene, di norma, il passaggio al Pliocene avvenga in maniera transizionale e, quindi, non univoco.

4.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA INTERESSATA DALLA DISCARICA E DALLA SUA POSSIBILE ZONA D'INFLUENZA

Il sito occupato dalla discarica, situato in corrispondenza del crinale di un rilievo collinare ad andamento circa NNW - SSE, risulta essere impostato all'interno dei termini sedimentari appartenenti al Lembo pliocenico di Taggia - Castellaro. Tale formazione è costituita, localmente, da conglomerati con subordinate intercalazioni di sabbie ed argille.

Le caratteristiche idrogeologiche del sito, definite nei diversi studi eseguiti (in buona parte dallo scrivente) a supporto dei progetti di realizzazione ed ampliamento della discarica, sono strettamente dipendenti dalla morfologia locale, nonché dalle condizioni di permeabilità dei terreni.

Il conglomerato pliocenico, rappresentante il substrato di riferimento del corpo di discarica, nonché il termine principale affiorante in un intorno significativo dell'area in esame, ha, dal punto di vista idrogeologico, delle singolarità: da un lato la tessitura grossolana tenderebbe in favore di una permeabilità alta, dall'altro l'abbondanza di carbonato di calcio disperso nella matrice lo rende ben cementato e le rare lenti argilloso - marnose svolgono una funzione impermeabilizzante. In tal modo le acque piovane, di volta in volta, sciolgono il carbonato in superficie e lo ridepositano a livelli inferiori incrementando differenze nel grado di cementazione, porosità e permeabilità da settore a settore; si possono originare, così, piccoli circuiti. Un ruolo risolutivo è, quindi, rivestito dalle discontinuità fragili che, comunque, ad un esame di superficie e di profondità (fronti di scavo), sono molto scarse e non presentano alcuna sistematicità o persistenza.

In corrispondenza del luogo d'intervento, preliminarmente alla realizzazione degli scavi destinati alla realizzazione della discarica, nessuna emergenza idrica è stata mai rilevata, compreso lungo le linee naturali di drenaggio. Tale elemento risulta peraltro ribadito dalle risultanze dei sondaggi geognostici e dal monitoraggio dei tubi piezometrici ubicati nell'intorno del corpo di discarica già presente, a conferma dell'assenza di una falda freatica interagente con questo.

Nell'intorno del sito in esame, come rappresentato nella tavola idrogeologica allegata al presente elaborato, sono stati censiti alcuni settori interessati da manifestazioni idriche con diverso grado d'importanza: la presenza di tali aree e l'analisi delle loro caratteristiche, come rappresentato in seguito, permette di eseguire una ricostruzione completa dell'assetto idrogeologico dell'area ove si colloca l'intervento in progetto, consentendo, peraltro, di identificare le migliori modalità di monitoraggio delle acque sotterranee e la potenziale presenza, nel tempo, di fenomeni di contaminazione dell'ambiente idrico sotterraneo.

Nel dettaglio, è stata riscontrata la presenza, a valle dell'area in oggetto, di n. 3 aree ove si osservano manifestazioni sorgive a carattere sporadico/stagionale, di cui n. 2 ubicate sul versante volto verso Taggia e la terza in Valle Armea, nonché di una sorgente, in area privata, denominata "fonte dei ciliegi", anch'essa ubicata sul versante di Taggia. Di seguito viene fornita una descrizione di dettaglio di tali manifestazioni, al fine di ricostruire l'assetto idrogeologico locale.

Manifestazioni sorgive secondarie e stagionali

Relativamente alle suddette manifestazioni idriche secondarie, si rappresenta quanto segue:

- lungo il versante volto verso Taggia sono evidenti n. 2 aree d'impregnazione, ubicate nei punti riportati nella cartografia allegata, accomunate dall'essere ubicate in lembi di coltre eluvio – colluviale relativamente circoscritti; in particolare, l'emergenza prossima al rio Periane (corso d'acqua a carattere effimero situato nell'incisione ove è stato realizzato lo svincolo di Taggia dell'autostrada A10), in destra idrografica di questo, è rappresentata da uno scavo posto sul lato di monte di una locale strada sterrata, ove vengono raccolte le acque permeanti i depositi eluvio-colluviali presenti a monte della sede stradale. La seconda manifestazione idrica,

invece, è ubicata nell'incisione posta immediatamente a N di quella del rio Periane, a valle della "fonte dei ciliegi" (della quale si parlerà in seguito), e risulta essere correlata alle acque provenienti dalla fonte stessa, le quali impregnano i locali termini di copertura.

- L'emergenza evidenziata nella Valle Armea, in analogia con quelle sopra descritte, risulta essere ubicata in corrispondenza di una locale incisione secondaria, immediatamente a valle della congiunzione di due solchi sede di corsi d'acqua a carattere effimero. Tale emergenza, come rappresentato nella tavola idrogeologica in allegato, risulta essere prossima al contatto tra termini a composizione sabbiosa ed una sottostante lente di depositi argilloso – marnosi, situandosi all'interno del complesso pliocenico. Questa manifestazione idrica risulta però essere particolarmente limitata ed a carattere effimero/stagionale, non permettendo la realizzazione di campionamenti delle acque sotterranee.



***Fig. 3**: sito della manifestazione idrica stagionale ubicata in destra del rio Periane.*



***Fig. 4**: sito della manifestazione idrica stagionale a valle della "fonte dei ciliegi". In corrispondenza del fondovalle si registra la presenza di una fitta vegetazione a carattere idrofilo/palustre.*



***Fig. 5**: sito della manifestazione idrica stagionale ubicato in Valle Armea. E' possibile osservare in affioramento i termini sabbiosi e conglomeratici asseribili al complesso pliocenico, al di sotto dei quali, in corrispondenza del fondo valle, si pongono i termini argilloso – marnosi, costituenti un locale limite di permeabilità.*

L'insieme delle manifestazioni idriche sopra descritte, come emerso dai rilievi effettuati, presenta un carattere essenzialmente di tipo superficiale, evidenziando la presenza di limitate falde freatiche in corrispondenza delle incisioni vallive prossime al sito in esame. Le quote di riferimento di tali emergenze risultano essere le seguenti:

- emergenza in destra del rio Periane: m 225 s.l.m.;
- emergenza a valle della "fonte dei ciliegi": tra m 180 e m 190 s.l.m. (presenta uno sviluppo lineare parallelo all'incisione valliva);
- emergenza in Valle Armea: m 250 s.l.m..

La "fonte dei ciliegi"

Di maggiore interesse ai fini dello studio dell'assetto idrogeologico locale risulta essere l'analisi delle caratteristiche della "fonte dei ciliegi", la cui ubicazione viene riportata nella documentazione in allegato: tale fonte, sita alla quota di m 235 s.l.m. (dunque a m 140 circa più in basso rispetto alla quota media del fondo discarica), presenta la particolarità di essere situata all'interno dei termini appartenenti al complesso pliocenico, inserendosi quindi all'interno del sistema idrogeologico dell'ammasso roccioso entro il quale si colloca anche l'area d'intervento.



***Fig. 6**: ingresso della "fonte dei ciliegi". E' possibile osservare, in affioramento, i termini conglomeratici del complesso pliocenico.*



***Fig. 7**: vista interna della fonte. E' possibile osservare il contatto tra i termini conglomeratici e le sottostanti sabbie, costituenti il livello acquifero locale.*



***Fig. 8**: affioramento di sabbie adiacente alla fonte. Tali termini rappresentano il principale livello acquifero al quale si collega l'emergenza idrica.*

Tale emergenza, come emerso dai rilevamenti in sito, appartiene alla tipologia delle *sorgenti normali*. Secondo la classificazione proposta da CIVITA (1972), riportata nella seguente tabella, tali emergenze possono dividersi in tre classi principali, ciascuna di esse a sua volta suddivisa in due sottoclassi. Questa schematizzazione è basata sul prevalere di uno dei fattori idrogeologici principali di controllo genetico dell'emergenza rispetto agli altri, laddove i fattori di controllo considerati sono:

- il grado di permeabilità relativa delle formazioni idrogeologiche impregnate;
- la struttura idrogeologica;
- la topografia.

CLASSE	SOTTOCLASSE
1. Sorgenti per limite di permeabilità	a) sorgenti per limite di permeabilità indefinito b) sorgenti per limite di permeabilità definito
2. Sorgenti per soglia di permeabilità	c) sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta d) sorgenti per soglia di permeabilità sovraimposta

3. Sorgenti per affioramento della superficie piezometrica	e) sorgenti per affioramento della piezometrica di falde o reti idriche libere d) sorgenti per affioramento della piezometrica di falde o reti idriche in pressione

***Tab. 1**: schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali (CIVITA, 1972).*

Sulla base della classificazione sopra riportata, alla luce delle caratteristiche della fonte rilevate in sito, è possibile affermare che questa appartiene alla classe 3 e – *sorgente per affioramento della piezometrica di falde o reti idriche libere*.

Il fattore di controllo di questa classe di manifestazioni sorgive è la topografia, intesa come il risultato dell'azione cumulativa degli agenti morfogenici di una regione nel tempo. E', infatti, l'evoluzione della morfologia che, sovrapponendosi ad una situazione idrogeologica già ben definita e preesistente, genera una scaturigine o, come si osserva di frequente, un gruppo od un allineamento di sorgenti.

La situazione idrogeologica preesistente è sempre improntata dall'esistenza, ad una profondità più o meno modesta rispetto al p.c., di una falda o rete idrica di potenza tale che la posizione del relativo substrato impermeabile non intervenga come fattore genetico della sorgente. In tale situazione, dunque, la venuta a giorno dell'acqua sotterranea non dipende in maniera sostanziale da altri fattori di controllo, quali la struttura o mutamenti del grado di permeabilità dell'acquifero.

In sintesi, se l'azione dei fattori morfogenici, eventualmente coadiuvati dall'attività antropica (ad es. realizzazione di scavi/sbancamenti), nel tempo porta ad un progressivo abbassamento della superficie topografica, ovviamente differenziale nello spazio, si può giungere al limite all'intersezione di tale superficie con quella piezometrica della falda o rete idrica preesistente. La localizzazione dei punti di intersezione è solo raramente casuale: le sorgenti si manifestano nei punti ove le azioni erosive producono il massimo effetto (valli di escavazione fluviale/torrentizia o esarazione glaciale, conche lacustri, ecc.), o, comunque, in quei punti della superficie topografica che, a parità di evoluzione morfologica, si trovano più vicini alla superficie piezometrica a causa di locali culminazioni di questa, dovute a locali variazioni del grado di permeabilità dell'acquifero od a variazioni in spessore e/o sezione di questo.

Relativamente a quanto sopra indicato, si rappresenta che la manifestazione sorgiva in esame, proveniente dalle acque permeanti i depositi sabbiosi e, in misura minore, conglomeratici, si colloca in una locale incisione valliva, posta a m 140 di quota al di sotto dell'area d'intervento, e scaturisce dall'affioramento della piezometrica in corrispondenza di un taglio del versante parzialmente modificato dall'azione antropica, quest'ultima finalizzata ad ottenere una più agevole modalità di captazione delle acque.

Questa tipologia di sorgenti, come anticipato, viene a sua volta suddivisa in due sottoclassi, a seconda che la falda (o rete) che alimenta la scaturigine sia libera o in pressione. Nel primo caso, la sorgente si origina effettivamente nel punto e nel momento in cui la superficie topografica interseca quella piezometrica. Nel secondo caso, invece, la sorgente si origina, in teoria, con un ritardo più o meno lungo rispetto al momento in cui si verifica l'intersezione tra le due superfici, dal momento che l'erosione dovrà intaccare lo strato impermeabile che limita la falda superiormente almeno per uno spessore tale da consentire alle stesse acque della falda di aprirsi la strada grazie alla pressione idrostatica.

La sorgente in esame, sulla base delle caratteristiche geometriche locali dell'acquifero e della morfologia dei luoghi, risulta appartenere alla sottoclasse delle falde o reti di tipo libero.

Relativamente alle caratteristiche di portata, si rappresenta che la fonte in questione è oggetto da diversi anni di misure periodiche, eseguite sia dalla Committenza che dai proprietari. Sulla base di tali misure è stato possibile verificare che il regime della sorgente, al pari della temperatura delle acque, risulta essere pressochè costante nell'arco dell'anno, a testimonianza del carattere relativamente profondo dell'acquifero a cui questa si ricollega (quest'ultimo

rappresentato dai termini sedimentari del complesso pliocenico entro il quale si colloca il corpo di discarica).

I valori medi delle misure effettuate in sito risultano essere le seguenti:

- temperatura dell'acqua: 14 °C (circa costante durante tutto l'anno);
- portata: m^3 1,0 / giorno (pari a circa 0,01 l/s).

Secondo la classificazione di MEINZER (1923), le sorgenti vengono classificate quantitativamente in relazione alla loro portata minima annua secondo il seguente schema:

Classe n.	Portata minima annua (l/s)
1	> 10.000
2	Da 1.000 a 10.000
3	Da 100 a 1.000
4	Da 10 a 100
5	Da 1 a 10
6	Da 0,1 a 1
7	Da 0,01 a 0,1
8	< 0,01

Sulla base di tale classificazione, è possibile affermare che la sorgente in esame ricade nella Classe n. 7 di Meinzer.

Al pari delle caratteristiche di portata e temperatura, anche la composizione chimica delle acque di tale sorgente sono state oggetto di periodiche analisi, effettuate sia dalla Committenza che dai proprietari del terreno in cui questa è ubicata, al fine di verificare l'eventuale presenza in queste di fenomeni di contaminazione provenienti dal soprastante impianto di Collette.

Si riportano, di seguito, alcune risultanze esemplificative di tali analisi.

I dati riportati nelle analisi evidenziano l'assenza di fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee prelevate dalla "fonte dei ciliegi", il cui acquifero di riferimento è rappresentato dai termini sedimentati pliocenici costituenti la dorsale sulla quale si colloca l'impianto di stoccaggio degli R.S.U.

4.4 CARATTERI DI PERMEABILITA' DEI TERMINI PRESENTI IN SITO

Definizione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni presenti nel sito d'indagine

Ai fini della definizione dei principali parametri idrogeologici dei terreni di copertura presenti in sito sono state eseguite delle apposite prove di permeabilità, le cui risultanze vengono di seguito esposte.

In particolare, al fine di verificare le caratteristiche di permeabilità dei terreni di copertura (coltre eluvio – colluviale) presenti nell'area in esame sono state appositamente eseguite in sito n. 2 prove di permeabilità all'interno di altrettanti pozzetti (aventi tra loro uguali dimensioni, pari a m 0,5 x m 0,5 ed altezza di m 0,5) appositamente eseguiti in prossimità del sito in esame.

Le prove di permeabilità sono state eseguite a carico variabile seguendo le modalità previste dalla normativa A.G.I. 1977.

Le prove sono state svolte immettendo cm 20 circa d'acqua in ognuno dei n. 2 pozzetti e misurando i tempi necessari (intervalli) a raggiungere i valori di abbassamento pari a cm 5, cm 10 e cm 15.

Le coppie di valori ottenuti per ottenere ciascun intervallo di abbassamento, relativi ad ogni singola prova, sono stati elaborati mediante l'utilizzo della seguente formula che ha permesso di ottenere un valore di K medio caratteristico del materiale inerte presente in sito.

$$K = h1 - h2/t2 - t1*1+(2h_m/b)/27*(hm/b)+3$$

dove:

h1 (altezza iniziale del livello dell'acqua)	(cm)
h2 (altezza finale del livello dell'acqua)	(cm)
t2 - t1 (tempo per il raggiungimento di h2)	(min)
h_m (altezza media tra h1 e h2)	(cm)
b (lato della base del pozzetto)	(cm)
K (coefficiente di permeabilità)	(cm/s)

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per ciascuna delle n. 2 prove di permeabilità eseguite.

PROVA P1

		Interv.1	Interv.2	Interv.3	Media
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua)	**(cm)**	20	20	20	
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua)	**(cm)**	15	10	5	
$t_2 - t_1$ (tempo per il raggiungimento di h_2)	**(min)**	72	156	214	
h_m (altezza media tra h_1 e h_2)	**(cm)**	17.5	15	12.5	
b (lato della base del pozzetto)	**(cm)**	50	50	50	
K (coefficiente di permeabilità)	**(cm/s)**	0.000158	0.000154	0.0001797	**0.000164**

PROVA P2

		Interv.1	Interv.2	Interv.3	Media
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua)	**(cm)**	20	20	20	
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua)	**(cm)**	15	10	5	
$t_2 - t_1$ (tempo per il raggiungimento di h_2)	**(min)**	83	160	220	
h_m (altezza media tra h_1 e h_2)	**(cm)**	17.5	15	12.5	
b (lato della base del pozzetto)	**(cm)**	50	50	50	
K (coefficiente di permeabilità)	**(cm/s)**	0.0001371	0.0001502	0.0001748	**0.000154**

Dall'analisi dei risultati ottenuti emergono dei valori di permeabilità relativamente costanti, che permettono di definire un valore medio pari a $1,5 * 10^{-6}$ m/s circa.

In base alla classificazione proposta da V. Francani (1985) che prevede 4 classi di permeabilità a seconda della tipologia di materiale e dei valori di K ottenuti da prove in sito e laboratorio, è possibile definire la permeabilità K del la materiale inerte presente in sito, come "cattiva" ($10^{-5} – 10^{-9}$).

Relativamente alle caratteristiche di permeabilità del substrato conglomeratico integro e compatto, rappresentante il materiale entro il quale si collocherà l'opera in progetto, i reali valori di conducibilità idraulica attribuibili a tale litotipo sono stati dedotti dal sottoscritto, in seguito all'esecuzione, in prossimità della sottostante discarica d'interti "Colli", di n. 3 prove di permeabilità a carico variabile all'interno di pozzetti sub-cilindrici, appositamente realizzati e dimensionati. Tali prove sono state realizzate immettendo acqua nello scavo fino al raggiungimento del completo riempimento di questo e successiva misura dell'abbassamento del livello piezometrico dopo 24 ore.

Il coefficiente di permeabilità k è stato, quindi determinato applicando la seguente relazione:

$$k = A/FT$$

in cui:

A = Area della sezione trasversale del pozzetto;
F = Coefficiente di forma, dipendente dalle caratteristiche stratigrafiche e geometriche della cavità;
T = Tempo di riequilibrio (ricavato da un diagramma in cui i rapporti delle altezze del livello piezometrico in diversi tempi rispetto all'altezza iniziale sono riportate in funzione dei tempi di misura).

I valori ottenuti, opportunamente mediati, vengono di seguito esposti:

K media totale del conglomerato pliocenico = $5{,}0 * 10^{-8}$ m/s

In base alla classificazione proposta da V. Francani (1985), che prevede 4 classi di permeabilità a seconda della tipologia di materiale e dei valori di K ottenuti da prove in sito e laboratorio, è possibile definire la permeabilità K del substrato conglomeratico presente in sito, come "cattiva" ($10^{-5} – 10^{-9}$).

Valori di permeabilità dei terreni presenti nel sito in esame e nel suo intorno

Per una corretta definizione dell'assetto idrogeologico locale si rappresentano i principali caratteri di permeabilità dei terreni presenti in corrispondenza del sito in esame e del suo intorno, desunti da dati di letteratura ed apposite prove eseguite dallo scrivente su tali materiali.

Coperture quaternarie		
Tipo	*Descrizione*	*Permeabilità (K)*
Materiali di riporto antropico eterogeneo	Depositi a permeabilità variabile in funzione delle caratteristiche granulometriche, generalmente media	$10^{-6} – 10^{-7}$ m/s
Coltri eluvio - colluviali	Depositi di versante a composizione prevalente sabbioso – argillosa, caratterizzati in genere da un grado di permeabilità da medio a medio - basso	$10^{-6} – 10^{-8}$ m/s

Lembi pliocenici della Liguria Occidentale		
Tipo	*Descrizione*	*Permeabilità (K)*
Argille di Ortovero	Depositi argilloso – marnosi da mediamente a molto addensati, caratterizzati da uno scarso grado di fratturazione ed un grado di permeabilità da molto basso a nullo	$10^{-9} – 10^{-10}$ m/s
Sabbie di Terre Bianche	Depositi sabbiosi mediamente addensati, caratterizzati da una scarsa fratturazione ed un grado di permeabilità medio	$10^{-5} – 10^{-6}$ m/s
Conglomerati di Monte Villa	Depositi ghiaioso – ciottolosi con blocchi, ben cementati, da poco a mediamente fratturati nei livelli prossimi alla superficie, caratterizzati da una permeabilità passante da bassa nei livelli inalterati a medio – bassa in quelli parzialmente decementati e/o fratturati	$10^{-7} – 10^{-8}$ m/s

Flysch di Sanremo		
Tipo	*Descrizione*	*Permeabilità (K)*

Flysch a composizione prevalente calcareo - marnosa	Alternanze di calcari marnosi, marne ed argilloscisti caratterizzati da una marcata fratturazione superficiale, un grado di permeabilità primaria bassa - nulla ed una secondaria alta in corrispondenza dei livelli maggiormente alterati e/o fratturati	Primaria: $10^{-9} – 10^{-10}$ m/s Secondaria: fino a 10^{-4} m/s

4.5 MONITORAGGIO DELLA COMPONETE IDRICA SOTTERRANEA

Sulla base degli elementi sopra riportati è possibile affermare che, allo stato attuale, l'impianto di Collette Ozotto non ha generato, nei vari anni d'attività, alcuna contaminazione dell'ambiente idrico sotterraneo locale, a testimonianza della corretta realizzazione ed efficacia dei sistemi di impermeabilizzazione del fondo discarica e di raccolta dei percolati.

Sempre a tal merito, si rappresenta che il sistema di chiusura del lotto oggetto di ampliamento della discarica, in analogia con quelli già terminati, manterrà adeguate caratteristiche di isolamento ed impermeabilizzazione dei rifiuti stoccati: in particolare, il sistema di copertura finale, e nella fattispecie la guaina impermeabile prevista da progetto, impedirà l'ingresso all'interno della discarica delle acque di infiltrazione superficiale, evitandone quindi la contaminazione, mentre l'impermeabilizzazione di fondo e laterale impedirà ai percolati di infiltrarsi nel sottosuolo.

Qualora dovessero verificarsi danneggiamenti (peraltro certamente non prevedibili) del sistema di impermeabilizzazione inferiore, tali da determinare fuoriuscite di fluidi contaminanti, si rappresenta, comunque, che l'ambiente idrico sotterraneo ne risulterebbe sufficientemente salvaguardato: le buone caratteristiche dell'ammasso roccioso, unitamente alla bassa permeabilità dei termini che lo costituiscono, offrono infatti adeguate garanzie in termini di bassa velocità di propagazione dei contaminanti. In termini idrogeologici, quindi, l'ammasso roccioso presenta caratteristiche passanti da quelle di un *aquitard* a quelle di un *aquifer* avente permeabilità molto bassa.

Nell'elaborato del 15 Ottobre 2002 ("*Integrazione all'indagine geologico - tecnica di supporto al progetto definitivo per la prosecuzione dell'attività di discarica controllata di 1° categoria in località Collette Ozotto a Bussana di SANREMO (IM) con recupero e stabilizzazione della frazione organica per un periodo transitorio fino a tutto il 12 Dicembre 2005. Ripristino ambientale e sistemazione del sito"*), al fine di ottenere una precisa caratterizzazione litostratigrafica ed idrogeologica delle aree maggiormente interessate dagli interventi in progetto, vengono riportati i risultati di una campagna di indagini geognostiche di profondità in sito, consistente essenzialmente nell'esecuzione di alcuni sondaggi, opportunamente ubicati e spinti fino ad una profondità da p.c. rappresentativa per indagare anche il terreno presente al di sotto della discarica, stimata sulla base dell'entità degli scavi previsti da progetto. In particolare, si sono eseguiti n. 3 sondaggi a distruzione di nucleo, spinti fino alla profondità di m 40 da p.c., con prelievo di un significativo quantitativo di "cuttings" ogni metro circa di avanzamento della perforazione.

Le risultanze di tali sondaggi, opportunamente correlate tra loro, hanno permesso di fornire, con buona attendibilità, la locale successione litostratigrafica verticale dell'area interessata dallo scavo della discarica, nonché di verificare la presenza o meno di acque sotterranee fino alla profondità massima indagata, ben al di sotto del fondo discarica.

Le indagini dirette di profondità, di cui si riportano nella tavola allegata l'ubicazione e relative stratigrafie, hanno evidenziato quanto segue:

- presenza di un livello superficiale di coltre di alterazione, costituito essenzialmente da argille residuali di colore rossastro e di potenza complessivamente alquanto limitata (generalmente non superiore a m 1,5 – 2,0 circa).

- substrato roccioso omogeneo costituito, fino alla massima profondità indagata, unicamente dalla tipica facies conglomeratica, di colore marroncino e costituita da clasti poligenici immersi in matrice per lo più sabbiosa.

Al fine di valutare la presenza di una falda idrica o di venute idriche sub - superficiali nell'area d'indagine, in ciascun foro di sondaggio è stato installato un tubo piezometrico in PVC, all'interno dei quali è stato possibile eseguire un monitoraggio periodico (cadenza mensile) della durata di mesi 12 (intero ciclo meteoclimatico).

In seguito alla suddetta campagna di monitoraggio all'interno dei piezometri installati, è stata evidenziata l'assenza di circuiti idrici sub-superficiali e, più in generale, di una falda idrica.

Nella successiva tabella vengono riportate le risultanze del monitoraggio eseguito in corrispondenza dei suddetti n. 3 tubi piezometrici.

DATA	**PRESENZA FALDA**			**PROFONDITA' (m da p.c.)**		
	S1	**S2**	**S3**	**S1**	**S2**	**S3**
18.10.2002	NO	NO	NO	**-**	**-**	**-**
21.11.2002	NO	NO	NO	-	-	-
17.12.2002	NO	NO	NO	-	-	-
16.01.2003	NO	NO	NO	-	-	-
19.02.2003	NO	NO	NO	-	-	-
19.03.2003	NO	NO	NO	-	-	-
16.04.2003	NO	NO	NO	-	-	-
15.05.2003	NO	NO	NO	-	-	-
20.06.2003	NO	NO	NO	-	-	-
16.07.2003	NO	NO	NO	-	-	-
15.08.2003	NO	NO	NO	-	-	-
18.09.2003	NO	NO	NO	-	-	-
14.10.2003	NO	NO	NO	-	-	-

Si rappresenta, inoltre, che nell'anno 2009, in adiacenza al lato W del lotto in saturazione della discarica, poco a S di quello oggetto di ampliamento, sono stati realizzati n. 2 piezometri finalizzati al monitoraggio dei livelli sottostanti il corpo della discarica.

In sintesi, le caratteristiche di tali piezometri sono le seguenti:

- lunghezza: m 40;
- inclinazione rispetto alla verticale: 20° verso E;
- lunghezza del tratto fessurato: m 40 (completo);
- diametro minimo: 3'' (tale da consentire il campionamento di eventuali acque intercettate).

Tali piezometri sono stati realizzati in modo tale da intercettare pressochè ortogonalmente l'insieme degli strati del substrato roccioso entro i quali è stata realizzata la vasca di stoccaggio attualmente in uso, nonché quelli sottostanti a questa per diversi metri di profondità. Grazie a tale sistema è stato quindi possibile eseguire periodicamente un monitoraggio di dettaglio del sottosuolo, localmente privo, come sottolineato in precedenza, di una locale falda freatica: qualora si fosse verificata l'infiltrazione di percolati al di fuori della discarica sarebbe stato possibile rilevarli con un'adeguata rapidità, tale da porre in essere l'insieme degli interventi atti all'eliminazione della problematica ambientale.

Inoltre, la pendenza del fondo della discarica in uso tende a convogliare i percolati verso WSW, appunto nella direzione dei piezometri stessi: pertanto, il settore occidentale di tale vasca risulta essere quello ove è presente la maggior concentrazione dei fluidi derivanti dalla

decomposizione dei rifiuti. Ne consegue che tale settore risulta più esposto a potenziali fenomeni d'infiltrazione, pur ribadendo la corretta realizzazione ed efficacia del sistema d'impermeabilizzazione. Sulla base di tali considerazioni si è quindi optato per ubicare il sistema di monitoraggio prossimo

Anche in questo caso, in seguito alla campagna di monitoraggio all'interno dei piezometri installati, è stata evidenziata l'assenza di circuiti idrici sub-superficiali e, più in generale, di una falda freatica o profonda.

L'assenza di una falda in corrispondenza dell'area interessata dal progetto in esame risulta essere confermata, inoltre, dal monitoraggio all'interno di ulteriori piezometri, ubicati nell'area d'indagine in tempi diversi, all'interno dei quali non è mai stata rilevata la presenza di acque sub-superficiali.

Allo stesso modo, nel corso degli anni d'esercizio della discarica, a seguito di ripetuti sopralluoghi effettuati in corrispondenza dei fronti di scavo (impostati nel conglomerato pliocenico), non sono mai state segnalate evidenze di puntuali (e, tanto meno, diffuse) venute idriche.

