

COMUNE DI PIANORO
Provincia di Bologna

*Discarica per rifiuti inerti "Ca' Cirenaica" con finalità di
recupero geomorfologico*

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
5					
4					
3					
2					
1	12/11/21	Prima emissione	CDL	FO	GL
0					

COMMITTENTE:



PROGETTISTI:



Lungotevere delle Navi, 19 - 00196 - ROMA
Tel. 0636010314 - e-mail main@studiosperi.it

GRUPPO DI LAVORO:

Fabio Oliva

Stefano Orlandi

Vincenzo Battistini

Stefano Leo

Giovanni Cuomo

Chiara Tersigni

Fabrizio Cassone


Gianluca Boninsegni

Silvia Poli

Integrazioni prestazioni specialistiche: Giorgio Lupoi

PROGETTO DEFINITIVO DELL'IMPIANTO

Categoria documento	Codice Elaborato	Scala
Rapporto di Testo	1.2.2	-
Titolo	Data di emissione	
Relazione Geotecnica	12 Novembre 2021	

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

SOMMARIO

SOMMARIO	1
INTRODUZIONE	2
INDAGINI IN SITO	4
PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA FORMAZIONE DI BASE	6
METODOLOGIA ADOTTATA: INTEGRAZIONE TRA MODELLO GENERALE E DATI SPECIFICI DI SITO	6
UNITA' GEOTECNICHE	7
PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA ADOTTATA PER IL PREVAM CA CIRENAICA	13
PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA ADOTTATA PER IL MATERIALE COSTITUTIVO L'ABBANCAMENTO	14
CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO	19
PERICOLOSITA' SISMICA	20
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL CORPO DELL'ABBANCAMENTO	21
VERIFICHE DI STABILITA' DEL CORPO DELLA DISCARICA E DEL SUBSTRATO	23
VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE	23
STIMA DEI CEDIMENTI	30
VALUTAZIONE DI FATTIBILITA' GEOTECNICA CONCLUSIVA	36
ALLEGATI	37
ALLEGATO 1 – PREVAM CA CIRENAICA AS BUILT E COLLAUDO: "RELAZIONI CONCLUSIVE DEL MONITORAGGIO E PIANO DI MANUTENZIONE"	38
ALLEGATO 2 – TERRENI ABBANCAMENTO DI PROGETTO "010599": NODO FI RELAZIONE TECNICA GALLERIE NATURALI – PROTOCOLLO DI CARATTERIZZAZIONE	39

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

INTRODUZIONE

La presente Relazione sulla stabilità generale dell'abbancamento viene redatta nell'ambito del progetto definitivo di un nuovo impianto di Discarica per Rifiuti Inerti da realizzare in località Ca' Cirenaica nel Comune di Pianoro (Bologna). Promotore dell'iniziativa è l'Impresa GE.R.IN., futuro soggetto gestore della Impianto.

Per quanto ai risultati della campagna di indagini geognostiche integrative e alla definizione del conseguente VGR (Volume Geologico di Riferimento) di sito si rimanda al documento "Relazione Geologica. Nel presente documento, a partire da tale MGR vengono valutati e approfonditi i parametri geotecnici attribuibili sia alle Unità Geotecniche individuate nel bedrock sia ai parametri del deposito PREVAM; per quest'ultimo si è fatto inoltre nuovo riferimento anche alla documentazione di indagine e collaudo del deposito stesso.

Per quanto allo studio integrativo del materiale di origine per la formazione dell'abbancamento si richiamano le scelte di mercato effettuate dal soggetto gestore, orientate o verso i materiali di scavo di cantieri di opere in sotterraneo e opere di fondazioni speciali eseguite con le moderne metodologie di scavo e con l'ausilio di additivi biodegradabili (quali frese TBM EPB, diaframmi cellulari, paratie di pali di grande diametro) in terreni in ambito antropizzato che determinano la formazione di rifiuti qualificabili come fanghi con codifica CER 010599 i quali, al termine della naturale biodegradazione, sono allo stato di un rifiuto inerte, o verso materiali di lavori a cielo aperto o in sotterraneo senza l'ausilio della TBM.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

BIBLIOGRAFIA

GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI – EMILIA ROMAGNA Soc.Geol.Italiana

RACCOMANDAZIONI SULLA PROGRAMMAZIONE ED ESECUZIONE DELLE INDAGINI GEOTECNICHE. (1977) - A.G.I. ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

PROVE GEOTECNICHE IN SITO (1990) - Ferruccio Cestari

STUDIO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO TECNICO DEI VERSANTI IN ARGILLE AZZURRE TRA I FIUMI IDICE E RENO (2015). TESI DI LAUREA UNIBO dott. Luca Putignano RELATORE Prof. Alessandro Simoni CORRELATORE Dott. Fabio Oliva

NORMATIVA

AGI - Giugno 1977

Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche

Delibera del C.I. 27.07.84

DECRETO MINISTERIALE 11 marzo 1988

“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e stabilità delle opere di fondazione. relazione geologica e geotecnica. competenze professionali”

CIRCOLARE LL PP 30483 del 24.09.88

DGR EMILIA ROMAGNA 1117/2000

“Procedure amministrative e norme tecniche relative alla gestione del vincolo idrogeologico, in attuazione degli artt. n148, 149, 150 e 151 della L.R. 21 aprile 1999, n. 3 “Riforma del sistema regionale e locale

ORDINANZA N. 3274 DEL 20 marzo 2003

“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

AGI – 2005

Aspetti Geotecnici della progettazione in zona sismica

DECRETO MINISTERIALE N. 17 Gennaio 2018 e s.m.i.

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, n. 617 e s.m.i.

Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

INDAGINI IN SITO

Come richiamato in premessa e più dettagliatamente descritto nell'Addendum alla Relazione Geologica" per caratterizzare dal punto di vista stratigrafico e geotecnico l'area sono stati utilizzati sia i dati ricavati da precedenti campagne di indagini geognostiche legate alla progettazione della galleria "Pianoro" della linea ferroviaria Alta Velocità nella tratta Bologna – Firenze, della viabilità accessoria al suddetto progetto e del Deposito PREVAM CA' CIRENAICA – utili a formare il quadro di variabilità dei parametri della formazione di riferimento nell'area – sia in particolare, il complesso delle indagini integrative eseguite sull'impronta del sito.

Si rinvia quindi ai documenti "Relazione Geologica" per i dati delle indagini complessivamente disponibili integrativa riepilogando di seguito, per migliore accesso alle ultime informazioni, le sole indagini integrative eseguite:

In aprile 2017:

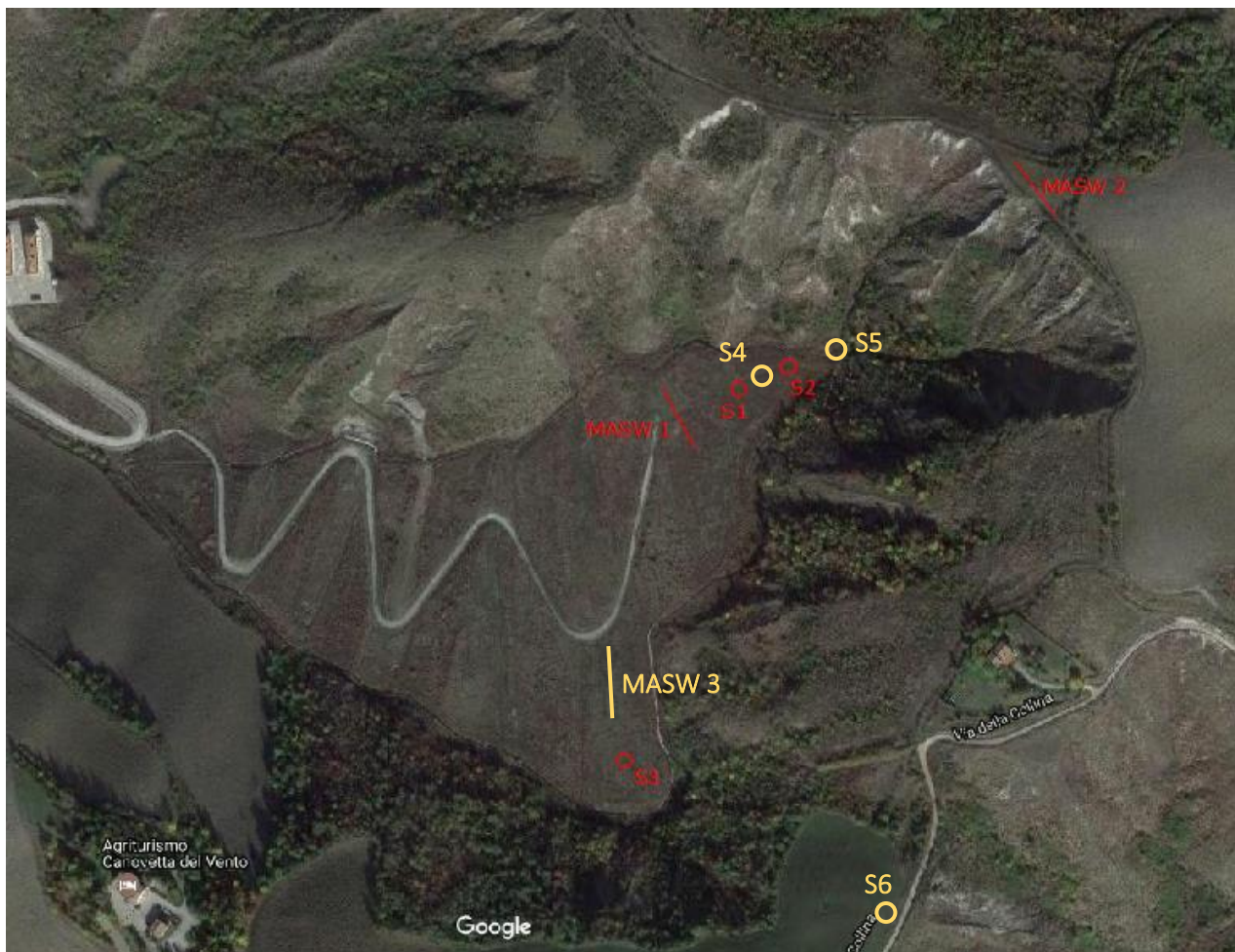
- indagine sismica mediante n° 2 **stendimenti MASW** e 2 **prove HVSR** (rispettivamente numerate "1" sul PREVAM e numerate "2" sulla formazione in posto);
- **3 sondaggi a carotaggio continuo** (S1, S2, S3) con prove in foro (meccaniche SPT e permeabilità Le Franc) con prelievo di campioni indisturbati (sia del PREVAM che della formazione in posto) successivamente analizzati in laboratorio geotecnico autorizzato;
- 2 **prove di permeabilità in foro** di sondaggio per determinare le proprietà idrogeologiche dei terreni presenti nel sedime dell'opera.
- 1 **prova penetrometrica statica** meccanica (CPT) eseguita all'interno dell'area logistica 1 per la caratterizzazione delle caratteristiche litostratigrafiche e litotecniche puntuali dei terreni più superficiali, in correlazione con le altre indagini disponibili, per la realizzazione dello scavo della vasca di laminazione e delle installazioni temporanee del cantiere logistico di base.
- Prove di **laboratorio geotecnico** per la determinazione delle caratteristiche costitutive e tecniche (di resistenza e deformabilità) dei terreni di progetto sulla base dei campioni specificatamente prelevati nel corso dell'indagine.

In settembre 2017:

- indagine sismica mediante n° 1 **stendimento MASW** e 1 **prova HVSR** (numerata "3");
- **3 sondaggi a carotaggio continuo** (S4, S5, S6) con prelievo di campioni indisturbati (sia del PREVAM che della formazione in posto) successivamente analizzati in laboratorio geotecnico autorizzato;
- Prove di **laboratorio geotecnico** per la determinazione delle caratteristiche costitutive e tecniche (di resistenza e deformabilità) dei terreni di progetto sulla base dei campioni specificatamente prelevati nel corso dell'indagine.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Nella figura di seguito riportata sono rappresentate le ubicazioni delle indagini integrative con focalizzazione sulla sola zona dell'abbancamento di progetto. In rosso sono individuate le indagini effettuate in aprile 2017 e in giallo quelle di settembre 2017.



Ubicazione indagini geognostiche integrative eseguite nell'area di impronta dell'abbancamento di progetto

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA FORMAZIONE DI BASE

METODOLOGIA ADOTTATA: INTEGRAZIONE TRA MODELLO GENERALE E DATI SPECIFICI DI SITO

Per le esigenze di caratterizzazione quantitativa della natura, caratteristiche e parametri propri dei terreni che potranno essere interessati dalla realizzazione del progetto è stata adottata una metodologia di lavoro che potesse tenere nella giusta considerazione l'elevata conoscenza disponibile della formazione delle Argille e Marne di Riolo Terme con le informazioni e i dati, necessariamente puntuali, che sono stati acquisiti con la campagna di indagini integrativa.

Alla base del metodo di lavoro risiede la peculiarità del sito in esame che di fatto, sul piano delle formazioni in posto, è caratterizzato dalla sola citata Formazione delle "Argille azzurre" plioceniche; tale formazione, come detto, caratterizza non solo il sito di indagine ma di fatto l'intera destra idrografica della valle del Savena nella zona di interesse. L'omogeneità di tale formazione anche su questa estensione molto ampia nell'area è stata tra l'altro testimoniata dalla realizzazione della Galleria Pianoro dell'Alta Velocità ferroviaria – di oltre 11 km – che, a meno della tristemente nota "spina delle argille mioceniche" del Villaggio Abate, ha interessato la nostra formazione di interesse con caratteristiche molto costanti sino allo sbocco nella valle del Rio Laurinziano.

La formazione delle "Argille azzurre" ha una composizione limo-argillosa con un buon grado di sovraconsolidazione che localmente la porta ad essere quasi marnosa; in affioramento risulta però subire i noti effetti della decompressione – con fascia di perdita della sovraconsolidazione sovrastante la formazione integra – e, nella fascia più esterna dei primi metri in affioramento, la tendenza all'erodibilità e alla formazione di coperture sciolte e instabili.

Tale assetto a "tre unità litotecniche" (formazione integra o "bedrock" – formazione alterata – coperture) che assume ovunque la nostra formazione è ben noto e studiato sull'intero settore anche perché è causa, in particolare nei versanti dove si trova esposto nelle condizioni più sfavorevoli, di fenomeni di instabilità locali, principalmente soliflussi e creep di diversa entità, e anche della genesi delle forme calanchive.

Per tale motivo la disponibilità di dati e indagini sulla formazione è importante ed è stata ulteriormente amplificata dalla realizzazione di importanti progetti e opere nel corso del periodo 1995 – 2010 dalla realizzazione delle opere "non strettamente di linea" connesse all'Alta Velocità ferroviaria; tra queste certamente ricade anche il deposito PREVAM Ca Cirenaica di cui il presente progetto costituisce di fatto un completamento.

Le motivazioni sopra esposte hanno condotto lo scrivente a considerare quale primo valore acquisibile per la migliore conoscenza di sito l'analisi di tale patrimonio informativo per l'individuazione, su un numero significativo di casi di studio sul territorio, dei dati caratteristici associabili alla formazione delle Marne di Riolo Terme nelle sue tre distinte Unità Litotecniche sopra citate. Per tale obiettivo è stato coinvolto nel Gruppo di Lavoro dedicato allo studio del presente progetto il dott. Luca Putignano, redattore nel 2015 di una Tesi di Laurea avente ad oggetto giusto lo *"Studio Geomorfológico e Geológico Tecnico dei Versanti in Argille Azzurre tra i fiumi Idice e Reno"*, Relatore il Prof. Geol. Alessandro Simoni.

Il risultato dell'analisi svolta dal Gruppo di Lavoro costituisce il primo elemento di conoscenza della Formazione che è stato considerato nel progetto di Ca' Cirenaica e che è stato già reso disponibile nella revisione A della presente Relazione Geologica Generale. In tale ambito particolare attenzione e interesse

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

era stato dedicato nell'analisi anche ai dati raccolti sempre sulla stessa formazione nella stessa area del bacino del Rio delle Pecore e di costruzione del deposito PREVAM.

Quale secondo momento della metodologia adottata è stata pienamente recepita la prescrizione di esecuzione di ulteriori indagini puntuali e di dettaglio sul sedime stesso dell'abbancamento formulata dall'Unione dei Comuni competente in materia. Tale fase di approfondimento puntuale costituisce sia elemento di garanzia verso una ancora maggiore aderenza al rispetto della normativa applicabile al progetto sia, nei riguardi della metodologia adottata, strumento per la verifica dell'aderenza delle caratteristiche locali alle composizioni litologiche (distribuzione granulometrica) e dei parametri caratteristici di resistenza meccaniche e di deformazione.

Nel seguito viene riportata per ciascuna Unità Geotecnica individuata l'esito finale complessivo della conoscenza maturata in termini di caratteristiche geotecniche e viene proposta la tabella riepilogativa dei parametri geotecnici caratteristici dell'UG con, dove possibile e significativo, l'indicazione dei possibili range di variabilità.

UNITA' GEOTECNICHE

In coerenza con la caratterizzazione litotecnica del MGR come definita nel documento "Relazione Geologica nell'ambito del volume geologico significativo proprio dell'area di Ca' Cirenaica sono state distinte 3 unità geotecniche principali delle quali si riportano di seguito le principali caratteristiche.

UNITA' A – Terreni di copertura

Si tratta di terreni destrutturati di alterazione superficiale e/o di essiccamento, ovvero di depositi eluvio/colluviali con colorazione dominante marrone-grigio scuro. I terreni di copertura superficiale hanno potenza fortemente variabile da 0 a 3 m in funzione delle condizioni geologiche locali e dell'acclività del punto: spesso infatti nelle pareti dei calanchi, come nel caso del calanco oggetto del presente intervento, si trova in affioramento direttamente il bedrock alterato (B1) o, in prossimità delle teste di calanco, il bedrock integro (B2). Dove presente tali terreni sono in ogni caso costituiti prevalentemente da limo argilloso sabbioso passante ad argilla limosa mediamente consistente, con frequenti resti vegetali; i valori di resistenza alla punta del penetrometro statico qc sono variabili ed inferiori a 1 MPa, mentre la coesione non drenata Cu, rispecchiando i valori di qc, non supera i 100 kPa.

UNITA' B1 – Substrato Alterato

Rappresenta il prodotto di alterazione dell'unità argillosa marnosa sottostante con colorazione da grigio a bruno grigiastro.

Il substrato alterato, di spessore mediamente intorno a 2-3 m, si presenta composto prevalentemente come limo argilloso sabbioso da molto consistente a duro, caratterizzato da proprietà fisico-meccaniche molto elevate, presentando a tratti la struttura di un terreno semilitoide, e da valori di resistenza alla punta del penetrometro statico qc variabili da 1 a 3 MPa.

Soggetto a fenomeni di rammollimento, il substrato alterato può essere caratterizzata da coesione non drenata Cu variabile nell'intervallo 150-200 kPa, localmente verso il limite inferiore in corrispondenza delle

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

porzioni di terreno soggette a circolazione d'acqua, soprattutto al contatto con l'unità sottostante, che contribuisce ad una sensibile caduta delle caratteristiche meccaniche.

UNITA' B2 – Substrato Integro

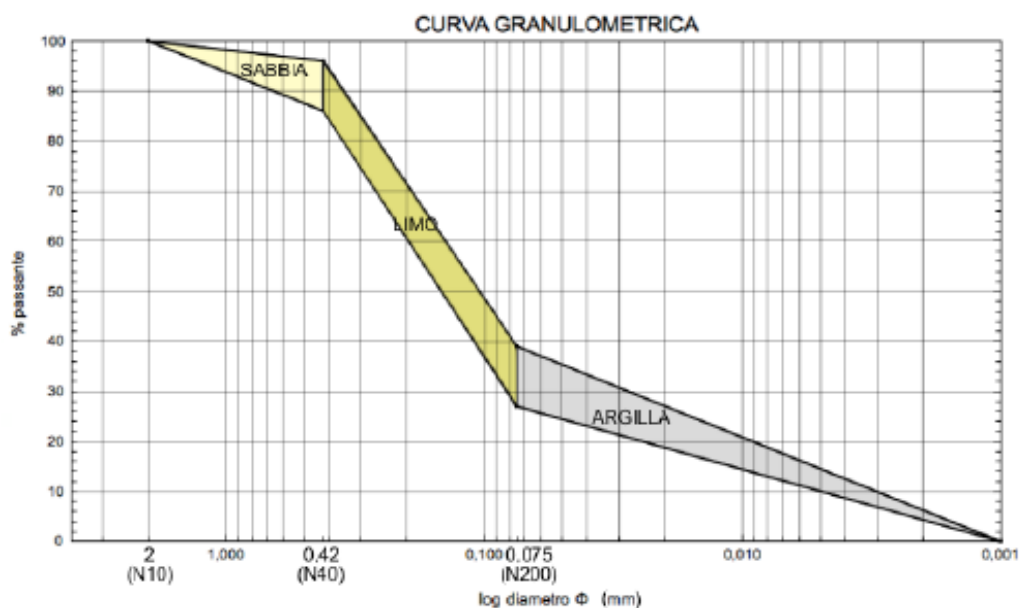
Si tratta delle vere e proprie Argille e Marne di Riolo Terme costituite in prevalenza da argille marnose grigio-azzurre, di colorazione grigio-piombo, a struttura scagliosa con stratificazione assente e alternanza di lenti o piccoli orizzonti limo sabbiosi molto addensati e duri.

Tale substrato formazionale sano costituisce il cosiddetto "bedrock" locale e si trova al di sotto dei due livelli A e B1, mediamente a 6-7 m dal piano campagna, con profondità crescenti da monte verso valle e si presenta con la stessa matrice di quello alterato ma non ossidato, sotto forma di materiale semi lapideo con cementazione più diffusa ed a tratti nella forma classica di marne o arenaria sempre da molto tenere a tenere, con valori di resistenza alla punta del penetrometro statico $q_c > 3$ MPa e coesione non drenata $C_u > 300$ kPa.

Inoltre si presenta sovraconsolidato in quanto, un tempo, sottoposto ad un carico litostatico molto superiore a quello attuale.

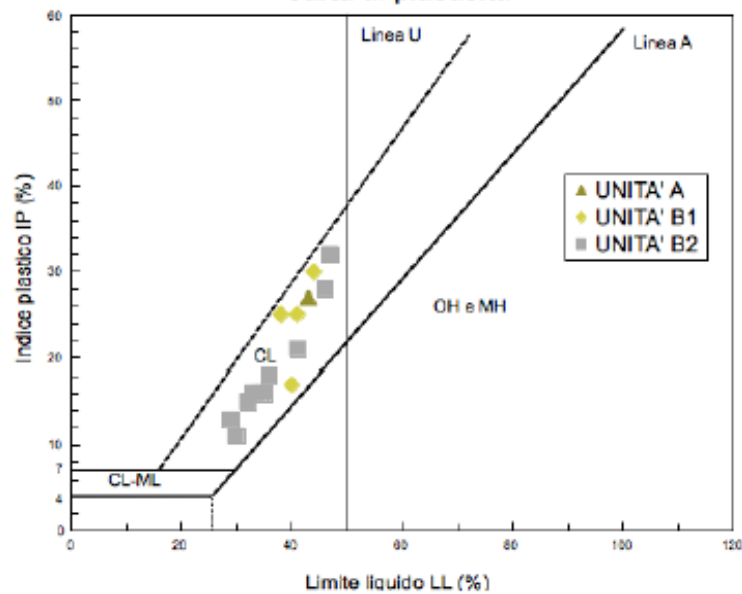
Con riferimento alle sopra descritte Unità Geotecniche si riportano le parametrizzazioni definite a livello di intera area sulla formazione delle Argille Azzurre Plioceniche finalizzato con particolare riferimento agli ambiti calanchivi quale quello di progetto.

Di seguito si riportano i grafici rappresentativi dell'andamento dei parametri granulometrici e di involuppo delle plasticità e gli involuppi di rottura; nella tabella conclusiva si riepilogano i valori dei parametri di caratterizzazione determinati a livello di studio d'area.



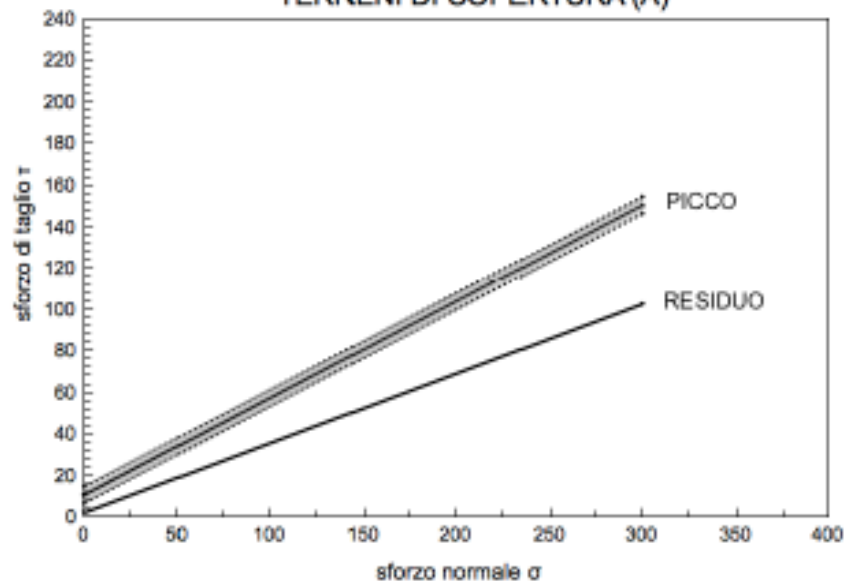
	Committente	Oggetto del servizio
	GER.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Carta di plasticità

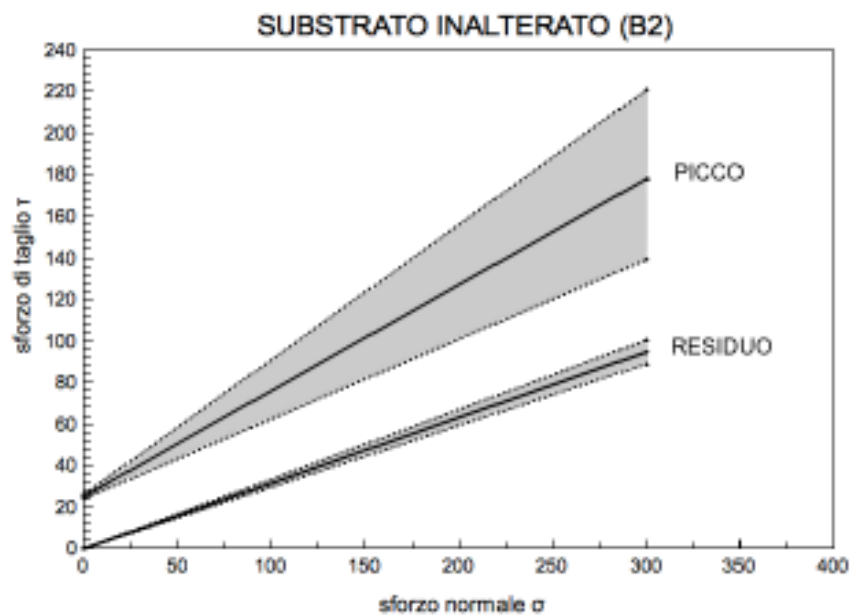
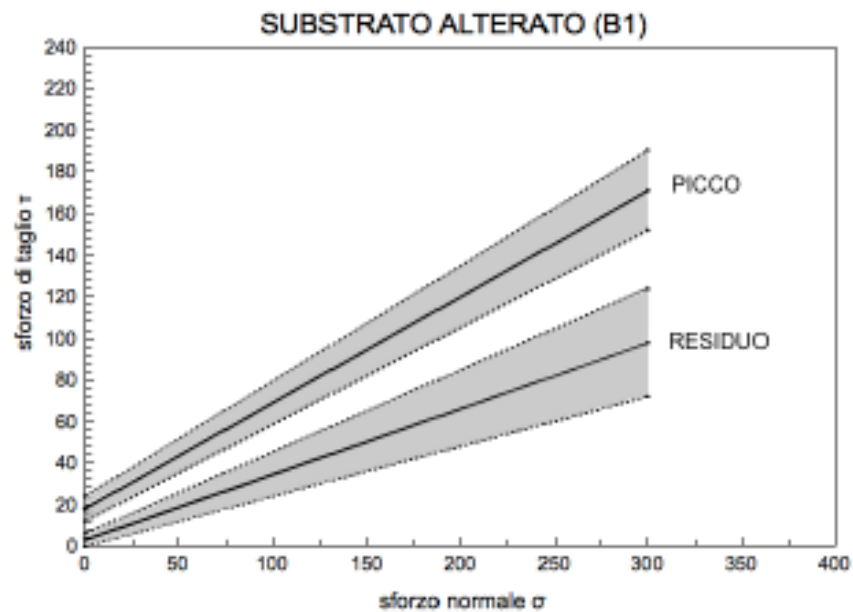


ML Limi inorganici e sabbie fini siltose o argillose a bassa plasticità
 CL Argille inorganiche, argille sabbiose e argille limose a bassa plasticità
 OL Limi organici e argille limose organiche a bassa plasticità
 MH Limi inorganici e sabbie limose ad alta plasticità
 CH Argille inorganiche ad alta plasticità
 OH Argille e limi organici ad alta plasticità
 Linea U: limite superiore per i terreni naturali

TERRENI DI COPERTURA (A)



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

UNITA' LITOTECNICA		CARATTERISTICHE GEOTECNICHE							
		PARAMETRI	SIMBOLO E UNITA'	VALORI MEDI					
				MEDIA	DEV STD				
FACIES DOMINANTE: LIMO con ARGILLA debolmente SABBIOSA (argille inorganiche inattive di media plasticità)									
A	TERRENI DI COPERTURA (DEPOSITI DI TIPO ELUVIO / COLLUVIALE)	DA ARGILLA LIMOSA BRUNA A LIMO ARGILLOSO SABBIOSO (DA CONSISTENTE A MOLTO CONSISTENTE)	PROFONDITA' (da... a...)		Z	m	0	3	1
			UMIDITA' NATURALE		W _n	%	22		0
			PESO DELL'UNITA' DI VOLUME		γ _n	kN/mc	19		1
			LIMITE LIQUIDO		LL	%	43		0
			LIMITE PLASTICO		LP	%	16		0
			INDICE DI PLASTICITA'		IP	%	27		0
			PESO SPECIFICO DEI GRANULI		γ _s	kN/mc	26		0
			PICCO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c'	kPa	10,5		4
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ'	(°)	25		0
			RESIDUO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c' _r	kPa	2		0
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ' _r	(°)	18,5		0
			COESIONE NON DRENATA		C _u	kPa	75		0
			MODULO EDOMETRICO		E	MPa	7		0
			CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE		66% LIMO, 22% ARGILLA, 10% SABBIA				
B1	SUBSTRATO ALTERATO	LIMO ARGILLOSO SABBIOSO O CON ARGILLA MARRONE-GRIGIA (ARGILLA DA MOLTO CONSISTENTE A DURO)	PROFONDITA' (da... a...)		Z	m	3	6	2
			UMIDITA' NATURALE		W _n	%	21,5		2
			PESO DELL'UNITA' DI VOLUME		γ _n	kN/mc	20		0
			LIMITE LIQUIDO		LL	%	40,5		1
			LIMITE PLASTICO		LP	%	18,5		5
			INDICE DI PLASTICITA'		IP	%	22		7
			PESO SPECIFICO DEI GRANULI		γ _s	kN/mc	26		0
			PICCO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c'	kPa	16		6
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ'	(°)	27		2
			RESIDUO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c' _r	kPa	3		3
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ' _r	(°)	17,5		4
			COESIONE NON DRENATA		C _u	kPa	150		0
			MODULO EDOMETRICO		E	MPa	16		3
			CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE		55,5% LIMO, 35,5% ARGILLA, 8% SABBIA				
B2	SUBSTRATO NON ALTERATO	ARGILLE O MARNE DI RIOLO TERME GRIGIE (ARGILLE AZZURRE)	PROFONDITA' (da... a...)		Z	m	6	>	3
			UMIDITA' NATURALE		W _n	%	15		2
			PESO DELL'UNITA' DI VOLUME		γ _n	kN/mc	21		0
			LIMITE LIQUIDO		LL	%	37		6
			LIMITE PLASTICO		LP	%	18		1
			INDICE DI PLASTICITA'		IP	%	19		7
			PESO SPECIFICO DEI GRANULI		γ _s	kN/mc	26		0
			PICCO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c'	kPa	25		1
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ'	(°)	27		6
			RESIDUO	COESIONE IN CONDIZIONI DRENATE	c' _r	kPa	0		0
				ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	φ' _r	(°)	17,5		1
			COESIONE NON DRENATA		C _u	kPa	350		0
			MODULO EDOMETRICO		E	MPa	-		-
			CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE		55,5% LIMO, 34,5% ARGILLA, 9% SABBIA				

Tabelle di sintesi della caratterizzazione geomeccanica delle 3 unità sulla base degli studi d'area nella formazione della Argille e Marne di Riolo Terme in area calanchiva.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Le indagini eseguite nell'ambito di campagna integrativa hanno consentito di sottoporre a prove di laboratorio geotecnico i campioni delle 3 Unità Geotecniche individuate giusto nell'area del sedime di realizzazione dell'abbancamento di progetto.

I risultati delle prove di laboratorio eseguite sono riepilogati nella tabella di seguito riportata:

CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	U.G.	COESIONE (kPa)	ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)	COESIONE NON DRENATA (kPa)	ANGOLO DI RESISTENZA NON DRENATO (°)	Modulo edometrico (KPa)
S3CI1	5,50-6,00	PREVAM	18,74	25,86	100		
S4CI1	4,20-4,70	PREVAM	8,48	27,02	34,37	17,47	3892
S4CD1	11,00-11,40	A	13,62	26,46	74,67	18,75	6849
S5CI2	5,00-5,60	B1	4,87	32,83	4,67	39,17	
S1 CD1	13,20-13,50	B1	28,4	22,8	115		11827
S2CI2	11,30-11,60	B1	51	36,5	250		18096
S3CD1	12,50-12,90	B1	23,27	21,59	150		8305
S6CI2	2,50-2,90	B1	38,4	22,34	94	23,65	19577
S3CD2	14,50-15,00	B2	42,63	24,7	250		
S1CI1	16,20-16,50	B2	30,97	19,43			
S2CD1	14,50-14,90	B2	24,7	22,45	150		
S5CD1	10,20-10,50	B2	21,74	24,91	79,01	25,71	9980
S6CD2	4,00-4,30	B2	18,19	24,26	115	16,81	

Tabella riepilogativa dei parametri geotecnici da prove di laboratorio nuovi campioni nuova indagine

In accordo con la metodologia di lavoro adottata sono stati quindi messi a sistema i dati complessivamente disponibili sia dagli studi di area sul comportamento in ambito calanchivo delle Argille e Marne di Riolo Terme sia dai dati puntuali acquisiti giusto nel sedime con l'indagine integrativa. Sono state quindi revisionate le caratterizzazioni geotecniche di ogni Unità e, laddove i nuovi risultati dimostravano una variabilità verso il basso, i parametri caratteristici adottati sono stati ridotti, rispetto a quelli adottati nella precedente analisi di stabilità, attestandosi sistematicamente sotto i valori medi.

A seguito di tale analisi sono stati determinati i dati caratteristici delle Unità Geotecniche individuate così come riportati nella tabella di seguito riportata.

LITOLOGIA	PESO UNITA' DI VOLUME (kN/m2)	COESIONE (kPa)	ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)	COESIONE NON DRENATA (kPa)	Modulo edometrico (KPa)
A	19	10	25	75	6849
B1	20	18	22	150	14451
B2	21	25	27	150	10000

Tabella riepilogativa dei parametri geotecnici caratteristici adottati

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Si evidenzia, per completezza, che il passaggio ai parametri di progetto attraverso l'applicazione dei coefficienti di riduzione è stata eseguita nell'ambito delle verifiche di stabilità globale; in accordo con le NTC2018 i coefficienti di riduzione dei parametri di resistenza applicati appaiono piuttosto conservativi essendo pari al 25% per i parametri drenati e al 40% per i parametri non drenati.

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA ADOTTATA PER IL PREVAM CA CIRENAICA

I terreni costitutivi il PREVAM Ca' Cirenaica sono stati analizzati e caratterizzati adottando sostanzialmente la medesima metodologia di lavoro adottata per le Unità della formazione di base, ancorché si tratti di un deposito realizzato artificialmente con l'abbancamento dello smarino della galleria Pianoro dell'Alta Velocità.

Si è quindi dapprima acquisita la documentazione significativa "As Built" delle caratteristiche costitutive del deposito così come accertato nell'ambito del procedimento di monitoraggio funzionale al collaudo finale cui il deposito è stato assoggettato per alcuni anni dopo il termine dei lavori. Successivamente sono state eseguite ulteriori indagini e acquisiti ulteriori dati specificatamente nella zona di impronta dell'abbancamento di progetto mediante le quali sono stati verificati puntualmente i dati.

Per quanto ai dati con origine dal processo di costruzione stesso del deposito si riporta in allegato il documento tecnico "Relazione Conclusiva del monitoraggio e piano di manutenzione": il documento rendiconta riguardo le attività di monitoraggio del corpo del deposito eseguite post opera e sviluppa le analisi di stabilità sulla base di una indagine geognostica realizzata dallo stesso Consorzio costruttore.

L'insieme dei dati disponibili ha consentito allo scrivente di definire come segue i parametri litostratigrafici e litotecnici del corpo del deposito PREVAM per gli scopi del presente progetto.

LITOLOGIA	PESO UNITA' DI VOLUME (kN/m ²)	COESIONE (kPa)	ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO (°)	COESIONE NON DRENATA (kPa)	Modulo edometrico (KPa)
PREVAM	18	10	20	75	3892

Si osserva che in termini di stabilità globale, come meglio può essere riscontrato nelle allegate verifiche di stabilità, i terreni del deposito PREVAM non risultano interessati dalle principali famiglie di curve di instabilità, ciò nonostante, i parametri attribuitigli e successivamente ridotti come da NTC2018 siano del tutto conservativi.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA ADOTTATA PER IL MATERIALE COSTITUTIVO L'ABBANCAMENTO

Il progetto di sistemazione geomorfologica della pendice di Ca Cirenaica prevede l'utilizzo di materiali in abbancamento che possano conferire adeguate caratteristiche di stabilità geotecnica al nuovo corpo del versante che si viene a realizzare.

Costituisce pertanto elemento vincolante alla messa a dimora definitiva nel settore "A" del D1 la rispondenza del materiale alle caratteristiche geotecniche minime che sono definite per l'utilizzo in abbancamento.

Per la definizione di tali caratteristiche geotecniche minime è stata eseguita una specifica analisi su due piani:

- I. valutazione dell'utilizzo esclusivo di **CER 01.05.99** ovvero di materiali provenienti da opere in scavo con TBM in terreni a granulometria medio-fine, considerando come origine del CER i terreni di scavo del Nodo di Firenze;
- II. valutazione della realizzazione di un mix selezionato composto dai **vari CER di rifiuti inerti** conferiti in discarica a costituire un fuso granulometrico minimo di progetto idoneo per l'abbancamento

In entrambi i casi, la rispondenza delle caratteristiche geotecniche del materiale in opera sarà assicurata dall'attuazione del piano di controlli geotecnici in corso opera da eseguire preliminarmente al passaggio tra l'area logistica 3, con funzioni di Deposito Preliminare D15, e l'area di abbancamento principale.