Alla luce delle indagini di superficie e di profondità svolte negli anni in sito (posizione prossima allo spartiacque), nonchè dall'esame della bibliografia e della cartografia attinente l'area in oggetto, si può quindi affermare che il corpo della discarica non abbia interferito e non interferisce in alcun modo con eventuali falde idriche sotterranee. Tale considerazione risulta essere valida anche per l'area ove verrà collocato l'ampliamento in progetto, avente le medesime caratteristiche geologiche ed idrogeologiche.

Un'ulteriore attività di monitoraggio è stata effettuata mediante il campionamento periodico delle acque della "fonte dei ciliegi", grazie alle quali è stato possibile evidenziare l'assenza di fenomeni di contaminazione; tali acque verranno sottoposte, come già avvenuto in passato, ad analisi chimiche atte a verificare l'eventuale presenza di sostanze contaminanti. Queste analisi, considerate le caratteristiche dell'acquifero di riferimento, permetteranno di attestare, nel tempo, lo stato dell'ambiente idrico sotterraneo, nonché l'eventuale influenza operata su questo dall'impianto di Collette qualora dovessero verificarsi malfunzionamenti del sistema di impermeabilizzazione, ad oggi sicuramente non prevedibili.

Al fine di verificare l'eventuale presenza di una falda idrica e/o di venute idriche sotterranee nel settore di monte della discarica, interessato dall'ampliamento in progetto, sono stati previsti **n. 2 nuovi sondaggi geognostici** da eseguirsi a distruzione di nucleo, della lunghezza di m 60 ciascuno, all'interno dei quali saranno stati ubicati **n. 2 tubi piezometrici**, i quali saranno anch'essi oggetto di apposito monitoraggio.

4.6 INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Dal punto di vista idrologico, a partire dalle zone perimetrali (spartiacque) fino all'area occupata dall'ex discarica d'inerti Colli, si diramano lungo i versanti alcune vie preferenziali di ruscellamento superficiale, le quali, verso valle, si sviluppano in piccole aste di drenaggio delle acque con ordine gerarchico pari a 1 (secondo la classificazione di A. N. Strahler); esse incidono localmente in maniera marcata il substrato conglomeratico, riflesso degli innalzamenti regionali verificatisi nel Pliocene, soprattutto, e nel Quaternario. Il ringiovanimento del rilievo è intuibile anche nelle rotture di pendio ubicate ai lati delle linee d'impluvio.

Il lotto d'intervento è ubicato immediatamente a monte di un piccolo corso d'acqua, denominato rio Colli; esso, all'interno dell'ex discarica Colli, defluiva all'interno di una tombinatura in calcestruzzo, realizzata, sulla base del progetto originale, con dimensioni di cm 150 x 100, al di sotto del materiale di discarica, avente potenza variabile compresa tra pochi metri (nel tratto a monte) a circa m 70 (nel settore a valle in prossimità della scarpata). Tale tombinatura presentava una lunghezza totale di m 394,53 con pendenza media verso valle pari al 15,5%. L'opera

in oggetto ha subito negli anni diversi interventi di ripristino a seguito dei numerosi cedimenti e lesioni, che hanno portato ad una modifica sostanziale della sezione di deflusso. Allo stato attuale tale tombinatura non risulta più utilizzata; il rio è stato infatti interessato, nell'anno 2003, da una nuova adeguata sistemazione idraulica in parte di superficie (zona di monte) ed in parte sotterranea (zona di valle), resasi necessaria alla luce delle pessime condizioni strutturali della vecchia tombinatura, ad oggi, come scritto, in disuso.

Per quanto attiene alla regimazione idraulica dell'area, le acque meteoriche a deflusso superficiale provenienti da monte saranno opportunamente captate ed incanalate (vedasi elaborati progettuali).

5. SISMICITA' DEL PONENTE LIGURE

5.1 INTRODUZIONE

Nel settore del Ponente ligure sono presenti, secondo la suddivisione ZS4 proposta dal GNDT (Gruppo Nazionale Difesa Terremoti), ben tre distinte zone sismogenetiche, indicate come "Zona 22 – Alpi liguri meridionali" , "Zona 24 – Mar Ligure" e "Zona 23". La prima si pone nel gruppo delle strutture legate alla convergenza tra la placca europea e l'Adria, ed è caratterizzata geodinamicamente da faglie transpressive con andamento da E – W a WNW – ESE e movimenti di strike slip sinistro. La zona 24, come la 23, appartiene al gruppo delle strutture di trasferimento Alpi-Appennino e Mar Ligure, e presenta compressione (*thrust* e *strike-slip* sinistro con assi P W-E e WNW-ESE) sovrapposta a vecchie strutture estensionali. La Zona 23, posta nei pressi del confine italo – francese, presenta movimenti di *strike-slip* sinistro in strutture crostali superficiali e dip-slip in strutture più profonde.

Analizzando la sismicità nell'area dell'estremo ponente ligure si possono evincere alcuni aspetti peculiari: le aree di maggiore attività sono circoscritte alla parte centrale del Mar Ligure e ad una o più fasce in corrispondenza della scarpata e del piede di scarpata continentale. In terra, il più significativo allineamento, con andamento NW-SE, si estende dalla costa sino al limite meridionale del Massiccio dell'Argentera. Una conferma alla presenza di queste strutture e una loro miglior collocazione nel territorio deriva dall'analisi della sismicità strumentale, rilevata dalla rete sismica dell'Italia Nord-Occidentale. Nell'analisi della sismicità attuale eseguita dall'Università di Genova, Dipartimento per il Territorio e le Risorse (Dipteris), sono stati considerati tutti i dati rilevati nel periodo 1983-1999 dalla rete sismica regionale, gestita dall'Università (Eva *et alii,* 1992), e da quelle francesi localizzate lungo il margine occidentale delle Alpi Occidentali, le quali monitorano costantemente l'attività sismica dell'area in esame. Ai dati registrati da queste reti sono stati anche aggiunti quelli di reti temporanee che avevano operato sul territorio per il rilievo della microsismicità associata a strutture sismogenetiche o supposte tali, per periodi più o meno lunghi. Tutti i dati registrati sono stati raccolti in un unico database e rianalizzati secondo criteri omogenei. In totale per l'area considerata sono stati localizzati oltre 7000 eventi con $1.5 < Ml < 5.0$. Per le analisi sismotettoniche, da questi sono stati estratti solo quelli di migliore qualità, ovvero quei terremoti che presentavano degli errori massimi di localizzazione (verticali e orizzontali) minori di 5 km e che fossero localizzati con almeno sei stazioni. Questi limiti sono sufficienti per garantire un accettabile grado di omogeneità tra i dati da utilizzare nelle correlazioni strutture-sismicità.

5.2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE SISMICHE DEL PONENTE LIGURE

Come rappresentato nella successiva fig. 9, relativa alla distribuzione della sismicità nell'estremo Ponente Ligure, è possibile evincere per tale zona alcuni aspetti peculiari: le aree di maggiore attività sono circoscritte alla parte centrale del Mar Ligure e ad una o più fasce in

corrispondenza della scarpata e del piede di scarpata continentale. In terra, il più significativo allineamento, con andamento NW-SE, si estende dalla costa sino al limite meridionale del Massiccio dell'Argentera.

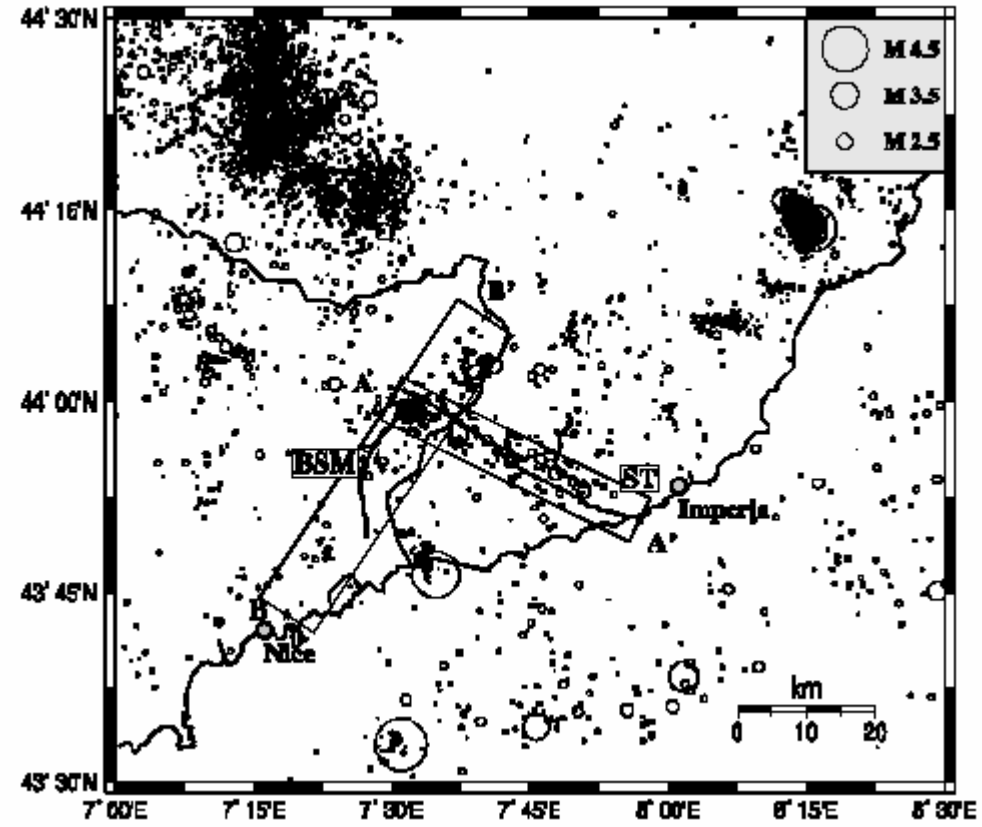


***Fig. 9** - Mappa della sismicità strumentale per il periodo 1983-1999. ST indica il sistema di faglie Saorge-Taggia e BSM il sistema Breil – Sospel - Monaco.*

Le localizzazioni indicano una maggiore superficialità (mediamente h < 7 km) degli eventi in terra mentre mostrano degli approfondimenti sino a 15 - 20 km in prossimità del margine continentale (Cattaneo et al., 1999). La sismicità storica di quest'area mette in evidenza possibili correlazioni con la microsismicità recente. In riferimento al catalogo NT4.1, pur in considerazione dei bassi livelli di completezza per i periodi prima del 1750, si nota che i principali eventi risentiti sono localizzati lungo costa con valori di intensità medio - bassi ed "isosisme" totalmente aperte verso Sud, ciò chiaramente è indice di terremoti marini di dubbia localizzazione.

Gli eventi rilevanti più recenti (sequenza del luglio 1963) invece furono localizzati (Bossolasco & Eva, 1965) in quel cluster di attività che si trova a 60 - 70 km dalla costa ligure, nella parte centrale del Mar Ligure.

Le strutture a mare

Le caratteristiche morfologiche e morfotettoniche del bacino del Mar Ligure e del suo margine continentale sono state studiate per diversi anni tramite rilievi sismici eseguiti durante campagne oceanografiche sia italiane che francesi. La maggior parte dei profili sismici sono stati ottenuti con tecniche monocanale a differente potere di penetrazione (sparker 1-6 KJ, subbottom and air/water guns).

Più recentemente, nel quadro dei progetti CROP-mare e ECORS sono state avviate delle campagne di sismica a riflessione multicanale, i cui risultati sono, per lo meno per il settore costiero d'interesse per il settore del Ponente ligure, non ancora disponibili.

La maggior parte delle informazioni che verranno di seguito presentate sono state ottenute tramite due campagne (Maligu I e II) eseguite nell'ambito di una collaborazione tra il Gruppo di Sismologia di Genova e il Laboratoire de Geodynamique Sous-Marine de Villefranche sur Mer.

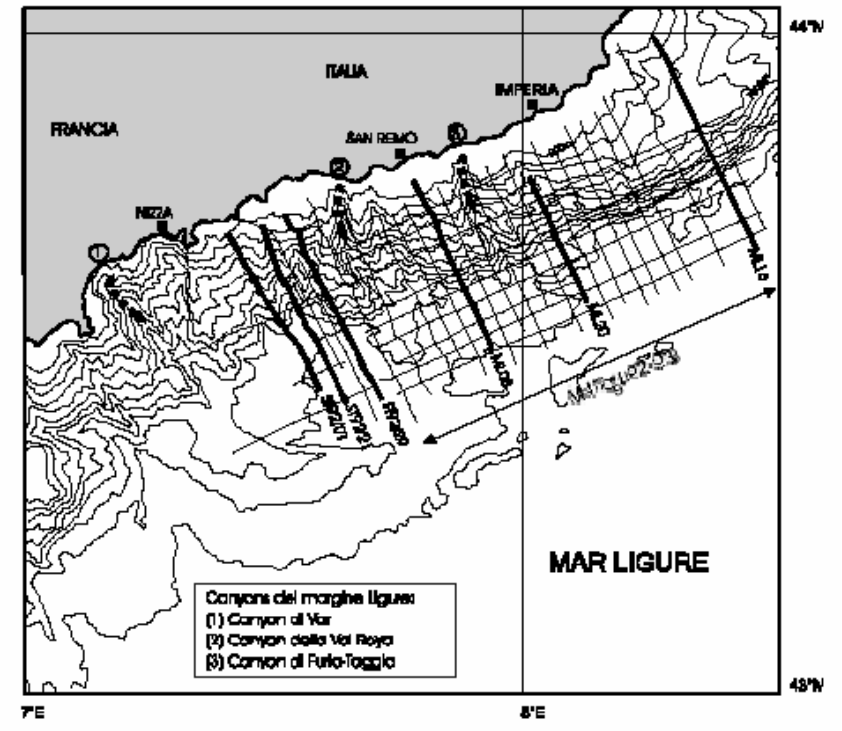


Fig. 10 *- Posizione dei profili di sismica a riflessione effettuati durante le campagne oceanografiche Maligu I e II (Eva et al., 1993)*

Durante queste crociere sono state eseguite due serie di profili perpendicolari e longitudinali alla costa tra Imperia e Ventimiglia. I profili hanno costituito un reticolato di osservazione quasi regolare con maglie di circa 1.5 miglia di lato che hanno ricoperto tutto il margine continentale e una fascia consistente della piana batiale (Eva et al., 1993; Chamillon et al. 1994) (Fig. 10).

Secondo le analisi dei profili, la struttura della scarpata continentale del Mar Ligure, che presenta notevoli pendenze, è caratterizzata da un sistema di faglie a gradino (step faults), dovute ai processi distensivi che hanno interessato l'intera area nei periodi pre- Pliocenici e causarono la migrazione del blocco Corso - Sardo verso SE. Come mostrato in fig. 11, le strutture più vecchie vengono intersecate da un sistema di faglie più recenti perpendicolare alla costa. Queste faglie, talora con pareti quasi verticali, delimitano canyons che incidono profondamente il margine continentale. Questo rappresenta un'interferenza di una successiva fase distensiva, orientata E-W, che origina dei mini - graben che probabilmente interessano gli strati crostali più superficiali.

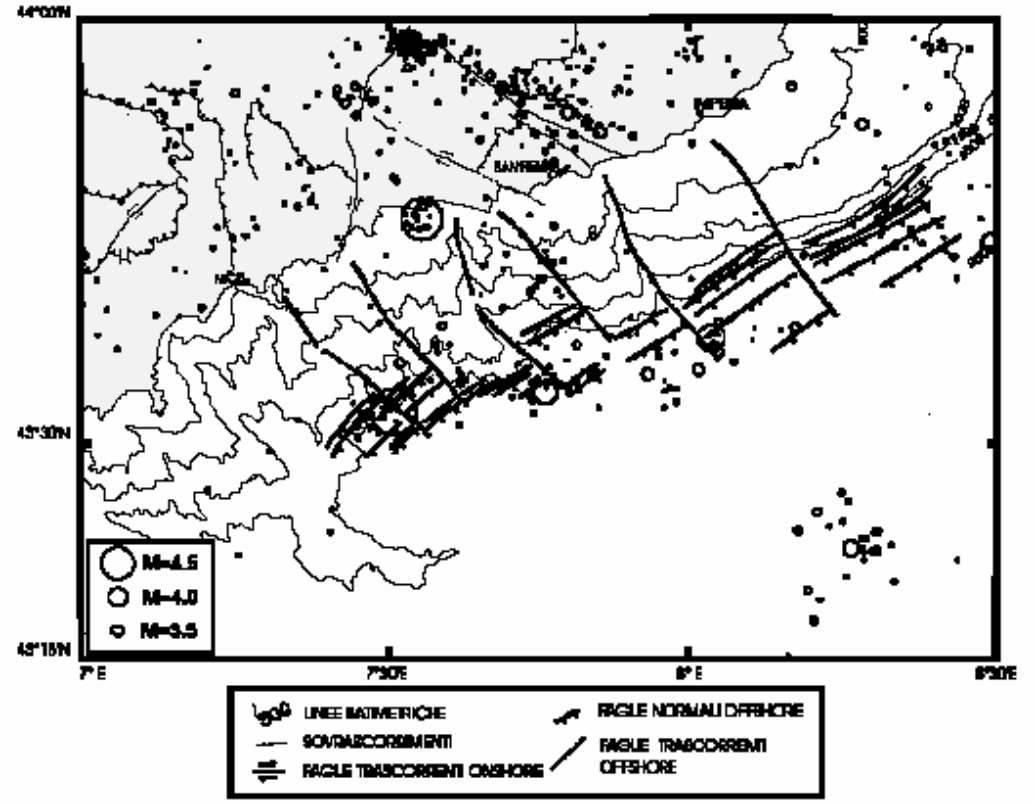


Fig. 11 *- Mappa strutturale semplificata del margine Nord-Occidentale del Mar Ligure e mappa della sismicità.*

Al di là di questi due sistemi di faglie, che sono legati alle parti più superficiali, i profili sismici mettono in evidenza (fig. 11) che il sistema di faglie più significativo è quello legato al piede del margine continentale. Questo sistema di faglie ad andamento quasi verticale pone in contatto una crosta continentale con coperture sedimentarie che raggiungono spessori di alcune migliaia di metri (3 - 4 km). Tali accumuli sedimentari presentano i massimi spessori in corrispondenza dei canyon sottomarini. Sia i sedimenti Plio - Quaternari che le evaporiti superiori mostrano un piegamento al piede del margine. La dimensione di questa flessione indica che lo spessore dei sedimenti può essere messo in relazione con il fenomeno di subsidenza che ha interessato la regione, dovuto alla risalita di domi salini.

Le informazioni raccolte dal progetto CROP-mare, il cui profilo 11 risulta perpendicolare alla costa ligure e passa in prossimità di Ventimiglia, mettono in evidenza che il sistema di faglie posto al piede della scarpata interessa la totalità della crosta superiore e parte di quella inferiore della parte continentale, rappresentando uno svincolo estremamente netto tra la parte continentale e quella oceanica del Mar Ligure (Finetti 1999, com. pers.).

Tutto il margine appare suddiviso in blocchi tra loro tiltati e disposti “en echelon” e nei loro spigoli vengono ad inserirsi i potenti depositi di sedimenti plio-pleistocenici.

Dal punto di vista tettonico è interessante rilevare la diversità di orientazione assunta dalle strutture a terra rispetto a quelle a mare. In terra, i lineamenti “attivi” presentano delle orientazioni N120° e mostrano indizi di attività sino al Quaternario, mentre sul margine continentale i sistemi di faglia, mediamente orientati N 160°, sono legati a faglie trasversali, perpendicolari alla costa, creati durante il periodo di rifting. Tutto ciò sembra indicare una poco marcata interazione tra i sistemi a mare e quelli in terra.

E’ da sottolineare che la sismicità recente appare concentrarsi al piede del margine continentale e, in particolare, gli eventi maggiori si vanno a collocare in corrispondenza dei nodi dei due sistemi di faglia presenti (Augliera et al.,1996). Qui i meccanismi focali dei terremoti studiati indicano piani nodali coerenti con l’andamento di entrambi i sistemi, con una componente dominante di stress compressivo orientato prevalentemente NW-SE (Eva e Solarino, 1998). La coesistenza di soluzioni trascorrenti e di sovrascorrimento indicherebbe che il margine è soggetto a

movimenti di tipo transpressivo. Questo ha fatto pensare che tutto il margine possa essere attualmente soggetto ad uno stress compressivo orientato quasi NW-SE, completamente inverso ai moti distensivi che hanno interessato tutto il periodo di rifting del Mar Ligure (Bethoux *et al*,1988).

I sistemi a terra e la linea Saorge –Taggia

La Saorge - Taggia (ST) è un complesso fascio di faglie, con orientazione NW-SE a trascorrenza destra (Giammarino et al., 1978). Questo sistema si estende dal Mar Ligure sino ad intersecare, verso nord, la faglia Breil – Sospel - Monaco (BSM), con trascorrenza sinistra, considerata lo svincolo orientale dell'arco di Nizza.

La dinamica attuale della zona continentale prossima al confine francese, imputabile al Plio-Quaternario, è determinata da numerosi sistemi di faglie attive, di cui la linea Breil – Sospel - Monaco, attiva dal Miocene medio - superiore, e la Saorge - Taggia, attiva dal Pliocene (Campredon *et al.,* 1977) rappresentano le principali espressioni. Durante quest'ultimo periodo un regime di tipo trascorrente con $\sigma 1$ orientato mediamente in direzione N-S interessa tutto l'arco alpino meridionale, determinando un insieme di sistemi in trascorrenza che deve essere messo in relazione con il movimento verso nord del blocco sardo-corso (Campredon *et al*., 1977; Ritz, 1991).

La sismicità storica dell'area, come estratta dal catalogo NT 4.1 (Camassi & Stucchi, 1997), tende a concentrarsi nella parte meridionale della linea Saorge Taggia in prossimità del Mar Ligure. I valori di intensità sono mediamente inferiori al VII grado nella parte centrale della linea ST e superiori a tale valore nella parte più a sud. In particolare, il terremoto del 1831 e la sua replica principale, noti come terremoti di Bussana e di Taggia, rispettivamente di intensità pari a VI e VIII, sono stati localizzati nel settore SE della Saorge-Taggia. Le piccole dimensioni delle aree mesosismiche e le forti attenuazioni dell'intensità presentate dai terremoti qui localizzati sono indice di una piccola profondità dei fuochi sismici.

La sismicità strumentale (1985-1999), che è caratterizzata da scosse di bassa energia e da brevi sequenze, viene ad ubicarsi prevalentemente lungo i due lineamenti BSM e ST e si nota una forte concentrazione a NE della BSM e nel punto di intersezione tra i due sistemi di faglia (Fig. 11). Anche se nel periodo considerato, la magnitudo degli eventi è compresa tra 1.5 e 3.5 ed i massimi valori di energia corrispondono ai main shock di alcune sequenze, risulta molto evidente la correlazione tra la microsismicità e l'andamento della ST (Spallarossa et al., 1997).

Si può dire, quindi, che la linea ST rappresenta un esempio di quasi perfetta sovrapposizione tra l'attività sismica recente e le evidenze strutturali di tale lineamento; i meccanismi focali, in generale, confermano la trascorrenza destra con orientazione NW-SE del piano di faglia e definiscono una immersione verso NE con inclinazione quasi verticale; nel settore settentrionale la direzione ed immersione degli assi P e T sembrano indicare una maggiore componente di tipo transtensivo (Fig. 12).

Può essere rilevante osservare che la linea ST non rappresenta l'unica struttura attiva, infatti l'evento di maggiore energia (21/04/1995 Md = 4.9) rilevato in prossimità di Ventimiglia, ha interessato un'area spostata verso SW rispetto alla ST dove, dalle evidenze di superficie esiste una piccola faglia parallela a quest'ultima (evento n. 4 di Fig. 10). La soluzione focale e lo studio della sorgente (Courboulex *et al*., 1998) confermano una corrispondenza con questa faglia indicando un meccanismo di sovrascorrimento con un'importante componente trascorrente; la faglia orientata NW-SE indica un più probabile movimento in direzione SE.

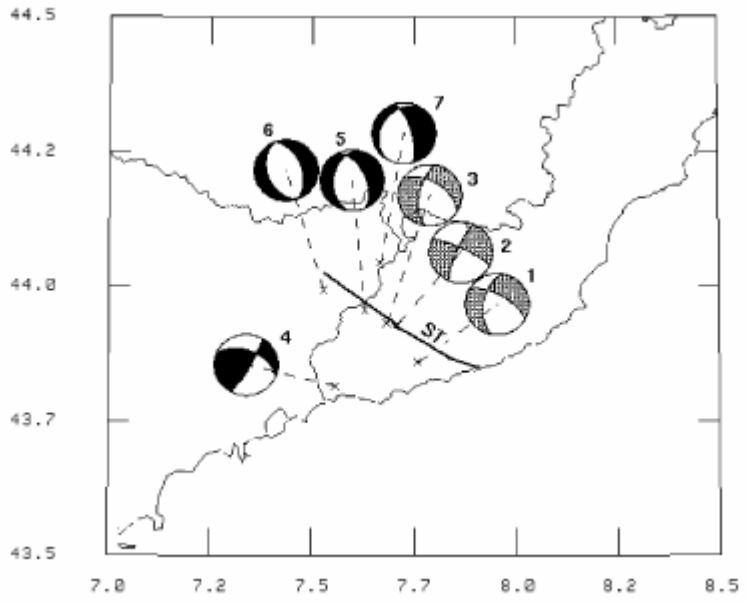


***Fig. 12** - Mappa dei meccanismi focali dei principali terremoti verificatisi lungo la linea ST (Spallarossa et al., 1997).*

Mentre in corrispondenza della Valle Argentina si assiste all'influenza del lineamento Saorge – Taggia, relativamente alla Valle Armea è possibile affermare che questa risulta essere impostata al di sopra di una importante fascia di dislocazione tettonica tardiva, avente allungamento circa parallelo alla valle stessa. Negli anni passati diversi autori hanno studiato la genesi e l'evoluzione di questa "faglia", la quale presenterebbe diverse analogie con quella di cui si presume la presenza lungo l'incisione del rio Fonti. In particolare, si riportano le risultanze dei lavori proposti nell'ambito del progetto "Neotettonica" del CNR.

Come indicato nei "Dati preliminari sulla neotettonica di parte del Foglio 102 (Sanremo)" (Giammarino et alii, 1978), l'areale è, secondo gli autori, in sollevamento a partire da 4 milioni di anni; da un certo momento, fissato a 1,8 M.A., la parte centrale della Riviera di Ponente, comprensiva del settore sanremese, rimane stabile, mentre continuano a sollevarsi i settori a SW e NE, mentre si abbassa la zona dell'attuale piattaforma marina. Tutto ciò avrebbe provocato, soprattutto ai margini della zona stabile, la formazione di faglie sub – verticali, con conseguenti innalzamenti differenziali dei terreni pliocenici. Una di tali faglie è quella detta di Capo Verde, lungo la quale si sarebbe impostato il torrente Armea: la discontinuità, a partire dalla piattaforma, si sarebbe inserita per breve tratto nella zona stabile. Nei "Dati preliminari sulla neotettonica di parte dei Fogli n. 102 (Sanremo) e n. 103 (Imperia)" (Boni et alii, 1979), gli autori sostengono che le faglie presenti nell'areale sarebbero dovute a una fase tettonica avvenuta, per un breve periodo, circa 3 M.A. or sono, la quale avrebbe ripreso discontinuità strutturali preesistenti, con faglie a tendenza sub – verticale e rigetti modesti. In seguito l'areale non avrebbe presentato ulteriori movimenti, salvo un modesto innalzamento continuo in blocco della zona continentale. Nel successivo lavoro, "Dati sulla neotettonica di parte dei Fogli 102 (Sanremo) e 103 (Imperia)" (Boni et alii, 1981), gli autori ritrattano parzialmente le affermazioni fornite in precedenza, sostenendo che anche dopo i 3 M.A. si potrebbero esser manifestati dei movimenti lungo la faglia, fino ad arrivare a tempi recenti.

Va detto che gli studi sulla sismicità del Ponente ligure non hanno messo in evidenza alcuna manifestazione sismica di questo settore: è quindi possibile affermare che questo settore di faglia sia attualmente inattivo.

Analogamente a quanto detto per la faglia della Valle Armea, è possibile ipotizzare la presenza di una discontinuità simile, ma con dimensioni molto più ridotte, in corrispondenza all'incisione del rio Fonti. Dai dati di terreno e dai risultati ottenuti dallo scavo delle gallerie "Bussana" non risulta però alcuna discontinuità significativa: con tutta probabilità la deformazione indotta dai movimenti tettonici è stata totalmente assorbita dai livelli argillosi e sabbiosi, con

comportamento moderatamente plastico, mentre le evidenze nei sovrastanti conglomerati, con comportamento rigido, attualmente non sono più visibili per via dell'erosione.

5.3 EVENTI SISMICI PRINCIPALI

Nell'area presa in esame è stato possibile riscontrare un tasso alquanto elevato di sismicità, con una concentrazione "anomala" di eventi durante il XIX° secolo e le prime decadi del XX°. Come già accennato in precedenza, gli eventi sismici verificatisi in questa regione sono riconducibili essenzialmente a due aree – sorgente, una localizzata a terra (lineamento Saorge Taggia) e una a mare, la cui definizione appare però complicata.

Nel sanremese la sismicità storica vede un'alta concentrazione di eventi, anche più volte disastrosi, a partire dall'anno 1818, ma con precedenti specie nell'area del nizzardo nel 1806 e 1807. In tale occasione (23 febbraio) si verificò un terremoto di intensità macrosismica $I_s = 7.0$, con epicentro localizzato in mare. Le cronache dell'epoca riportano considerevoli danni nella zona compresa tra Sanremo, Oneglia ed Alassio e in particolare a Diano Castello. La scossa principale venne sentita leggermente fino a Torino e Milano, e si ebbero numerose repliche nelle settimane successive. Un evento analogo, ma d'intensità minore ($I_s = 6.5$), vi fu il primo agosto dell'anno successivo.

Il 26 maggio del 1831 si verificò uno dei più intensi terremoti mai registrati nel Ponente ligure: nel sanremese tale evento venne risentito con una $I_s = 8.0$. L'epicentro del sisma, a differenza degli eventi del 1806 e 1807, si posiziona in corrispondenza della linea tettonica Saorge – Taggia, a poca distanza da quest'ultimo paese. I danni furono notevoli specie a Castellaro, Taggia, Pompeiana e Bussana Vecchia. Ad Ovest la scossa venne avvertita chiaramente fino a Ventimiglia, mentre a Est fu sentita fino ad Albenga. In misura molto minore il terremoto fu avvertito anche a Torino, Milano e Marsiglia.

La successiva crisi sismica avvenne nel 1854, a partire dal 29 Dicembre: la scossa principale fece risentire intensità variabili tra 6 e 7,5 gradi nell'area compresa tra Imperia e Sanremo. L'epicentro si localizza nel sistema di faglie posto a mare, a pochi km di distanza dalla costa. In quest'occasione si verificarono diffusi danneggiamenti degli edifici nell'area colpita dal sisma, con perdita dell'abitabilità da parte di alcuni edifici.

L'evento sismico di maggior rilievo nell'area del Ponente ligure fu sicuramente, per intensità e per danni prodotti, quello verificatosi a partire dal 23 Febbraio 1887, Mercoledì delle Ceneri. Questo terremoto ebbe epicentro nel Mar Ligure, a largo di Imperia: lungo il litorale ligure, tra Mentone e Albissola, vennero risentite intensità macrosismiche comprese tra 8 e 10 gradi. Va sottolineato che gli edifici danneggiati durante il sisma si trovavano in condizioni spesso precarie a seguito delle lesioni subite durante i terremoti precedenti, generalmente riparate approssimativamente: la predisposizione al crollo dei fabbricati era quindi elevata, probabilmente anche a seguito di una scossa d'intensità minore.

La scossa principale avvenne verso le 6.20 di mattina: dai dati raccolti all'epoca del terremoto da TARAMELLI & MERCALLI (1888) si deduce che nell'area della costa gli arrivi delle onde P, delle S e di quelle superficiali furono molto ravvicinati, generando un movimento del terreno sussultorio, ondulatorio e di tipo rotazionale. In tutta l'Italia settentrionale fu possibile sentire distintamente, tra le 6.20 e le 6.24, gli arrivi delle onde P e delle S.

Gli effetti del terremoto vennero influenzati notevolmente dalla morfologia dell'area colpita, in cui è presente una alternanza di creste e valli pressoché ortogonali alla linea di costa: effetti di amplificazione locale furono registrati in diversi paesi, quali Bussana Vecchia, Baiardo e Ceriana. In tale occasione fu inoltre possibile notare l'importanza delle litologie costituenti i rilievi sull'amplificazione delle sollecitazioni sismiche: ad esempio, nel caso di Bussana Vecchia, posta al di sopra del settore Ovest del lembo pliocenico di Taggia – Castellaro, si registrarono danneggiamenti molto maggiori rispetto al vicino paese di Poggio, fondato sul basamento litoide del Flysch di Sanremo.

Tra il 23 Febbraio e la fine di Maggio di quell'anno vi furono più di 40 repliche, per lo più verificatesi nelle prime ore dopo la prima scossa: specie la seconda e la terza produssero ulteriori danni, mentre le altre, a parte quella dell'11 Marzo, ebbero intensità molto minore.

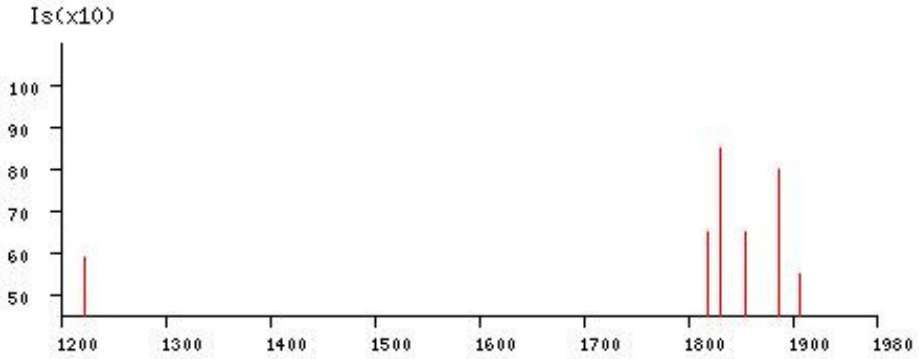
Il terremoto del 1887 rappresentò l'ultimo evento disastroso della Liguria occidentale. Successivamente il territorio della Riviera di Ponente è stato interessato da altri eventi sismici minori, ma comunque con intensità macrosismica superiore al IV grado.

Si riportano di seguito, schematicamente, i report dei principali eventi sismici verificatisi nei comuni di Taggia e Sanremo.

Osservazioni sismiche disponibili per TAGGIA (IM)

Data	Effetti	in occasione del terremoto di:
Ye Mo Da Ho Mi	Is (MCS)	Area epicentrale Ix Ms
1831 05 26	85	TAGGIA 85 55
1887 02 23	80	LIGURIA OCC. 100 64
1818 02 23	65	MAR LIGURE 70 50
1854 12 29 01 45	65	MAR LIGURE 75 55
1222 12 25 11	D	BRESCIANO 80 59
1906 08 11 09 58	55	TAGGIA 55 37
1564 07 20	45	ALPI MARITTIME 85 59
1919 11 28 21 38	45	ALPI MARITTIME 55 48
1963 07 19 05 45	45	MAR LIGURE 50 59
1920 09 07 05 55	40	GARFAGNANA 100 65
1644 02 15	F	ALPI MARITTIME 85 59

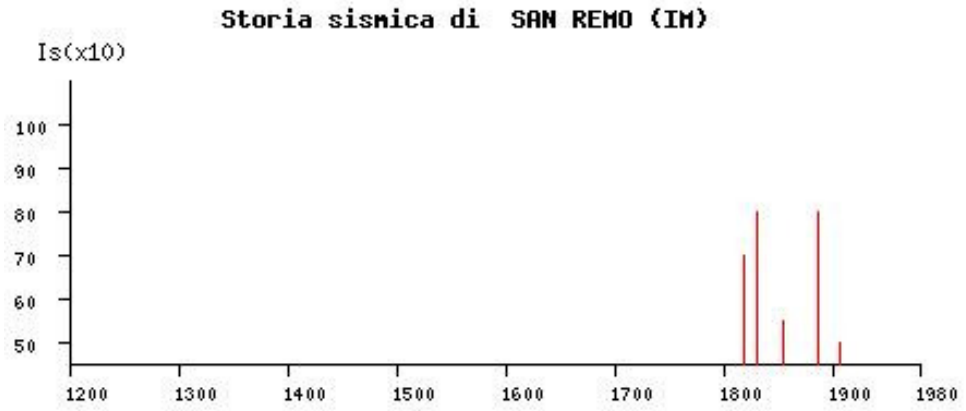
Storia sismica di TAGGIA (IM)



Osservazioni sismiche disponibili per SANREMO (IM)

Data	Effetti	in occasione del terremoto di:
Ye Mo Da Ho Mi	Is (MCS)	Area epicentrale Ix Ms
1831 05 26	80	TAGGIA 85 55
1887 02 23	80	LIGURIA OCC. 100 64
1818 02 23	70	MAR LIGURE 70 50
1819 01 08	65	MAR LIGURE 65 47
1854 12 29 01 45	55	MAR LIGURE 75 55

1906 08 11 09 58	50	TAGGIA	55 37
1564 07 20	45	ALPI MARITTIME	85 59
1914 10 27 09 22	40	GARFAGNANA	70 58
1919 11 28 21 38	40	ALPI MARITTIME	55 48
1920 09 07 05 55	40	GARFAGNANA	100 65
1896 10 16	35	ALBENGA	60 44
1972 10 25 21 56	35	PASSO CISA	50 47
1914 10 26 03 45	30	TAVERNETTE	70 49
1935 03 19 07 27	25	FRANCIA	40 50



Associazione alle zone sismogenetiche degli eventi sismici principali

Sulla base dei dati storici disponibili, è possibile affermare che i due eventi principali che hanno interessato la Liguria occidentale sono il terremoto del Nizzardo del 1564 e quello del Mar Ligure del 1887. Entrambi gli eventi, per diversi aspetti, presentano delle difficoltà di localizzazione che possono mettere in discussione la loro appartenenza ad una zona sismogenetica piuttosto che ad un'altra. Nel primo caso l'area mesosismica abbraccia una zona piuttosto vasta e lascia parecchi margini di incertezza sull'assegnazione dell'epicentro. Nel secondo caso, tutto sta ad indicare che l'evento è in mare ma non si riesce a determinarne, anche se alcuni tentativi sono stati effettuati (Capponi *et al.*, 1980; Eva & Rabinovich, 1997), con sufficiente approssimazione la posizione focale.

Pertanto, sulla base di quanto visto precedentemente, i due terremoti sono stati associati rispettivamente al tratto terminale della ST, alla sua intersezione con la Breil- Sospel-Monaco, ed al fascio di strutture attive presenti al piede della scarpata continentale poco a sud di Imperia. Queste, dimensionalmente, appaiono le uniche strutture capaci di generare eventi di magnitudo comparabile a quella riportata dalla catalogazione.

Valutazione della pericolosità

Al fine di valutare in quale modo le stime di hazard potessero essere influenzate dalla nuova disposizione degli epicentri è stato calcolato, da parte del gruppo di lavoro dell'Università di Genova, l'hazard sismico regionale. Per fare un test di sensibilità sono stati quindi utilizzati: due cataloghi sismici identici di cui uno teneva conto dello spostamento dei due terremoti; due zonazioni sismogenetiche di cui una rappresentava quella definita del GNDT e l'altra teneva conto dell'inserimento di una nuova zona sismogenetica comprendente l'area posta direttamente a Nord della zona 23 e confinante con la 22. Per entrambe le zonazioni veniva applicata la legge di attenuazione di Sabetta & Pugliese (1996), e successivamente veniva utilizzato il metodo di Cornell (SEISRISK III, 1987) per il calcolo dell'hazard sismico.

I risultati ottenuti, per un grigliato omogeneo con maglia di 0.015° che si sovrappone alle due zonazioni utilizzate, sono posti a confronto nelle due Figure 13 e 14. Le due figure mettono in risalto la notevole instabilità dei valori di PGA determinati lungo la costa ligure.

I risultati ottenuti evidenziano che una migliore localizzazione dei terremoti storici può in taluni casi derivare dall'approfondimento di aspetti sismotettonici. La necessità di tale approfondimento è, ovviamente, più stringente nelle aree costiere, ove gli epicentri marini vengono spesso associati con le aree di massimo risentimento. Va sottolineato inoltre che, anche in assenza di una dettagliata conoscenza delle strutture sismogenetiche, la microsismicità, specie se monitorata con un elevato grado di risoluzione e per un tempo sufficientemente lungo, può dare un significativo contributo sia alla delimitazione di strutture attive sia al miglioramento delle analisi sui tassi di sismicità. Sulla base delle prove eseguite, questi due parametri risultano estremamente importanti nella scelta delle zone e strutture sismogenetiche da utilizzare ai fini dei computi di hazard, specie in aree a medio-bassa sismicità.

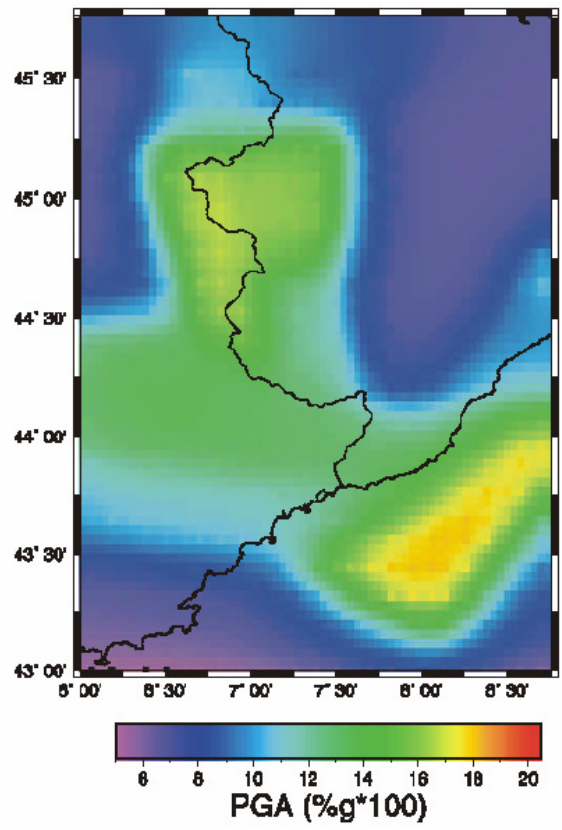


Fig. 13 *- Accelerazione di picco per il periodo di ritorno di 475 anni. Stima ottenuta utilizzando localizzazioni alternative per gli eventi del 1887 (Mar Ligure) e del 1564 (Nizzardo)*

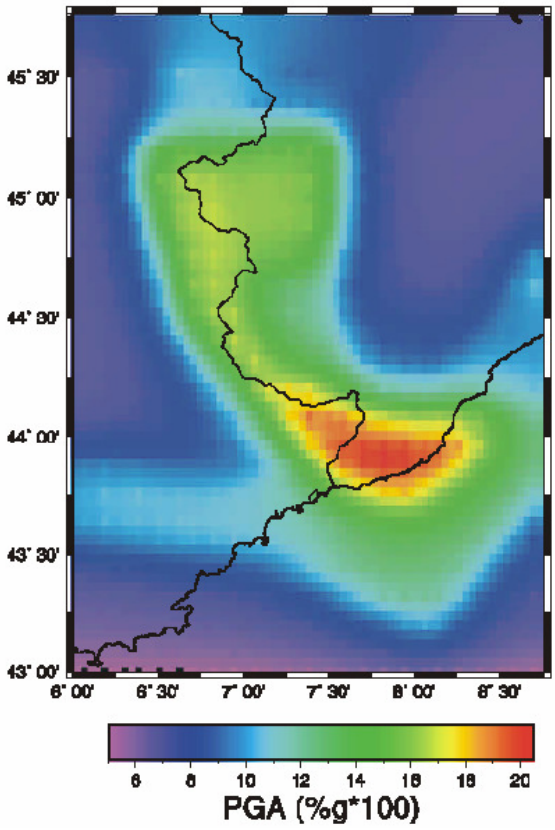


Fig. 14 *- Accelerazione di picco per il periodo di ritorno di 475 anni. Stima ottenuta utilizzando le localizzazioni di NT4.1*

6. INDAGINI GEOFISICHE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

6.1 PREMESSA

Ai fini della corretta caratterizzazione sismica del materiale presente in sito, ai sensi dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e del D.M. 14.01.2008, si rappresenta che nel Febbraio 2006, a supporto del *Piano Particolareggiato della zona D1 - Colli di Taggia per impianti*

produttivi con adeguamento perimetrazione P.T.C.P. e P.R.G., per sistemazione finale della discarica di inerti, è stata eseguita in sito dallo scrivente un'indagine sismica del tipo down hole che ha interessato, oltre che il materiale di riporto antropico dell'ex discarica di inerti Colli, anche il substrato conglomeratico dello stesso tipo di quello presente nell'area in oggetto. I valori sismici ottenuti all'interno del conglomerato sono perciò estrapolabili anche al vicino sito Collette Ozotto.

Le misure delle onde P e delle onde S sono state eseguite all'interno di un foro di sondaggio della profondità di m 40 circa appositamente eseguito, rivestito da un tubo in PVC, reso solidale con il terreno mediante cementazione. Le misure effettuate mediante geofono in foro, munito di pistoncini idraulici che permettevano la totale aderenza del geofono stesso al tubo di PVC, sono state eseguite dal fondo a risalire, a distanza costante di un metro. L'energizzazione avveniva in superficie grazie alla percussione su di una tavola in legno, con mazza. La tavola è stata resa solidale al terreno con il peso di un'autovettura. Per ogni singolo punto è stata effettuata un'energizzazione in andata ed in ritorno, per la registrazione delle onde S, ed un'energizzazione per le onde P. I tempi di arrivo delle singole onde sono stati registrati direttamente sul sismografo, da cui è stato possibile, in un secondo tempo, estrapolarne il valore.

Oltre ai geofoni in pozzo, in superficie è stato posizionato alla distanza di m 10 dal foro, un geofono che registrava le onde P. La lettura costante del valore di arrivo, registrato da questo geofono (17 ms), ha permesso di verificare il corretto funzionamento dell'intero apparato strumentale.

6.2 INTERPRETAZIONE QUALITATIVA

E' necessario sottolineare che per un buon risultato dell'indagine occorre che la cementazione eseguita fra il foro libero e il tubo in PVC sia effettuata omogeneamente, in caso contrario i vuoti che rimangono possono influire sulla registrazione dei tempi di arrivo delle onde. Chiaramente tutto questo influirà sull'interpretazione finale degli arrivi delle onde stesse. Tale fenomeno è stato riscontrato a profondità superiori a m 36; infatti, in questa zona non è stato possibile registrare l'arrivo delle onde S.

6.3 RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI

Dalle registrazioni sismiche effettuate in sito, vengono estrapolati i dati di tempo e velocità che l'onda, creata dalla fonte energizzante, impiega a raggiungere il geofono; in particolare sono stati ricavati per ogni singolo punto di misura, i valori di velocità, tenendo presente la reale distanza che vi è fra il punto di energizzazione e quello di misura stessa.

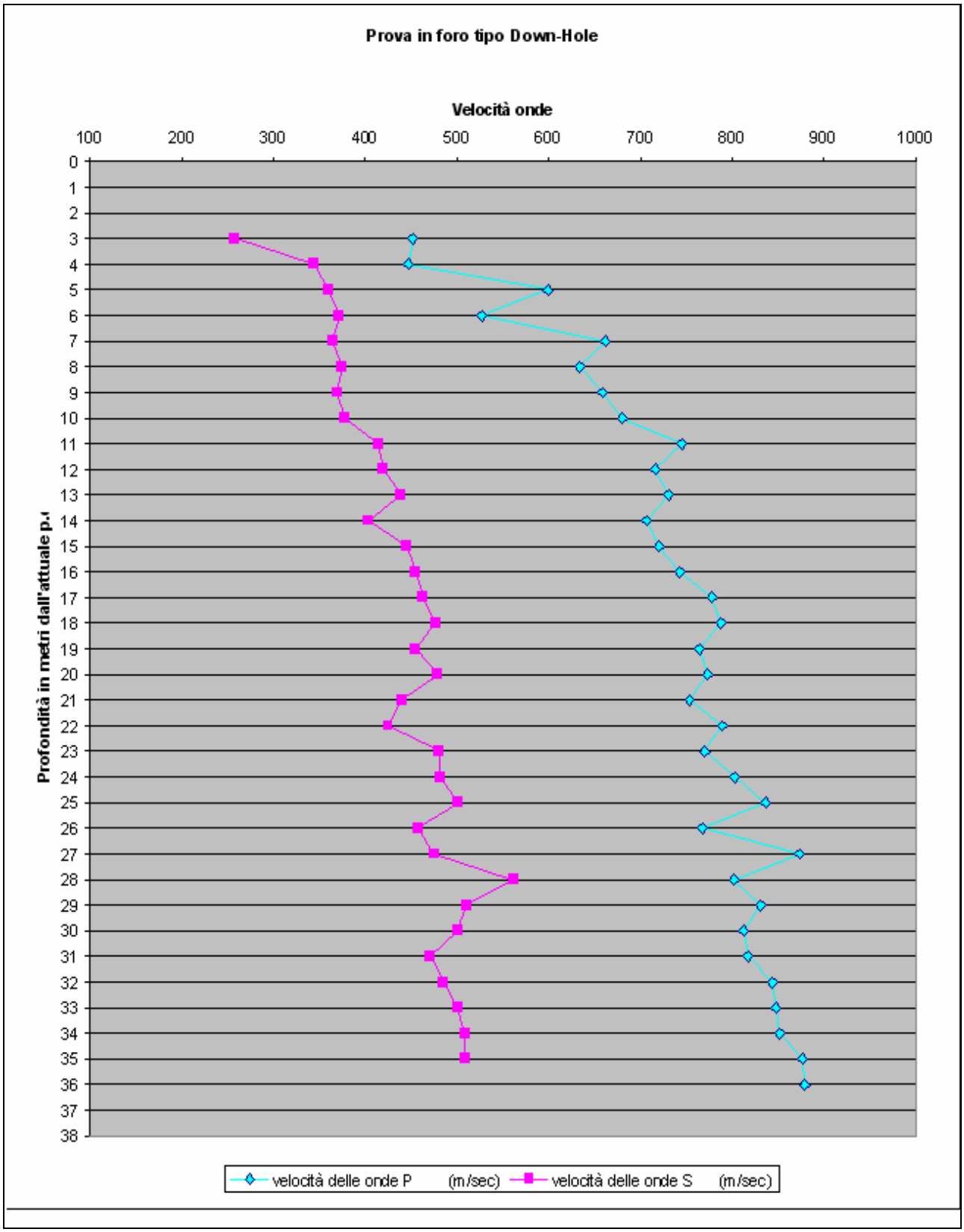
Le distanze, i tempi di arrivo e le singole velocità sono riportate nella sottostante tabella.

Profondità foro (m)	**Distanza reale dal punto di energizzazione (m)**	**Arrivi onde P (ms)**	**Arrivi onde S (ms)**	**Velocità delle onde P (m/s)**	**Velocità delle onde S (m/s)**
1	2.24				
2	2.83				
3	3.61	8	14	451	258
4	4.47	10	13	447	344
5	5.39	9	15	599	359
6	6.32	12	17	527	372
7	7.28	11	20	662	364

8	8.24	13	22	634	375
9	9.22	14	25	659	369
10	10.20	15	27	680	378
11	11.18	15	27	745	414
12	12.17	17	29	716	420
13	13.15	18	30	731	438
14	14.14	20	35	707	404
15	15.13	21	34	720	445
16	16.12	21,7	35,4	743	455
17	17.12	22	37	778	463
18	18.11	23	38	787	477
19	19.11	25	42	764	455
20	20.10	26	42	773	479
21	21.10	28	48	754	440
22	22.09	28	52	789	425
23	23.09	30	48	770	481
24	24.08	30	50	803	482
25	25.08	30	50	836	502
26	26.08	34	57	767	458
27	27.07	31	57	873	475
28	28.07	35	50	802	561
29	29.07	35	57	831	510
30	30.07	37	60	813	501
31	31.06	38	66	817	471
32	32.06	38	66	844	486
33	33.06	39	66	848	501
34	34.06	40	67	852	508
35	35.06	40	69	877	508
36	36.06	41		880	

Dai valori riportati n tabella viene ricavato il grafico delle velocità e l'andamento medio dei singoli tratti. Qui è possibile osservare come solo al di sotto della profondità di 28 / 29 metri si ha una certa linearità delle velocità, dovuta all'ingresso nel substrato roccioso conglomeratico (bedrock); mentre al di sopra risultano essere assai variabili, ovvero durante l'attraversamento dei materiali posti in discarica. Tale fatto potrebbe essere imputabile, forse, alla differente compattezza dei materiali attraversati durante la prospezione.

Si precisa che i valori di tempo e velocità dei due metri di terreno più prossimi alla superficie non sono stati registrati, ma risultano del tutto simili a quelli del terzo metro dal piano campagna.



6.4 RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI BUSSANA VECCHIA

Al fine di completare il quadro sismico dell'area d'indagine si riportano di seguito le risultanze di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguite dallo scrivente nell'anno

2004 nel territorio di Bussana Vecchia (distante linearmente circa km 1,0 dal sito in esame), al fine di definire con maggior precisione le caratteristiche del substrato roccioso conglomeratico (avente le stesse caratteristiche di quello affiorante nell'area d'indagine), raggiunto solo nella porzione superficiale nell'indagine sismica eseguita nel sito Colli.

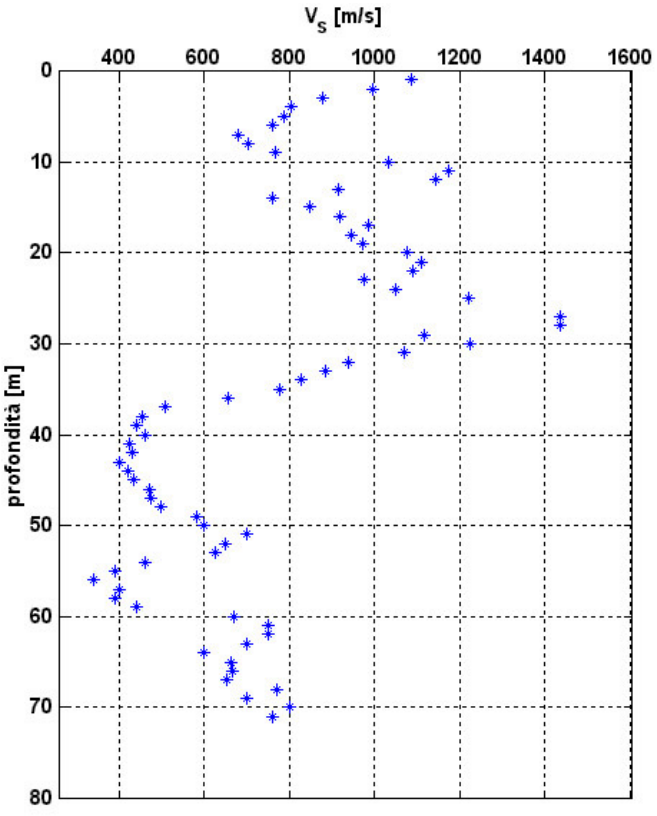
Nella fattispecie è stato eseguito un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, profondo 75 metri, a poca distanza dal concentrico di Bussana Vecchia, in prossimità del cimitero frazionale, nonchè una serie di prove geofisiche, in foro e di superficie, sempre nei pressi del borgo.

Successivamente all'esecuzione del sondaggio geognostico profondo è stata effettuata nei pressi del borgo di Bussana Vecchia una campagna di indagini geofisiche, aventi come finalità la definizione del modello stratigrafico necessario per la modellazione della RSL (risposta sismica locale).

A tale scopo sono state realizzate 3 linee di sismica per onde superficiali, 3 linee di sismica a rifrazione per onde P, 3 linee di sismica a rifrazione per onde SH ed, un profilo sismico verticale (VSP) per onde P e per onde S nel foro del sondaggio a carotaggio continuo da m 75.

Le 3 linee sismiche effettuate, individuate dalle sigle L1, L2 e L3, si estendono per una lunghezza di m 46, 69 e 46 rispettivamente. La linea L4, acquisita nel centro del paese, ha una lunghezza di m 46.

Il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ottenuto è riportato nella seguente figura.



Profilo verticale della velocità delle onde di taglio Vs.

Dall'andamento delle curve si evince la presenza di un cambiamento di proprietà alla profondità di circa m 35. Tale variazione non è tuttavia un passaggio netto, ma una zona di transizione di spessore di alcuni metri, che non produce evidenti riflessioni nei segnali. La suddetta transazione rappresenta il passaggio dalla formazione conglomeratici superficiale a quella limoso - argillosa in profondità.

Le velocità delle onde di taglio attribuibili al conglomerato pliocenico sono quindi quelle presenti fino alla profondità di m 30 circa, con **valori prossimi ai m/s 1000**. I livelli alterati superficiali, caratterizzati da velocità inferiori (molto simili a quelle riscontrate durante l'indagine sismica eseguita nel sito Colli), presentano spessori limitati, inferiori ai m 5, e la potenza della formazione, variabile in funzione di morfologia e giacitura del contatto, è comunque importante (es. m 35 in corrispondenza del foro di sondaggio).