CER 01.05.99 - SCAVI CON TBM E ALTRI MATERIALI DA SCAVO PROVENIENTI DA OPERE GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione dei terreni di scavo della TBM del Nodo di Firenze – adottato quale riferimento del primo scenario di conferimento rifiuti speciali per il presente progetto si fa riferimento in alla documentazione di seguito richiamata:

- **"FEW140EZZRGGN0000001C - Gallerie naturali, relazione tecnico-descrittiva generale" del progetto esecutivo di 1° livello Linea ferroviaria Milano Napoli, Nodo di Firenze, passante AV, Lotto 2.**

nel seguito del testo riportata in estratto in corsivo e riepilogata in calce in termini di parametri.

"Lo studio geologico e idrogeologico e la caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati dalle gallerie è particolarmente importante nel contesto dell'attraversamento urbano di Firenze, sia per la complessità stratigrafica e geotecnica in cui si opererà per lo scavo, che per le condizioni di copertura e di interferenza in superficie.

...

Il passante ferroviario A.V. attraversa una vasta zona di pianura alluvionale, in prevalenza costituita dai sedimenti fluviali e torrentizi dell'Arno e dei suoi affluenti, appoggiati su depositi di natura lacustre. La distribuzione spaziale dei depositi, funzione dell'energia e della capacità di trasporto del mezzo, risulta spesso assolutamente casuale con passaggi eteropici e repentini dalle frazioni grossolane a quelle fini, e frequenti discontinuità stratigrafiche, in gran parte corrispondenti a fenomeni erosivi.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Considerando la natura dei depositi e la loro disposizione spaziale piuttosto caotica, si è deciso di adottare una nuova classificazione, rivedendo l'intera successione clastica neogenica dell'area fiorentina, secondo il criterio delle UBSU (Unità Stratigrafiche a Limiti Inconformi) suggerito dal Servizio Geologico Nazionale (S.G.I., 1992) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R., 1991), in modo da definire per i diversi corpi sedimentari, oltre ai reciproci rapporti spaziali anche il legame con le aree di provenienza.

I terreni studiati sono stati pertanto suddivisi in Sintemi a loro volta raggruppati in Supersintemi o divisibili in Subsintemi. Lo scavo delle gallerie naturali interesserà tre unità sedimentarie che, dalle più antiche alle più recenti, sono: le Argille turchine del Supersintema del Lago Firenze-Prato-Pistoia, i depositi del Supersintema di Firenze e quelli del Supersintema dell'Arno.

Supersintema del Lago Firenze-Prato-Pistoia (Argille turchine)

Sono i sedimenti più antichi, di origine lacustre, sovraconsolidati, costituiti prevalentemente da argille sabbiose o limose o da limi argillosi, contenenti frequenti inclusi ghiaiosi di origine calcarea. Tali termini presentano una consistenza da solido-plastica a solida, con Ic prossimo a superiore all'unità In alcune zone sono presenti lenti e strati di ghiaie sabbiose o limose mediamente addensate ($Dr = 50\%$).

L'indice plastico è generalmente compreso tra 16 e 32 ma può anche raggiungere valori di 45, hanno una buona resistenza al taglio a breve termine, con valori di c' solitamente compresi tra 150 e 250 kPa, mentre per i parametri a lungo termine si può assumere $c' = 28$ kPa e $\phi' = 24^\circ$.

La permeabilità è in genere minore di $1E-7$ m/s anche se sono stati misurati valori di $1E-5$ m/s, riferibili a zone maggiormente ricche di materiali granulari con scarsa matrice fine.

Depositi del Supersintema di Firenze

Si possono distinguere due litofacies:

- *argille sabbiose e limose, o limi argillosi, a consistenza semisolida (Ic compreso tra 0.75 e 1), da*

poco a mediamente plastiche, con livelli ghiaiosi sabbiosi addensati e con contenuto variabile di limo. Nelle ghiaie sono stati rinvenuti ciottoli di natura arenacea della dimensione dei $100 \div 150$ mm di diametro, e a volte anche superiore ai 200 mm. Si tratta di materiali di natura lacustre o fluvio-lacustre, che rispetto ai terreni del Supersintema di Firenze precedentemente citati, presentano una maggiore frequenza di lenti ghiaiose sabbiose addensate rispetto ai livelli argillosi.

I termini coesivi presentano una resistenza a breve termine mediamente elevata, con valori per la c' compresi tra 90 e 170 (kPa), mentre a lungo termine le caratteristiche di resistenza presentano valori di $c' = 10$ kPa e $\phi' = 28^\circ$. I termini granulari risultano in genere addensati ($Dr = 70\%$). La permeabilità da prove Lefranc è medio-bassa, stimabile attorno a $1E-7$ m/s.

- *ghiaie eterometriche con ciottoli (diam. max > 10 cm), poligenica, in matrice da limoso argillosa a limoso sabbiosa; a volte sono intercalati livelli limoso argillosi o limoso sabbiosi (di spessore massimo intorno al metro). Si tratta di materiali attribuiti alla sedimentazione del paleo-Arno. Sono terreni addensati con valore di densità relativa $Dr = 65\%$ ed angolo di attrito $\phi' = 38^\circ$; prove*

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Lefranc eseguite in foro di sondaggio hanno fornito per questi terreni valori di permeabilità da media a medio-alta, frequentemente compresi tra $1E-4$ e $1E-5$ m/s.

Depositi del Supersintema dell'Arno

Sono in prevalenza costituiti da ghiaie sabbiose addensate e in misura minore da argille limose compatte e limi argillosi di media plasticità. Possono presentare inclusi ciottoli arenacei di diametro dell'ordine dei 100÷150 mm e più raramente superiore ai 200 mm.

I materiali granulari risultano mediamente addensati ($Dr = 55\div 65\%$) e presentano angolo di attrito $\phi' = 33\div 38^\circ$. I risultati di prove di permeabilità indicano valori, per il coefficiente di permeabilità K , compresi in genere tra $1E-4$ e $1E-5$ m/s.

La resistenza a breve termine per i termini coesivi è rappresentata da valori della c_u generalmente compresi tra 90 e 150 kPa mentre a lungo termine ha fornito valori di $c' = 7,5$ KPa e $\phi' = 27^\circ$.

(....)

In sintesi, dal punto di vista geotecnico i parametri di resistenza minimi indicati per le suddette formazioni "madre" sono riepilogati nella tabella di seguito riportata:

PARAMETRI GEOTECNICI DEI LITOTIPI INTERESSATI DAGLI SCAVI CON TBM FI	C' (KPa)	Φ' (°)	C_u (KPa)
Supersintema del lago Firenze-Prato-Pistoia	28	24	150-250
Supersintema di Firenze Argille sabbiose e limose	10	28	90-170
Supersintema di Firenze Ghiaie eterometriche	-	38	-
Supersintema dell'Arno	7,5	27	90-150

La documentazione di progetto sopra sintetizzata consente la caratterizzazione del terreno "madre" come visto. Tale materiale diviene materiale del corpo in abbancamento a seguito di due processi: lo scavo mediante la TBM (che comprende le additivazioni funzionali allo scavo e alla tenuta statica del cavo) e la successiva fase di asciugatura e maturazione naturali del materiale di scavo funzionali sia alla biodegradazione naturale degli additivi utilizzati sia alla migliore movimentazione in fase di abbancamento. Tale specifica fase è stata oggetto del Progetto di Ricerca CNR-ISPRA 2015 positivamente valutato dalla CS-VIA del Progetto del Nodo di Firenze (si veda il Parere 2032 della CT VIA del 01/04/2016); nell'ambito del Progetto di Ricerca è stato definito il cosiddetto "Protocollo di Caratterizzazione delle Terre e Rocce da Scavo":

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

- **“Protocollo di caratterizzazione delle Terre e Rocce da Scavo”.**

Nell'ambito di tale documento, riportato anch'esso in estratto in allegato, è stato valutato tra gli altri il profilo di *verifica dell'idoneità tecnica, anche sotto il profilo statico, delle terre risultanti dallo scavo con fresa (TBM), condizionate con gli additivi, rispetto al fine cui risultano destinate (realizzando collina)*, una destinazione quindi del tutto omogenea a quella in valutazione nel presente progetto.

Nell'ambito di tale Protocollo, oltre all'accertamento del tempo di biodegradazione naturale degli additivi, è stato accertato che i parametri geotecnici minimi ottenibili in fase di abbancamento dai terreni di scavo con TBM del Nodo di Firenze restano quelli propri delle rocce madri di origine una volta decorsi sia i termini temporali per la biodegradazione (da 14 a 28 gg rispettivamente dai più granulari ai più coesivi) sia raggiunto il tenore % del contenuto d'acqua d'origine. Entrambe le condizioni vengono raggiunte mediante la stesa del terreno e asciugatura su una piattaforma per il tempo 14-28gg in funzione della granulometria.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica di previsione del terreno in abbancamento, tenuto conto di quanto nella Relazione di Progetto e considerando cautelativamente come principali dimensionanti i parametri delle frazioni coesive è quindi possibile assumere i seguenti parametri geotecnici:

- **peso di volume medio $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$**
- **angolo di attrito interno $\phi' = 24^\circ$**
- **coesione drenata $c' = 10 \text{ kPa}$**
- **coesione non drenata $c' = 150 \text{ kPa}$**

La parametrizzazione sopra indicata risulta peraltro del tutto congruente con quella assunta dai collaudatori del deposito PREVAM esistente di Ca' Cirenaica per il materiale verificato in abbancamento; anche in relazione a tale congruenza con il deposito esistente si ritiene che i parametri sopra indicati possano efficacemente costituire obiettivo raggiungibile che il presente progetto prescrive per il materiale da autorizzare in abbancamento e che dovranno costituire il target dei Protocolli di controllo geotecnico in corso d'opera.

Si sottolinea che, come per le altre UG già analizzate, il passaggio ai parametri di progetto attraverso l'applicazione dei coefficienti di riduzione è stata eseguita nell'ambito delle verifiche di stabilità globale; in accordo con le NTC2018 i coefficienti di riduzione dei parametri di resistenza applicati appaiono del tutto conservativi essendo pari al 25% per i parametri drenati e al 40% per i parametri non drenati.

CER RIFIUTI INERTI MISCELATI – FORMAZIONE DI UN MIX GRANULOMETRICO DI PROGETTO SELEZIONATO

Per la valutazione delle caratteristiche geotecniche di un mix di progetto appositamente costituito mediante la miscelazione calibrata dei rifiuti inerti conferiti si è fatto riferimento ad alcuni casi di studio di discariche esistenti di rifiuti inerti disponibili in bibliografia tecnica e a studi internazionali del comportamento geotecnico e della parametrizzazione di terreni sotto compattazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche di inerti in discariche esistenti sono stati generalmente rilevati i seguenti parametri prudenziali di resistenza al taglio in condizioni drenate:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

- peso di volume medio $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito interno $\phi' = 30^\circ$
- coesione drenata $c' = 5\text{-}10 \text{ kPa}$

Per quanto attiene allo studio del comportamento geotecnico dei mix granulometrici sotto compattazione sono risultati di particolare interesse alcuni studi recenti dell'Università di Tokyo (F. Tatsuoka) sviluppati per la formazione di abbancamenti di terre compattate per la formazione di corpi diga in terra. In particolare, per i fini del presente progetto sono stati valutati i risultati degli studi su mix di materiali a granulometria sabbiosa, ben gradati, condizione di base certamente ottenibile attraverso la miscelazione di rifiuti inerti.

Per abbancamenti costituiti da tali tipologie di materiali l'Autore qualifica i seguenti valori dell'angolo di attrito interno in condizioni drenate:

- angolo di attrito interno di base $\phi = 35^\circ$ -> con compattazione limitata o assente, ovvero pari al 85% della densità ottima
- angolo di attrito interno di picco $\phi' > 35^\circ$ -> con l'incremento della compattazione fino al 95% della densità ottima

Nella definizione delle caratteristiche di resistenza di un fuso granulometrico minimo ottenibile dal processo di miscelazione dei rifiuti inerti, ai soli fini delle verifiche di stabilità globale dell'abbancamento di progetto, sono stati pertanto assunti i seguenti parametri caratteristici

- **peso di volume medio $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$**
- **angolo di attrito interno $\phi' = 35^\circ$**
- **coesione drenata $c' = 5 \text{ kPa}$**

E' ragionevole assumere che in sede di costruzione dell'abbancamento potranno essere conseguiti parametri di resistenza superiori a quelli cautelativamente qui ipotizzati ai fini delle verifiche di stabilità; l'abbancamento finale potrà quindi raggiungere valori di sicurezza più elevati di quelli fatti oggetto delle verifiche minime nell'ambito del presente progetto.

UNGHIA AL PIEDE DELL'ABBANCAMENTO

Nella fase di posa dell'abbancamento "010599" e al piede dello stesso, il primo elemento di costruzione è costituito da un "piede" di contenimento del materiale denominato "Unghia".

Le caratteristiche di tale materiale sono vincolate dalle scelte di progetto proprio per le funzioni che questo deve garantire, andrà pertanto realizzato solo ed esclusivamente con materiale granulare rullato e costipato a raggiungere le caratteristiche di resistenza imposte dal progetto. Di seguito si riepilogano i parametri minimi che dovrà garantire.

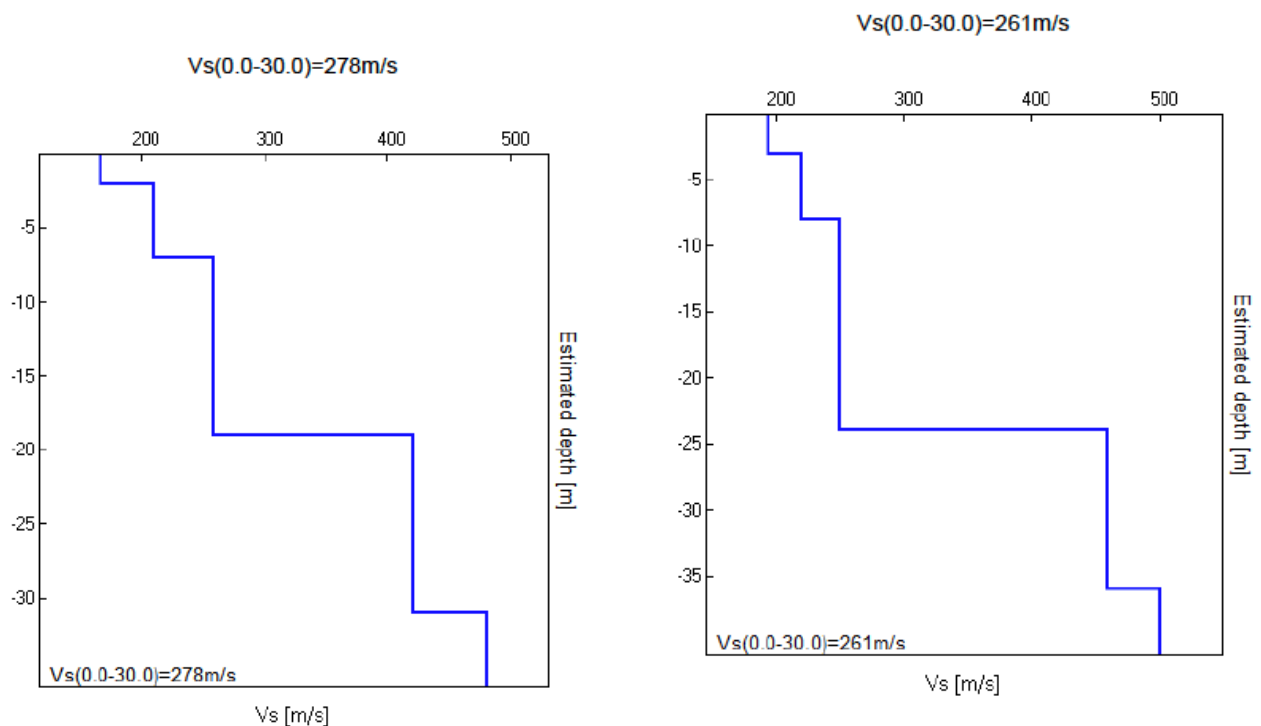
- **peso di volume medio $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$**
- **angolo di attrito interno $\phi' = 40^\circ$**
- **coesione drenata $c' = 0 \text{ kPa}$**

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO

L'area, individuata alle coordinate LAT: 44,39875, LONG: 11,377639 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è caratterizzata dalla presenza di terreni prettamente di natura coesiva. Infatti, da piano campagna fino alla massima profondità indagata dalla prova penetrometrica sono stati investigati solo terreni fini limoso argillosi, che presentavano solo localmente dei livelli di natura più grossolana.

La classificazione sismica del sottosuolo è stata ottenuta tramite le prospezioni sismiche di tipo MASW che hanno permesso di definire il profilo di velocità delle



onde S nel sottosuolo. I profili di velocità ottenuto dall'elaborazione sono sintetizzati nei modelli sismostratigrafici di seguito riportati:

MASW 1

MASW 2

Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità. Vengono in blu i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology), relativamente all'indagine MASW

La categoria di sottosuolo, con profilo caratterizzato da Vs crescenti verso il basso, risulta in entrambi i casi di tipo "C" (D.M. 17/01/2018).

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

PERICOLOSITA' SISMICA

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche ed è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza (PVR) nel periodo di riferimento (VR).

A seguire la tabella con i parametri associati a ciascun stato limite considerati la vita nominale ed il coefficiente d'uso dell'opera.

STATO LIMITE DI DANNO (SLD)	
Tipo opera	ordinaria
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1,0
Vita nominale	50 anni
Vita riferimento	50 anni
Probabilità di superamento	63%
Tempo di ritorno	50 anni
Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T2
Coefficiente amplificazione topografica	1,2
a_g	0,129 m/s ²
β	0,24
K_h	0,030
K_v	0,015

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)	
Tipo opera	ordinaria
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1,0
Vita nominale	50 anni
Vita riferimento	50 anni
Probabilità di superamento	10%
Tempo di ritorno	475 anni
Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T2
Coefficiente amplificazione topografica	1,2
a_g	0,295 m/s ²
β	0,28
K_h	0,082
K_v	0,041

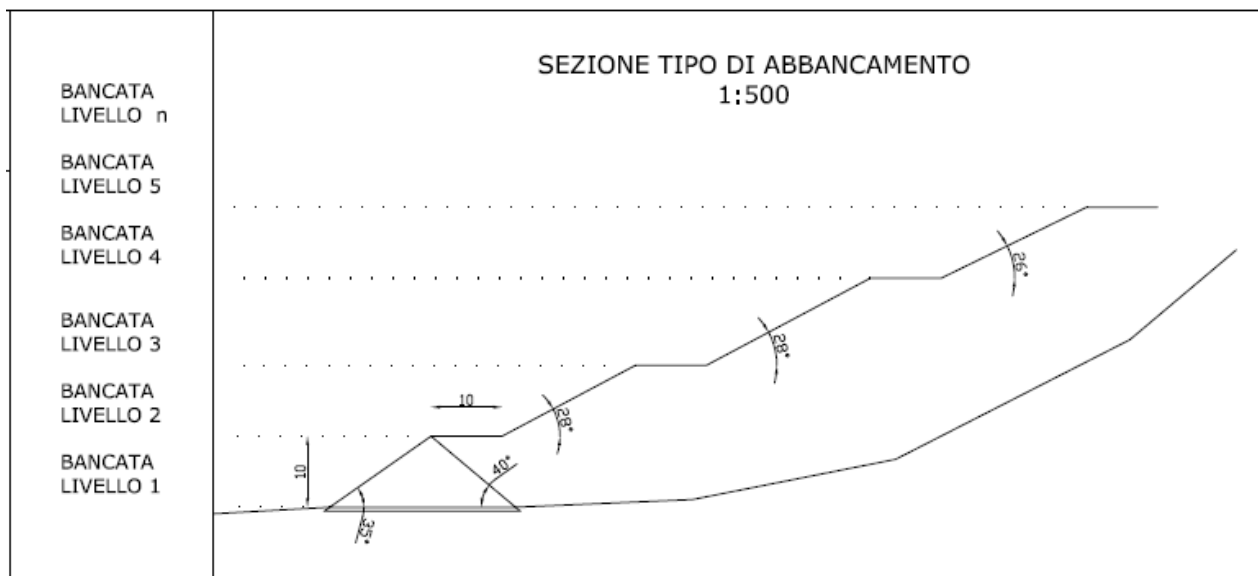
	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL CORPO DELL'ABBANCAMENTO

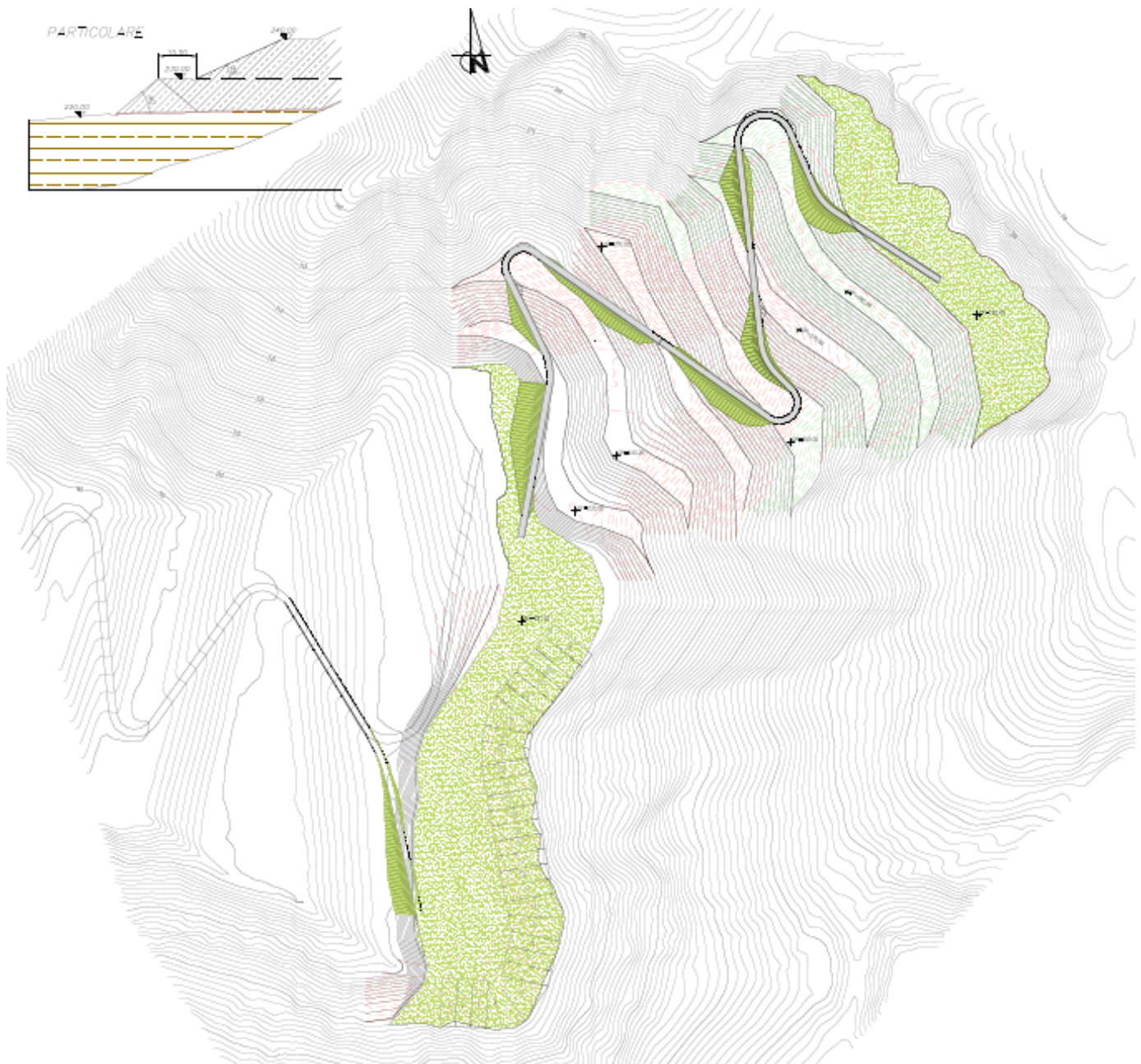
Nell'ambito del progetto è stata sviluppata una ingegnerizzazione delle caratteristiche geometriche del corpo dell'abbancamento con le seguenti finalità:

- contenimento del carico totale degli inertI programmato in abbancamento a fine intervento per ottimizzare le condizioni generali di inserimento e la stabilità del sistema terreno in sito;
- configurazione generale dell'abbancamento per il migliore accompagnamento della morfologia e un naturale inserimento nel contesto;
- conseguimento della stabilità geotecnica attraverso una modulazione della geometria delle scarpate in elevazione a partire dalla terza bancata con, in particolare, riduzione della pendenza da 28° a 26° e distanziamento dei cigli con ampliamento della superficie libera orizzontale (in questo caso reso necessario anche per un migliore inserimento della rampa di abbancamento);
- configurazione delle aree a disposizione per l'inserimento nell'organizzazione di cantiere dell'Area Logistica 3 (deposito preliminare) sia di aree di conferimento in baie (per il CER 01.05.99) sia di aree per gli altri rifiuti inertI conferiti all'impianto.

Si riportano di seguito le immagini della sezione tipo e della configurazione dell'abbancamento di progetto ad intervento ultimato. Si rimanda agli elaborati grafici specifici per il necessario dettaglio.



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

VERIFICHE DI STABILITA' DEL CORPO DELLA DISCARICA E DEL SUBSTRATO

In accordo con le norme di riferimento, nel presente capitolo e negli allegati correlati vengono riportati gli esiti delle verifiche di stabilità eseguite sulla base dei risultati delle indagini geologiche e geotecniche riportate nel presente documento e nei documenti correlati "*Relazione Geologica1*."

VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

Ai fini della verifica di stabilità globale dell'abbancamento sono state sviluppate le simulazioni 2D con modello software lungo le sezioni di verifica riportate nell'elaborato "Output verifiche di stabilità dell'abbancamento".

Le verifiche eseguite hanno coinvolto 8 sezioni principali: quattro nel settore principale (Settore A) e quattro nel Settore B (area logistica 3, Deposito Preliminare).

Le sezioni presentano una schematizzazione semplificata in output e riportano distinte, come si può vedere in seguito, campiture di diversa cromatura per un'agevole distinzione delle geometrie che caratterizzano il versante.

Ad ogni geometria è attribuita una caratterizzazione geotecnica che serve come input per la modellazione con Geostudio.

Come output viene restituito un report che si trova in ALLEGATO; per ogni verifica effettuata viene evidenziata la superficie più critica con annesso Fattore di sicurezza e in più tutte le restanti superfici distinte per colore in funzione del range di Fattore di sicurezza che le caratterizza.

Di seguito si riportano le Tabelle che riportano i Fattori di Sicurezza derivanti dalle verifiche eseguite lungo le sezioni scelte sia allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e allo stato limite di danno (SLD), per quanto riguarda i materiali con codice CER 01.05.99.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Tabella 3 Tabella riassuntiva dei Fattori di Sicurezza uscenti dalle verifiche di stabilità per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

		Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)					
SEZIONI DI ANALISI		Condizioni DRENATE				Condizioni NON DRENATE	
		Superficie circolare		Scorrimento lungo base		Superficie circolare	Scorrimento lungo base
		STATICA	PSEUDO-STATICA	STATICA	PSEUDO-STATICA	PSEUDO-STATICA	PSEUDO-STATICA
SETTORE A	A1	1.35	1.29	1.55	1.48	1.58	2.07
	A2	1.23	1.28	1.62	1.58	1.48	3.98
	A3	1.31	1.32	1.77	1.65	1.59	>5
	A4	1.31	1.37	1.74	1.60	1.66	2.42
SETTORE B	B1	1.32	1.34	>5	4.04	1.47	>5
	B2	1.31	1.40	>5	3.75	1.43	>5
	B3	1.39	1.47	>5	4.24	1.48	>5
	B4	1.34	1.44	4.12	3.28	1.44	>5

Tabella 4 Tabella riassuntiva dei Fattori di Sicurezza uscenti dalle verifiche di stabilità per lo Stato Limite di Danno

		Stato Limite di Danno (SLD)			
SEZIONI DI ANALISI		Condizioni DRENATE		Condizioni NON DRENATE	
		Superficie circolare	Scorrimento lungo base	Superficie circolare	Scorrimento lungo base
		PSEUDO-STATICA	PSEUDO-STATICA	PSEUDO-STATICA	PSEUDO-STATICA
SETTORE A	A1	1.55	1.77	1.86	2.49
	A2	1.46	1.87	1.80	4.73
	A3	1.54	2.00	1.96	3.81
	A4	1.55	1.96	2.07	2.96
SETTORE B	B1	1.53	>5	1.65	>5
	B2	1.58	>5	1.58	>5
	B3	1.64	>5	1.66	>5
	B4	1.62	4.33	1.62	>5

Si precisa che le verifiche effettuate con il modello di *scorrimento lungo la base*, cautelativamente, non tengono conto degli effetti migliorativi delle gradonature di ammorzamento della base dell'abbancamento. I risultati dell'analisi documentano quindi come giusto in corrispondenza di tali superfici si rinvergono i **fattori di sicurezza** minimi, ancorché **soddisfacenti la normativa**. Ciò **evidenzia l'importanza in fase esecutiva di garantire un efficace ammorzamento mediante le gradonature previste e che dovranno essere dettagliate in sede di progetto esecutivo**.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Atteso che i risultati delle verifiche eseguite determinano Fattori di Sicurezza che soddisfano i requisiti di normativa già a partire da abbancamenti costituiti esclusivamente dai materiali con le caratteristiche geotecniche del terreno di progetto CER 01.05.99, è stata eseguita l'analisi di stabilità anche con i materiali costitutivi l'abbancamento, individuati come miscela di CER RIFIUTI INERTI, che presentano un miglioramento delle proprietà attrittive ed un leggero scadimento della coesione efficace richiamabile. Anche in questo caso il risultato dell'analisi di stabilità è risultato soddisfacente la normativa con valore finale del Fattore di Sicurezza sulla sezione più critica prossimo a quello del CER 01.05.99 (Tabella 5).

SLV CONFRONTO DEI FATTORI DI SICUREZZA SULLA SEZIONE A2 (A FS MINORE)	
CONDIZIONE DRENATA	
PSEUDO-STATICA	
F_s	
Abbancamento in CER 01.05.99	1.28
Mix CER Inerti	1.29

Tabella 5 – Confronto risultati dell'analisi sulla sezione risultata a più basso valore di FS

I materiali di progetto in abbancamento che sono stati utilizzati per le verifiche costituiscono la soglia inferiore del materiale ammissibile per la realizzazione della discarica per inerti Ca Cirenaica e definiscono pertanto i parametri geotecnici minimi che tali materiali devono avere.

Il riscontro del possesso in concreto di tali proprietà geotecniche dovrà essere assicurato mediante il controllo in corso d'opera che sono previsti dal protocollo di controlli, sia per il caso dei CER 01.05.99 sia per il caso delle generiche miscele di CER Inerti.

Il progetto geometrico dell'abbancamento è il risultato di un processo iterativo di modellazione del versante con forme idonee ad ospitare tali materiali di progetto, presentando angoli di scarpa di 26°-28° e ampi ripiani come berme di riposo tra un ripiano e il successivo.

Cenni metodologici sull'analisi di stabilità effettuata

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:

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

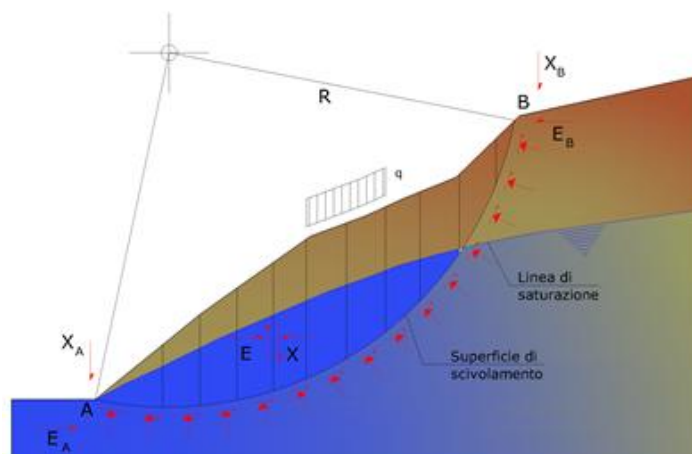
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. 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 ecc.). Di seguito vengono illustrati 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;

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

- 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 quanto 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.

Nell'ambito dell'analisi di stabilità della discarica in progetto "Ca Cirenaica" è stato adottato il metodo di **Morgenstern e Price**.

Si 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, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

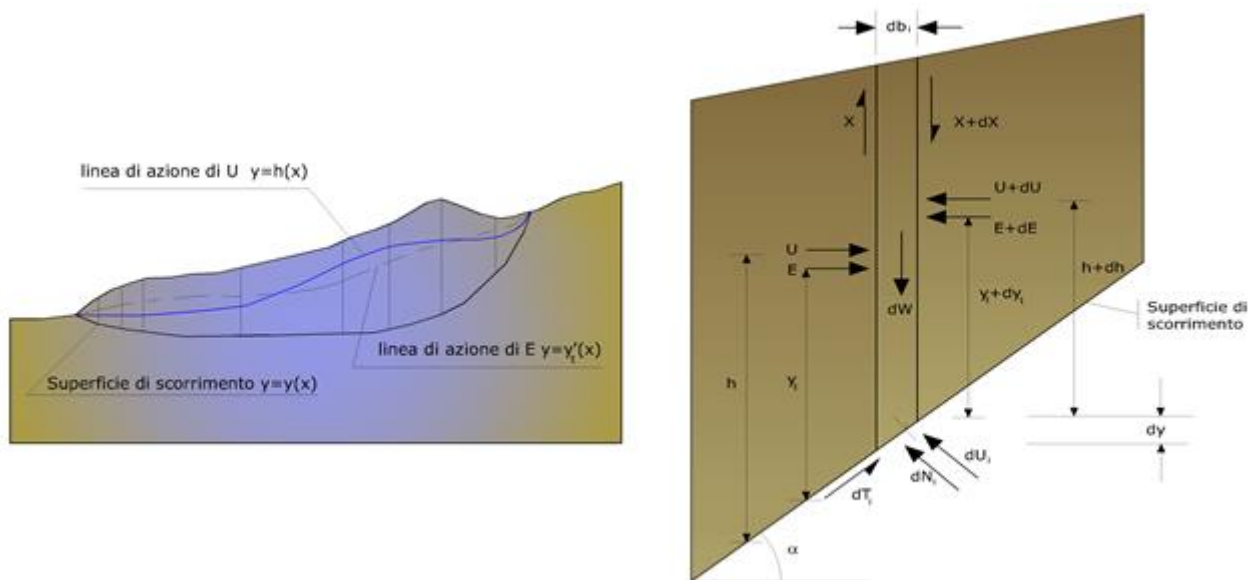
La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia 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":

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

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

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



Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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

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

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

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

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.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Le verifiche di stabilità sono state calcolate considerando sia superfici di scorrimento circolari sia implementando ulteriori potenziali superfici di rottura vincolate sul contatto abbancamento-terreno in posto, geometrizzato con gradonatura di ammorsamento e bonifica della unità di alterazione superficiale UGA; sono state in tal modo verificate le condizioni di scorrimento sul piano di ammorsamento, sia in regime drenato sia non drenato.

I parametri utilizzati per verifiche in condizioni drenate sono i valori di coesione e angolo d'attrito drenati indicati nelle tabelle precedentemente mostrate.

Tutte le verifiche eseguite, sia in condizioni drenate sia in condizioni non drenate, hanno soddisfatto il requisito minimo di $F_s > 1$.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

STIMA DEI CEDIMENTI

Premessa

I cedimenti della discarica possono essere studiati in maniera indipendente separando il contributo del cedimento del piano di posa della discarica dal cedimento del corpo del deposito.

Nel primo caso si studiano, di fatto, sia i cedimenti immediati che i cedimenti di consolidazione che comunque sono esauriti con la costruzione e con il post-esercizio della discarica. Nel secondo caso, invece, si riescono a stimare i cedimenti attesi sul piano di abbandono dopo il termine della coltivazione.

Di seguito vengono analizzati in maniera indipendente i due contributi con le relative finalità di interesse per la sezione tipo di calcolo più gravosa, ovvero considerando l'altezza massima di abbancamento del deposito (pari a circa 30m) che insiste verticalmente sull'ultimo gradone del materiale costitutivo del PREVAM, considerato quindi come terreno di fondazione.

Cedimenti del terreno di fondazione della discarica

Il terreno di posa della discarica, per effetto del carico crescente del deposito, sarà soggetto a spostamenti (per lo più in direzione verticale), la cui entità e distribuzione nel tempo e nello spazio dipendono principalmente dalle caratteristiche del terreno di fondazione, dal suo grado di omogeneità e dalle modalità di messa a dimora del materiale da abbancare.

Nel caso del nuovo deposito della discarica Ca' Cirenaica, poggiante nella prima parte sul materiale limoso-sabbioso del deposito PREVAM, i cedimenti del terreno di fondazione avvengono a seguito di variazioni di volume all'atto della messa a dimora del materiale in maniera indipendente dal tempo.

La valutazione dell'entità di tali cedimenti è stata calcolata mediante il coefficiente di deformabilità E (modulo elastico o modulo di Young) che riassume le caratteristiche elastiche del materiale stesso e che aumenta all'aumentare dello stato di sollecitazione.

I cedimenti del terreno si calcolano quindi considerando l'incremento delle sollecitazioni nel terreno dovuto al carico del materiale di discarica soprastante. Per tale calcolo si fa riferimento alla teoria del semispazio elastico omogeneo ed isotropo secondo la quale le tensioni verticali indotte in un punto del terreno ($\Delta\sigma_z$) dipendono dall'entità e forma del carico, dalla rigidità della fondazione e dalla posizione del punto stesso.

Il cedimento è dato quindi da:

$$\delta = \sigma_z / E$$

dove:

- σ_z = sforzo verticale [kPa]
- E = valore del parametro di deformabilità [kPa]

Il valore del coefficiente di deformabilità del deposito PREVAM, considerato come terreno di fondazione della parte iniziale della discarica, è stato definito mediante elaborazione dei dati ottenuti con le tre prove penetrometriche CPT 1, CPT 2 e CPT 3 svolte nell'ambito del presente progetto in località Ca' Cirenaica sul corpo del deposito PREVAM nella parte basale dei settori A e B della nuova discarica.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Il valore dei moduli di deformazione sono stati ulteriormente determinati nel corso delle indagini geognostiche integrative e delle successive prove edometriche di laboratorio.

Per quanto al **primo metodo**, definito il valore medio di $q_c = 4 \text{ MPa}$ per i primi 2 m del terreno di fondazione e utilizzando:

$$E = \alpha \cdot q_c$$

dove:

- α = coefficiente dimensionale (considerato pari a 2,5) [adimensionale]
- q_c = resistenza di infissione misurata alla punta del penetrometro infisso nel terreno [kPa]

è stato ricavato il valore del modulo elastico di deformazione E del deposito PREVAM:

$$E_{\text{FONDO}} = 10000 \text{ kPa}$$

Per uno sforzo verticale $\sigma_z = 540 \text{ kPa}$ dato da un sovraccarico di 30m di materiale (con $\gamma = 18 \text{ Kn/m}^3$) sul terreno di fondazione è stato ottenuto il valore di deformazione verticale:

$$\delta_{\text{FONDO}} = 69,6 \text{ mm}$$

ovvero un cedimento di 0,0696 m.

Per quanto al **secondo metodo** si è fatto riferimento ai moduli di deformazione determinati con prova edometrica. Di seguito si esplicitano i valori e i calcoli conseguenti.