7. VALUTAZIONE DELLE AZIONI SISMICHE LOCALI ED APPLICAZIONE DELLE NUOVE NORME TECNICHE AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3274 DEL 20 MARZO 2003 E DEL D.M. 14.01.2008

Premessa

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, sono state introdotte la riclassificazione sismica del territorio italiano e le nuove Norme Tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico di edifici e ponti. Il provvedimento, predisposto in accordo con la Conferenza dei Presidenti delle Regioni, ha come obiettivo la riduzione del rischio sismico su tutto il territorio nazionale ed ha natura di una disciplina transitoria, in attesa di una revisione organica di tutta la materia.

L'Ordinanza prevede sostanzialmente un'applicazione immediata della riclassificazione sismica del territorio, mentre in generale le nuove Norme Tecniche entreranno in vigore successivamente, sostituendo le attuali disposizioni del D.M. LL.PP. 16.1.1996. Il contenuto della nuova Normativa, fortemente innovativo, muove dalla necessità di prendere atto degli sviluppi teorici di questi ultimi anni nel settore sismico, e di riqualificare quindi l'intero approccio d'indagine sismica del territorio e le conseguenti modalità di progettazione delle infrastrutture. Il punto cardine, rispetto a quest'ultimo aspetto, è la definizione, nello studio di una specifica area d'intervento, dell'azione sismica attraverso uno spettro di risposta, elemento necessario per determinare numerosi fattori relativi al particolare edificio esaminato.

La nuova Normativa è composta da una serie di elaborati specifici, nei quali vengono riportate le indicazioni sia riguardanti la classificazione sismica dell'intero territorio nazionale che le specifiche tecniche per la progettazione delle infrastrutture, quest'ultimo aspetto in funzione delle caratteristiche sismiche dell'area d'intervento. Entrando nei particolari dell'Ordinanza, nelle Norme Tecniche, all'Allegato n.1, vengono indicati i "criteri per l'individuazione delle zone sismiche, ai sensi dell'art. 93, 1g) del D.L. 112/1998, ai fini della formazione e dell'aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone da parte delle Regioni, ai sensi dell'art. 94, 2a) del medesimo decreto. La suddivisione del territorio proposta, basata sui valori massimi di accelerazione orizzontale attesi con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, prevede l'assunzione di n. 4 classi, così distinte:

ZONA	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

In aggiunta a quanto sopra indicato, come riportato nell'O.P.C.M. 3519/2006 "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria", sono state inserite ulteriori zone, funzione di appositi studi, così distinte:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [Ag/g]
3S	0,15 – 0,18	0,18
3A	0,10 – 0,15	0,15
3B	0,05 – 0,10	0,10

I Comuni di Sanremo e Taggia, interessati dall'intervento in esame, ricadono nella classificazione sismica dei Comuni italiani in **Zona 3S**. Tale zona corrisponde a:
Accelerazione orizz. con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g] = 0,15 – 0,18
Accelerazione orizz. di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [Ag/g] = 0,18

Categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, come riportato nel D.M. delle Infrastrutture 14.01.2008, punto 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (Tabella 3.2.II - le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni superficiali, oppure alla quota di testa dei pali nel caso di fondazioni speciali):

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare (Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_s 30 è la velocità media di propagazione entro m 30 di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

La resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione:

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

dove:

h_i	spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
$V_{S,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
$N_{SPT,i}$	numero di colpi NSPT nell'i-esimo strato;
$c_{u,i}$	resistenza non drenata nell'i-esimo strato;
N	numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
M	numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;
K	numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità;
h_i e V_i	indicano la potenza (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio < 10^{-6}) dello strato iesimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Dalle indagini sismiche eseguite in sito (ex discarica di inerti Colli) e nel vicino territorio di Bussana Vecchia nell'anno 2004, è emerso un conglomerato poligenico dello stesso tipo di quello affiorante nell'area in esame (Collette Ozzotto), con velocità delle V_{s30} da p.c. pari a circa 1000 m/s ed è, quindi, secondo lo schema presente nell'Ordinanza un suolo appartenente alla *classe A*.

Amplificazione topografica

Sempre in merito alle indicazioni fornite nel D.M. 14.01.2008, si rappresenta che la risposta sismica locale di un sito, oltre che dalle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo, dipende anche dalla conformazione morfologica dei luoghi. Pertanto, qualora le caratteristiche topografiche dei luoghi non risultino particolarmente complesse (caso nel quale è necessario prevedere una modellizzazione particolare del sito, necessaria per identificare correttamente le caratteristiche di risposta sismica locale), vengono individuate 4 diverse categorie topografiche, rappresentative di altrettante configurazioni superficiali semplici, riportate nella successiva tabella (Tabella 3.2.IV).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Come riportato nel Decreto, le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di m 30.

L'area d'intervento, secondo quanto verificato dai rilevamenti eseguiti in sito, nonché dall'analisi degli elaborati progettuali, ricade in corrispondenza di una cresta di un rilievo collinare con acclività media dei versanti inferiore a 30° e sviluppo altimetrico superiore a m 30: pertanto, tale area risulta essere compresa nella categoria topografica **T3** = "Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$".

Per tenere conto delle condizioni topografiche, in funzione delle categorie sopra indicate, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella successiva tabella (Tabella 3.2.VI).

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

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Relativamente al sito in esame, ricadente nella tipologia di profilo topografico T3 e considerata l'ubicazione dell'impianto in corrispondenza della cresta del locale rilievo collinare, andrà assunto un valore del coefficiente di amplificazione topografica $\mathbf{S_T}$ pari a **1,2**.

Riassumendo, il sito d'intervento, in accordo con le indicazioni fornite dalla vigente normativa di settore, presenta le seguenti caratteristiche:

- Profilo sismico del sottosuolo: **A**;
- Amplificazione stratigrafica: **assente** (coefficienti S_s e C_c pari a 1);
- Categoria topografica: **T3**;
- Amplificazione topografica: $\mathbf{S_T = 1,2}$.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs30>800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell'accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative.

Ai fini della stima dell'azione sismica di progetto relativa al sito ubicato nel territorio in oggetto, con le precedenti normative in campo antisismico, applicando il criterio "zona dipendente" avremmo potuto stimare l'accelerazione di base (senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni) in maniera automatica, poiché essa sarebbe stata direttamente correlata alla Zona sismica di appartenenza dei Comuni.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Pertanto (secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le coordinate geografiche (o l'indirizzo ove disponibile), riportate nel reticolo di riferimento.

Ai fini della determinazione della pericolosità sismica il primo passo consiste nella determinazione di ag (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido). Per tale determinazione è necessario conoscere, come anticipato, le coordinate geografiche dell'opera da

verificare. Le coordinate geografiche dovranno essere trasformate da gradi sessagesimali a decimali. Si determina, quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

Di seguito si riportano i parametri sismici di riferimento validi per il sito in esame, riportati alla seguente cella:



Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii da utilizzarsi per verifica di stabilità a lungo termine (discarica + fronti di scavo finali)

Sito in esame.

latitudine:	43,8543
longitudine:	7,82617
Classe:	4
Vita nominale:	50 anni

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18899	Lat: 43,8974Lon: 7,7981	Distanza: 5294,307
Sito 2	ID: 18900	Lat: 43,9007Lon: 7,8673	Distanza: 6121,936
Sito 3	ID: 19121	Lat: 43,8475Lon: 7,8028	Distanza: 2020,631
Sito 4	ID: 19122	Lat: 43,8508Lon: 7,8719	Distanza: 3689,155

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T3
Periodo di riferimento:	100 anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):			Danno (SLD):		
Probabilità di superamento:	81	%	Probabilità di superamento:	63	%

Tr: 60 [anni]	Tr: 101[anni]
ag: 0,048 g	ag: 0,070 g
Fo: 2,601	Fo: 2,504
Tc*: 0,220 [s]	Tc*: 0,247 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):	Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 10 %	Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 949 [anni]	Tr: 1950 [anni]
ag: 0,210 g	ag: 0,278 g
Fo: 2,474	Fo: 2,492
Tc*: 0,306 [s]	Tc*: 0,321 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	SLD:
Ss: 1,000	Ss: 1,000
Cc: 1,000	Cc: 1,000
St: 1,200	St: 1,200
Kh: 0,012	Kh: 0,017
Kv: 0,006	Kv: 0,008
Amax: 0,565	Amax: 0,822
Beta: 0,200	Beta: 0,200
SLV:	SLC:
Ss: 1,000	Ss: 1,000
Cc: 1,000	Cc: 1,000
St: 1,200	St: 1,200
Kh: 0,076	Kh: 0,100
Kv: 0,038	Kv: 0,050
Amax: 2,469	Amax: 3,269
Beta: 0,300	Beta: 0,300

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii da utilizzarsi per verifica di stabilità a breve termine (fronti di scavo temporanei)

Sito in esame.

latitudine:	43,8543
longitudine:	7,82617
Classe:	4
Vita nominale:	20 anni

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18899	Lat: 43,8974Lon: 7,7981	Distanza: 5294,307
Sito 2	ID: 18900	Lat: 43,9007Lon: 7,8673	Distanza: 6121,936
Sito 3	ID: 19121	Lat: 43,8475Lon: 7,8028	Distanza: 2020,631
Sito 4	ID: 19122	Lat: 43,8508Lon: 7,8719	Distanza: 3689,155

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T3
Periodo di riferimento:	40 anni
Coefficiente cu:	2

Operatività (SLO):	Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 81 %	Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 30 [anni] ag: 0,029 g Fo: 2,604 Tc*: 0,181 [s]	Tr: 40 [anni] ag: 0,035 g Fo: 2,620 Tc*: 0,198 [s]
Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 10 % Tr: 380 [anni] ag: 0,143 g Fo: 2,428 Tc*: 0,286 [s]	Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5 % Tr: 780 [anni] ag: 0,194 g Fo: 2,462 Tc*: 0,302 [s]

Coefficienti Sismici

SLO: Ss: 1,000 Cc: 1,000 St: 1,200 Kh: 0,007 Kv: 0,003 Amax: 0,337 Beta: 0,200	SLD: Ss: 1,000 Cc: 1,000 St: 1,200 Kh: 0,008 Kv: 0,004 Amax: 0,416 Beta: 0,200
SLV: Ss: 1,000 Cc: 1,000 St: 1,200 Kh: 0,046 Kv: 0,023 Amax: 1,679 Beta: 0,270	SLC: Ss: 1,000 Cc: 1,000 St: 1,200 Kh: 0,063 Kv: 0,031 Amax: 2,279 Beta: 0,270

8. PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI OTTENUTI DALLA ELABORAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI

E' possibile dalla conoscenza di alcuni parametri sismici, come ad esempio la velocità delle onde S, ottenere indicazioni su determinati parametri di carattere geotecnico.

In particolare si può ricavare:

- coefficiente di fondazione ε ;
- porosità dalla correlazione Rzhesvky e Novik (%).

I valori dei parametri sopra menzionati sono indicati nella tabella riportata di seguito.

	Profondità foro (m)	**Distanza reale dal punto di energizzazione (m)**	**Velocità onde P (m/s)**	**Velocità onde S (m/s)**	**Epsilon Coeff. di fond.**	**Porosità dalla correlazione Rzhesvky e Novik (del 1971) in %**
Materiale di riporto	1	2.24			1,13 / 1,09	oltre il 45
	2	2.83				
	3	3.61	451	258		
	4	4.47	447	344		
	5	5.39	599	359		
	6	6.32	527	372		
	7	7.28	662	364		

	8	8.24	634	375		45 / 44
	9	9.22	659	369		
	10	10.20	680	378		
	11	11.18	745	414		
	12	12.17	716	420		
	13	13.15	731	438		45 / 44
	14	14.14	707	404		
	15	15.13	720	445		
	16	16.12	743	455		
	17	17.12	778	463		
	18	18.11	787	477		
	19	19.11	764	455		
	20	20.10	773	479		
	21	21.10	754	440		
	22	22.09	789	425		
	23	23.09	770	481	1,08 / 1,06	
	24	24.08	803	482		44 / 42
	25	25.08	836	502		
	26	26.08	767	458		
	27	27.07	873	475		
	28	28.07	802	561		
	29	29.07	831	510		
Conglomerato	30	30.07	813	501		
	31	31.06	817	471		
	32	32.06	844	486		
	33	33.06	848	501		
	34	34.06	852	508		
	35	35.06	877	508		
	36	36.06	880			

9. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO IN CONDIZIONI SISMICHE

Per liquefazione si intende un processo di accumulo della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) saturo diminuzione della resistenza e/o rigidezza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Per comprendere il fenomeno della liquefazione è necessario prima considerare il Principio degli Sforzi Efficaci. Questo afferma che in un terreno saturo, i cui spazi interstiziali sono riempiti completamente d'acqua, agisce nello scheletro solido una tensione efficace s' data da:

$$\sigma' = \sigma - p$$

dove σ è la tensione totale agente ortogonalmente a qualsiasi piano passante per un generico punto, e p è la pressione dell'acqua nel medesimo punto. Esprimendo il Criterio di Resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensioni efficaci, la resistenza al taglio che può essere mobilitata su un piano normale n soggetto a una tensione normale totale , è data da:

$$\tau_n = (\sigma_n - p)\,tg\,\phi + c$$

essendo φ l'angolo di resistenza al taglio del materiale e c la coesione.

Dalla suddetta relazione si vede che la liquefazione si attua quando il valore limite della tensione tangenziale tende a zero. E' necessario precisare che la suddetta relazione è del tutto generale, indipendentemente dalla presenza o meno dell'azione sismica. Come si osserva facilmente il pericolo di liquefazione aumenta al diminuire della coesione, dell'angolo di attrito, della tensione totale, e all'aumentare della pressione interstiziale. Tale pericolo riguarda pertanto i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti, in presenza di falde acquifere.

Le azioni cicliche di un sisma hanno l'effetto di incrementare notevolmente il potenziale di liquefazione del terreno, provocandone la compattazione: ciò riduce il volume dei vuoti aumentando di conseguenza la pressione dell'acqua interstiziale. Questo implica una perdita di resistenza dovuta a meccanismi di generazione di sovrapressione interstiziale nel terreno in condizioni non drenate, vale a dire di deformazione a taglio a volume costante. Ciò è essenzialmente dovuto alla rapidità dei processi di sollecitazione agenti, troppo brevi perché possa avere inizio la dissipazione delle pressioni accumulatesi nel fluido.

Dai casi verificatisi in passato si è capito che questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N.

La manifestazione della liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

Le deformazioni del terreno associate a fenomeni di mobilità ciclica, in base ai dati presenti in letteratura, si sviluppano gradualmente, secondo un processo incrementale governato dalle tensioni tangenziali cicliche prodotte dal terremoto. E' quindi importante valutare, in particolare sotto l'azione del terremoto di progetto, se gli eventuali materiali analizzati siano suscettibili di mobilità ciclica o no.

A partire dagli anni '60 furono eseguite sperimentazioni sul comportamento di provini di sabbie sature sottoposti a carico ciclico.

Per simulare lo stato tensionale in sito in assenza di tensioni tangenziali statiche (condizioni di terreno piano) e consolidazione isotropa, le prove di laboratorio sottoponevano i provini a regimi triassiali.

In una tipica prova ciclica si osservano i seguenti risultati:

- Fino ad un certo numero di cicli le deformazioni prodotte da ciascun ciclo si mantengono limitate (inferiori all'1%), mentre la pressione interstiziale aumenta secondo un processo caratteristico di accumulazione progressiva. Esso è dovuto all'accoppiamento che si produce nei mezzi granulari tra sollecitazioni tangenziali cicliche e deformazione volumetrica permanente: essendo in condizioni non drenate questa è impedita e si ha trasferimento delle tensioni dallo scheletro solido al fluido.
- Viene raggiunto uno stato nel quale la pressione interstiziale uguaglia per un istante la tensione di confinamento: tale stato viene detto “Liquefazione Iniziale”. Il numero di cicli necessario per raggiungere questa condizione è funzione della densità relativa, della tensione di confinamento e dell'ampiezza della sollecitazione ciclica.

- A partire dall'istante della liquefazione iniziale le deformazioni in ciascun ciclo successivo aumentano: tale aumento è rapidissimo per sabbie sciolte, e medie, e lento per sabbie dense.
- Nelle sabbie sciolte lo stato di collasso per liquefazione si può fare coincidere con la liquefazione iniziale, mentre per le prove su sabbie dense si assume come indice del collasso un valore di ampiezza della deformazione ciclica del 5%.

Nel caso di sabbie dense o molto dense si può escludere che una condizione di collasso venga raggiunta in sito durante un terremoto, poiché il collasso si raggiunge dopo centinaia di cicli di carico a partire dalla liquefazione iniziale.

Esistono, come detto, diversi metodi per determinare la resistenza alla liquefazione basati sullo studio del comportamento dei campioni durante le prove di laboratorio oppure sull'impiego di prove in situ nelle località che avevano dato luogo a manifestazioni di liquefazione. In ciascuno dei casi si è arrivati a proporre delle correlazioni fra la resistenza alla liquefazione ed i parametri sismici e geotecnici del sito. Il parametro di cui esistono in letteratura il maggior numero di correlazioni e confronti è il numero di colpi della prova SPT.

La formulazione generalmente usata consente di tener conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione massima valutando il rapporto di sforzo ciclico indotto dal terremoto con riferimento ad un valore medio anziché al valore massimo.

La resistenza alla liquefazione è valutata in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva e della densità relativa utilizzando le correlazioni fra rapporto di sforzo ciclico e numero di colpi osservate in terreni che hanno dato luogo a fenomeni di liquefazione e non liquefazione durante i terremoti reali. Nell'abaco così derivato le linee relative ad un terremoto di data magnitudo separano il campo dei siti di probabile liquefazione e quello dei siti in cui questa è improbabile.

In fase di calcolo occorre valutare, per ciascuna prova SPT eseguita, il numero dei colpi corretto in modo da considerare l'effetto della pressione litostatica. Tale correzione viene effettuata utilizzando un coefficiente correttivo elaborato in funzione della profondità di esecuzione della prova e della densità relativa.

Il numero di colpi corretto consente di valutare per un dato valore di magnitudo il rapporto di sforzo ciclico che provoca liquefazione: se il fattore della resistenza alla liquefazione F è maggiore di 1.3 il deposito è considerato non liquefacibile.

Ai fini dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e del D.M. 14.01.2008, il termine "liquefazione" denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

La verifica della suscettibilità a liquefazione può essere omessa se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal piano campagna. Si può inoltre trascurare il pericolo di liquefazione quando $S\ a_g < 0{,}15$g e, al contempo, la sabbia in esame soddisfi almeno una delle condizioni seguenti:

- contenuto in argilla superiore al 20% con indice di plasticità > 10;
- contenuto di limo superiore al 35% e resistenza $N_1(60) > 20$;
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_1(60) > 25$,

dove $N_1(60)$ è il valore della resistenza penetrometrica N_{SPT} misurato nella prova Standard Penetration Test, normalizzato ad uno sforzo efficace di confinamento di 100 KPa e ad un fattore di rendimento energetico 0,6 nell'esecuzione della prova.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dell'ingegneria geotecnica,

basati su correlazioni di campagna tra misure in sito e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Ove si usi il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno deve essere considerato suscettibile a liquefazione allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto a una data profondità supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati alla medesima profondità; il livello di sforzo di taglio pari all'80% implica un fattore di sicurezza pari a 1,25.

Si rappresenta che, nel caso in esame, alla luce delle caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale presente in sito, dell'assenza di una falda idrica permanente e duratura a ridotta soggiacenza, nonché dei valori emersi delle prove di profondità (sismiche e penetrometriche), il valore ottenuto risulta di gran lunga superiore a 1.3, inducendo quindi a classificare il terreno in esame (conglomerato) come non soggetto a liquefazione.

10. PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI PRESENTI NELL'AREA D'INDAGINE

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i principali **parametri geotecnici medi**, da verificare preliminarmente alla progettazione esecutiva, da attribuire ai vari terreni, desunti da prove ed analisi geotecniche e/o geomeccaniche eseguite in sito ed in laboratorio, svolte nel recente passato dallo scrivente sui terreni presenti nell'area d'intervento e nel suo intorno (ex discarica di inerti Colli), confermati da valori tabellari di letteratura.

	DR	φ	C	γ_{sat}	γ_d	Ll	Ip	Lp
	Densità relativa	Angolo d'attrito	Coesione	Peso vol. saturo	Peso vol. secco	Limite liquido	Indice plasticità	Limite plastico
		°	Kg/cm^2	t/m^3	t/m^3	%	%	%
Conglomerato poligenico	-	34 - 40	5,0	2,5	2,3	-	-	-
Coltre superficiale	-	26 - 30	0,0	2,1	1,8	36	13	23
Argille grigio – azzurre:		18 - 20	0,7	2,1	1,9			

11. PROPRIETA' GEOTECNICHE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

Per la determinazione dei principali parametri dei RSU è stato fatto riferimento alla pubblicazione *"Proprietà geotecniche dei rifiuti solidi urbani"* - W.F. Van Impe e N. Squaglia – Helvetius Edizioni, anno 1997 nonché ai diversi studi e progetti esistenti a supporto della realizzazione di discariche di RSU.

La determinazione delle proprietà meccaniche dei RSU è molto complessa a causa dei diversi fattori che esercitano la propria influenza. Mentre per i rifiuti a granulometria fine si può ricorrere a prove di laboratorio per i restanti è spesso necessario servirsi di prove in sito; oltretutto, a tutt'oggi molti dati reperibili in letteratura risultano da stime.

Proprietà, tra le quali resistenza al taglio e compressibilità, sono dipendenti dalla composizione dei rifiuti e fortemente variabili nel tempo con il grado di decomposizione. Tra i fattori che influenzano le proprietà meccaniche dei rifiuti posti a discarica si annoverano:

- indice dei vuoti;
- la quantità di materiale degradabile;
- l'altezza del riempimento;
- il percorso tensionale;
- il livello di percolato;
- presenza di acqua e gas, temperatura.

Schematicamente il decorso dei cedimenti in RSU è il seguente (fig. 15):

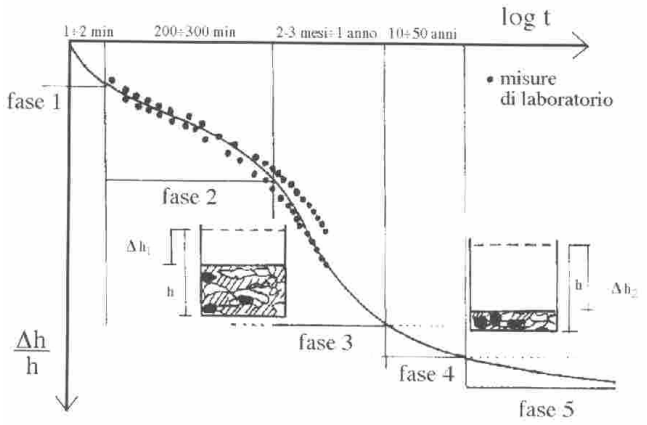


***Fig. 15** – Progressione dei cedimenti nel tempo*

I cedimenti, tipicamente, ammontano tra il 5% ed il 30% dello spessore iniziale del materiale e si verificano, soprattutto, nei primi 1 – 2 anni

Poiché, solitamente, i RSU giacciono in condizioni drenate, dato che il percolato ed i gas di rifiuto vengono smaltiti, le analisi di resistenza al taglio vengono effettuate in termini di tensioni efficaci. Diversamente dai terreni le relazioni tensione – deformazioni non conducono ad alcun picco: i RSU sopportano grandi deformazioni senza giungere a rottura. Sotto tensioni elevate le curve subiscono una flessione leggera verso l'alto ad indicare che il materiale va irrigidendosi (fig. 16):

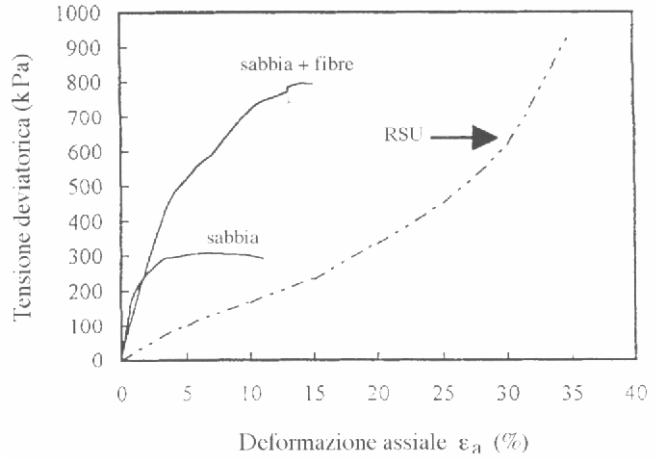


***Fig. 16** – Curve tensioni – deformazioni in prove di compressione triassiale su diversi tipi di materiale*

Le componenti fibrose dei rifiuti (plastica, tessuti, legno…) agiscono come rinforzo contribuendo ad incrementare la resistenza al taglio in termini di coesione. Sostanzialmente i rifiuti sono schematizzabili come (figg. 17 - 18):

- una matrice di base a comportamento attritivo;

- una frazione fibrosa a comportamento coesivo; la coesione (c) si mobilita quando la resistenza per attrito ha già raggiunto valori alti.

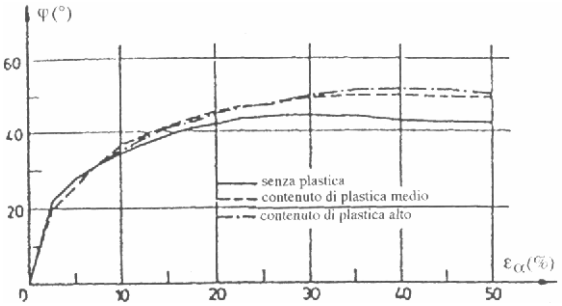


***Fig. 17** – Angolo di attrito mobilitato in funzione della deformazione assiale (verticale)*

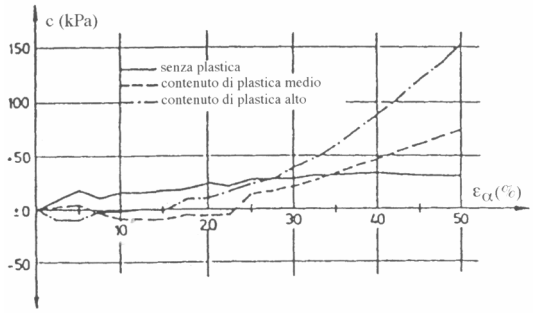


***Fig. 18** – Coesione mobilitata in funzione della deformazione assiale (verticale)*

"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 compreso tra 42° e 45°, mobilitato per grandi deformazioni e poco influenzato dagli elementi di plastica di rinforzo."

Tuttavia, i valori di ϕ, c sono ampiamente variabili in rapporto allo stato tensionale agente al contorno; alcuni autori suggeriscono, per applicazioni usuali, di attribuire i valori secondo le indicazioni riportate nel grafico seguente (fig. 19):

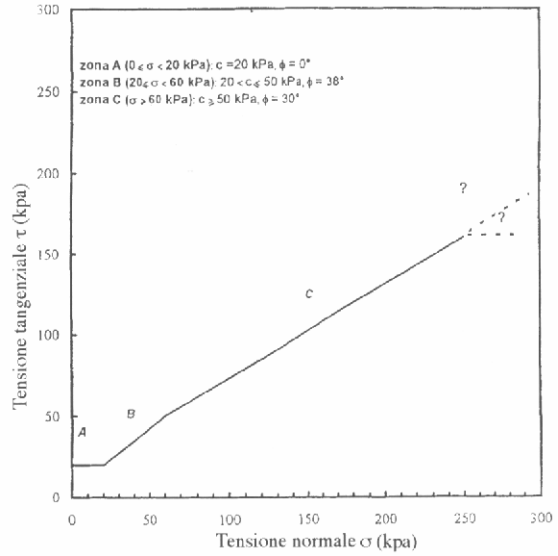


***Fig. 19** – Indicazione di ϕ, c in rapporto all'entità della tensione verticale σ_v*

Sulla base delle indagini svolte nonché dall'analisi dei numerosi studi tematici esistenti è possibile attribuire ai RSU i seguenti parametri fisici – geotecnici cautelativi.

	φ	C	γ_{sat}	γ_d
	Angolo d'attrito	**Coesione**	**Peso vol. saturo**	**Peso vol. secco**
	°	**kg/cm^2**	**t/m^3**	**t/m^3**
R.S.U.	30	0,2	1,0	0,8

I numerosi sopralluoghi eseguiti all'interno della discarica durante le fasi di stoccaggio dei RSU hanno peraltro confermato la presenza di un attrito reale tra i materiali stoccati, addirittura ben superiore al valore di 30° utilizzato nelle verifiche di stabilità. Infatti, grazie proprio ad un'adeguata compattazione dei RSU con appositi rulli compattatori, l'angolo d'attrito interno del materiale tende ad aumentare significativamente conferendo una buona stabilità del materiale stoccato anche per angoli certamente superiori a 30°.

Di seguito si riportano i valori di progetto coincidenti con i valori medi da adottare nei calcoli ove vengano previste Combinazioni contenenti M2, dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale secondo quanto indicato nell'Eurocodice 7 e nel D.M. 14.01.2008 – NTC. Tali parametri sono stato ottenuti dividendo i valori caratteristici per i seguenti coefficienti di riduzione:

Tipologia carichi	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Valore γ
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan \varphi'_k$	1,25
Coesione efficace	C'_k	1,25
Coesione non drenata	Cu	1,40
Peso specifico	γ	1,0

La tabella seguente riporta quindi i parametri di progetto già ridotti con gli opportuni coefficienti.

	φ	C	γ_{sat}	γ_d
	Angolo d'attrito	**Coesione**	**Peso vol. saturo**	**Peso vol. secco**
	°	**kg/cm^2**	**t/m^3**	**t/m^3**
R.S.U.	24	0,16	1,0	0,8

12. CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA

Per quanto riguarda la copertura finale della discarica, per i lotti autorizzati con Ordinanze, prima emesse dal Sindaco e poi dal Presidente della Provincia, e non ricadenti nel regime normativo introdotto dal D.Lgs. n° 36/2003, si è realizzato lo strato di chiusura, tecnicamente denominato *capping,* mediante fornitura e stesa di terra ad alto contenuto argilloso, con posa di viminate a sostegno dello strato vegetale e canalette per la raccolta e il convogliamento delle acque ruscellanti.

Con l'entrata in vigore del succitato D.Lgs. n° 36/2003 è stato specificato, tra l'altro, come deve essere realizzato la strato di copertura finale di una discarica; al punto 2.4.3 dell'allegato 1 si trovano infatti le indicazioni operative per soddisfare i seguenti punti:

- *isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno;*
- *minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;*
- *riduzione al minimo della necessità di manutenzione;*

- *minimizzazione dei fenomeni di erosione;*
- *resistenza agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.*

Per garantire ciò il legislatore, sempre al punto 2.4.3, illustra come assicurare il raggiungimento di tali requisiti grazie alla posa di un pacchetto di chiusura composto da strati di materiale arido intervallati da barriere impermeabili e ricoperti con terreno vegetale.

Quanto richiesto dal decreto è sicuramente applicabile per le discariche tradizionali che prevedono il riempimento di valli o colmate di scavi in zone pianeggianti senza formazione di scarpate di raccordo con pendenze eccessive, ma mal si coniuga con la necessità locale di ripristinare la morfologia originaria dei luoghi e, quindi, realizzare pendenze delle scarpate con valori di inclinazione prossimi ai 45°.

La copertura finale della discarica verrà realizzata mediante la posa sui rifiuti dei seguenti strati:

a) strato di regolarizzazione in terra dello spessore di 10 cm;
b) strato di regolarizzazione in ghiaia pari a 50 cm;
c) geocomposito drenante;
d) membrana in HDPE termosaldata;
e) geocomposito drenante;
f) geostuoia;
g) terreno vegetale (1,00 - 1,50 m).

Il manto di chiusura viene poi completato con la piantumazione di specie erbaceo – arbustive con la posa di canalette per la raccolta e lo smaltimento delle acque piovane e la messa in opera di viminate per il contenimento della terra.

Così operando vengono soddisfatti i criteri in precedenza elencati, ottenendo infatti un isolamento del rifiuto dall'ambiente circostante, minimizzando le infiltrazioni d'acqua, riducendo gli interventi di manutenzione e i fenomeni di erosione garantendo al contempo un'idonea resistenza agli assestamenti localizzati.

Effetti contrari si otterrebbero in caso di realizzazione del capping previsto dalla normativa: l'inevitabile scivolamento dello strato minerale compattato pregiudicherebbe l'isolamento dei rifiuti determinando cospicue infiltrazioni all'interno della discarica e frequenti interventi di manutenzione.

13. ANALISI DELLA STABILITÀ DEL CORPO DI DISCARICA, DELLA COPERTURA FINALE E DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA

13.1 METODO DI ANALISI

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (*c*) ed angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb;
- in alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu, etc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a *n*, il problema presenta le seguenti incognite:
n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio
n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
(n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci
(n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci
n valori della coordinata *a* che individua il punto di applicazione delle E_i
(n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i
una incognita costituita dal fattore di sicurezza *F*
Complessivamente le incognite sono *(6n - 2)*, mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a:

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le *(n-2)* indeterminazioni.

Tale metodo stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoide, semisinusoide, trapezia, spezzata, etc.) e

influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_S, il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s}+tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx}-\frac{dX}{dx}-tg\alpha\frac{dE}{dx}-\sec\alpha\frac{dU}{dx}\right)=$$

$$=\frac{dE}{dx}-tg\alpha\left(\frac{dX}{dx}-\frac{dW}{dx}\right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X=\frac{d\left(E_\gamma\right)}{dx}-\gamma\frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio
- W: peso concio
- K_X: Coefficiente sismico orizzontale
- K_Y: Coefficiente sismico verticale

Metodologia di analisi

La verifica di sicurezza del rilevato della discarica e dei fronti di scavo sono state effettuate secondo l'**Approccio 1 – Combinazione 2**: (**A2+M2+R2**) del D.M. 14.1.2008, con i coefficienti di sicurezza parziali geotecnici della tabella seguente, utilizzando lo stato limite di prevenzione del collasso (**SLC**) maggiormente cautelativo.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Coefficiente parziale γm	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan \varphi'_k$	γφ'	1,0	1,25
Coesione efficace	C'_k	γc'	1,0	1,25
Resistenza non drenata	Cu	γcu	1,0	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γγ	1,0	1,0

Lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC) viene così definito: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per il coefficiente parziale per le azioni in presenza sismica (**A2**), si assume per tutti i carichi (permanenti, permanenti non strutturali ben definiti) il valore: $\gamma_G = 1,0$

Per strutture importanti erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione maggiore di 5° e dislivelli superiori a circa 30 metri, dovrà essere incrementata l'azione sismica di progetto Sa_g moltiplicandola per un coefficiente di amplificazione topografica S_T.

Il coefficiente di resistenza finale si esprime con il rapporto tra i momenti o le forze resistenti di progetto e quelle attive di progetto:

Fs = Rd / Ed

dove:
Rd = insieme delle forze resistenti
Ed = insieme delle forze attive

Nel caso tale coefficiente Fs risulti > 1 il pendio o fronte di roccia analizzato risulta stabile

Volendo applicare il concetto dell'Overall Design Factor (ODF), maggiormente cautelativo, si ottiene un ulteriore fattore di sicurezza ODF dato dalla seguente formula:

ODF = Fs / γre

Dove γre = 1,1.

Se tale valore risulta ancora maggiore di 1, cioè al requisito minimo della normativa, il pendio o fronte di roccia analizzato risulta stabile con un margine di sicurezza maggiore di quello ritenuto adeguato dall'EC7.

13.2 ANALISI DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA, DEL CORPO DI DISCARICA E DELLA COPERTURA FINALE

Di seguito sono riportate le risultanze delle verifiche di stabilità eseguite nell'area oggetto di ampliamento interessanti le seguenti situazioni:

Verifica di stabilità dei fronti di scavo a breve termine (Vita nominale 20 anni)

1) Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte N) - Sezione FG
2) Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte S) - Sezione FG
3) Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte E) - Sezione AB
4) Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte W) - Sezione AB
5) Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte S) e del corpo di discarica in fase di avanzamento

Verifica di stabilità del corpo di discarica a lungo termine (Vita nominale 50 anni)

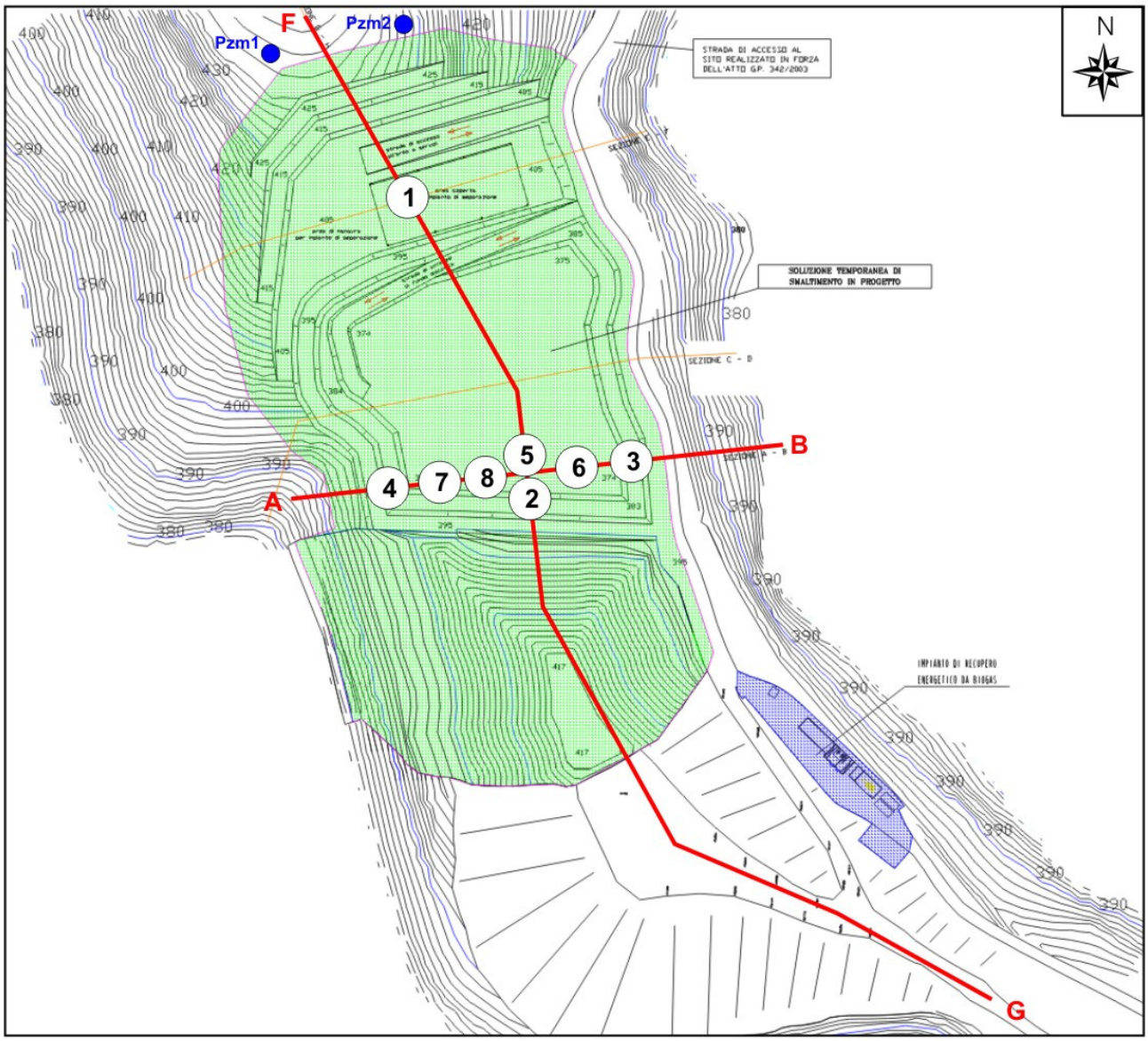
6) Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte E) - Sezione AB
7) Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte W) - Sezione AB

Verifica di stabilità della copertura finale della discarica a lungo termine (Vita nominale 50 anni)

8) Verifica della stabilità dello strato superficiale del capping del corpo di discarica (terreno vegetale), situato al di sopra della membrana impermeabile in HDPE e del geocomposito drenante.
9) Verifica di stabilità della copertura finale (capping) della discarica allo stato finale

Di seguito si riporta una planimetria con indicazione delle sezioni interessate dalle verifiche di stabilità.

UBICAZIONE DELLE TRACCE DELLE SEZIONI STRATIGRAFICHE UTILIZZATE NELLE VERIFICHE DI STABILITA'



Verifica di stabilità dei fronti di scavo a breve termine (Tr 20 anni)

1) Verifica di stabilità del fronte di scavo N
2) Verifica di stabilità del fronte di scavo S
3) Verifica di stabilità del fronte di scavo E
4) Verifica di stabilità del fronte di scavo W
5) Verifica di stabilità del fronte di scavo S e del corpo di discarica in fase di avanzamento

Verifica di stabilità del corpo di discarica a lungo termine (Tr 50 anni)

6) Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte E)
7) Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte W)

Verifica di stabilità della copertura finale della discarica a lungo termine (Tr 50 anni)

8) Verifica di stabilità dello strato superficiale del capping del corpo di discarica (terreno vegetale), situato al di sopra della membrana impermeabile in HDPE e del geocomposito drenante
9) Verifica di stabilità della copertura finale (capping) della discarica allo stato finale

13.3 VERIFICA DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA A BREVE TERMINE

Di seguito si riportano i tabulati di calcolo, le sezioni utilizzate e le risultanze delle seguenti verifiche:

- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte N)
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte S)
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte E)
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte W)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO (FRONTE NORD)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	A
Coefficiente di amplificazione topografica	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,1
Coefficiente azione sismica Ky	0,05

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	-33,21
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	73,14
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	16,79
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	123,14
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	5,0	0,0
3	7,5	10,0
4	12,5	10,0
5	14,0	20,0
6	18,0	20,0
7	19,5	29,0
8	58,5	29,0
9	60,5	39,0
10	65,5	39,0
11	67,5	49,0
12	72,5	49,0
13	74,0	58,5
14	81,0	59,5

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	30,4	2300	2500	0,00		

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato 4,49
Ascissa centro superficie (m) -3,21
Ordinata centro superficie (m) 73,14
Raggio superficie (m) 68,3

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

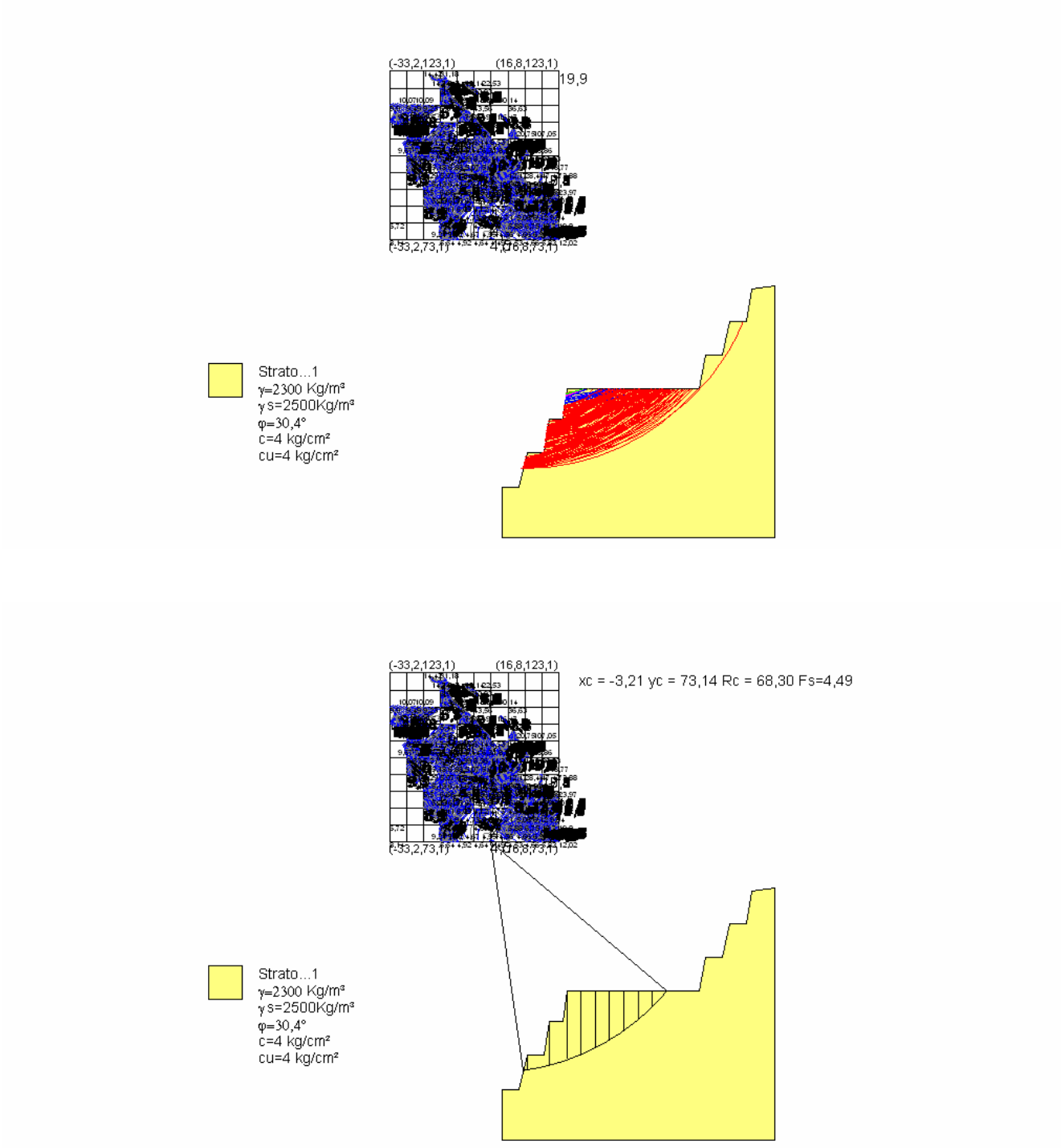
Analisi dei conci; superficie...xc = -3,208 yc = 73,135 Rc = 68,298 Fs=4,4857

Lambda = 1,167

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	1,12	8,54	1,13	5577,6
2	6,5	11,81	6,64	55641,61
3	5,5	17,01	5,75	154105,7
4	3,89	21,17	4,17	175116,3
5	4,25	24,89	4,69	174417,4
6	4,25	28,89	4,86	153328,3
7	4,25	33,06	5,08	128367,0
8	4,25	37,44	5,36	98987,18
9	4,25	42,09	5,73	64404,93
10	4,25	47,12	6,25	23436,1

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	42672,29	36555,77	0,0	0,0	-31058,74	6053,39	0,0
2	73247,55	62748,46	42672,29	36555,77	31479,99	63331,54	0,0
3	70551,27	60438,65	73247,55	62748,46	152131,2	71184,45	0,0
4	51580,5	44187,09	70551,27	60438,65	176959,5	60370,45	0,0
5	24668,4	21132,51	51580,5	44187,09	173498,2	64506,28	0,0
6	-1274,11	-1091,48	24668,4	21132,51	145517,6	62356,57	0,0
7	-21992,65	-18840,29	-1274,11	-1091,48	113638,0	60122,11	0,0
8	-32585,94	-27915,16	-21992,65	-18840,29	79401,42	58156,97	0,0
9	-27131,92	-23242,91	-32585,94	-27915,16	44949,69	56994,05	0,0
10	1963,92	1682,42	-27131,92	-23242,91	13493,74	57507,63	0,0



Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 4,49 (Stabilità)
ODS = 4,08 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO (FRONTE SUD)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0

Categoria profilo stratigrafico A
Coefficiente di amplificazione topografica ST 1,2
Coefficiente azione sismica Kx 0,063
Coefficiente azione sismica Ky 0,031

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi (m) -8,8
Ordinata vertice sinistro inferiore yi (m) 26,09
Ascissa vertice destro superiore xs (m) 17,7
Ordinata vertice destro superiore ys (m) 52,89
Passo di ricerca 10,0
Numero di celle lungo x 10,0
Numero di celle lungo y 10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	19,5	0,0
3	21,2	9,3
4	23,16	21,17
5	28,07	21,17
6	28,07	11,15
7	36,58	11,15

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	30,4	2300	2500	0,00		

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato 2,56
Ascissa centro superficie (m) 1,8
Ordinata centro superficie (m) 52,89
Raggio superficie (m) 50,24

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

Analisi dei conci; superficie...xc = 1,801 yc = 52,891 Rc = 50,241 Fs=2,5646

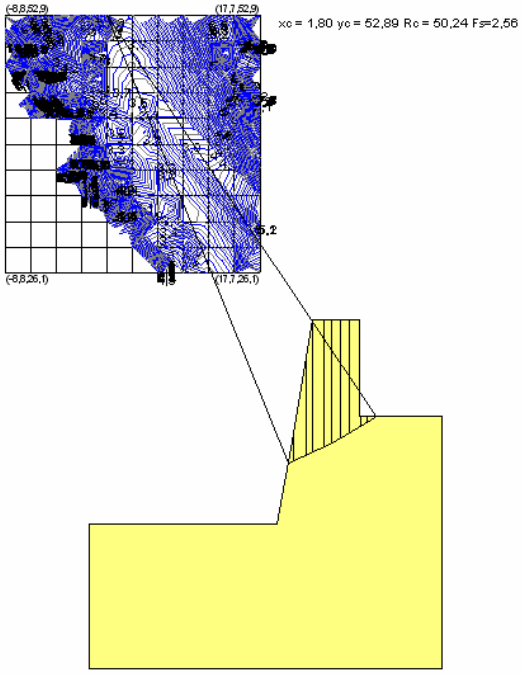
Lambda = 0,599

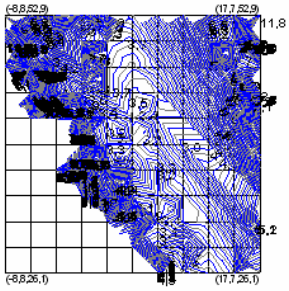
Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	0,54	22,38	0,59	1875,11
2	1,28	23,51	1,39	20255,07

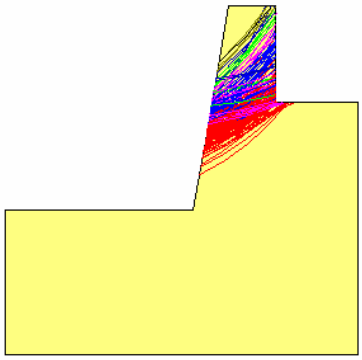
3	0,68	24,73	0,75	20197,95
4	1,14	25,88	1,27	38369,73
5	0,91	27,18	1,02	29515,69
6	0,91	28,36	1,03	28425,15
7	0,91	29,54	1,05	27279,48
8	1,1	30,87	1,28	31285,73
9	0,72	32,08	0,85	1489,9
10	0,91	33,19	1,09	685,48

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	45379,89	75753,48	0,0	0,0	-11382,56	9181,65	0,0
2	69459,89	115950,7	45379,89	75753,48	12591,98	21704,78	0,0
3	103102,0	172110,1	69459,89	115950,7	11317,27	11712,19	0,0
4	65997,77	110171,3	103102,0	172110,1	40887,74	19734,6	0,0
5	90952,54	151828,8	65997,77	110171,3	23051,98	15959,64	0,0
6	79955,98	133472,0	90952,54	151828,8	25898,03	16132,71	0,0
7	72768,67	121474,1	79955,98	133472,0	23958,34	16318,56	0,0
8	80618,81	134578,5	72768,67	121474,1	26660,57	19940,82	0,0
9	26555,55	44329,67	80618,81	134578,5	-878,43	13310,59	0,0
10	-19005,53	-31726,28	26555,55	44329,67	-2939,21	16964,72	0,0







Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 2,56 (Stabilità)
ODS = 2,32 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO (FRONTE EST)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	10,0
Categoria profilo stratigrafico	A
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,063
Coefficiente azione sismica Ky	0,031

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	-12,47
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	23,13
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	19,82
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	52,38
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	18,0	0,0

3	19,5	9,3
4	24,5	9,3
5	26,6	19,3
6	36,6	19,3

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	30,4	2300	2500	0,00		Conglomerato

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato		2,51
Ascissa centro superficie	(m)	18,21
Ordinata centro superficie	(m)	24,59
Raggio superficie	(m)	17,6

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

Analisi dei conci; superficie...xc = 18,209 yc = 24,595 Rc = 17,596 Fs=2,5093

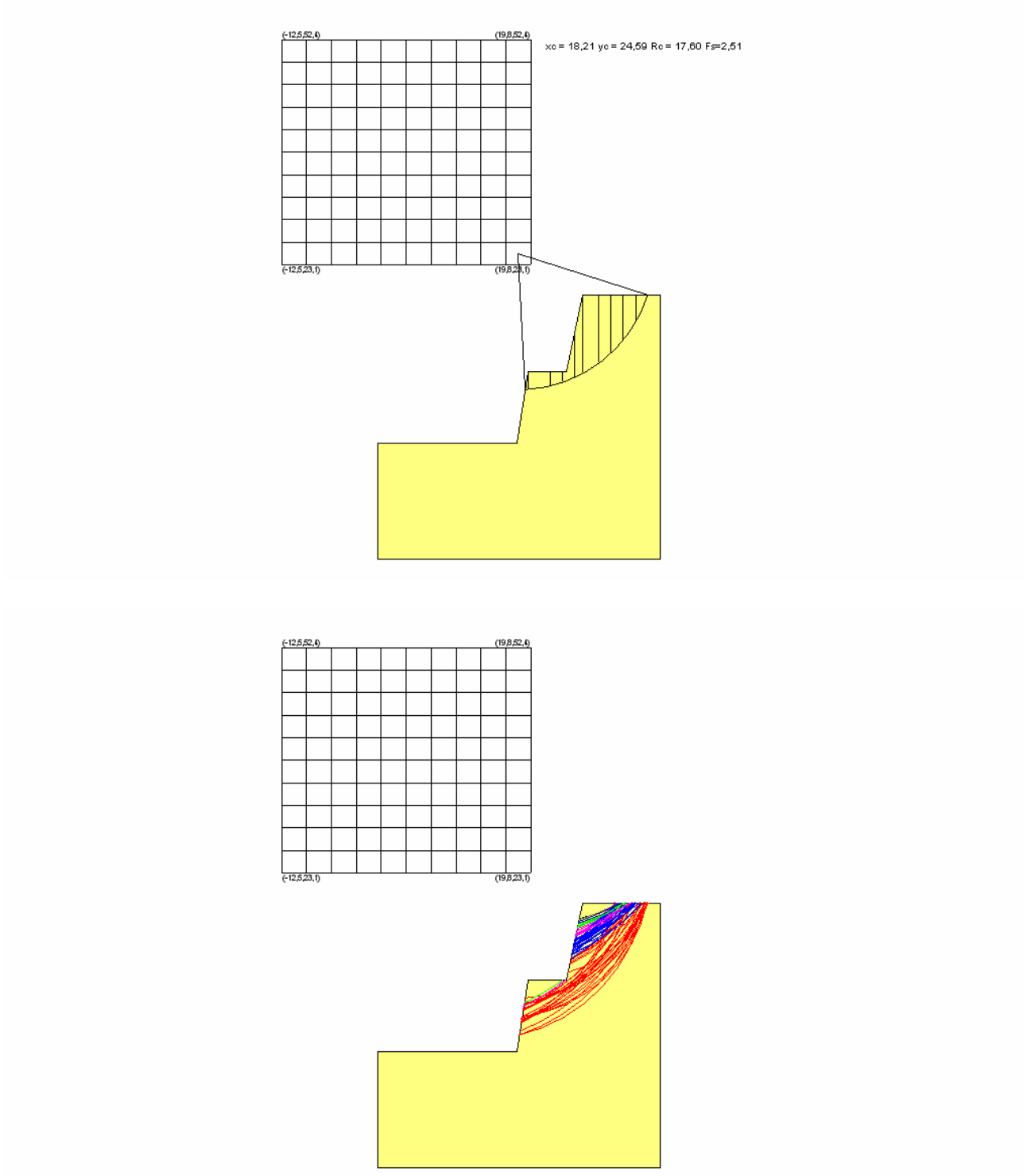
Lambda = 0,454

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	0,37	3,6	0,37	1035,18
2	2,8	8,83	2,84	14675,38
3	1,59	16,15	1,65	6375,04
4	1,59	21,61	1,71	7670,52
5	1,12	26,44	1,26	21892,29
6	2,05	32,43	2,42	48960,16
7	1,59	39,74	2,06	32705,72
8	1,59	46,88	2,32	26802,29
9	1,59	55,19	2,78	19084,43
10	1,59	66,1	3,91	8144,12

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	14058,02	30955,85	0,0	0,0	-11024,28	5864,84	0,0
2	32917,6	72484,77	14058,02	30955,85	2550,62	45235,0	0,0
3	108221,4	238304,2	32917,6	72484,77	-20014,7	26313,96	0,0
4	36104,23	79501,75	108221,4	238304,2	15725,39	27187,45	0,0
5	17319,15	38136,88	36104,23	79501,75	18000,4	20025,44	0,0
6	17149,91	37764,21	17319,15	38136,88	40892,57	38649,39	0,0
7	13152,09	28960,98	17149,91	37764,21	22055,51	32872,3	0,0
8	8269,7	18209,94	13152,09	28960,98	13143,74	36980,43	0,0
9	1482,87	3265,29	8269,7	18209,94	1849,33	44276,39	0,0