Capacità portante del terreno di fondazione

Viene fatta una stima della capacità portante del terreno di fondazione rispetto all'altezza del rilevato di materiale abbancato previsto.

La capacità portante del terreno di fondazione dipende da parametri di resistenza del materiale che vengono espressi in termini di coesione C_u (coesione non drenata) e di angolo di attrito φ' , determinati tramite prove di laboratorio e prove penetrometriche:

$$C_u = 75 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 20^\circ$$

Per la stabilità a lungo termine del terreno di fondazione si considera sia la resistenza coesiva sia attritiva; una valutazione cautelativa della massima altezza ammissibile H per il rilevato del deposito può essere espressa da:

$$H = N_c \cdot C_u / \rho_r + 0,5 (N_\gamma \cdot P_t / \rho_r)$$

dove:

- $N_c = 2 + \pi$ [adimensionale]
- C_u = coesione non drenata [kPa]
- P_t = peso di volume del terreno di fondazione [kN/m^3]
- ρ_r = peso di volume dei rifiuti [kN/m^3]
- N_γ = coefficiente adimensionale che dipende dall'angolo di attrito φ' [kN/m^3]

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Definiti $N_c = 5,14$, $C_u = 75$ kPa, $P_t = 18$ kN/m³, $\rho_r = 18$ kN/m³ e $N_y = 5,4$ si ottiene:

$H = 29$ m

Cedimenti del corpo del deposito

Lo studio dei cedimenti del corpo del deposito ha una fondamentale importanza sia per la stabilità e la durabilità dei sistemi di tenuta idraulica, nonché di quelli di drenaggio e smaltimento superficiale dei fluidi. Gli eccessivi cedimenti, infatti, possono indurre nei teli della copertura superiore delle sollecitazioni di trazione più elevate della resistenza del materiale, con conseguente rottura e perdita di tenuta idraulica.

I meccanismi che governano i cedimenti del corpo del deposito sono molteplici e complessi da schematizzare a causa della possibile eterogeneità del materiale, della deformabilità propria delle particelle e della presenza di vuoti.

Il fenomeno non è ancora ben conosciuto e nonostante i numerosi sforzi per cercare di comprendere le leggi (Sowers, 1973), non è ancora possibile adottare modelli di riferimento sufficientemente attendibili che non siano riconducibili a modelli osservazionali o basati quasi esclusivamente su modelli empirici.

Altro aspetto di fondamentale importanza, oltre l'entità dei cedimenti, è la stima del tempo in cui tali cedimenti avverranno.

Yen e Scanlon (1975) al termine di un periodo di circa dieci anni di osservazioni su alcune discariche Nord-Americane, hanno formulato una espressione, di seguito riportata, atta a valutare la velocità dei cedimenti e strettamente dipendente dallo spessore del corpo del deposito.

Si deve a Sohn e Lee (1994) la determinazione di equazioni lineari che legano lo spessore della discarica ai valori dei coefficienti a e b .

L'approccio di Yen e Scanlon (1975), insieme alle modifiche apportate da Sohn e Lee (1994) consente agevolmente di stimare il cedimento previsto dalla discarica:

$$v = a - (b \cdot \log_{10} t_f) \quad \text{Yen e Scanlon (1975)}$$

dove:

- v = velocità dei cedimenti [mm/mese];
- t_f = durata dei cedimenti a partire da metà costruzione della discarica [mesi]
- $a = [(9,5 \cdot H_f) + 98] \cdot 10^{-1}$ [adimensionale]
- $b = [(3,5 \cdot H_f) + 51] \cdot 10^{-1}$ [adimensionale]

a e b coefficienti calcolati interpolando dati reali su discariche

Imponendo la velocità di deformazione uguale a zero ($v=0$) è possibile determinare il tempo t_f in cui si esauriscono i cedimenti; il tempo $t_{c/2}$ è invece pari a metà del tempo previsto di coltivazione della discarica t_c , che in questo caso risulta essere di 5 anni (60 mesi).

Integrando l'equazione di Yen e Scanlon in un intervallo compreso fra $t_{c/2}$ e t_f è stato stimato S_f , ovvero il cedimento totale atteso del corpo del deposito dalla chiusura della discarica tramite la relazione:

$$S_f = \{at_f - b[t_f \log(t_f) - t_f \log(e)]\} - \{at_{c/2} - b[t_{c/2} \log(t_{c/2}) - t_{c/2} \log(e)]\}$$

Questo modello consente di stimare il tempo di esaurimento dei cedimenti t_f ed il massimo cedimento atteso S_f sulla base di dati bibliografici, quindi, pur rimanendo valide le conclusioni a cui sono giunti Yen e

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

Scanlon (1975) e Sohn e Lee (1984), esso consente solo una stima di massima sull'ordine di grandezza di quest'ultimi.

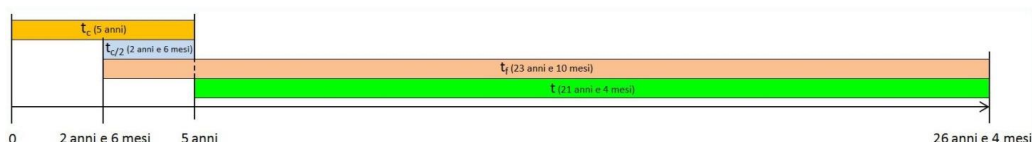
Per quanto sopra accennato tali stime potranno a buona ragione essere considerate come un estremo superiore dei cedimenti attesi.

Il massimo cedimento secondario atteso δ_{RIFIUTI} associato alla maggiore copertura possibile del corpo del deposito così calcolato a discarica ultimata risulta:

$$\delta_{\text{RIFIUTI}} = 1.27 \text{ m}$$

Di seguito è riportato il foglio elettronico utilizzato per la stima dei cedimenti:

altezza massima della discarica	tempo di coltivazione della discarica		età media da cui si iniziano a misurare i cedimenti (= metà tempo di costruzione)		durata dei cedimenti a partire da metà costruzione della discarica	
dati progettuali			$t_{c/2} = t_c / 2$		$t_f = 10^{a/b}$	
H_f	t_c		$t_{c/2}$		t_f	
(m)	(anni)	(mesi)	(anni)	(mesi)	(anni)	(mesi)
30	5	60	2,5	30	23,8	285,2
durata dei cedimenti dopo il completamento della discarica		coefficienti di letteratura proposti da Sohn e Lee (1994)			cedimento del corpo del deposito (= cedimento secondario atteso)	
$t = t_f - t_{c/2}$		$a = [(9,5 \cdot H_f) + 98] \cdot 0,1$	$b = [(3,5 \cdot H_f) + 51] \cdot 0,1$		formula di Yen e Scanlon (1975)	
t		a	b		S_f	
(anni)	(mesi)	adimensionali			(mm)	(m)
21,3	255	38,3	15,6		1271,2	1,27



Considerazioni conclusive sui cedimenti

La determinazione del cedimento totale atteso si ottiene sommando i contributi sul fondo e quelli sul corpo del deposito avendosi:

$$1) \delta_{\text{TOTALE}} = \delta_{\text{FONDO}} + \delta_{\text{RIFIUTI}} \quad (1)$$

Esprimendo quantitativamente la (1) si ha:

$$2) \delta_{\text{TOTALE}} = (69,6 + 1271,2) \text{ mm} = 1340,8 \text{ mm ovvero } 1,34 \text{ m} \quad (2)$$

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

I cedimenti nei due settori di abbancamento sono stati inoltre calcolati tramite il software "Embankment", un plugin di Loadcap, Geostru, ottenendo i seguenti risultati:

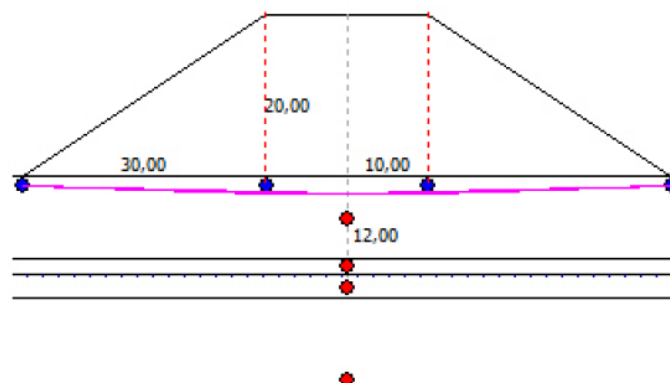
Riferimento zona	Sezione abbancamento	A
Carico statico sul rilevato	5	t/m ²
Carico dinamico sul rilevato	0	t/m ²
1/2 Larghezza rettangolo	10	m
Larghezza base triangolo	30	m
Imposta piano di posa sbancamento	1	m
Peso unità volume sbancamento	1,8	t/m ³
Incremento netto al piano di posa	26,3	t/m ²
Distanza asse - IV punto a scelta	0	m
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO	12	m
Altezza rilevato	20	m
Peso unità volume rilevato	1,7	t/m ³
Peso unità volume fondazione rilevato	1,8	t/m ³

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato m	Modulo edometrico Kg/cm ²	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	10	39	1	68,43	67,091	4,016	69,6
2	2	68	1	6,594	6,583	0,828	6,742
3	3	144	1	4,275	4,339	0,663	4,429
4	20	100	1	30,135	30,432	8,169	30,905

Cedimenti total

Asse	109,434	cm
Bordo	108,445	cm
Piede	13,676	cm
IV Punto	111,676	cm



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

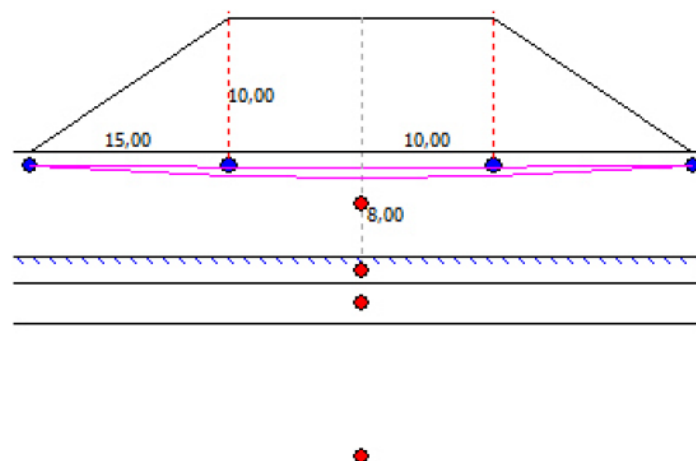
Riferimento zona	settore B
Carico statico sul rilevato	5 t/m ²
Carico dinamico sul rilevato	0 t/m ²
1/2 Larghezza rettangolo	10 m
Larghezza base triangolo	15 m
Imposta piano di posa sbancamento	1 m
Peso unità volume sbancamento	1,8 t/m ³
Incremento netto al piano di posa	16,9 t/m ²
Distanza asse - IV punto a scelta	0 m
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO	8 m
Altezza rilevato	10 m
Peso unità volume rilevato	1,7 t/m ³
Peso unità volume fondazione rilevato	1,8 t/m ³

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato m	Modulo edometrico Kg/cm ²	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	8	39	1	33,793	33,318	2,498	4,161
2	2	68	1	4,823	4,864	0,28	4,343
3	3	144	1	2,816	2,691	0,531	4,169
4	20	100	1	18,691	17,841	6,331	3,927

Cedimenti total

Asse	60,123 cm
Bordo	58,714 cm
Piede	9,639999 cm
IV Punto	16,6 cm



	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

VALUTAZIONE DI FATTIBILITA' GEOTECNICA CONCLUSIVA

Sulla base degli elementi di caratterizzazione del sito sinteticamente sopra esposti, si ritiene che sussistano tutte le condizioni per realizzare l'ampliamento del deposito PREVAM con qualifica di DISCARICA PER INERTI nel rispetto della normativa vigente (D.Lgs. n. 36/2003) con garanzia di elevati livelli di sicurezza ambientale, qualora sia progettato, realizzato e gestito, sulla base di criteri che tengono conto delle specificità dello stesso, in particolare delle caratteristiche specifiche del sito su cui insisterà.

Emerge inoltre che tutte le verifiche di stabilità sia della viabilità interna alla discarica tramite rampe sia del nuovo deposito della discarica di Pianoro (BO) in località Ca' Cirenaica presentano un coefficiente di sicurezza superiore al valore limite di normativa.

Tutte le altre verifiche effettuate (altezza massima del deposito che il terreno di fondazione può sopportare, cedimenti di fondo scavo e cedimenti del corpo del deposito) mostrano valori accettabili e tali da garantire la perfetta funzionalità di tutte le opere nel loro complesso.

Infine, quale ulteriore considerazione, si evidenzia che la stabilità globale è stata ottenuta con la modellazione dei volumi dell'abbancamento in progetto, il contenimento degli apporti volumetrici entro 1.000.000 mc limitando a 850.000 mc circa l'apporto nel settore A). Un ruolo è da attribuire alla distribuzione delle riduzioni orientate ad abbassare i valori relativi delle masse a monte del baricentro e quindi delle forze agenti rispetto alle forze resistenti. Tale principio, unitamente alla garanzia di conservazione della capacità di drenaggio, dovrà costituire principio guida della progettazione esecutiva dell'abbancamento.

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

ALLEGATI

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

ALLEGATO 1 – PREVAM CA CIRENAICA AS BUILT E COLLAUDO: “RELAZIONI
CONCLUSIVE DEL MONITORAGGIO E PIANO DI MANUTENZIONE”



FERROVIE DELLO STATO S.p.a.

T.A.V. S.p.A.

ITALFERR S.p.A.

FIAT S.p.A.

4 P09-T

PROGETTO COSTRUTTIVO

IMPREGILO
MAIRE ENGINEERING
COOPERATIVA MURATORI CEMENTISTI
CONSORZIO RAVENNATE COOPERATIVE PRODUZIONE LAVORO

CONSORZIO CAVET

DP 09 - PREVAM CA' CIRENAICA

TERRAPIENO

RELAZIONE CONCLUSIVA DI MONITORAGGIO E PIANO DI MANUTENZIONE

A 1 0 2		1 1		B F 1		R O		D P 0 9 0 0				0 0 7		A	
PROGETTO		LOTTO		FASE ENTE		DOC.		WBS		TR. ARG.		PROGR.		REV.	
A 1 0 2		1 1		C F 1		R O		D P 0 9 0 0				0 0 7		A	
PROGETTO		LOTTO		FASE ENTE		DOC.		WBS		TR. ARG.		PROGR.		REV.	

IL PROGETTISTA

Tecnimont

Dott. Ing. Michele FRINIALEO
Albo Ingegneri Prov. Torino n. 2639F

 EMESSO	11 GEN 2011	 DATA	 VERIFICATO	 DATA	 VIDIMATO	 DATA
------------	-------------	----------	----------------	----------	--------------	----------

IL DIRETTORE DEI LAVORI

Tecnimont

Ing. Elena Maria Repetto

COME ESEGUITO

 CONSORZIO CAVET CANTIERI EMILIA TOSCANA Il Direttore Ing. S. CINQUE	11 GEN 2011	 ITALFERR S.p.A. Ing. Elena Maria Repetto	 PAC	 SILGA	 FIRMA	 SILGA	 FIRMA
--	-------------	---	---------	-----------	-----------	-----------	-----------

FILE

RODP0900007A00

DOC

EST.

CAVET															
COD. CAVET		C.B.		ARG.		TR.		AR.		DOC.		PROGR.		REV.	



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO
A102

LOTTO
11

CODIFICA DOCUMENTO
CF1-RO-DP09-0-0-007

REV.
A

FOGLIO
2 DI 226

INDICE

1. PREMESSA	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3. DESCRIZIONE DEL SITO	6
4. ELEMENTI PRINCIPALI DEL DEPOSITO	7
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MONITORAGGIO PERMANENTE	8
6. MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	9
7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	10
8. CONCLUSIONI	11
9. MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DEL DEPOSITO	11
10. CONSIDERAZIONI CIRCA LE VERIFICHE DI STABILITA' DEL DEPOSITO IN CONDIZIONI STATICHE	12
10.1. Metodo di calcolo	12
10.1.1. Descrizione dell'algoritmo	13
10.2. Stabilità del terrapieno	16
10.3. Risultati dell'analisi in condizioni statiche	17
11. CONSIDERAZIONI CIRCA LE VERIFICHE DI STABILITA' DEL DEPOSITO IN CONDIZIONI SISMICHE	17
11.2. Calcolo dell'azione sismica di progetto	19
11.3. Verifiche di stabilità in condizioni sismiche	27
11.4. Metodo di calcolo	28
11.4.1. Descrizione dell'algoritmo	29
11.5. Stabilità del terrapieno	33
11.6. Risultati dell'analisi in condizioni sismiche	36



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO
A102

LOTTO
11


CODIFICA DOCUMENTO
CF1-RO-DP09-0-0-007

REV.
A

FOGLIO
3 DI 226

ALLEGATO 1.....	37
Ubicazione strumentazione attiva	37
ALLEGATO 2.....	39
Grafici letture inclinometriche	39
Inclinometro CIR-A.....	40
Inclinometro CIR-B.....	49
ALLEGATO 3.....	59
Tabulati delle verifiche di stabilità in condizioni statiche.....	59
ALLEGATO 4.....	145
Tabulati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche.....	145

Rev. Fornit./ME	Data	Sigla per redazione	Sigla per controllo	Descrizione	Rev. CAVET/ITF
0	DICEMBRE 2010	PTU	GUB	Emissione	A

	Concessionaria: T.A.V. S.p.A. Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A. Linea: MILANO – NAPOLI Tratta: BOLOGNA - FIRENZE				
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	A102	11	CF1-RO-DP09-0-0-007	A	4 di 226

1. PREMESSA

Nel presente documento vengono analizzati i dati, ad oggi disponibili, relativi al monitoraggio della rete strumentale costituita da inclinometri e piezometri messi a dimora nel deposito DP09 Prevam Ca' Cirenaica al fine di controllare eventuali movimenti superficiali e profondi dei materiali posti a dimora.

Il deposito DP09 Prevam Ca' Cirenaica ricade sul territorio del Comune di Pianoro, in provincia di Bologna, in località Ca' Cirenaica.

Il suddetto terrapieno rappresenta un'opera specifica connessa alla realizzazione del sistema Alta Velocità, per la tratta Bologna-Firenze della Linea Milano-Napoli, ed in esso sono stati posti parte dei materiali di smarino derivanti dallo scavo della galleria Pianoro, dei rami di interconnessione e del camerone, secondo una volumetria pari a 950.000 mc circa.

Dal punto di vista geologico l'area ricade su una formazione pliocenica limo-argillosa, talora anche limo-sabbiosa, appartenente alla "successione Epiligure Emiliana".

Sulla base dei profili geologici della galleria in progetto, lo smarino in uscita era costituito principalmente da limi sabbiosi ed argille limose.



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

A102

11

CF1-RO-DP09-0-0-007

A

5 di 226

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Inquadramento generale – Presunto stato finale – Relazione illustrativa
Documento A102-11-C-F1-RO-DPA1-0-0-002-B
- Inquadramento generale – Presunto stato finale - Relazione Geotecnica
Documento A102-11-C-F1-RO-DPA1-0-0-003-B
- Inquadramento generale – Presunto stato finale - Relazione Geotecnica – Indagini geognostiche integrative – Nota tecnica e risultati prove
Documento A102-11-C-F1-RO-DPA1-0-0-018-A
- Depositi materiali di risulta – Piano generale di monitoraggio – Relazione tecnica
Documento A102-11-C-F1-RO-DP00-0-0-003-A



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

A102

11

CF1-RO-DP09-0-0-007

A

6 di 226

3. DESCRIZIONE DEL SITO

Il sito ricade sul versante settentrionale dell'Appennino Tosco-Emiliano delimitato a Nord dalla Pianura Padana e a Sud dai bacini fluvio-lacustri del Mugello e di Firenze.