10	-9398,87	-20696,36	1482,87	3265,29	-14566,62	62392,58	0,0



Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 2,51 (Stabilità)
ODS = 2,28 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO (FRONTE OVEST)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati		1,0
Numero dei conci		10,0
Categoria profilo stratigrafico		A
Coefficiente di amplificazione topografica ST		1,2
Coefficiente azione sismica Kx		0,063
Coefficiente azione sismica Ky		0,031

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	-7,62
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	30,84
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	24,67
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	60,08
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	14,71	-0,08
3	18,3	11,01
4	24,7	11,01
5	27,98	22,09
6	35,94	22,09
7	39,06	25,37
8	47,02	25,37

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	30,4	2300	2500	0,00		

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato		1,83
Ascissa centro superficie	(m)	16,6
Ordinata centro superficie	(m)	38,15
Raggio superficie	(m)	30,7

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

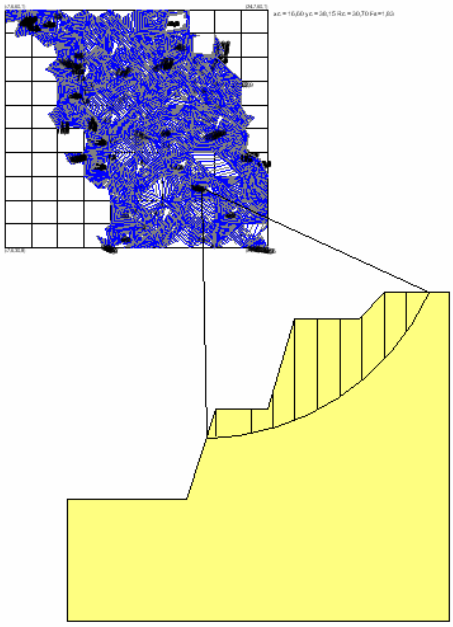
Analisi dei conci; superficie...xc = 16,597 yc = 38,146 Rc = 30,695 Fs=1,8306

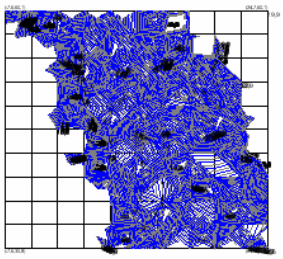
Lambda = 0,833

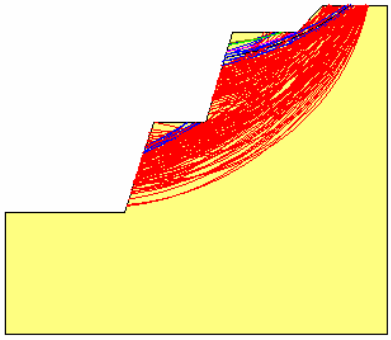
Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	1,15	2,1	1,15	5067,01
2	4,32	7,24	4,36	35808,89
3	2,74	13,94	2,82	18165,88
4	2,62	19,17	2,78	55788,23
5	2,85	24,69	3,14	84431,78
6	2,74	30,59	3,18	71035,1
7	2,74	36,74	3,41	58595,09
8	2,76	43,48	3,8	55802,37
9	2,71	51,07	4,32	44669,39
10	2,74	60,25	5,51	18077,54

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	51196,87	61435,76	0,0	0,0	-43705,06	25167,63	0,0
2	101990,3	122387,4	51196,87	61435,76	-6365,04	95190,67	0,0
3	164332,9	197198,0	101990,3	122387,4	-24578,14	61606,21	0,0
4	217693,7	261230,4	164332,9	197198,0	23794,99	60638,29	0,0
5	256882,8	308256,9	217693,7	261230,4	60905,38	68572,38	0,0
6	317178,1	380610,7	256882,8	308256,9	45679,18	69453,85	0,0
7	435720,4	522860,4	317178,1	380610,7	36303,52	74613,59	0,0
8	804501,5	965394,3	435720,4	522860,4	76268,18	83125,02	0,0
9	265305,2	318363,7	804501,5	965394,3	-137725,2	94314,48	0,0
10	-18655,53	-22386,47	265305,2	318363,7	-146693,3	120503,7	0,0







Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 1,80 (Stabilità)
ODS = 1,63 (Stabilità)

13.4 VERIFICA DI STABILITÀ DEL CORPO DI DISCARICA A LUNGO TERMINE

VERIFICA DI STABILITÀ DEL CORPO DI DISCARICA DURANTE LA FASE DI STOCCAGGIO

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Categoria profilo stratigrafico	D
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,1
Coefficiente azione sismica Ky	0,05

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	38,43
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	81,52
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	64,93
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	108,32
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	3,12	20,19
2	38,05	19,81
3	39,82	30,27
4	44,35	30,27
5	46,16	39,94
6	49,3	39,94
7	73,74	61,57
8	84,12	61,72
9	90,82	61,22
10	96,34	60,38
11	100,35	60,05
12	104,2	60,55

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	3,12	20,19
2	38,18	19,68
3	39,82	30,15
4	44,35	30,27
5	46,25	39,98
6	48,87	39,6
7	61,83	50,6
8	70,29	58,74
9	76,43	59,21
10	81,95	59,04
11	86,47	58,88
12	90,31	58,37
13	94,16	57,87
14	97,84	57,2
15	101,36	57,04
16	104,2	57,67

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	2,92	13,62
2	2,92	13,62
3	3,1	19,9
4	38,18	20,06
5	39,82	30,27
6	44,23	30,27
7	44,61	30,02
8	46,13	39,54
9	50,54	39,54
10	50,97	32,02
11	60,1	32,01
12	64,86	14,67
13	104,2	14,84

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0,016	22,4	1500	1800	0,00		capping
2	0,16	24	800	1800	0,00		RSU
3	4	30,4	2300	2500	0,00		Conglomerato

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato		1,12
Ascissa centro superficie	(m)	47,71
Ordinata centro superficie	(m)	82,86
Raggio superficie	(m)	42,81

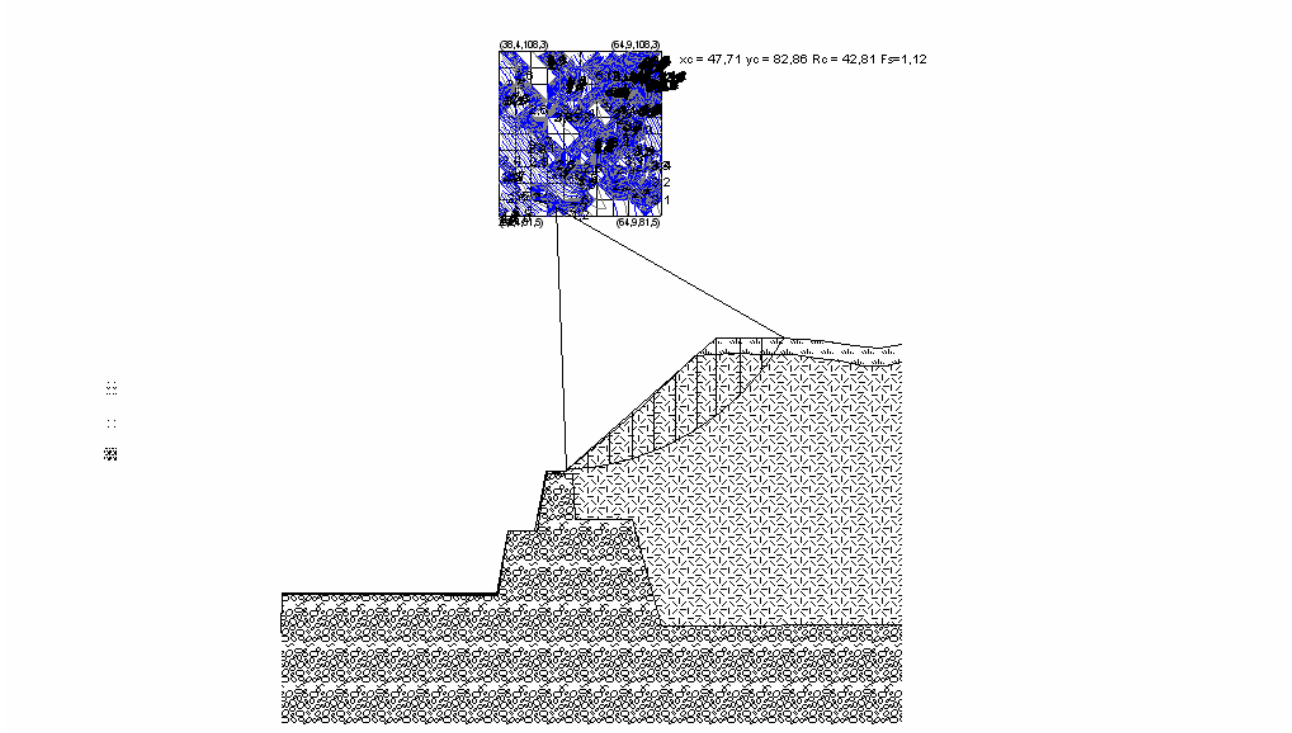
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

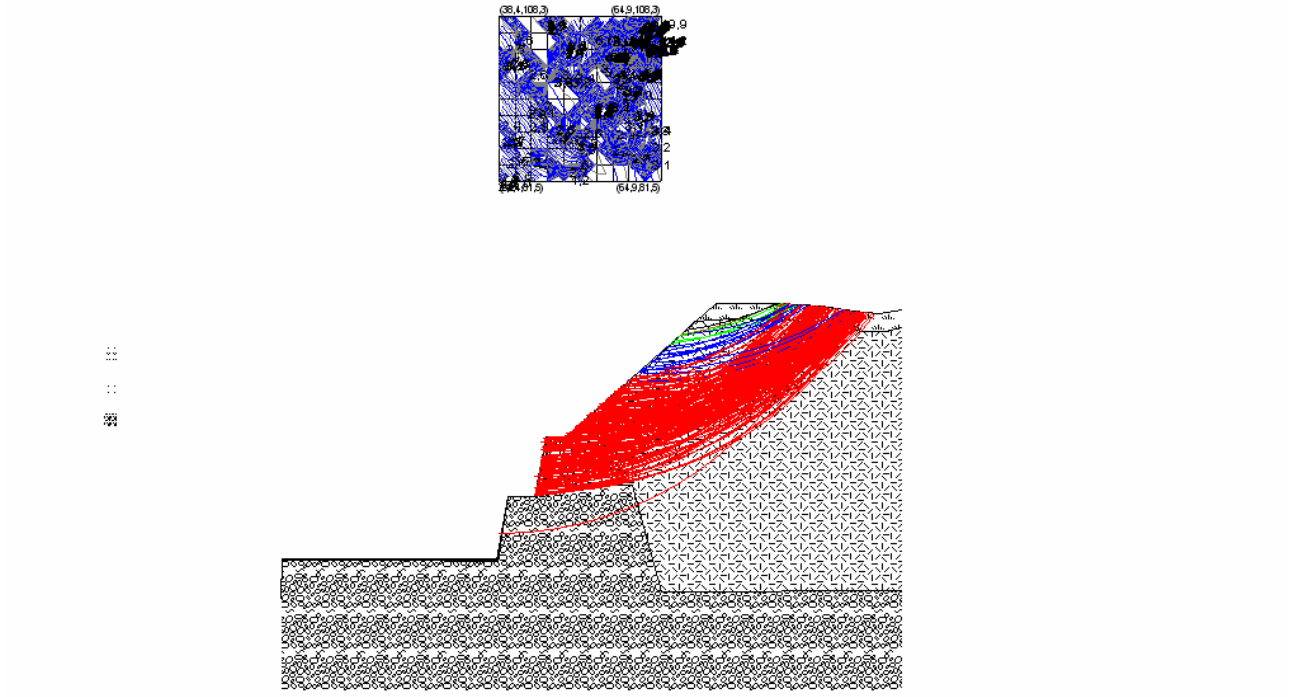
Analisi dei conci; superficie...xc = 47,705 yc = 82,857 Rc = 42,809 Fs=1,116
Lambda = 0,714

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	3,54	4,72	3,56	4261,27
2	3,54	9,51	3,59	12215,79
3	3,54	14,37	3,66	19301,25
4	3,54	19,33	3,76	25460,7
5	3,54	24,45	3,89	29628,99
6	3,54	29,79	4,08	32690,39
7	3,02	34,99	3,68	32898,94
8	4,07	41,07	5,4	42970,82
9	3,54	48,25	5,32	27189,92
10	3,54	56,07	6,35	14903,49

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	5384,83	7546,07	0,0	0,0	-321,06	4970,89	0,0
2	10837,14	15186,7	5384,83	7546,07	8333,51	8477,17	0,0
3	15247,95	21367,82	10837,14	15186,7	16414,44	11794,31	0,0
4	17889,81	25070,01	15247,95	21367,82	23116,59	14607,7	0,0
5	18414,91	25805,87	17889,81	25070,01	26920,82	16322,47	0,0
6	16713,12	23421,05	18414,91	25805,87	28456,77	17208,47	0,0
7	13353,31	18712,76	16713,12	23421,05	26466,55	15838,1	0,0
8	5657,82	7928,62	13353,31	18712,76	29908,36	19676,42	0,0
9	902,99	1265,42	5657,82	7928,62	15175,3	13686,23	0,0
10	-25,42	-35,63	902,99	1265,42	6936,6	11871,64	0,0





Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 1,16 (Stabilità)
ODS = 1,05 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL CORPO DI DISCARICA ALLO STATO FINALE (FRONTE EST)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Categoria profilo stratigrafico	D
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,1
Coefficiente azione sismica Ky	0,05

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	3,09
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	64,43
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	35,54
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	94,49
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,97
2	11,33	26,97
3	13,32	26,97
4	16,26	26,79
5	16,1	27,36
6	21,87	28,56
7	29,62	32,53
8	37,17	35,91
9	47,71	41,28
10	54,29	42,12
11	56,28	42,71
12	61,65	46,3
13	67,38	48,57
14	72,62	48,67
15	76,74	48,36
16	84,12	44,31
17	94,07	39,73
18	111,22	31,37
19	120,35	25,99
20	125,23	23,39

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,79
2	17,3	27,35
3	18,22	26,78
4	21,27	26,97
5	48,91	40,32
6	55,68	40,72
7	63,06	45,79
8	67,58	47,43

9	74,37	47,33
10	76,94	47,02
11	79,83	45,58
12	86,51	42,19
13	93,47	38,93
14	118,54	26,08
15	121,65	25,38
16	123,44	23,78
17	125,23	23,11

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,79
2	17,26	27,33
3	17,43	27,34
4	18,06	26,71
5	19,48	25,14
6	24,53	25,35
7	28,15	14,14
8	33,99	13,9
9	37,6	3,29
10	105,93	5,03
11	108,73	15,3
12	113,77	15,25
13	115,83	22,74
14	116,68	26,12
15	117,99	26,18
16	117,99	26,18
17	117,99	26,18
18	125,23	22,62

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	22,4	1500	1800	0,00		capping
2	0,16	24	800	1800	0,00		RSU
3	4	30,4	2300	2500	0,00		Conglomerato

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato		1,63
Ascissa centro superficie	(m)	30,67
Ordinata centro superficie	(m)	80,96
Raggio superficie	(m)	56,08

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

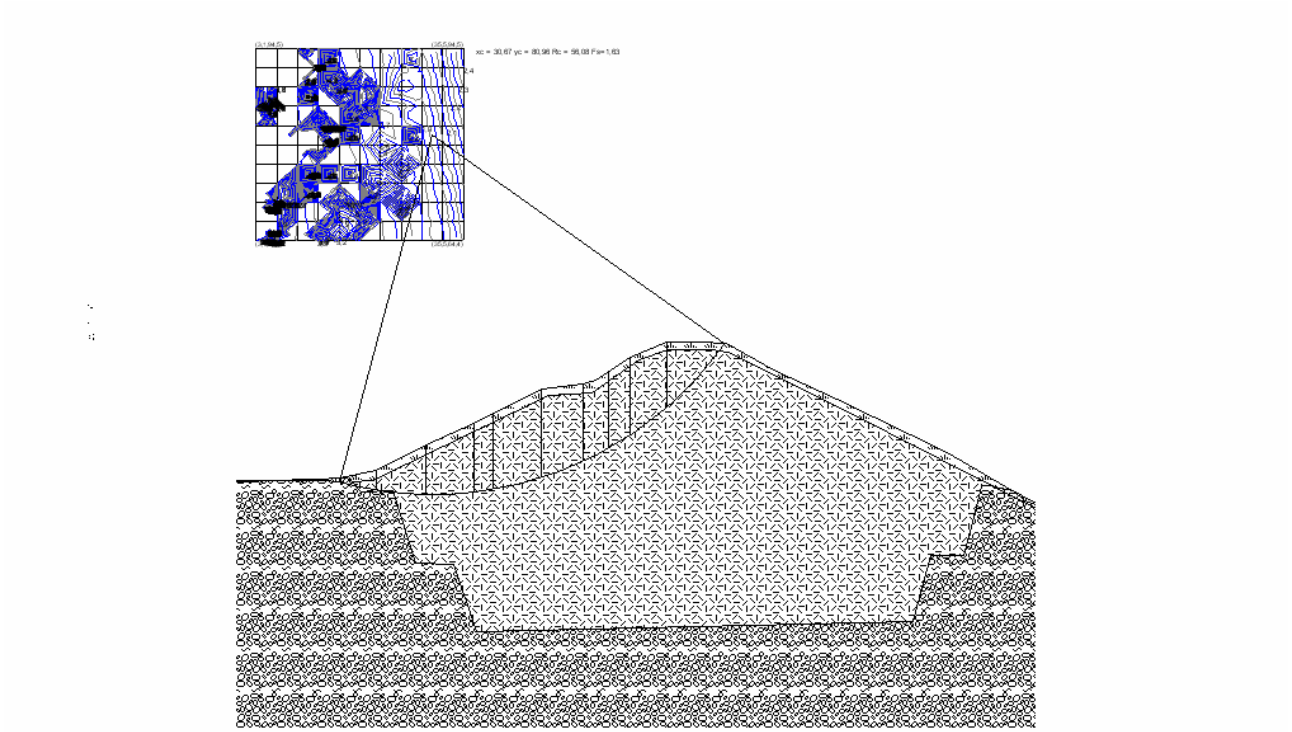
Analisi dei conci; superficie...xc = 30,673 yc = 80,964 Rc = 56,079 Fs=1,6273

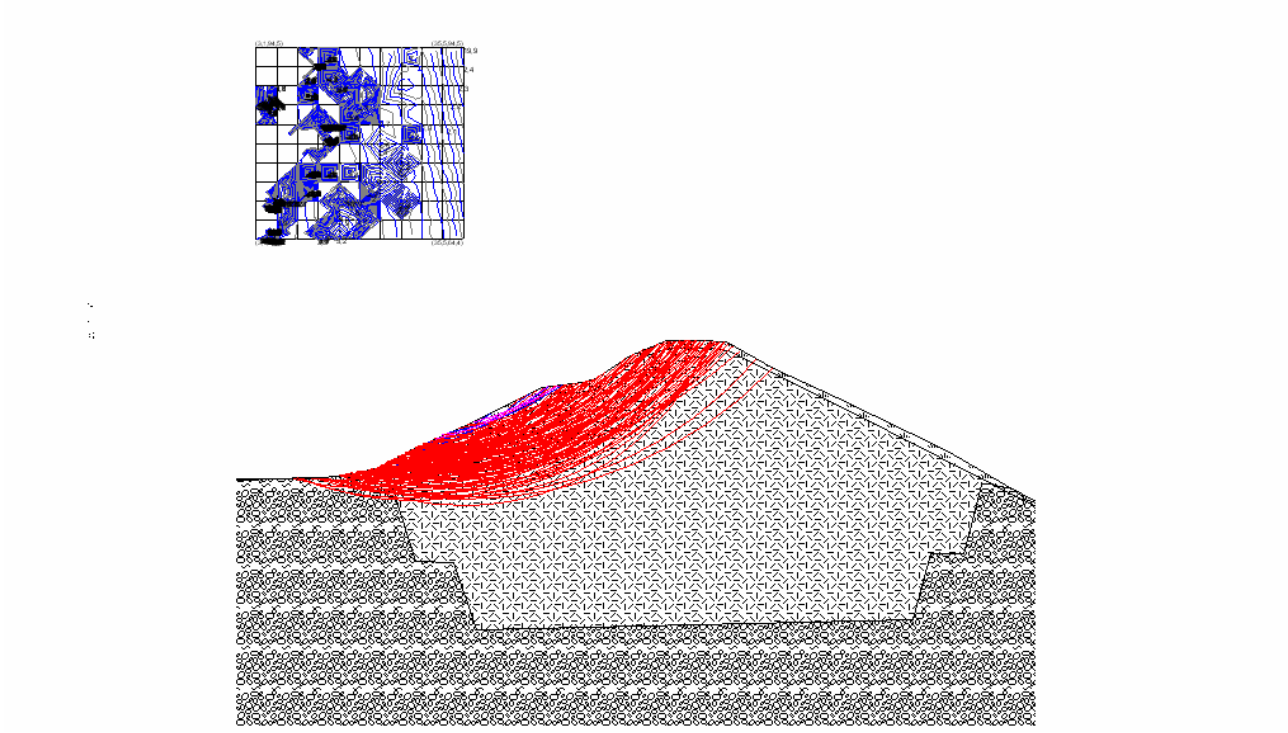
Lambda = 0,449

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	5,69	-12,01	5,82	13004,23
2	7,75	-5,06	7,78	41426,97
3	7,55	2,79	7,56	63388,01
4	3,06	8,23	3,09	30275,74
5	7,47	13,75	7,69	84586,9
6	6,58	21,29	7,06	74171,04
7	3,99	27,19	4,49	41592,82
8	3,37	31,51	3,96	36026,03
9	5,73	37,21	7,19	55686,11
10	8,95	47,69	13,29	49255,3

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	9065,39	20193,72	0,0	0,0	556,9	5875,05	0,0
2	20421,48	45490,1	9065,39	20193,72	30152,33	15901,4	0,0
3	28964,03	64519,15	20421,48	45490,1	58563,43	23458,09	0,0
4	33504,23	74632,73	28964,03	64519,15	27983,27	10696,94	0,0
5	34724,84	77351,71	33504,23	74632,73	83721,81	30471,3	0,0
6	31966,04	71206,34	34724,84	77351,71	70209,4	26151,32	0,0
7	30485,31	67907,9	31966,04	71206,34	36753,69	14467,84	0,0
8	28803,12	64160,71	30485,31	67907,9	29842,54	12055,89	0,0
9	22110,26	49251,96	28803,12	64160,71	39517,19	17879,65	0,0
10	14141,56	31501,19	22110,26	49251,96	23412,54	19470,16	0,0





Dalle risultanze delle analisi si ottengono i seguenti risultati:

Fs = 1,63 (Stabilità)
ODS = 1,48 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DEL CORPO DI DISCARICA ALLO STATO FINALE (FRONTE OVEST)

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

==========

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Categoria profilo stratigrafico	D
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,1
Coefficiente azione sismica Ky	0,05

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	3,09
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	64,43
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	35,54
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	94,49
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

==========

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	-0,34	23,39
2	4,54	25,99
3	13,67	31,37
4	30,82	39,73
5	40,77	44,31
6	48,15	48,36
7	52,26	48,67
8	57,51	48,57
9	63,24	46,3
10	68,61	42,71
11	70,6	42,12
12	77,18	41,28
13	87,72	35,91
14	95,27	32,53
15	103,02	28,56
16	108,79	27,36
17	108,62	26,79
18	111,57	26,97
19	113,56	26,97
20	124,89	26,97

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-0,34	23,11
2	1,45	23,78
3	3,24	25,38
4	6,34	26,08
5	31,42	38,93
6	38,38	42,19
7	45,06	45,58
8	47,94	47,02
9	50,52	47,33
10	57,31	47,43
11	61,83	45,79
12	69,21	40,72
13	75,98	40,32
14	103,62	26,97
15	106,66	26,78
16	107,58	27,35
17	124,89	26,79

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	-0,34	22,62
2	6,9	26,18
3	6,9	26,18
4	6,9	26,18
5	8,21	26,12
6	9,06	22,74
7	11,12	15,25

8	16,16	15,3
9	18,96	5,03
10	87,29	3,29
11	90,9	13,9
12	96,74	14,14
13	100,36	25,35
14	105,41	25,14
15	106,83	26,71
16	107,46	27,34
17	107,62	27,33
18	124,89	26,79

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	4	22,4	1500	1800	0,00		capping
2	0,16	24	800	1800	0,00		RSU
3	4	30,4	2300	2500	0,00		Conglomerato

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato		1,51
Ascissa centro superficie	(m)	16,07
Ordinata centro superficie	(m)	73,45
Raggio superficie	(m)	47,44

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

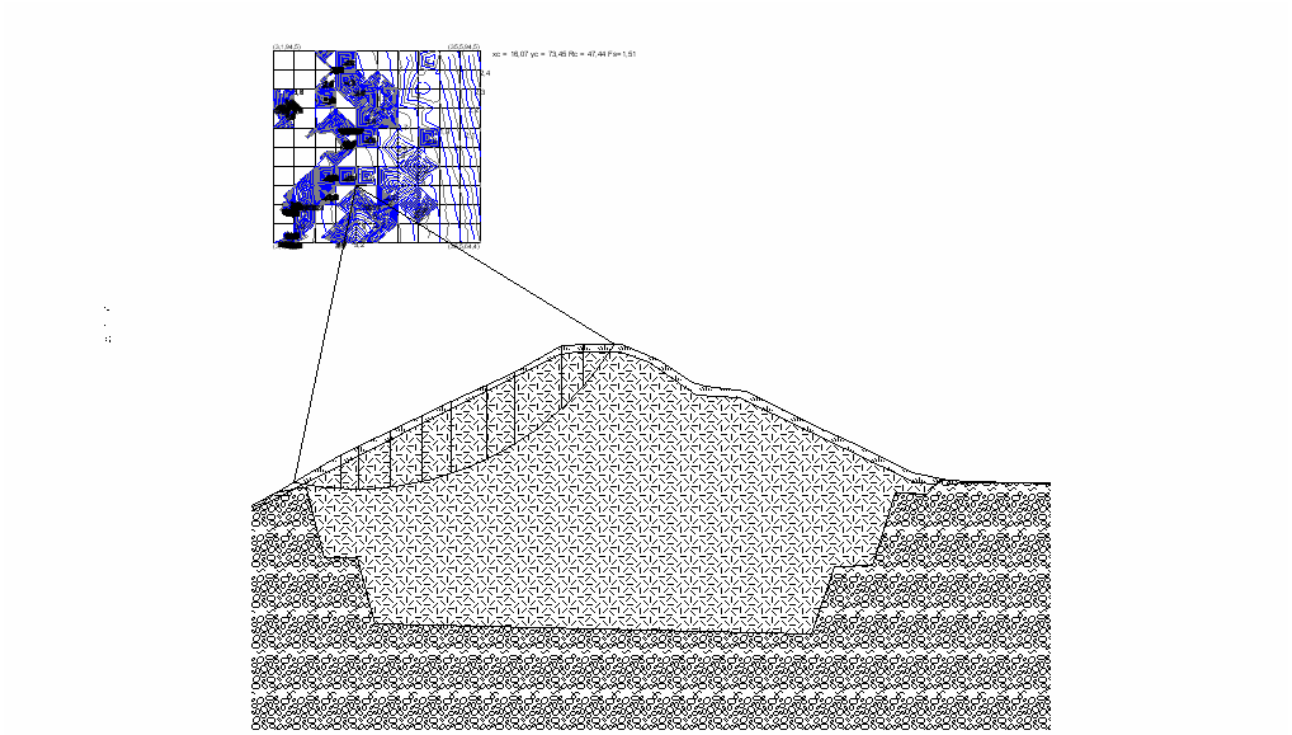
Analisi dei conci; superficie...xc = 16,071 yc = 73,449 Rc = 47,443 Fs=1,5124

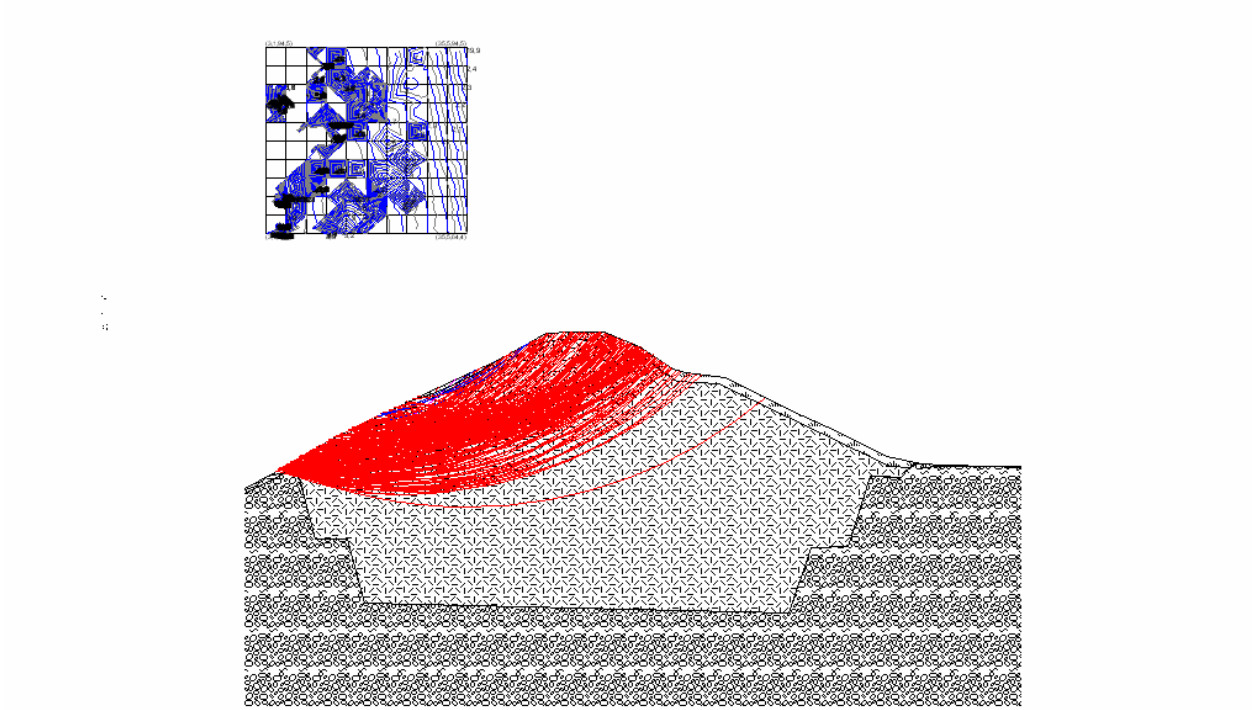
Lambda = 0,453

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	7,37	-7,4	7,43	22941,09
2	2,66	-1,29	2,67	15577,56
3	5,02	3,35	5,03	36239,86
4	5,02	9,46	5,09	43360,02
5	4,45	15,32	4,61	42602,31
6	5,59	21,74	6,01	56149,96
7	4,37	28,38	4,96	43641,88
8	7,38	36,96	9,23	69745,37
9	3,31	45,39	4,71	25098,11
10	5,02	53,32	8,4	19362,21

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	7886,21	17420,87	0,0	0,0	14119,66	12020,25	0,0
2	12652,61	27949,97	7886,21	17420,87	11384,49	6170,85	0,0
3	17929,27	39606,26	12652,61	27949,97	33188,8	15087,68	0,0
4	20998,95	46387,27	17929,27	39606,26	42282,6	17828,82	0,0
5	21850,13	48267,56	20998,95	46387,27	41692,36	17154,69	0,0
6	19409,13	42875,3	21850,13	48267,56	52951,92	21949,77	0,0
7	16036,37	35424,8	19409,13	42875,3	37670,0	16340,72	0,0
8	5343,64	11804,26	16036,37	35424,8	48666,45	24092,33	0,0
9	2151,64	4753,02	5343,64	11804,26	13942,42	9090,21	0,0
10	-59,77	-132,04	2151,64	4753,02	7996,38	11239,92	0,0





Fs = 1,51 (Stabilità)
ODS = 1,37 (Stabilità)

13.5 VERIFICA DI STABILITA' DELLA STABILITA' DELLA COPERTURA FINALE DELLA DISCARICA (CAPPING)

VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLO STRATO SUPERFICIALE DEL CAPPING DEL CORPO DI DISCARICA (TERRENO VEGETALE), SITUATO AL DI SOPRA DELLA MEMBRANA IMPERMEABILE IN HDPE E DEL GEOCOMPOSITO DRENANTE.

Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Categoria profilo stratigrafico	D
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,1
Coefficiente azione sismica Ky	0,05

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	9,41
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	84,36
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	41,86
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	114,42
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,97
2	11,33	26,97
3	13,32	26,97
4	16,26	26,79
5	16,1	27,36
6	21,87	28,56
7	29,62	32,53
8	37,17	35,91
9	47,71	41,28
10	54,29	42,12
11	56,28	42,71
12	61,65	46,3
13	67,38	48,57
14	72,62	48,67
15	76,74	48,36
16	84,12	44,31
17	94,07	39,73
18	111,22	31,37
19	120,35	25,99
20	125,23	23,39

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,79
2	17,3	27,35
3	18,22	26,78
4	21,27	26,97
5	48,91	40,32
6	55,68	40,72
7	63,06	45,79
8	67,58	47,43
9	74,37	47,33
10	76,94	47,02
11	79,83	45,58
12	86,51	42,19
13	93,47	38,93
14	118,54	26,08
15	121,65	25,38
16	123,44	23,78
17	125,23	23,11

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	26,79
2	17,26	27,33
3	17,43	27,34
4	18,06	26,71
5	19,48	25,14
6	24,53	25,35
7	28,15	14,14

8	33,99	13,9
9	37,6	3,29
10	105,93	5,03
11	108,73	15,3
12	113,77	15,25
13	115,83	22,74
14	116,68	26,12
15	117,99	26,18
16	117,99	26,18
17	117,99	26,18
18	125,23	22,62

Stratigrafia

==========

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

==========

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0,016	22,4	1500	1800	0,00		Terreno vegetale
2	0,16	24	800	1800	0,00		RSU
3	4	30,4	2300	2500	0,00		Conglomerato

Risultati analisi pendio

==========

Fs minimo individuato		1,04
Ascissa centro superficie	(m)	15,9
Ordinata centro superficie	(m)	93,37
Raggio superficie	(m)	61,96

==========

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

==========

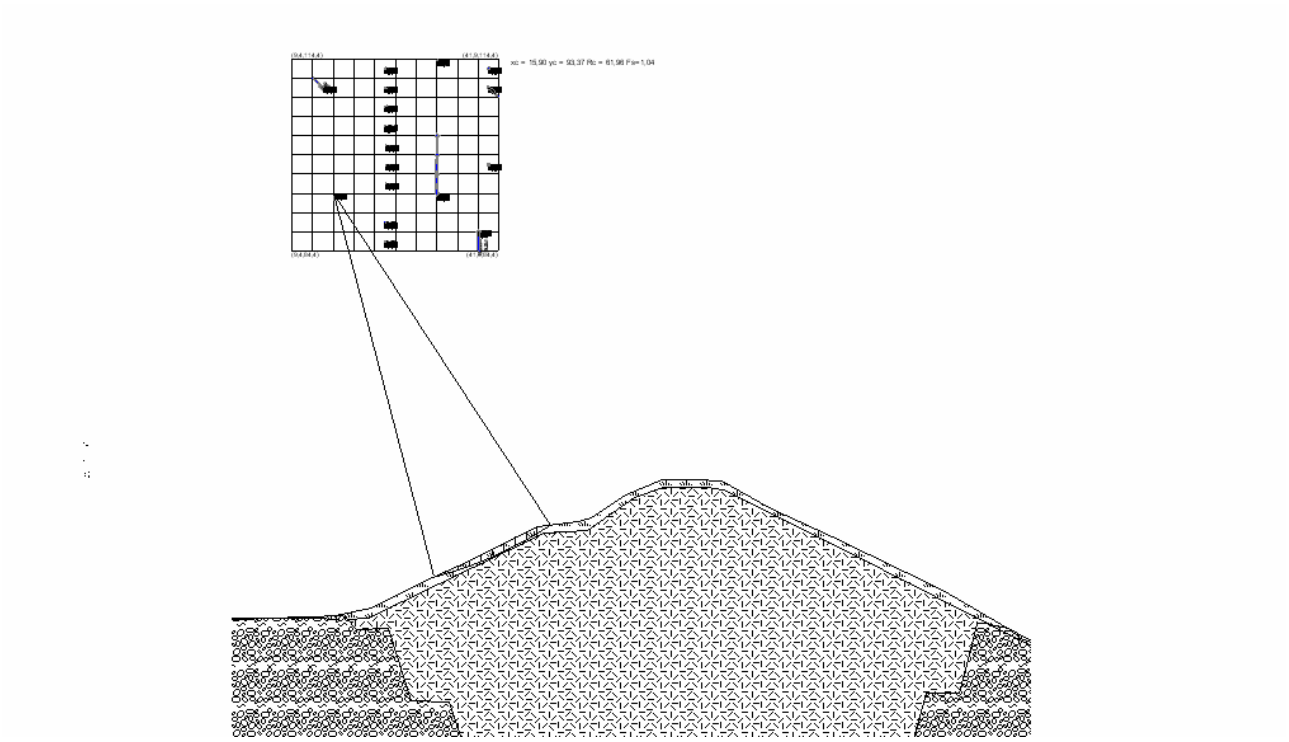
Analisi dei conci; superficie...xc = 15,897 yc = 93,375 Rc = 61,963 Fs=1,0378

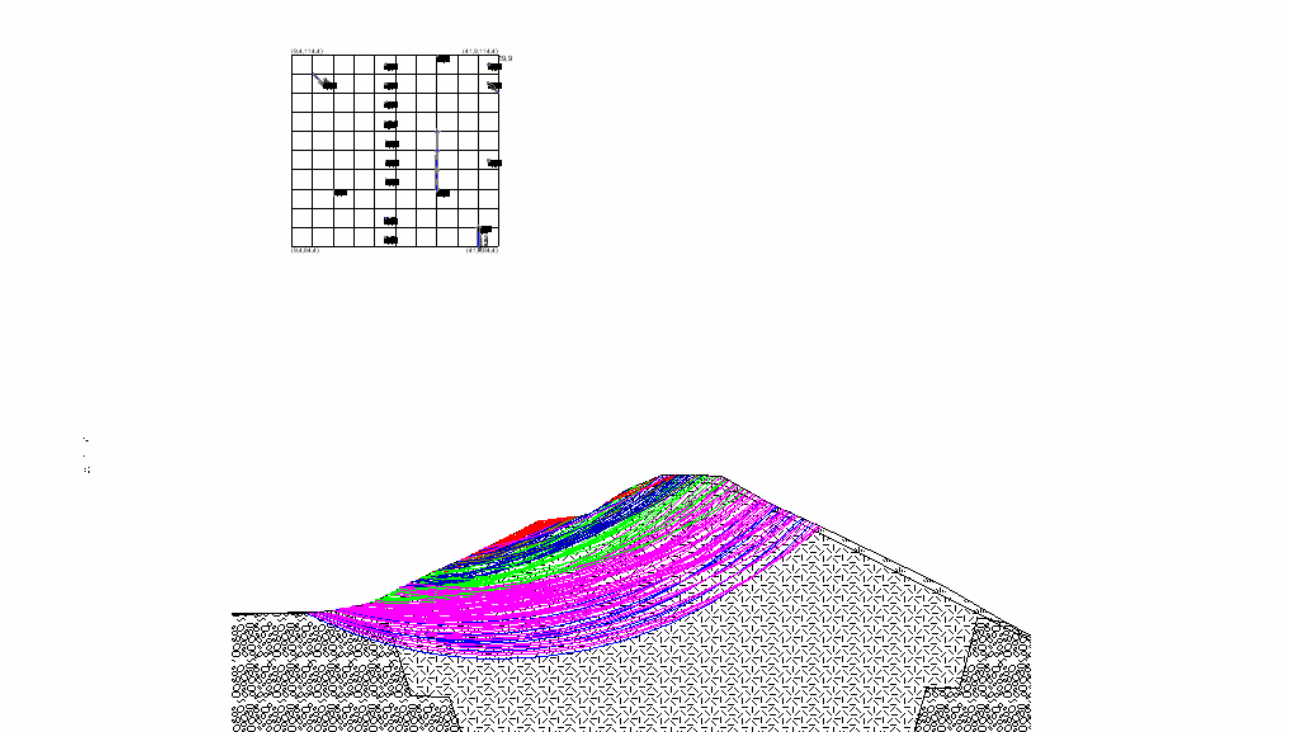
Lambda = 0,508

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	1,82	15,64	1,89	435,19
2	1,82	17,39	1,9	1182,95
3	1,85	19,18	1,95	1794,94
4	1,79	20,97	1,92	2288,8
5	1,82	22,76	1,97	2857,22
6	1,82	24,6	2,0	3208,69
7	1,82	26,46	2,03	3366,71
8	1,82	28,36	2,07	3322,03
9	1,48	30,1	1,71	2515,06
10	2,16	32,07	2,55	1795,27

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	219,31	431,68	0,0	0,0	333,48	496,18	0,0
2	420,41	827,51	219,31	431,68	1076,36	794,53	0,0
3	582,57	1146,69	420,41	827,51	1672,83	1041,02	0,0
4	692,2	1362,49	582,57	1146,69	2137,07	1217,98	0,0
5	730,46	1437,8	692,2	1362,49	2649,72	1432,2	0,0
6	696,86	1371,65	730,46	1437,8	2932,81	1550,01	0,0
7	599,39	1179,8	696,86	1371,65	3016,44	1589,25	0,0
8	455,97	897,5	599,39	1179,8	2903,98	1551,35	0,0
9	365,57	719,56	455,97	897,5	2147,57	1181,63	0,0
10	336,92	663,17	365,57	719,56	1496,47	1085,39	0,0





Fs = 1,14 (Stabilità)
ODS = 1,03 (Stabilità)

VERIFICA DI STABILITÀ DELLA COPERTURA FINALE (CAPPING) DELLA DISCARICA ALLO STATO FINALE

Per quanto riguarda la stabilità della copertura finale della discarica, considerando le potenziali superfici di scivolamento planari tra i diversi strati, si rimanda alla relazione specialistica allegata.

14. INDICAZIONI RELATIVE AL PIANO DI MONITORAGGIO DELLA DISCARICA SUCCESSIVAMENTE ALLA CHIUSURA DELL'IMPIANTO

La Società Idroedil s.r.l., proprietaria della discarica, ha elaborato, avvalendosi del supporto dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL), il Piano di Monitoraggio e Controllo, ai sensi del Decreto legislativo n. 59 del 18 Febbraio 2005, recante "Attuazione integrale della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrale dell'inquinamento" (G.U. n. 93 del 22-04-2005- Supplemento Ordinario n. 72).

Tale Piano risulta conforme alle indicazioni della linea guida sui "sistemi di monitoraggio" (Gazzetta Ufficiale n. 135 del 13 Giugno 2005, Decreto 31 Gennaio 2005, recante "Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili, per le attività elencate nell'allegato I del Decreto legislativo n. 372 del 4 Agosto 1999").

La finalità principale del Piano è la verifica di conformità dell'esercizio dell'impianto con le condizioni prescritte nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) rilasciata per l'impianto stesso, costituendo quindi parte integrante dell'Autorizzazione.

Peraltro, la Società proprietaria ha realizzato e rassegnato all'Amministrazione Provinciale di Imperia, in data 15.10.03, avvalendosi del Laboratorio della Facoltà di Ingegneria Chimica dell'Università di Genova, in osservanza delle disposizioni del Decreto legislativo n. 36/2003, il "Piano di Controllo durante le fasi di gestione e post-chiusura, relativo ai fattori ambientali da controllare, i parametri ed i sistemi unificati di prelevamento, trasporto e misura dei campioni, le frequenze di misura ed i sistemi di restituzione dei dati", il cui ultimo aggiornamento risulta datato 13.06.2007.

Entrambi i documenti sopra indicati riportano una serie di azioni, da svolgersi sia durante la fase d'esercizio dell'impianto che successivamente alla chiusura, finalizzate al monitoraggio di tutte le componenti ambientali potenzialmente interessate dalla discarica.

Con principale riferimento al secondo documento sopra riportato, tali azioni sono in particolare volte al monitoraggio delle seguenti componenti:

- Acque sotterranee: rilevamento di eventuali situazioni di contaminazione delle acque di falda, riconducibili all'impatto che la discarica determina sul sito. Il Piano prevede l'esecuzione di campionamenti a cadenza trimestrale di acque sotterranee provenienti dai piezometri installati a monte e a valle del lotto in attività, esistenti e di nuova realizzazione (cfr. elaborati progettuali). Le analisi chimiche prevedono, tre volte l'anno, la determinazione dei parametri fondamentali indicati con asterisco nella tabella 1 dell'allegato 2 del D.Lgs. 36/2003; con frequenza annuale vengono eseguite tutte le determinazioni indicate dalla stessa tabella. A tale merito, si rappresenta, come già indicato nel precedente capitolo 1, che in corrispondenza del lotto occupato dalla discarica non è stata rilevata in ogni caso la presenza di acque sub-superficiali.
- Acque superficiali di drenaggio: il piano di controllo prevede il prelievo eseguito con cadenza trimestrale di un campione di acque drenate a valle della discarica, in un punto ritenuto significativo in quanto raccoglie le acque di infiltrazione provenienti dal versante sul quale insiste la discarica. Così come prescritto in sede di approvazione del progetto di discarica di Collette Ozotto si effettua un prelievo di acque nel rio Colli, in prossimità dello svincolo autostradale di Taggia. L'operazione prevede l'esecuzione di un campionamento istantaneo all'uscita del collettore di raccolta delle acque di drenaggio. La mancanza di prelievi sul versante sanremese e immediatamente a valle della discarica è dovuta alla mancanza di rii naturali con presenza continua di acqua: essendo infatti la discarica posizionata sulla sommità del crinale (spartiacque), solo durante intense precipitazioni atmosferiche è possibile osservare, seppur con quantità molto modeste, un ruscellamento superficiale nei compluvi naturali. Le operazioni di campionamento vengono però effettuate una volta al mese e in presenza di tempo non perturbato per cui è possibile effettuare solo il prelievo presso il rio Colli in prossimità dello svincolo autostradale di Taggia.
- Percolato: il piano di controllo prevede in fase di post - gestione il prelievo, a cadenza semestrale, di un campione di percolato direttamente dalle vasche di raccolta, finalizzato alla valutazione della composizione del percolato ed alla determinazione del volume del percolato. Come indicato in tale sezione, è prevista la realizzazione di uno studio apposito volto a correlare la quantità del percolato prodotto e smaltito con i principali parametri meteoclimatici, al fine di ottenere un bilancio idrico del percolato stesso.
- Qualità dell'aria ed emissioni gassose: il piano di controllo prevede il prelievo di campioni in contemporanea, eseguito a cadenza mensile durante la fase d'esercizio della discarica, per poi passare a semestrale in fase di post - chiusura, in due postazioni scelte sulla base della topografia dell'area da monitorare e della zona di abbancamento dei rifiuti. I parametri monitorati risultano essere CH_4, CO_2, O_2, H_2, H_2S, polveri totali, NH_3, mercaptani e composti volatili.
- Gas di discarica: la valutazione della composizione del gas prodotto dall'ammasso di rifiuti organici (biogas) viene effettuata con cadenza mensile in fase d'esercizio, per poi passare a

semestrale successivamente alla chiusura, per mezzo di un analizzatore portatile collegato con la valvola dedicata posta sulla tubazione in polietilene che indirizza il flusso di gas ai motori per la produzione di energia elettrica.

Oltre a quanto sopra riportato, in corrispondenza del sito di discarica è prevista la realizzazione di una cabina meteoclimatica, mediante la quale ottenere un'acquisizione in continuo dei principali parametri climatici locali. Vengono inoltre eseguiti con cadenza mensile, per conto di personale tecnico qualificato interno alla Società proprietaria dell'impianto, rilievi topografici dell'area di stoccaggio dei rifiuti, in ottemperanza di quanto previsto dal D.lgs. 36/2003, utili per monitorare lo stato d'evoluzione dell'attività.

In merito a quest'ultimo punto, si rappresenta che tali rilievi, per i successivi tre anni dalla chiusura dell'impianto, verranno eseguiti con cadenza semestrale, al fine di valutare l'entità e le modalità d'assestamento del corpo di discarica.

I suddetti rilievi, unitamente ai monitoraggi delle componenti sopra riportate, saranno integrati da appositi sopralluoghi (a cadenza trimestrale e, comunque, dopo ogni evento meteorico particolarmente intenso e prolungato) da parte di Geologo abilitato, finalizzati all'analisi specialistica di terreno dello stato dei luoghi, per quanto attiene agli aspetti geomorfologici, idrologici, idrogeologici, sismici e geotecnici. Le risultanze di tali ispezioni dovranno essere riportate su schede tematiche, appositamente elaborate, da allegare alla documentazione prevista dal Piano di Monitoraggio e Controllo, il tutto per un completo esame delle condizioni dello stato evolutivo nel tempo del corpo di discarica.

Tali elaborati geologici l.s. conterranno, in particolare, ma non solo, valutazioni circa i seguenti aspetti:

- quantificazione e localizzazione di eventuali assestamenti osservati sul terreno;
- eventuale presenza di evidenze di dissesti in atto e/o potenziali della copertura definitiva (capping), alla luce di assestamenti del corpo di discarica;
- valutazione dello stato d'efficienza del sistema di intercettazione, captazione e smaltimento delle acque di pioggia ricadenti sul corpo di discarica, con indicazione delle azioni da eseguire qualora si verificassero anomalie nel funzionamento di questo;
- monitoraggio all'interno dei tubi piezometrici attualmente presenti nell'intorno del corpo di discarica di eventuali (peraltro non previste) temporanee presenze idriche.

La corretta esecuzione, da parte di personale tecnico specializzato, di quanto sopra, ovvero di quanto previsto dal Piano di Monitoraggio e Controllo, garantirà un'elevata sicurezza dei luoghi e del loro intorno, dal punto di vista ambientale e geologico l.s.

15. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica e geotecnica è stata eseguita a supporto della proposta di realizzazione di un impianto provinciale di trattamento di rifiuti solidi urbani e di una discarica di servizio con finanza di progetto, ai sensi dell'articolo 153 del D.lgs 163/2006, in località Colli di Taggia e del progetto di soluzione temporanea per lo smaltimento R.S.U. per il territorio provinciale nella discarica di Collette Ozotto per mesi 24, a far data dal 01/05/2001, su incarico conferito allo scrivente dalla società IDROEDIL s.r.l., avente sede in via Colombo 54 - Arma di Taggia (IM), nonché dal Progettista dell'intervento, dott. ing. Antonino TETAMO.

La realizzazione del presente elaborato ha fatto seguito a nuovi sopralluoghi e ad un'indagine geologica e geotecnica eseguita in sito, al fine di fornire utili indicazioni sulle caratteristiche geologico strutturali, geomorfologiche, geolitologiche, geotecniche, stratigrafiche, sismiche, idrogeologiche ed idrologiche dell'area interessata dagli interventi, con particolare riferimento alla valutazione della pericolosità geomorfologica e sismica del sito (allo stato attuale ed alla luce degli

interventi in progetto), nonché ad un'indagine geotecnica finalizzata a creare un modello geotecnico in grado di fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e le relative verifiche, nonché per l'impostazione delle eventuali attività di monitoraggio.

Più precisamente è stato definito un modello geologico e geotecnico del volume di sottosuolo interagente con le opere da realizzare determinando le proprietà geotecniche - geomeccaniche iniziali per i diversi litotipi e le diverse zone d'omogeneità con riferimento al volume significativo, al fine permettere la classificazione del sottosuolo.

Si è pertanto proceduto all'esecuzione di una serie di indagini di natura geologica, le risultanze delle quali sono state riportate nella *relazione geologica*, quest'ultima finalizzata alla costruzione del *modello geologico*; nella *relazione geotecnica*, sulla base del modello geologico e delle indagini geotecniche eseguite in sito, seguendo i dettami della normativa vigente (Decreto Ministeriale 14.01.2008) e dello stato dell'arte, è stato poi ricostruito il locale *modello geotecnico*.

Il presente studio è stato sviluppato in modo tale da costituire un utile elemento di riferimento per il Progettista al fine di inquadrare le eventuali problematiche geologiche e per definire il programma delle eventuali ulteriori indagini sui terreni.

Le indagini, eseguite (estese ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi) in ottemperanza al Testo Unitario – Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14.01.2008 e s.m.i.), sono state finalizzate alla definizione delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito ed alle caratteristiche geotecniche dei materiali ricadenti nel volume significativo degli interventi, verificando i possibili scenari di rischio e le problematiche esecutive, con il preciso intento di definirne le potenzialità di fruizione in relazione all'assetto territoriale, verificando le condizioni di stabilità, l'eventuale presenza di elementi morfogenici dissestivi e lo stato di fatto, traendone le opportune valutazioni sulla compatibilità degli interventi con la situazione sismica, litologica geomorfologica ed idrogeologica locale.

Si elencano di seguito i contenuti principali del presente elaborato:

<u>Indagine geologica</u>

- Inquadramento normativo di riferimento ed esame dell'intervento nel contesto degli strumenti di pianificazione vigenti, con analisi del quadro conoscitivo esistente.
- Caratteristiche generali del progetto e suo inquadramento in ambito territoriale.
- Definizione delle caratteristiche tettonico - strutturali dell'area d'intervento.
- Definizione dei lineamenti geomorfologici della zona e analisi dei processi morfogenetici con specifico riferimento ai dissesti in atto o potenziali ed alla loro tendenza evolutiva, al fine di valutare le reali incidenze dell'opera in progetto sulle condizioni di stabilità pre e post-intervento.
- Definizione della caratteristiche geologiche del sito: caratterizzazione della successione litostratigrafia del sito per un intorno areale significativo al fine di caratterizzare il "volume significativo".
- Definizione della distribuzione areale e volumetrica dei litotipi, nonché del loro stato di fratturazione ed alterazione, con un primo giudizio qualitativo sulle loro caratteristiche geomeccaniche.
- Definizione delle condizioni idrogeologiche del sito, tenendo conto dello schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea, dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale e delle indicazioni sulla loro escursione stagionale (misurata o stimata sulla base dei valori medi conosciuti, oppure derivata da dati bibliografici o dalle carte dello strumento urbanistico vigente).
- Cenni sulle metodologie di scavo e stoccaggio previste da progetto.
- Valutazioni specifiche degli effetti indotti complessivamente dalle opere in progetto anche in relazione a tutti gli interventi necessari per la loro realizzazione (scavi, riporti, drenaggi, etc.).
- Definizione di "zona nota" o "zona non nota" in relazione alla valutazione della stabilità complessiva struttura/opera-terreno.

- Ricerca delle risultanze delle prove ed indagini geognostiche e geotecniche realizzate in sito ed in un suo intorno significativo, con relativa documentazione tecnica, avente l'obiettivo di ricostruire le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e geofisiche locali: indicazione degli standard di riferimento e delle specifiche tecniche adottate, delle attrezzature impiegate e delle metodologie di esecuzione delle indagini, interpretazione ed elaborazione dei risultati; cartografia di corredo, rapporti di prova.
- Risultanze di eventuali prove ed indagini geognostiche e geotecniche eseguite in siti limitrofi o ricavati da bibliografia, particolarmente per le "zone note".
- Considerazioni sulla stabilità del pendio e dei fronti di scavo con individuazione delle ipotetiche superfici di scivolamento.
- Definizione della Zona sismica d'appartenenza e della Categoria di suolo di fondazione del sito in relazione alla normativa adottata.
- Valutazioni sulle problematiche sismiche locali presenti in sito, anche in riferimento agli elementi di pericolosità sismica locali, e valutazione delle condizioni predisponenti per la suscettibilità a liquefazione dei terreni nei casi previsti dalla normativa vigente.

<u>Indagine geotecnica</u>

- Indicazione ed elaborazione dei dati derivanti dalle indagini geognostiche e/o dalla bibliografia, utilizzati per la caratterizzazione geotecnica e/o geomeccanica del terreno interessato dalle opere in progetto.
- Inserimento delle opere in progetto in profili stratigrafici rappresentativi del sito d'intervento, con correlazioni tra i diversi punti oggetto d'indagine.
- Parametrizzazione geotecnica del sottosuolo: definizione dei parametri geotecnici caratteristici di riferimento per la progettazione.
- Considerazioni sulla permeabilità dei terreni e la localizzazione della/e falda/e idrica/che, anche in rapporto ai metodi di scavo ed ai sistemi di drenaggio degli stessi e delle opere in progetto.
- Verifica dei fronti di scavo previsti da progetto.
- Analisi di stabilità e/o verifiche del pendio con i carichi di progetto (durante e post-intervento) con i relativi tabulati e calcoli. Le analisi sono state effettuate utilizzando i dati stratigrafici e geomeccanici derivanti dalle indagini geognostiche e geotecniche realizzate per lo specifico progetto, corredati da dati di bibliografia fedelmente riportati e motivati.
- Verifiche di stabilità del sito d'intervento nei confronti della liquefazione dei terreni costituenti il sottosuolo in condizioni sismiche.