L'area interessata dal deposito di smarino compattato è situata sul versante settentrionale dell'Appennino Tosco-Emiliano, in corrispondenza di un'ampia fascia con substrato costituito da formazioni plioceniche del complesso Epiligure; l'area del sito ricade su formazioni limo-argillose sovraconsolidate, quasi marnose, ma facilmente erodibili.

Il sedime del rilevato è rappresentato da un ampio anfiteatro caratterizzato da una tipica morfologia di erosione calanchiva, propria delle aree incolte con substrato costituito da terreni argillosi impermeabili, ed è caratterizzato da profonde incisioni vallive alternate a creste sottili con lineazioni convergenti verso il basso in un unico compluvio.

Infatti, all'interno di queste aree si insedia un reticolo idrografico ramificato con una erosione accelerata di tipo regressivo, in perenne evoluzione per effetto dell'alternarsi delle stagioni: durante i periodi secchi i materiali argillosi tendono, a causa della proprietà intrinseca di ritiro, a fessurarsi sino a profondità decimetriche; quindi, con l'avvento delle prime precipitazioni le acque penetrano in profondità rammollendo le cotiche superficiali che, nelle zone più acclivi ed a seguito di ulteriori precipitazioni, danno luogo a locali distacchi di zolle e/o a colamenti per eccesso di imbibizione.

Nella parte superiore dell'anfiteatro i versanti sono molto acclivi e, quindi, favoriscono l'insorgere delle nicchie di distacco che ne orlano il contorno con una certa continuità; nella parte inferiore, invece, dove tendono a convergere le varie incisioni vallive, il profilo del compluvio diventa quasi piatto e i deflussi superficiali accumulano materiali terrosi sotto forma di colate di fango.

Nella sua configurazione finale il rilevato costituisce un elemento di stabilizzazione definitiva per l'intero anfiteatro.

4. ELEMENTI PRINCIPALI DEL DEPOSITO

Per la progettazione di questo deposito, oltre a dover tenere in debito conto la geomorfologia del sito e le caratteristiche geotecniche dei materiali da porre in opera, si è altresì considerata l'opportunità di armonizzare la geometria del terrapieno sia con la configurazione dei luoghi, che con l'esigenza di prevedere un efficace sistema di drenaggio per le acque di ruscellamento superficiale.

Nella sua conformazione definitiva il deposito si presenta come un rilevato compattato che ricalca la forma ad anfiteatro dell'area di sedime, ammorbidendone e regolarizzandone i contorni originariamente molto frastagliati, propri di un panorama selvaggio e degradato.

Il rilevato inizia sul fondo del compluvio principale con un'unghia di valle fondata a circa a quota 151,00 m s.l.m. e con una banchina di testa, posta a quota 170,00 m s.l.m.; si eleva sino ad un ripiano di raccordo collocato a quota 220,00 m s.l.m. tramite una serie di gradoni mistilinei, formati da scarpate interrotte da berme di larghezza non inferiore a dieci metri.

Gli elementi di contorno che caratterizzano il progetto geotecnico del deposito, inteso come rilevato compattato, sono stati:

Fase 1

- scotico del terreno vegetale sull'area di imposta e suo accantonamento provvisorio per il successivo riutilizzo nel rivestimento superficiale del terrapieno;
- costruzione di un'unghia di piede con funzioni di drenaggio e stabilizzazione;
- bonifica per asportazione delle zolle allentate, coltri colluviali e terre in colata che sono state reimpiegate e compattate;
- una serie di trincee drenanti in corrispondenza delle principali linee di impluvio, onde effettuare una sicura stabilizzazione delle fasce nell'immediato intorno delle stesse ed un rapido smaltimento delle acque eventualmente emergenti da qualche sottile strato sabbioso;

Fase 2

- coltivazione del corpo del deposito con stesa di strati al finito di 50 cm per terreni granulari e di 30 cm al finito per terreni coesivi;
- interposizione nel corpo del rilevato di numerosi letti drenanti suborizzontali per la neutralizzazione delle pressioni interstiziali;
- drenaggi di guardia superficiali per la regimazione delle acque di ruscellamento;
- recupero a verde dell'area.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MONITORAGGIO PERMANENTE

Oltre alle indagini eseguite per la progettazione della linea ferroviaria Alta Velocità nella tratta Bologna-Firenze, si è provveduto, per una migliore caratterizzazione del sito, a rilievi geomorfologici di dettaglio e ad una campagna di indagini articolata in terebrazioni meccaniche ed indagini geotecniche, sia in sito che in laboratorio, finalizzate alla parametrizzazione dei terreni in fondazione e dei materiali di riporto.

Più dettagliatamente, sono state effettuate quattro perforazioni a carotaggio continuo, contraddistinte dalle sigle S1, S2, S3 e S4 e quattro sondaggi penetrometrici statici identificati con le sigle CPT1, CPT2, CPT3 e CPT4.

I sondaggi a carotaggio continuo, approfonditi fino a 20 m da piano campagna, hanno individuato un substrato roccioso costituito da marne argillose grigie.

Durante la perforazione non è stata rilevata alcuna falda acquifera.

Si precisa, altresì, che durante tutte le fasi di esecuzione del deposito il Cantiere ha provveduto a monitorare la stabilità dell'opera mediante opportune mire topografiche che non hanno mai segnalato spostamenti significativi.

Nel novembre 2009, ai fini del monitoraggio della stabilità deposito, è stata posta in opera la seguente strumentazione, tuttora attiva:

- N°2 piezometri a tubo aperto, identificati con le sigle PzCIR-A e PzCIR-B, profondi 20 m, ricadenti all'interno dello strato di deposito, al fine di rilevare eventuali presenze di falde acquifere o pressioni interstiziali;
- N°2 inclinometri, contraddistinti dalle sigle CIR-A e CIR-B, profondi rispettivamente 20m e 25 m, per la rilevazione di eventuali movimenti del deposito sia interni ad esso che al contatto con il terreno naturale sottostante.

Si precisa che tale strumentazione è stata posta in opera al termine delle attività di realizzazione del deposito, al fine di ottemperare alle prescrizioni formulate dagli Enti in sede di Conferenza dei Servizi del 2004, relativamente alla richiesta di un monitoraggio permanente del Deposito di che trattasi.

Per una visione d'insieme della strumentazione installata si rimanda all'Allegato 1.

6. MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

I piezometri PzCIR-A e PzCIR-B attualmente funzionanti sono a tubo aperto e, come già indicato, presentano una profondità pari a circa 20m.

Le letture effettuate per i medesimi strumenti hanno fornito i seguenti valori di soggiacenza della falda:

Data lettura	SOGGIACENZA [m]	
	Pz CIR-A	Pz CIR-B
25-01-2010	6.09	10.03
18-03-2010	6.25	10.04
23-06-2010	6.36	10.11
11-11-2010	6.39	10.25

Come noto, all'interno del corpo del deposito sono stati realizzati dei letti drenanti sub-orizzontali con lo scopo di drenare le acque di infiltrazione, evitandone l'accumulo all'interno del deposito stesso.

I valori di soggiacenza misurati sono compatibili con le quote di posa di tali materassi drenanti nei punti in cui questi intercettano i suddetti piezometri; si può pertanto, ragionevolmente, ipotizzare che parte dell'acqua drenata da tali materassi venga scaricata all'interno dei piezometri, in corrispondenza delle finestre presenti lungo i tubi e che dunque, il livello dell'acqua misurato all'interno dei piezometri non fornisca la quota del livello di falda, ma sia indice, invece, della funzionalità dei summenzionati letti drenanti.

In effetti, si evince che i valori di soggiacenza misurati sono sempre indicativamente costanti e non sono condizionati dalla stagionalità, ma coincidono, invece, con la quota di esecuzione del letto drenante.

Il sistema drenante all'impresa prevede un drenaggio di fondazione (o principale) ed una serie di trincee drenanti in corrispondenza degli impluvi secondari che convergono in quella centrale.

Il drenaggio di fondazione, posto lungo l'impluvio principale ha lo scopo di captare le acque eventualmente emergenti dal sottosuolo e di raccogliere i contributi delle trincee minori, a loro volta finalizzate a drenare gli impluvi secondari e locali emergenze d'acqua o zolle di terreno saturo.

La trincea drenante principale in fondazione è stata realizzata con scavo a sezione obbligata, di larghezza non inferiore a m 1,50, di altezza pari a circa 2,00 m e con scarpate 1 su 2,5; essa è stata attrezzata con un tubo in calcestruzzo armato ($\varnothing=600$ mm), forato nella parte mediana superiore ed avvolto in un telo di geotessile; il tubo è stato posato sul fondo dello scavo, previa interposizione di un materasso bentonitico risalente sui fianchi dello scavo; infine la trincea è stata riempita con materiale drenante.

Le trincee drenanti secondarie hanno dimensioni minori (larghezza 0,80 m e altezza 1,5 m) e sono state attrezzate con tubo $\varnothing = 160$ mm in PVC.

I misti granulari utilizzati per il riempimento delle trincee drenanti sono costituiti da ghiaie e sabbie alluvionali, ovvero da pietrisco e graniglia con sabbia provenienti dalla frantumazione di rocce lapidee inalterabili, caratterizzati da una granulometria continua con passante non superiore al 5% a 0.1 mm.

Allo stato attuale si ha evidenza dell'efficienza di drenaggio operata dal dreno di fondo del deposito.

7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

Come già indicato, allo stato attuale risultano funzionanti gli inclinometri CIR-A e CIR-B.

In merito alle letture effettuate per tale strumentazione, si può osservare quanto segue:

- L'inclinometro CIR-B, ubicato in corrispondenza della banca alla quota di circa 170 m s.l.m. in posizione prossima alla viabilità di arroccamento, durante tutte le letture effettuate a partire dal 25/01/2010 non ha mai mostrato alcun movimento significativo.
- L'inclinometro CIR-A, ubicato in corrispondenza della banca a quota 190 m s.l.m. in posizione limitrofa alla viabilità di arroccamento, durante tutte le letture effettuate a partire dal 25/01/2010 non ha mai mostrato alcun movimento significativo.

Dalle letture effettuate non risultano, quindi, movimenti all'interno del corpo del deposito, né al contatto con il terreno in sito.

In Allegato 1 è riportata l'ubicazione della strumentazione attiva

In Allegato 2 sono riportati i grafici e i tabulati delle letture inclinometriche effettuate

8. CONCLUSIONI

Le considerazioni prodotte dall'interpretazione delle misure inclinometriche conducono ad affermare che:

- Dalle letture effettuate non risultano movimenti significativi all'interno del corpo del deposito e neppure al contatto con il terreno in sito.

Alla luce di quanto sopra esposto, si può ritenere che il deposito si trovi in una condizione di sostanziale stabilità e che contribuisca contestualmente anche alla stabilizzazione delle aree limitrofe.

In considerazione del fatto che le operazioni di coltivazione del deposito sono state concluse da diversi anni e che le letture inclinometriche hanno mostrato una condizione di sostanziale quiescenza del versante, si può ritenere conclusa l'attività di monitoraggio.

9. MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DEL DEPOSITO

Vista l'importanza del sistema di drenaggio superficiale e profondo per la salvaguardia della durabilità del deposito, il piano di manutenzione di tale sistema dovrà prevedere una serie di interventi di manutenzione ordinaria.

Si intende come manutenzione ordinaria l'insieme delle azioni manutentive che hanno lo scopo di garantire nel tempo il buon funzionamento di un sistema, senza modificare e/o migliorare le funzioni svolte dal sistema stesso.

Tali interventi di manutenzione consistono essenzialmente nel controllo periodico dell'efficienza delle opere di drenaggio di superficie e profonde, prevedendo idonee operazioni correttive nel caso di rotture o di eventuali ostruzioni e/o intasamenti operate per effetto di materiali solidi di trasporto.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva con le indicazioni e le prescrizioni da seguire per gli interventi di manutenzione ordinaria del corpo del rilevato e delle strutture contigue, nonché le relative tempistiche.

Elementi	Controllo	Frequenza	Evento riscontrato	Prescrizioni
Sistema drenante profondo	Controllo efficienza sistema	Ogni 12 mesi	Intasamento pozzetto di scarico drenaggi di fondazione	Pulizia pozzetto
Sistema drenante superficiale	Ispezione a vista	Ogni 12 mesi	Inefficienza dei sistemi di allontanamento delle acque meteoriche	Ripristino dei sistemi di allontanamento delle acque meteoriche

Oltre alle opere principali del progetto si dovrà provvedere al mantenimento delle essenze arboree ed arbustive che sono state piantumate per la riqualificazione paesaggistica dell'area interessata dalla realizzazione del sito di deposito.

10. CONSIDERAZIONI CIRCA LE VERIFICHE DI STABILITA' DEL DEPOSITO IN CONDIZIONI STATICHE

Nel presente paragrafo sono riportate le verifiche di stabilità riferite al deposito in oggetto, condotte per la sezione di massima altezza.

L'analisi di stabilità è stata condotta in condizioni statiche.

Pur avendo interposto un sistema di drenaggio interno ed in fondo al deposito, a favore di sicurezza, nelle verifiche è stata considerata la presenza di falda in fondazione. Inoltre, stante le caratteristiche calanchive dell'anfiteatro sovrastante il deposito, potenzialmente soggetto a locali distacchi di zolle e/o a colamenti per eccesso di imbibizione, è stato ipotizzato un sovraccarico in sommità pari a 100 kPa, corrispondente ad oltre cinque metri di accumulo di materiale.

10.1. Metodo di calcolo

L'analisi di stabilità dei versanti e degli interventi di stabilizzazione è stata eseguita con il programma PCSTABL7 "Computer Analysis for General Slope Stability Problems", sviluppato dall'Università di Purdue (Indiana) nel 1975 da Ronald A. Siegel (Graduate Instructor), nell'ambito del progetto di ricerca Joint

Highway Research Project della Engineering Experiment Station in cooperazione con la Indiana State Highway Commission. Esso è stato aggiornato nel 1977 da Eva Boutrup, con una serie di opzioni che riguardano sia la modellazione del pendio che l'algoritmo di calcolo.

Il programma è in grado di fornire una soluzione generale ai problemi bidimensionali di stabilità dei pendii, analizzando superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

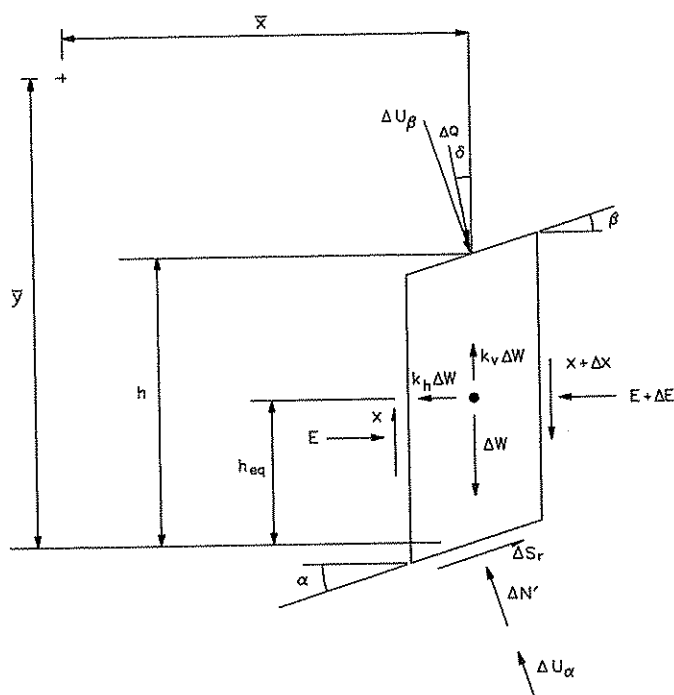
L'approccio utilizzato è del tipo all'equilibrio limite e rappresenta una variante del metodo Bishop. Il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del versante viene condotto ripartendo in conci verticali il corpo di scorrimento potenziale ed assumendo orizzontali le forze di interfaccia tra i conci verticali.

PCSTABL 7 è programmato per tenere conto dei terreni variamente stratificati, della eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse dalle idrostatiche e di sollecitazioni sismiche con il metodo pseudostatico.

10.1.1. Descrizione dell'algoritmo

Le forze agenti sul generico concio sono rappresentate nella Figura A. La geometria di ciascun concio è descritta dalla sua altezza h misurata lungo la verticale baricentrica, dalla sua larghezza x , e dall'inclinazione del segmento di base e di quello di sommità, rispettivamente α e β .

Figura A - FORZE CONSIDERATE NEL MODELLO DI CALCOLO



L'equilibrio di tutte le forze attorno ad un arbitrario punto 0 viene espresso dalla seguente equazione:

$$\sum_1^n [(\Delta N' + \Delta U_\alpha)(\bar{y} \sin \alpha - \bar{x} \cos \alpha) + \Delta U_\beta (\bar{x} \cos \beta - \bar{a} \sin \beta) + \Delta Q (\bar{x} \cos \delta - \bar{a} \sin \delta) + \Delta W (1 - k_v) \bar{x} + k_h \Delta W (\bar{y} - h_{eq}) - \Delta S r (\bar{x} \sin \alpha + \bar{y} \cos \alpha)] = 0 \quad [1]$$

dove:

ΔU_α e ΔU sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;

ΔQ è la risultante di un sovraccarico uniformemente distribuito sulla superficie del pendio;

δ ne misura l'angolo di incidenza;

k_v e k_h sono i coefficienti sismici verticali ed orizzontali relativi al peso del concio;

h_{eq} è la distanza tra la base di ciascun concio e la componente orizzontale dell'azione sismica;

\bar{a} $\bar{y} - h$

L'equilibrio delle forze verticali applicate al concio è espresso da:

$$(\Delta N' + \Delta U_\alpha) \bar{x} \cos \alpha + \Delta S r \sin \alpha + \Delta X - \Delta W (1 - k_v) - \Delta U_\beta \cos \beta - \Delta Q \cos \delta = 0 \quad [2]$$

Si sostituisce nella [1] e [2]:

$$\Delta S r = \frac{\Delta C' \alpha + \Delta N' \tan \phi'_\alpha}{F}$$

dove:

$\Delta N'$ sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;

$\Delta C'_\alpha$ e ϕ'_α sono rispettivamente la coesione e l'angolo di attrito caratteristici del materiale, disponibili alla base del concio.

Risolvendo l'equazione [2] rispetto a $\Delta N'$ e sostituendo l'espressione risultante nella [1] si ottiene, dopo alcuni passaggi, la seguente equazione contenente n+1 incognite, F ed i valori ΔX

dove:

$$\sum_1^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = \sum_1^n y \Delta X \left(\frac{\tan \alpha - \tan \frac{\phi'_\alpha}{F}}{1 + \tan \alpha \tan \frac{\phi'_\alpha}{F}} - \frac{\bar{x}}{\bar{y}} \right) \quad [3]$$

dove:

$$\begin{aligned}
 A_1 & \frac{\Delta C_\alpha}{\cos \alpha} + \tan \phi'_a \left[\Delta W \left(1 - k_v - k_h \left(1 - \frac{h_e}{y} \right) \tan \alpha \right) - \frac{\Delta U_\alpha}{\cos \alpha} + \Delta U_\beta \left(\cos \beta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \right. \\
 & \left. \Delta Q \left(\cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \Delta Q \left(\cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \delta \right) \right] \\
 A_2 & \Delta W \left[\left(1 - k_v \right) \tan \alpha + k_h \left(1 - \frac{h_e}{y} \right) \right] + \Delta U_\beta \left(\tan \alpha \cos \beta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \beta \right) + \Delta Q \left(\tan \alpha \cos \delta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \delta \right) \\
 A_3 & \tan \alpha \tan \phi'_a
 \end{aligned} \quad [4]$$

Facendo uso dell'ipotesi semplificativa di Bishop:

$$\Delta X = 0$$

l'espressione [3] diventa:

$$\sum_i^n \bar{y} \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [5]$$

Allorché la coordinata \bar{y} del polo rispetto al quale si opera l'equilibrio alla rotazione tende all'infinito, la differenza tra i singoli valori di \bar{y} di ogni concio diviene trascurabile ed \bar{y} può essere considerato uguale per tutti i conci e quindi la [5] diventa:

$$\sum_i^n \bar{y} \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [6]$$

dove l'espressione dei coefficienti A1 e A2 è semplificata rispetto alla [4].