Ai fini del presente studio è stata quindi eseguita un'attenta indagine geologico - tecnica sull'area ubicata lungo lo spartiacque di confine tra i territori comunali di Taggia e Sanremo, comprendente i settori di versante a cavallo di questo, ricadenti in località Collette Ozotto, ove ha sede la discarica controllata di R.S.U. "Collette Ozotto", al fine di:

- valutare il contesto fisico nel quale quest'area, nel suo complesso, si inserisce;
- acquisire una dettagliata conoscenza delle caratteristiche geologiche l.s. (geologico - ambientali, stratigrafico - strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche, idrologiche, geotecniche e sismiche) della zona e del suo intorno;
- verificare la presenza di fenomenologie morfogeniche dissestive in atto o potenziali (allo stato attuale ed alla luce degli interventi in progetto);
- verificare la presenza di una circolazione idrica sub-superficiale, anche di modesta entità ed a carattere non continuo;
- definire la tipologia, dal punto di vista sismico, dei litotipi presenti in sito nel loro contesto geomorfologico (ai sensi dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e D.M. 14.01.2008);
- valutare le principali caratteristiche geotecniche del substrato roccioso in posto;
- verificare la permeabilità dei terreni naturali presenti in sito;

- fornire indicazioni sulle corrette modalità di regimazione idraulica (raccolta, convogliamento e smaltimento) delle acque di precipitazione diretta e provenienti da monte;
- valutare la stabilità delle scarpate (allo stato attuale ed a sistemazione finale ultimata), dei rifiuti urbani stoccati e dei versanti naturali del lotto di discarica di Collette Ozotto interessato dagli interventi;
- verificare la stabilità del corpo di discarica e della copertura finale (capping),

il tutto nell'ottica di fornire i necessari caratteri geologico - ambientali, generali e di dettaglio, per il progetto di saturazione e chiusura definitiva del sito di discarica controllata di Collette Ozotto.

Al fine di verificare l'eventuale presenza di una falda idrica e/o di venute idriche sotterranee nel settore di monte della discarica interessato dall'ampliamento in progetto, sono stati previsti n. 2 nuovi sondaggi geognostici da eseguirsi a distruzione di nucleo, della lunghezza di m 60 ciascuno, all'interno dei quali saranno stati ubicati n. 2 tubi piezometrici.

Il presente studio geologico e geotecnico ha, pertanto, il compito principale di verificare che la soluzione proposta con il progetto di ampliamento della discarica R.S.U. di Collette Ozotto costituisca la scelta migliore tra quelle tecnicamente possibili, dal punto di vista geologico l.s., nel pieno rispetto delle norme e leggi vigenti in materia.

E' opportuno ricordare già nella premessa come l'attività di smaltimento di R.S.U. di Collette Ozotto sia stata oggetto in passato di numerosi ed approfonditi studi geologico - tecnici (molti dei quali effettuati dallo scrivente, ovvero quelli degli ultimi 10 anni) al momento della progettazione, realizzazione e gestione dei precedenti lotti.

Il progetto in esame costituisce l'ampliamento di un'attività già autorizzata per numerosi anni ed il presente studio geologico e geotecnico costituisce un approfondimento integrativo di quelli prodotti in passato.

Alla saturazione della discarica si avvieranno le operazioni di ripristino ambientale per l'intero sito di Collette Ozotto, al fine di ripristinare le condizioni morfologiche ed ambientali originali dei luoghi. Tali operazioni saranno condotte secondo tecniche e cautele che saranno dettate in sede di Valutazione d'Impatto Ambientale a seguito dei necessari qualificati studi geomorfologici e vegetazionali.

Il materiale lapideo (e secondariamente terroso) scavato, salvo quello riutilizzato per la ricopertura giornaliera ed il ripristino finale del sito, verrà smaltito in appositi siti autorizzati.

Per quanto riguarda Collette Ozotto le modalità di smaltimento consistono essenzialmente nell'interramento controllato dei R.S.U.; in particolare, essi vengono depositati secondo differenti strati, successivamente ben compattati (livello medio di compattazione: t/m^3 0,9 – 1,0) e regolarmente ricoperti da materiale drenante fino alla completa colmatura della depressione artificiale, derivante da operazioni di sbancamento. A completamento della discarica si provvederà al recupero ambientale del sito e del suo intorno, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia.

Premettendo l'importanza e la diffusione che le attività di discarica rivestono ancora oggi nelle operazioni di smaltimento dei rifiuti (con particolare riferimento alla Provincia di Imperia), nonostante il progressivo affermarsi di nuove tecnologie (incenerimento, compostaggio, etc.), occorre, comunque, tenere presente le notevoli implicazioni e problematiche geologico - ambientali derivanti da un'eventuale non adeguata conduzione delle attività di discarica controllata o da una non opportuna scelta del sito. Secondo quanto affermato risulta, quindi, estremamente importante, in fase di progettazione, individuare aree non solo vantaggiose dal punto di vista prettamente economico e/o logistico, ma, soprattutto, che garantiscano elevati margini di sicurezza dal punto di vista geologico l.s ed ambientale, con particolare riferimento ad eventuali problematiche legate all'inquinamento delle acque, siano esse superficiali o sotterranee, od a fenomeni d'instabilità in atto o potenziali.

Poiché il lotto di discarica in progetto, derivante dalla prosecuzione dell'attività di smaltimento controllato, ricalcherà con tutta probabilità le modalità di stoccaggio già utilizzate per i

lotti adiacenti (quasi totalmente colmati), e poiché la situazione geologica l.s. appare nel complesso omogenea, priva di significative variazioni verticali e/o orizzontali, si è ritenuto estremamente efficace verificare ed analizzare le condizioni nelle quali riversano tali lotti, con riferimento sia ai settori ancora, temporaneamente, in attività, che alle porzioni per le quali si è già provveduto al ripristino ambientale finale.

Evidenziato quanto sopra, i risultati emersi dall'indagine geologica, idrogeomorfologica, sismica e geotecnica svolta nel sito di Collette Ozotto, interessato dagli interventi in progetto, sono risultati essere i seguenti:

1 Nell'area oggetto d'indagine (Collette Ozotto) prevale la tipica facies conglomeratica, costituita da ciottoli e blocchi eterometrici (variabili da centimetrici a pluridecimetrici) e poligenici immersi in matrice sabbioso – argillosa e marnosa; tali ciottoli e blocchi si presentano arrotondati a testimonianza di un'intensa azione di trasporto subita, la loro natura è prevalentemente calcareo – marnosa ed arenacea, così come le formazioni flyschoidi stratigraficamente sottostanti, dalla cui degradazione e fratturazione delle porzioni superficiali derivano. Nel complesso l'ammasso roccioso ha una notevole potenza e buone caratteristiche geomeccaniche: è ben integro e compatto (spesso la stratificazione non è riconoscibile), con grado di cementazione generalmente alto, localmente medio - alto, e non presenta evidenti sistemi di discontinuità strutturali; la stessa stratificazione, quando riscontrabile, assume valori di spaziatura abbastanza elevati (alcuni metri).

2 Il conglomerato, vista la posizione culminare, si presenta, talvolta, e comunque solo superficialmente, degradato ed origina una coltre di alterazione costituita principalmente da argille residuali (terre rosse) non continua e, comunque, di potenza assai limitata (m 1 – 1,5 circa), derivante dalle azioni di natura chimica delle acque superficiali (dissoluzione del carbonato di calcio), con sottostante la facies conglomeratica alterata e degradata (spesso affiorante, specie nei tagli artificiali), che sovrasta termini a consistenza generalmente lapidea integri e compatti, presenti a limitata profondità da p.c.

3 Il Conglomerato Pliocenico, idrogeologicamente, ha delle singolarità: da un lato la tessitura grossolana tenderebbe in favore di una permeabilità alta, dall'altro l'abbondanza di carbonato di calcio nella matrice lo rende ben cementato e le stesse lenti argillose svolgono funzione impermeabilizzante. Le prove di permeabilità effettuate in sito nel substrato conglomeratico hanno evidenziato valori del coefficiente di permeabilità k prossimi a m/s 10^{-8}.

4 Poiché non sono presenti nell'ammasso roccioso discontinuità fragili sistematiche e persistenti (la stessa stratificazione, come detto, non è spesso evidente e riscontrabile), possibili vie preferenziali per la circolazione idrica sotterranea, e data la disposizione culminare dell'area (lungo una linea di spartiacque naturale) si può affermare che il sottosuolo non è interessato dalla presenza di circuiti idrici significativi.

5 Al fine di valutare la presenza di una falda idrica o di venute idriche sub - superficiali nell'area d'indagine, sono stati installati nel corso degli anni (con particolare riferimento ai piezometri realizzati negli anni 2008 e 2009), diversi tubi piezometrici in PVC, all'interno dei quali è stato possibile eseguire un monitoraggio periodico. In seguito alle suddette campagne di monitoraggio all'interno dei piezometri installati, è stata evidenziata **l'assenza di circuiti idrici sub-superficiali e, più in generale, di una falda idrica**.

6 Alla luce delle indagini di superficie e di profondità svolte negli anni in sito (posizione prossima allo spartiacque), nonchè dall'esame della bibliografia e della cartografia attinente l'area in oggetto, si può quindi affermare che il corpo della discarica non abbia interferito e non interferisce in alcun modo con eventuali falde sotterranee, le quali sono presenti quasi esclusivamente nelle zone di fondovalle e strettamente connesse con il regime dei relativi corsi d'acqua (torrente Argentina e torrente Armea). Ciò implica l'impossibilità che si verifichino fenomeni di inquinamento delle acque da parte del percolato formatosi in seguito a processi di decomposizione dei rifiuti ed al passaggio dell'acqua piovana attraverso i rifiuti

stessi con conseguente solubilizzazione e trascinamento in sospensione colloidale di sostanze inorganiche ed organiche, eventualmente sfuggito accidentalmente al sistema di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti della discarica. La medesima situazione risulta valida anche per l'area di ampliamento dell'impianto, per cui l'intervento in progetto risulta essere compatibile con l'ambiente idrogeologico locale.

7 Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i principali parametri geotecnici da attribuire ai vari terreni, desunti da prove ed analisi geotecniche e/o geomeccaniche eseguite in sito ed in laboratorio, svolte, nel recente passato, dallo scrivente sui terreni presenti nell'area d'intervento e nel suo intorno, confermati da valori tabellari di letteratura.

	DR	**φ**	**C**	**γ_{sat}**	**γ_d**	**Ll**	**Ip**	**Lp**
	Densità relativa	**Angolo d'attrito**	**Coesione**	**Peso vol. saturo**	**Peso vol. secco**	**Limite liquido**	**Indice plasticità**	**Limite plastico**
		°	**kg/cm^2**	**t/m^3**	**t/m^3**	**%**	**%**	**%**
Conglomerato poligenico	-	34 - 40	5,0	2,5	2,3	-	-	-
Coltre superficiale	-	26 - 30	0,0	2,1	1,8	36	13	23
Argille grigio – azzurre:	-	18 - 20	0,7	2,1	1,9	-	-	-

8 Sulla base delle indagini svolte nonché dall'analisi dei numerosi studi tematici esistenti è possibile attribuire ai RSU i seguenti parametri fisici – geotecnici cautelativi.

	φ	**C**	**γ_{sat}**	**γ_d**
	Angolo d'attrito	**Coesione**	**Peso vol. saturo**	**Peso vol. secco**
	°	**kg/cm^2**	**t/m^3**	**t/m^3**
R.S.U.	30	0,2	1,0	0,8

9 A partire dalle zone perimetrali (spartiacque) fino al settore di monte dell'area occupata dall'ex discarica Colli, si diramano lungo i versanti alcune vie preferenziali di ruscellamento superficiale, che, verso valle, si sviluppano in piccole aste di drenaggio delle acque con ordine gerarchico pari a 1 (secondo la classificazione di A. N. Strahler); esse incidono localmente in maniera marcata il substrato conglomeratico, riflesso degli innalzamenti regionali verificatisi nel Pliocene, soprattutto, e nel Quaternario. Il ringiovanimento del rilievo è intuibile anche nelle rotture di pendio ubicate ai lati delle linee d'impluvio.

10 Le informazioni storiche acquisite nonché l'analisi della Cartografia delle Aree Storicamente Inondate (Foglio n. 58) alla scala 1:25.000, elaborata dalla Regione Liguria – Dipartimento Infrastrutture Trasporti ed Opere Pubbliche – Servizio Protezione Civile – Direzione Centrale Affari Legali ed Organizzativi – S.I.T.A.R. (Servizi Informativi Territoriali ed Ambientali Regionali), con D.G.R. del 01.06.2001, non hanno evidenziato il verificarsi di fenomeni di esondazione per piene ordinarie e straordinarie di corsi d'acqua principali, minori od artificiali, che abbiano coinvolto la zona indagata in tempi recenti.

11 I rilievi eseguiti non hanno evidenziato significativi fenomeni di erosione accelerata o di mobilizzazione riguardanti i tratti di versanti indagati. Si rappresenta, inoltre, in tale sede, come si siano riscontrate, nelle immediate vicinanze della zona oggetto d'intervento, alcune pareti rocciose (fronti di scavo) verticali o, comunque, pseudoverticali; esse risultano stabili.

12 Dalle risultanze dell'indagine sismica del tipo down hole, eseguite nell'ex discarica di inerti Colli, ai fini della corretta caratterizzazione sismica del materiale presente in sito (ai sensi dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e D.M. 14.01.2008), in corrispondenza della colmata dell'ex discarica Colli, è stata rilevata una velocità delle V_{s30} da p.c. di circa 405 m/s in corrispondenza del materiale di riporto. Il passaggio alla porzione alterata e degradata dei sottostanti conglomerati (bedrock) dello stesso tipo di quello presente nella discarica Collette Ozotto è stata evidenziata da un aumento della V_{s30} caratterizzata da valori di circa 500 m/s.

13 Per quanto riguarda le velocità delle onde di taglio attribuibili al conglomerato integro e compatto largamente affiorante nell'area in esame, a seguito di una dettagliata campagna di indagini sismiche eseguite dallo scrivente nell'anno 2004 nel vicino territorio di Bussana Vecchia, sono stati registrati valori prossimi ai m/s 1.000. I livelli alterati superficiali risultano invece, come detto, caratterizzati da velocità inferiori, prossimi a m/s 500 e presentano generalmente spessori limitati, inferiori ai m 5;

14 I Comuni di Sanremo e Taggia, interessati dall'intervento in esame, ricadono nella classificazione sismica dei Comuni italiani in Zona 3S. Tale zona corrisponde a:
- Accelerazione orizz. con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g] = 0,15 – 0,18
- Accelerazione orizz. di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [Ag/g] = 0,18

15 Per quanto riguarda l'area di Collette Ozotto il conglomerato pliocenico, largamente affiorante nell'area in oggetto, risulta, secondo lo schema presente nell'Ordinanza 3274/2003, un suolo appartenente alla classe A.
Una volta assegnata la classe di riferimento del suolo oggetto di studio, si possono definire, secondo gli schemi seguenti, sia i parametri per le espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali (*Tabella 1*), che verticali (*Tabella 2*).

Tabella 1

Categoria del suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Tabella 2

Categoria del suolo	S	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

16 Il sito d'intervento, in accordo con le indicazioni fornite dalla vigente normativa di settore, presenta sinteticamente le seguenti caratteristiche:
- Profilo sismico del sottosuolo: **A**;
- Amplificazione stratigrafica: assente (coefficienti S_s e C_c pari a 1);
- Categoria topografica: **T3**;
- Amplificazione topografica: S_T = **1,2**.

17 Alla luce delle caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale presente in sito, dell'assenza di una falda permanente e duratura a ridotta soggiacenza, nonché della tipologia di materiale emersa dai sondaggi geognostici eseguiti nel recente passato nell'area d'indagine, il valore ottenuto relativo alla liquefacibilità dei terreni presenti in sito risulta di gran lunga superiore a 1.3, inducendo quindi a classificare il terreno in esame (conglomerato) come non soggetto a liquefazione.

18 Le verifiche di stabilità dei fronti di scavo, del corpo di discarica e della sua copertura finale sono state effettuate secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2: (A2+M2+R2) del D.M. 14.01.2008, applicando i coefficienti di sicurezza parziali geotecnici previsti da tale approccio ed utilizzando lo stato limite di prevenzione del collasso (SLC), in quanto maggiormente

cautelativo. Il fattore di sicurezza finale è stato espresso con il rapporto tra i momenti o le forze resistenti di progetto e quelle attive di progetto (Fs = Rd / Ed, dove: Rd = insieme delle forze resistenti e Ed = insieme delle forze attive). Nel caso tale coefficiente Fs risulti > 1 il pendio o fronte di roccia analizzato risulta stabile. E' stato inoltre applicato, cautelativamente, il concetto dell'Overall Design Factor (ODF), applicando un ulteriore fattore di sicurezza, pari a 1,1, al valore di Fs ottenuto.

19 Tutte le verifiche di stabilità eseguite nel presente elaborato, effettuate utilizzando il metodo di MORGENSTERN-PRICE (superfici circolari), relative ai casi di seguito indicati, hanno evidenziato un Fs ed un ODF > 1, indicativo di una **situazione di stabilità** relativa a tutte le situazioni analizzate:

a) Verifica di stabilità dei fronti di scavo a breve termine:
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte N).
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte S).
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte E).
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte W).
- Verifica di stabilità del fronte di scavo (fronte S) e del corpo di discarica in fase di avanzamento.

b) Verifica di stabilità del corpo di discarica a lungo termine:
- Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte E).
- Verifica di stabilità del corpo di discarica allo stato finale (fronte W).

c) Verifica di stabilità della copertura finale della discarica a lungo termine:
- Verifica della stabilità dello strato superficiale del capping del corpo di discarica (terreno vegetale), situato al di sopra della membrana impermeabile in HDPE e del geocomposito drenante.
- Verifica di stabilità della copertura finale (capping) della discarica allo stato finale.

20 In considerazione della posizione sullo spartiacque della discarica di RSU, non saranno ovviamente da prevedersi apporti idrici per ruscellamento superficiale da monte verso il sito di discarica; i contributi acquei che interesseranno il futuro accumulo di rifiuti saranno esclusivamente quelli derivanti da precipitazioni dirette.

21 La copertura vegetale, unitamente alla tipologia dei terreni presenti, garantisce un buon rilascio di quantità d'acqua di origine meteorica in atmosfera attraverso i fenomeni dell'evaporazione e dell'evapotraspirazione. Anche i vicini lotti di discarica controllata completata, dotati di un significativo strato di terreno agrario adeguatamente piantumato, consentono una buona evapotraspirazione, grazie anche all'elevato grado di compattazione del rifiuto (livello medio di compattazione: t/m^3 0,9 – 1,0), fattore che limita sensibilmente il fenomeno dell'infiltrazione.

22 In tale prospettiva, visto il buon successo dei recenti recuperi ambientali effettuati in zona successivamente all'esaurimento dei precedenti lotti di discarica controllata (sono, infatti, attualmente di difficile riconoscimento le aree "recuperate" da quelle "naturali"), si può ragionevolmente prevedere che il ripristino ambientale del lotto in progetto, se eseguito con le medesime efficaci metodologie a discarica colmata, avrà un ottimo risultato. L'impatto ambientale, peraltro modesto, sarà quindi limitato esclusivamente al periodo di esercizio. Infatti, sulle vicine aree colmate già oggetto di recupero ambientale, si può notare uno sviluppo pressochè continuo della copertura erbacea ed una buona colonizzazione da parte di varietà arbustive della macchia mediterranea (ginestra, etc.).

Alla luce delle indagini geologico - ambientali eseguite sul lotto di terreno in oggetto e sull'area ad esso circostante, le cui risultanze sono state sinteticamente riportate nel presente capitolo conclusivo, si può affermare che il sito debba ritenersi idoneo ad accogliere le opere in progetto.

Si attesta, pertanto, la fattibilità, dal punto di vista geologico l.s. del progetto di ampliamento della discarica R.S.U. di Collette Ozotto.

Alla luce di quanto rappresentato, si evidenzia la necessità di condurre il conferimento dei RSU nel sito di stoccaggio secondo criteri razionali e funzionali, in analogia con i metodi utilizzati finora negli altri lotti dell'impianto. Tale prescrizione permetterà di prolungare la vita della discarica, di renderla più efficiente, di evitare problemi di stabilità dei rifiuti che potrebbero ripercuotersi sull'integrità dei materiali di rivestimento ed impermeabilizzazione, nonché sull'impianto di captazione del percolato, il tutto al fine di ottenere un'area di recupero con requisiti geotecnici migliori e, quindi, maggiormente qualificabile.

Il materiale ingombrante dovrà essere sminuzzato e frantumato prima di venire recapitato in discarica; questa operazione di "omogeneizzazione" consentirà di evitare vuoti eccessivi e ridurre gli assestamenti irregolari interni. Successivamente, per aumentare il grado di addensamento, si dovranno ottenere strati di R.S.U. con altezza massima di circa m 2,5 che verranno sottoposti al carico di compattatori (normalmente il loro peso varia tra t 10 – 40). A conclusione di ogni giornata, questi saranno ricoperti da cm 15 circa di materiale inerte, posato con una leggera pendenza per facilitare lo scorrimento delle acque di precipitazione diretta; tale materiale svolgerà la funzione di proteggere i rifiuti stoccati dagli agenti atmosferici e dagli incendi, nonchè per assicurare la corretta qualità igienico – sanitaria dell'impianto.

Nonostante la posizione sullo spartiacque dell'invaso in progetto, sarà necessario realizzare in fase di gestione, affinchè l'azione delle acque superficiali non alteri, anche in misura minima, l'attuale buon equilibrio morfologico generale e soprattutto locale dell'area, una capillare intercettazione e raccolta delle acque superficiali di precipitazione diretta (vista la posizione culminare non sono ragionevolmente prevedibili apporti idrici da aree circostanti), da eseguirsi attraverso una serie di canalette perimetrali di gronda, adeguatamente dimensionate (diametro di almeno cm 50) e posate, con successivo convogliamento delle acque nella naturale rete di deflusso (impluvi presenti a valle, su ciascun versante). Tale rete naturale di smaltimento idrico si presenta in buone condizioni e non ha evidenziato particolari problematiche neppure in concomitanza degli eventi alluvionali che hanno colpito gravemente i territori comunali di Sanremo e Taggia negli ultimi anni (30.09.1998 e Novembre 2000).

Dopo la fase di copertura finale e di riqualificazione ambientale di tutta l'area di discarica dovranno essere eseguiti controlli circa l'assestamento delle coperture, il corretto funzionamento delle canalette di raccolta delle acque, l'adeguato procedimento delle operazioni di inerbimento e piantumazione, nonché l'analisi della qualità delle acque raccolte nei pozzi di monitoraggio.

Con principale riferimento al Piano di Monitoraggio e Controllo, ai sensi del Decreto legislativo n. 59 del 18 Febbraio 2005, le azioni principali previste sono in particolare volte al monitoraggio delle seguenti componenti:

- Acque sotterranee: rilevamento di eventuali situazioni di contaminazione delle acque di falda, riconducibili all'impatto che la discarica determina sul sito. Il Piano prevede l'esecuzione di campionamenti a cadenza trimestrale di acque sotterranee provenienti dai piezometri installati a monte e a valle del lotto in attività, esistenti e di nuova realizzazione (cfr. elaborati progettuali). Le analisi chimiche prevedono, tre volte l'anno, la determinazione dei parametri fondamentali indicati con asterisco nella tabella 1 dell'allegato 2 del D.Lgs. 36/2003; con frequenza annuale vengono eseguite tutte le determinazioni indicate dalla stessa tabella. A tale merito, si rappresenta, come già indicato nel precedente capitolo 1, che in corrispondenza del lotto occupato dalla discarica non è stata rilevata in ogni caso la presenza di acque sub-superficiali.
- Acque superficiali di drenaggio: il piano di controllo prevede il prelievo eseguito con cadenza trimestrale di un campione di acque drenate a valle della discarica, in un punto ritenuto significativo in quanto raccoglie le acque di infiltrazione provenienti dal versante sul quale insiste la discarica. Così come prescritto in sede di approvazione del progetto di

discarica di Collette Ozotto si effettua un prelievo di acque nel rio Colli, in prossimità dello svincolo autostradale di Taggia. L'operazione prevede l'esecuzione di un campionamento istantaneo all'uscita del collettore di raccolta delle acque di drenaggio. La mancanza di prelievi sul versante sanremese e immediatamente a valle della discarica è dovuta alla mancanza di rii naturali con presenza continua di acqua: essendo infatti la discarica posizionata sulla sommità del crinale (spartiacque), solo durante intense precipitazioni atmosferiche è possibile osservare, seppur con quantità molto modeste, un ruscellamento superficiale nei compluvi naturali. Le operazioni di campionamento vengono però effettuate una volta al mese e in presenza di tempo non perturbato, per cui è possibile effettuare solo il prelievo presso il rio Colli in prossimità dello svincolo autostradale di Taggia.

- Percolato: il piano di controllo prevede in fase di post - gestione il prelievo, a cadenza semestrale, di un campione di percolato direttamente dalle vasche di raccolta, finalizzato alla valutazione della composizione del percolato ed alla determinazione del volume del percolato. Come indicato in tale sezione, è prevista la realizzazione di uno studio apposito volto a correlare la quantità del percolato prodotto e smaltito con i principali parametri meteoclimatici, al fine di ottenere un bilancio idrico del percolato stesso.
- Qualità dell'aria ed emissioni gassose: il piano di controllo prevede il prelievo di campioni in contemporanea, eseguito a cadenza mensile durante la fase d'esercizio della discarica, per poi passare a semestrale in fase di post - chiusura, in due postazioni scelte sulla base della topografia dell'area da monitorare e della zona di abbancamento dei rifiuti. I parametri monitorati risultano essere CH_4, CO_2, O_2, H_2, H_2S, polveri totali, NH_3, mercaptani e composti volatili.
- Gas di discarica: la valutazione della composizione del gas prodotto dall'ammasso di rifiuti organici (biogas) viene effettuata con cadenza mensile in fase d'esercizio, per poi passare a semestrale successivamente alla chiusura, per mezzo di un analizzatore portatile collegato con la valvola dedicata posta sulla tubazione in polietilene che indirizza il flusso di gas ai motori per la produzione di energia elettrica.

Oltre a quanto sopra riportato, in corrispondenza del sito di discarica è prevista la realizzazione di una cabina meteoclimatica, mediante la quale ottenere un'acquisizione in continuo dei principali parametri climatici locali. Vengono inoltre eseguiti con cadenza mensile, per conto di personale tecnico qualificato interno alla Società proprietaria dell'impianto, rilievi topografici dell'area di stoccaggio dei rifiuti, in ottemperanza di quanto previsto dal D.lgs. 36/2003, utili per monitorare lo stato d'evoluzione dell'attività.

In merito a quest'ultimo punto, si rappresenta che tali rilievi, per i successivi tre anni dalla chiusura dell'impianto, verranno eseguiti con cadenza semestrale, al fine di valutare l'entità e le modalità d'assestamento del corpo di discarica.

I suddetti rilievi, unitamente ai monitoraggi delle componenti sopra riportate, saranno integrati da **appositi sopralluoghi (a cadenza trimestrale e, comunque, dopo ogni evento meteorico particolarmente intenso e prolungato) da parte di Geologo abilitato, finalizzati all'analisi specialistica di terreno dello stato dei luoghi, per quanto attiene agli aspetti geomorfologici, idrologici, idrogeologici, sismici e geotecnici. Le risultanze di tali ispezioni dovranno essere riportate su schede tematiche, appositamente elaborate, da allegare alla documentazione prevista dal Piano di Monitoraggio e Controllo, il tutto per un completo esame delle condizioni dello stato evolutivo nel tempo del corpo di discarica.**

Tali elaborati geologici l.s. conterranno, in particolare, ma non solo, valutazioni circa i seguenti aspetti:

- **quantificazione e localizzazione di eventuali assestamenti osservati sul terreno;**

- **eventuale presenza di evidenze di dissesti in atto e/o potenziali della copertura definitiva (capping), alla luce di assestamenti del corpo di discarica;**
- **valutazione dello stato d'efficienza del sistema di intercettazione, captazione e smaltimento delle acque di pioggia ricadenti sul corpo di discarica, con indicazione delle azioni da eseguire qualora si verificassero anomalie nel funzionamento di questo;**
- **monitoraggio all'interno dei tubi piezometrici attualmente presenti nell'intorno del corpo di discarica di eventuali (peraltro non previste) temporanee presenze idriche.**

La corretta esecuzione, da parte di personale tecnico specializzato, di quanto sopra, ovvero di quanto previsto dal Piano di Monitoraggio e Controllo, garantirà un'elevata sicurezza dei luoghi e del loro intorno, dal punto di vista ambientale e geologico l.s.

La presente relazione costituisce adempimento alle Norme Tecniche di cui al D.M. 14.01.2008.

In fase esecutiva ed in fase finale di recupero ambientale del sito dovrà obbligatoriamente essere prevista la figura del Geologo Coadiutore del Direttore Lavori.

Sanremo, 20 Dicembre 2010

Dott. Geol. Andrea VALENTE ARNALDI