L'equazione [6] costituisce l'algoritmo del programma di calcolo STABL, nella versione sviluppata nel 1975 da R.Siegel, che si può definire come metodo di Janbu semplificato.

Essa viene utilizzata nei casi in cui si esaminino superfici di scorrimento di forma irregolare o a cuneo.

Se, per una superficie di forma circolare, consideriamo il momento attorno al centro del cerchio, $\bar{y} = r \cos \alpha$, l'equazione [5] diventa:

$$\sum r \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

oppure, poiché $r = \text{costante}$

$$\sum \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [7]$$

dove $A1$, $A2$ ed $A3$ sono espressi nella [4].

L'equazione [7] è l'algoritmo di calcolo del coefficiente di sicurezza secondo il metodo di Bishop semplificato che è presentato nella versione 1977 del programma STABL.

Esso viene adottato per le superfici di scorrimento di forma circolare.

10.1.1.1 Ricerca delle superfici di scorrimento

Il programma PC STABL7 esamina superfici di scorrimento di forma qualsiasi, con numerose opzioni per l'individuazione di quella critica.

Invero un algoritmo di generazione può ricercare in modo automatico un numero richiesto di superfici con caratteristiche predeterminate o, in alternativa, consente l'esame di una prefissata superficie singola.

Nel caso di superfici circolari il programma prevede che si assegnino gli intervalli di inizio e di termine dei cerchi ed esplora la fascia da essi individuata, generando un numero prefissato di superfici di tentativo.

Il presente studio è stato svolto utilizzando sia superfici circolari che superfici cuneiformi.

Per quanto riguarda le superfici circolari ogni condizione è stata esaminata mediante cento superfici rappresentando graficamente le dieci più critiche.

10.2. Stabilità del terrapieno

Il rilevato finale è stato verificato sulla sezione di massima altezza di progetto pari a 240 m. Si precisa che, in realtà, il deposito è stato realizzato allocando materiale fino a quota 220 m s.l.m., anziché a quota 240 m s.l.m.. Pertanto le verifiche di stabilità sono state condotte in condizioni maggiormente cautelative.

Per l'analisi si sono adottati i seguenti parametri geotecnici, desunti dal progetto costruttivo.

Nome strato	Descrizione	γ [t/m ³]	attrito effettivo ϕ' [°]	coesione effettiva c' [kPa]
substrat	Substrato di fondazione	1,90	45	10
cappell	Cappellaccio	1,90	28	6
coltre02	Argille grigie-marroni	1,90	23	13
coltre01	Argille marroni	1,90	19	17
unghia	Unghia al piede	1,80	35	0
rilevato	Materiali compattati	1,80	20	10

10.3 Risultati dell'analisi in condizioni statiche

E' stata effettuata una analisi di stabilità globale del versante i cui tabulati (files di output del software di calcolo) sono raccolti in Allegato 3.

Il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a $F_s=1,66$, maggiore di $F_s=1,3$ richiesto dalla normativa vigente.

Tale valore è stato ottenuto sotto l'ipotesi, estremamente cautelativa, che prevede la presenza di falda all'interno del terrapieno, condizione richiesta dagli EE.LL nel corso degli incontri tenutisi a valle della Conferenza dei Servizi del 6 aprile 2004.

La severità delle ipotesi assunte e la vastità delle verifiche eseguite con i relativi risultati consentono di concludere favorevolmente riguardo alla stabilità dell'opera nella configurazione finale e nelle diverse fasi di realizzazione.

Si può, pertanto, concludere che i risultati ottenuti forniscano una sostanziale garanzia della stabilità dell'area interessata dal deposito in oggetto.

Inoltre, anche il monitoraggio eseguito nel corso degli anni fino al 2010, ha confermato la sostanziale quiescenza dell'area in esame.

11. CONSIDERAZIONI CIRCA LE VERIFICHE DI STABILITA' DEL DEPOSITO IN CONDIZIONI SISMICHE



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
A102	11	CF1-RO-DP09-0-0-007	A	18 di 226

Nel presente documento si riportano le verifiche di stabilità relative al deposito di smarino condotte in condizioni sismiche. Tale analisi è stata condotta assumendo la quota di sommità a 220 m s.l.m., ovvero come realmente eseguito, in luogo di 240 m s.l.m. previsti originariamente in progetto.

Le verifiche sono state eseguite secondo il D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. In Allegato 4 sono riportati i grafici ed i tabulati delle verifiche condotte in condizioni sismiche.

La classificazione sismica attribuisce all'intero territorio nazionale valori differenti del grado di sismicità da prendere in considerazione nella progettazione delle opere.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata anche l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio VS ovvero sul numero medio di colpi NSPT ovvero sulla coesione non drenata media cu.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media NSPT > 50, o coesione non drenata media cu > 250 kPa).

C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s (15 < NSPT < 50, 70 < cu < 250 kPa).

D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs30 < 180 m/s (NSPT < 15, cu < 70 kPa).

E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800 m/s.

Il suolo di fondazione appartiene alla categoria C.

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio italiano è suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella.

Zona	Valore di a_g
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso, i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

L'area in studio si sviluppa interamente nell'ambito del territorio del Comune di Pianoro (Provincia di Bologna) che, secondo l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", è classificato in zona 3.

11.2 Calcolo dell'azione sismica di progetto

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

A102

11

CF1-RO-DP09-0-0-007

A

20 di 226

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso;
- **Vita nominale dell'opera V_N :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R come:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove C_U è il coefficiente d'uso);

- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} :** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

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

Vita nominale V_N : ≥ 50 anni: opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

Coefficiente d'uso C_U : 1.0 relativo alla classe d'uso II.

Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50$ anni

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*_c e del periodo di ritorno

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (sec)
SLE	SL O	81%	30	0.057	2.476	0.259
	SLD	63%	50	0.072	2.460	0.270
SLU	SLV	10%	475	0.170	2.452	0.296
	SLC	5%	975	0.212	2.474	0.309

Dove:

SLE = stati limite di esercizio

SLO = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

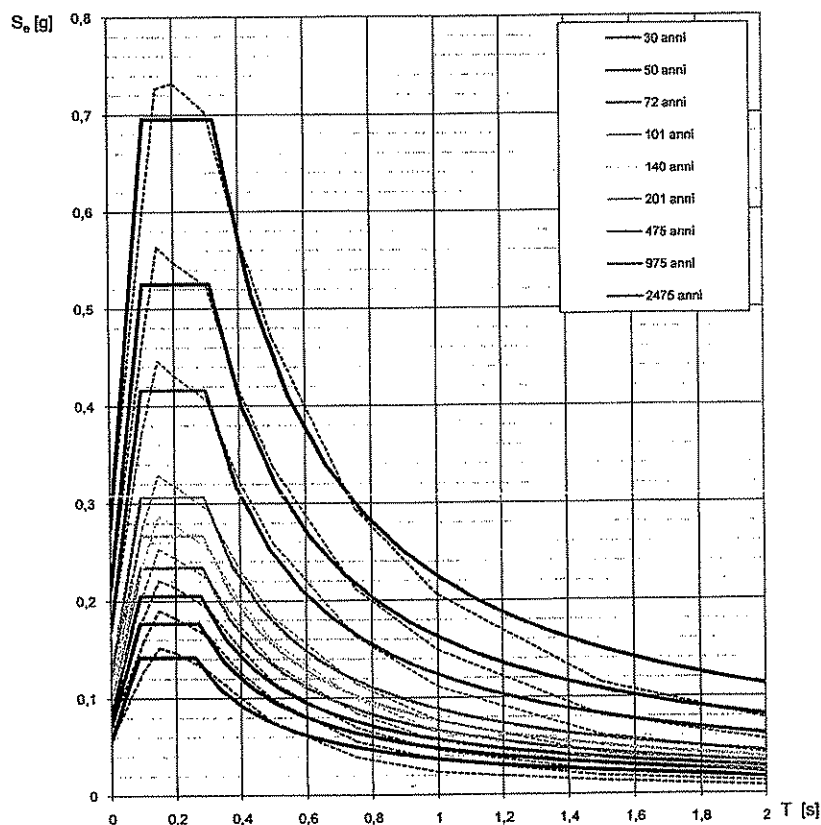
SLD = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU = stati limite ultimi

SLV = stato limite di salvaguardia della vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei 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.

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
 Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.



Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO – NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO

A102

LOTTO

11

CODIFICA DOCUMENTO

CF1-RO-DP09-0-0-007

REV.

A

FOGLIO

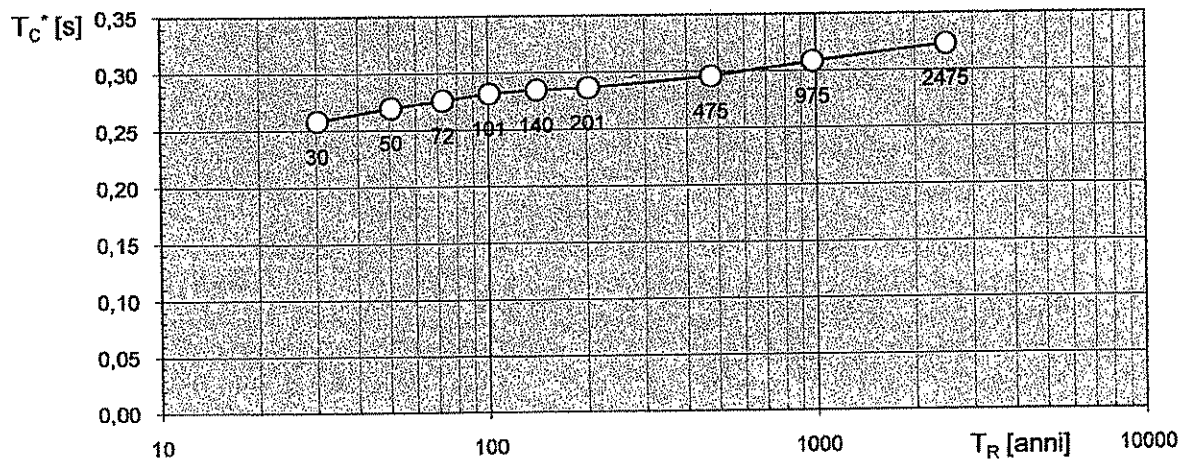
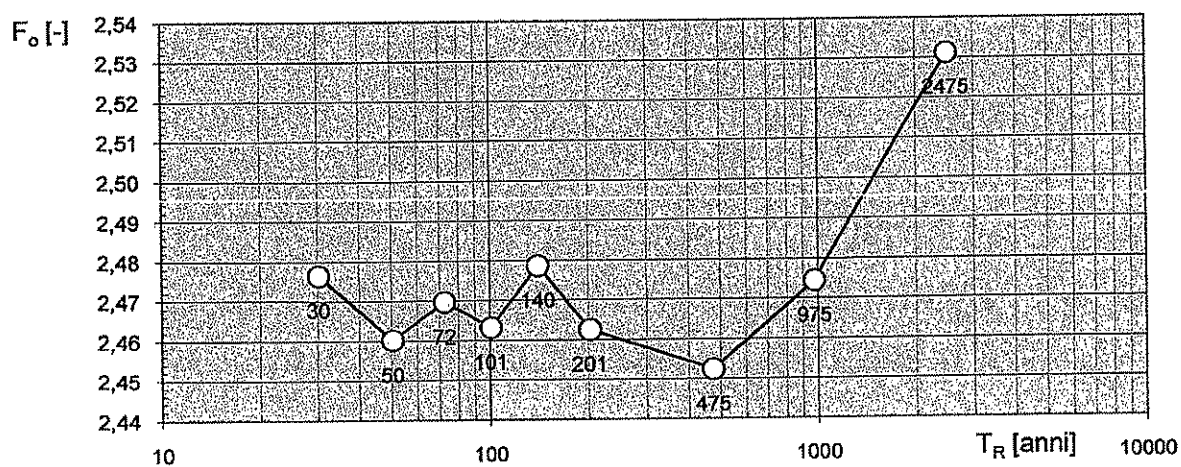
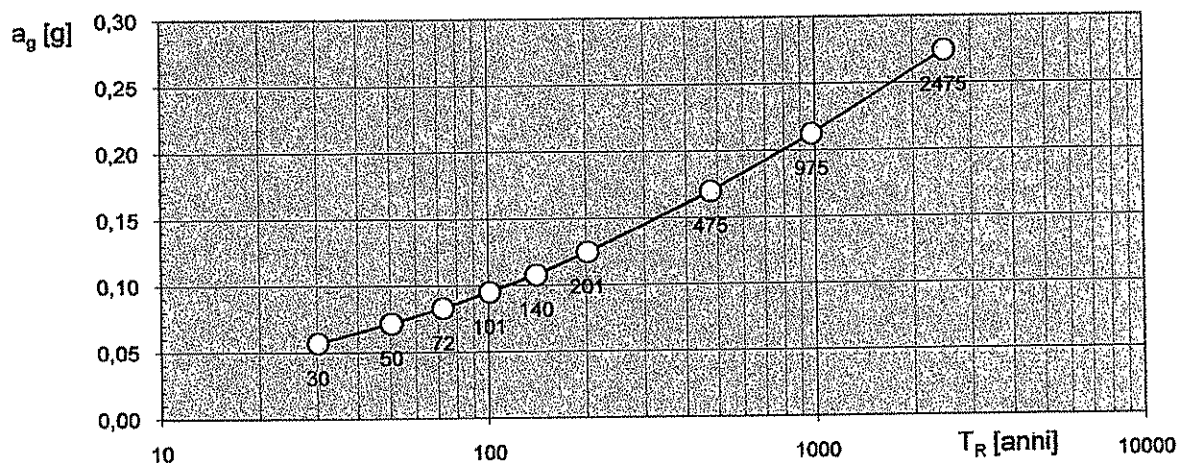
23 DI 226

Valori dei parametri a_g , F_0 , T^*_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T^*_C (sec)
30	0.057	2.47 7	0.259
50	0.072	2.46 0	0.270
72	0.083	2.47 0	0.276
101	0.095	2.46 3	0.282
140	0.108	2.47 9	0.285
201	0.125	2.46 3	0.287
475	0.170	2.45 2	0.296
975	0.212	2.47 4	0.309
2475	0.275	2.53 1	0.323

(Latitudine: 44,41553 – Longitudine: 11,36038)

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R





Concessionaria: T.A.V. S.p.A.
Alta sorveglianza: ITALFERR S.p.A.
Linea: MILANO - NAPOLI
Tratta: BOLOGNA - FIRENZE

PROGETTO

A102

LOTTO

11

CODIFICA DOCUMENTO

CF1-RO-DP09-0-0-007

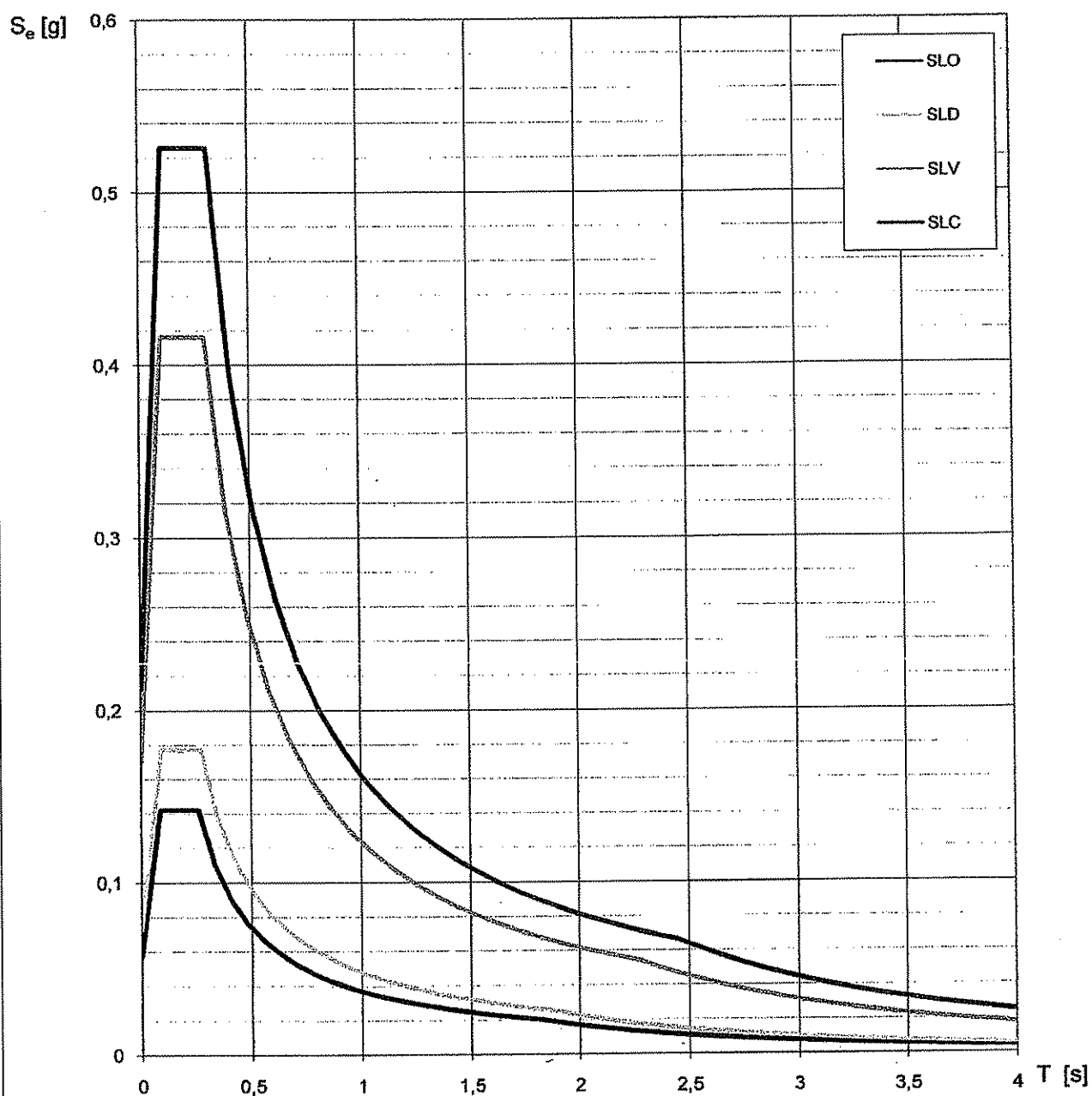
REV.

A

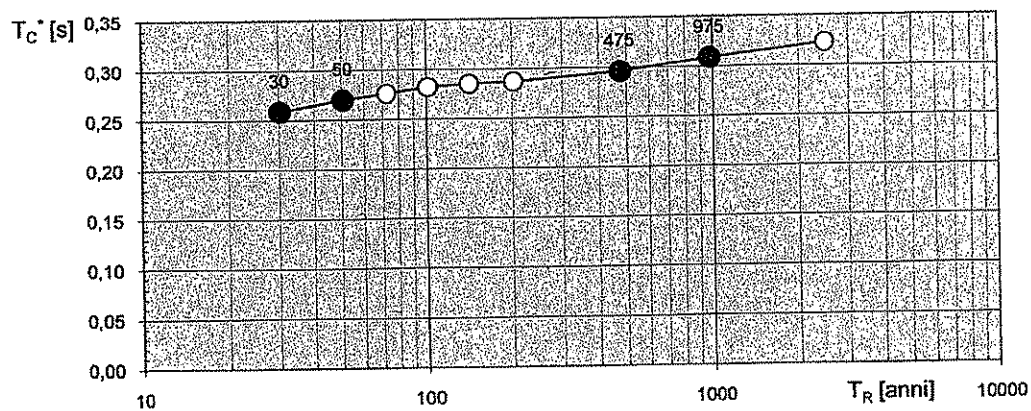
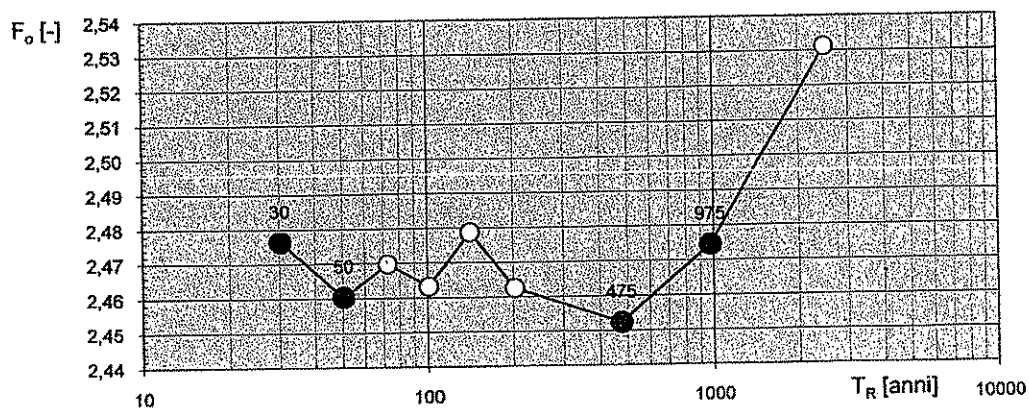
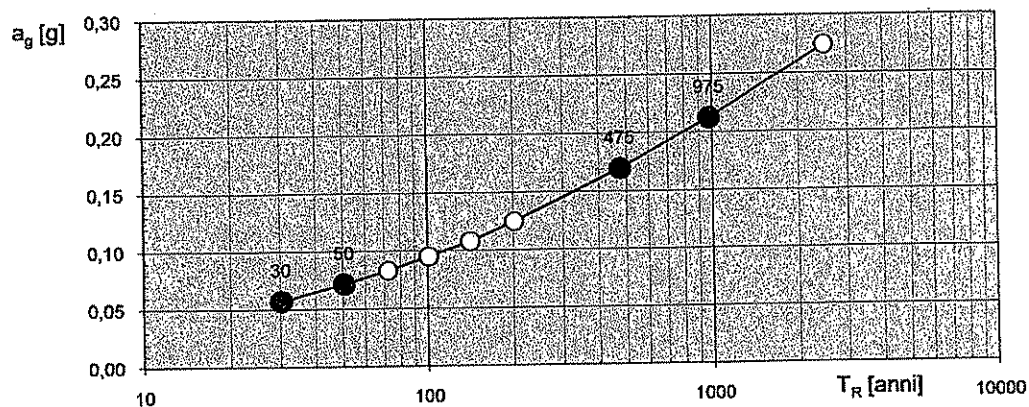
FOGLIO

25 DI 226

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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



Stati limite		P _{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _c (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.057	2.476	0.259
	SLD	63%	50	0.072	2.460	0.270
SLU	SLV	10%	475	0.170	2.452	0.296
	SLC	5%	975	0.212	2.474	0.309

11.3 Verifiche di stabilità in condizioni sismiche

Secondo quanto riportato dal D.M. 14 gennaio 2008 deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d$$

Dove

- E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
- R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

Le verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle seguenti.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F o (γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Dove:

- γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua
- γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali
- γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Coefficiente	R2
γ_R	1,1

Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

11.4 Metodo di calcolo

Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando il programma PC STABL7 "Computer Analysis for General Slope Stability Problems", sviluppato nella Università di Purdue (Indiana) nel 1975 da Ronald A. Siegel (Graduate Instructor), nell'ambito del progetto di ricerca Joint Highway Research Project della Engineering Experiment Station in cooperazione con la Indiana State Highway Commission.

Esso è stato successivamente aggiornato con una serie di opzioni che riguardano sia la modellazione del pendio sia l'algoritmo di calcolo nell'ambito degli studi inerenti la stabilità dei pendii.

Il programma è in grado di fornire una soluzione generale ai problemi bidimensionali di stabilità dei pendii, analizzando superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

L'approccio utilizzato è del tipo all'equilibrio limite e rappresenta una variante del metodo Bishop. Il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del versante viene condotto ripartendo in conci verticali il corpo di scorrimento potenziale ed assumendo orizzontali le forze di interfaccia tra i conci verticali.

PCSTABL7 è programmato per tener conto dei terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse dalle idrostatiche e di sollecitazioni sismiche con il metodo pseudostatico.

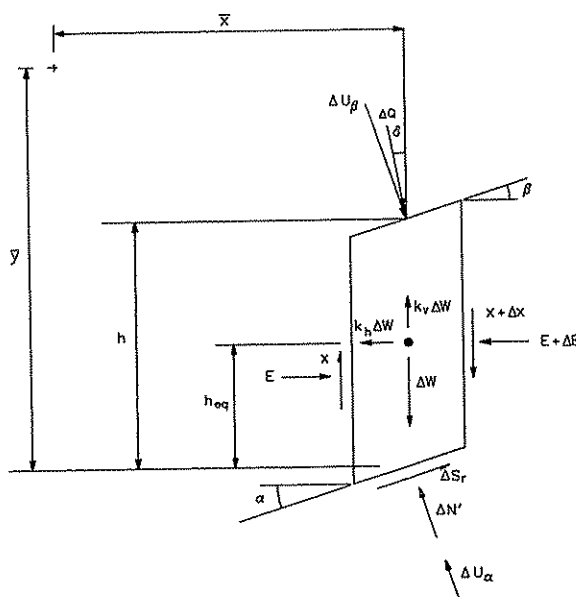
Quest'ultimo rappresenta gli effetti del sisma con una forza di inerzia orizzontale pari al prodotto del peso del terreno individuato dalla superficie di scorrimento considerata per il coefficiente di intensità sismica.

11.4.1 Descrizione dell'algoritmo

Le forze agenti sul generico concio sono rappresentate nella Fig. A. La geometria di ciascun concio è descritta dalla sua altezza h misurata lungo la verticale baricentrica, dalla sua larghezza x , e dall'inclinazione del segmento di base e di quello di sommità, rispettivamente α e β .

Fig. A

FORZE CONSIDERATE NEL MODELLO DI CALCOLO



L'equilibrio di tutte le forze attorno ad un arbitrario punto 0 viene espresso dalla seguente equazione:

$$\sum_1^n [(\Delta N' + \Delta U_\alpha)(\bar{y} \sin \alpha - \bar{x} \cos \alpha) + \Delta U_\beta (\bar{x} \cos \beta - a \sin \beta) + \Delta Q (\bar{x} \cos \delta - \bar{a} \sin \delta) + \Delta W(1 - k_v)\bar{x} + k_h \Delta W(\bar{y} - h_{eq}) - \Delta Sr(\bar{x} \sin \alpha + \bar{y} \cos \alpha)] = 0 \quad [1]$$

dove:

ΔU_α e ΔU_β	sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;
ΔQ	è la risultante di un sovraccarico uniformemente distribuito sulla superficie del pendio;
δ	ne misura l'angolo di incidenza;
k_v e k_h	sono i coefficienti sismici verticali ed orizzontali relativi al peso del concio;
h_{eq}	è la distanza tra la base di ciascun concio e la componente orizzontale dell'azione sismica;
\bar{a}	$\bar{y} - h$

L'equilibrio delle forze verticali applicate al concio è espresso da

$$(\Delta N' + \Delta U_\alpha) \bar{x} \cos \alpha + \Delta Sr \sin \alpha + \Delta X - \Delta W(1 - k_v) - \Delta U_\beta \cos \beta - \Delta Q \cos \delta = 0 \quad [2]$$

Si sostituisce nella [1] e [2]:

$$\Delta Sr = \frac{\Delta C'_\alpha + \Delta N' \tan \phi'_\alpha}{F}$$

dove:

$\Delta N'$	sono le spinte idrostatiche alla base ed alla sommità di ciascun concio;
$\Delta C'_\alpha$ e ϕ'_α	sono rispettivamente la coesione e l'angolo di attrito caratteristici del materiale, disponibili alla base del concio.

Risolvendo l'equazione [2] rispetto a $\Delta N'$ e sostituendo l'espressione risultante nella [1] si ottiene, dopo alcuni passaggi, la seguente equazione contenente n+1 incognite, F ed i valori ΔX

dove:

$$\sum_i^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = \sum_i^n y \Delta X \left(\frac{\tan \alpha - \tan \frac{\phi'_a}{F}}{1 + \tan \alpha \tan \frac{\phi'_a}{F}} - \frac{\bar{x}}{y} \right) \quad [3]$$

dove:

$$\begin{aligned} 1 \quad A \quad & \frac{\Delta C_\alpha}{\cos \alpha} + \tan \phi'_a \left[\Delta W \left(1 - k_v - k_h \left(1 - \frac{h_e}{y} \right) \tan \alpha \right) - \frac{\Delta U_\alpha}{\cos \alpha} + \Delta U_\beta \left(\cos \beta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \right. \\ & \left. \Delta Q \left(\cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \beta \right) + \Delta Q \left(\cos \delta + \frac{\bar{a}}{y} \tan \alpha \sin \delta \right) \right] \\ 2 \quad A \quad & \Delta W \left[\left(1 - k_v \right) \tan \alpha + k_h \left(1 - \frac{h_e}{y} \right) \right] + \Delta U_\beta \left(\tan \alpha \cos \beta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \beta \right) + \Delta Q \left(\tan \alpha \cos \delta - \frac{\bar{a}}{y} \sin \delta \right) \\ A3 \quad & \tan \alpha \tan \phi'_a \end{aligned} \quad [4]$$

Facendo uso dell'ipotesi semplificativa di Bishop

$$\Delta X = 0$$

l'espressione [3] diventa

$$\sum_i^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [5]$$

Allorché la coordinata \bar{y} del polo rispetto al quale si opera l'equilibrio alla rotazione tende all'infinito, la differenza tra i singoli valori di ogni concio diviene trascurabile e \bar{y} può essere considerato uguale per tutti i conci e quindi la [5] diventa:

$$\sum_i^n y \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [6]$$

dove l'espressione dei coefficienti A1 e A2 è semplificata rispetto alla [4].

L'equazione [6] costituisce l'algoritmo del programma di calcolo STABL, nella versione sviluppata nel 1975 da R.Siegel, che si può definire come metodo di Janbu semplificato.

Essa viene utilizzata nei casi in cui si esaminino superfici di scorrimento di forma irregolare o a cuneo.

Se, per una superficie di forma circolare, consideriamo il momento attorno al centro del cerchio, $\bar{y} = r \cos \alpha$, l'equazione [5] diventa

$$\sum r \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0$$

oppure, poiché $r = \text{costante}$

$$\sum \cos \alpha \frac{A1 - F A2}{F + A3} = 0 \quad [7]$$

dove $A1$, $A2$ ed $A3$ sono espressi nella [4].

L'equazione [7] è l'algoritmo di calcolo del coefficiente di sicurezza secondo il metodo di Bishop semplificato.

Esso viene adottato per le superfici di scorrimento di forma circolare.

11.4.1.1 Ricerca delle superfici di scorrimento

Il programma esamina superfici di scorrimento di forma qualsiasi, con numerose opzioni per l'individuazione di quella critica.

Invero un algoritmo di generazione può ricercare in modo automatico un numero richiesto di superfici con caratteristiche predeterminate o, in alternativa, consente l'esame di una prefissata superficie singola.

Nel caso attuale lo studio è stato svolto utilizzando superfici circolari, rappresentando graficamente le dieci più critiche.

Il programma prevede che si assegnino gli intervalli di inizio e di termine dei cerchi ed esplora la fascia da essi individuata, generando un numero prefissato di superfici di tentativo.

11.5 Stabilità del terrapieno

Di seguito si riportano i parametri geotecnici utilizzati per le verifiche.

Denominazione	Parametri di progetto			Parametri fattorizzati (A2+M2)		
	γ (t/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)	γ (kN/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)
Substrato di fondazione	1.9	45	10	1.9	39	8
Cappellaccio	1.9	28	6	1.9	23	5
Argille grigie-marroni	1.9	23	13	1.9	19	10
Argille marroni	1.9	19	17	1.9	15	14
Unghia al piede	1.8	35	0	1.8	29	0
Materiali compattati	1.8	20	10	1.8	16	8

dove:

γ = peso di volume
 c' = coesione efficace
 c_u = coesione non drenata
 φ' = angolo d'attrito efficace

Stante le caratteristiche calanchive dell'anfiteatro sovrastante il deposito, potenzialmente soggetto a locali distacchi di zolle e/o a colamenti per eccesso di imbibizione, è stato ipotizzato un sovraccarico in sommità pari a 100 kPa, corrispondente ad oltre cinque metri di accumulo di materiale.

Inoltre si è considerata la presenza di falda in fondazione ed all'interno del terrapieno, condizione richiesta dagli EE.LL nel corso degli incontri tenutisi a valle della Conferenza dei Servizi del 6 aprile 2004.

Le verifiche sono state effettuate in condizioni sismiche considerando un coefficiente sismico orizzontale k_h pari a 0.02 ed un coefficiente sismico verticale k_v pari a 0.01 nel rispetto del D.M. 14 gennaio 2008.

Tali coefficienti sono stati calcolati utilizzando le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \times \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove

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

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

g = accelerazione di gravità

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \times a_g = S_s \times S_T \times a_g$$

dove

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

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

Categoria sottosuolo	S_s
A	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \times F_o \times \frac{a_g}{g} \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_o \times \frac{a_g}{g} \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \times F_o \times \frac{a_g}{g} \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \times F_o \times \frac{a_g}{g} \leq 1.60$

- Il suolo è di tipo **C**
- Le coordinate del luogo di intervento sono:

Latitudine: 44°41'55.30" N

Longitudine: 11°36'03.80" E

- Considerando:
 - ✓ stato limite di esercizio SLO
 - ✓ classe d'uso II
 - ✓ vita nominale 50 anni

si ha:

$$F_o = 2.476$$

da cui

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_o \times \frac{a_g}{g} \leq 1.50$$

$$S_s = 1.7 - 0.60 \times 2.476 \times 0.058 = 1.61 \Rightarrow \text{si assume}$$

$$S_s = 1.5$$

Categoria topografica	S_T
T1	1.0
T2	1.2
T3	1.2
T4	1.4

La categoria topografica è la T2 quindi

$$S_T = 1.2$$

I valori di β_s sono riportati nella tabella seguente:

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

L'accelerazione massima a_{\max} risulta quindi uguale a:

$$a_{\max} = S_s \times S_T \times a_g = 1.5 \times 1.2 \times 0.057g = 0.1g$$

da cui si può ricavare il coefficiente sismico orizzontale k_h

$$k_h = \beta_s \times \frac{a_{\max}}{g} = 0.20 \times \frac{0.1g}{g} = 0.02$$

ed il coefficiente sismico verticale k_v

$$k_v = \pm 0.5k_h = 0.5 \times 0.02 = 0.01$$

11.6 Risultati dell'analisi in condizioni sismiche

E' stata verificata la sezione di progetto più sfavorevole con quota di testa del deposito a 220.00 m s.l.m. analizzando la condizione di presenza di acqua in fondazione ed all'interno del terrapieno.

Il valore di progetto dell'azione E_d è stato posto = 1.

Il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (R_d) è dato da:

$$F_{s \text{ calc}} / \gamma_R$$

Per le condizioni analizzate è risultato:

acqua in fondazione – stabilità globale:

$$R_d = 1.619/1.1 = 1.472 \geq 1 \Rightarrow E_d \leq R_d \text{ la condizione è verificata}$$

acqua in fondazione – stabilità parziale:

$$R_d = 1.644/1.1 = 1.494 \geq 1 \Rightarrow E_d \leq R_d \text{ la condizione è verificata}$$

acqua nel deposito – stabilità globale:

$$R_d = 1.206/1.1 = 1.096 \geq 1 \Rightarrow E_d \leq R_d \text{ la condizione è verificata}$$

acqua nel deposito – stabilità parziale:

$$R_d = 1.378/1.1 = 1.253 \geq 1 \Rightarrow E_d \leq R_d \text{ la condizione è verificata}$$

	Committente	Oggetto del servizio
	GE.R.IN.	DISCARICA PER INERTI "CA' CIRENAICA" CON FINALITA' DI RECUPERO GEOMORFOLOGICO - COMUNE DI PIANORO (BO) RELAZIONE SULLA STABILITA' GEOTECNICA DELL'ABBANCAMENTO

ALLEGATO 2 – TERRENI ABBANCAMENTO DI PROGETTO "010599": NODO FI
 RELAZIONE TECNICA GALLERIE NATURALI – PROTOCOLLO DI CARATTERIZZAZIONE

COMMITTENTE:



0392

ALTA SORVEGLIANZA:



CONTRAENTE GENERALE

nodavia

PROGETTO ESECUTIVO DI 1° LIVELLO
LINEA FERROVIARIA MILANO-NAPOLI
NODO DI FIRENZE - PENETRAZIONE URBANA LINEA A.V.
PASSANTE A.V.
Lotto 2

 ELABORATO: **GALLERIE NATURALI**
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE

ITALFERR		CONTRAENTE GENERALE		DIREZIONE LAVORI	Data
Vidimato	Data	NODAVIA SOC. CONS. PER AZIONI OGGETTO: DIREZIONE TECNICA VIA SAN BIAGIO, 75 42024 CASTELNOVO DI SOTTO (RE) C.F. e P. IVA 0220990351 TEL. 0522/961111			
PE_ITALFERR					

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA
F E W 1	4 0	E	Z Z	R G	G N 0 0 0 0	0 0 1	C	-

PROGETTAZIONE CONTRAENTE GENERALE:

 Aspetti generali: AMBIENTE - DURAZZANI - GECECO Progetti
 Strutture - Architettura: SWS Engineering - Studio MAJOWIECKI - OPEN PROJECT - Studio LEMBO FAZIO - ECI Eco Consulting Ingegneria
 Implantistica: ANSALDO - BETA PROGETTI - T.e T.I. - TESIFER

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizz./Data
A	Emissione	Ing. Oss	21/02/2008	Ing. Cucino	22/02/2008	Ing. Lanzafame	25/02/2008	Ing. Fuoco Ordine degli Ingegneri della Prov. di Trento Albo N° 297 SECONDO FUOCO
B	Revisione per CdL 409 del 08/05/09	Ing. Oss	22/06/09	Ing. Cucino	24/06/09	Ing. Lanzafame	26/06/09	
C								

File: FEW1_40_E_ZZ_RG_GN0000_001_B.doc

Codifica GC:

n. Elab.:

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – Lotto 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
1.1	GENERALITÀ	3
1.2	TERMINI DI RISPONDEZZA DEL P.E. AL P.D.	3
1.3	BREVE INQUADRAMENTO DELL'OPERA	4
2.	STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO.....	8
3.	TRACCIATO DELLE GALLERIE	11
4.	GALLERIE A SEMPLICE BINARIO ESEGUITE CON METODO MECCANIZZATO	12
4.1	SEZIONE TIPO A DOPPIA CANNA	12
4.2	SCELTA DEL METODO DI SCAVO	13
4.3	ANALISI DEGLI EFFETTI DEI CEDIMENTI SULLE OPERE IN SUPERFICIE	15
4.4	INTERVENTI DI SALVAGUARDIA	18
4.5	COMPENSATION GROUTING PER GLI EDIFICI 165,166 E I BASTIONI DELLA FORTEZZA DA BASSO 19	
4.6	INTERVENTO DI SOTTOFONDAZIONE SPALLA DEL PONTE AL PINO.....	20
4.7	CONSOLIDAMENTO PER LO SBOCCO A RIFREDI	21
4.8	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	21
4.9	MONITORAGGIO INTERNO	21
4.10	MONITORAGGIO ESTERNO.....	22
4.11	CUNICOLI DI COLLEGAMENTO.....	22
5.	GALLERIE A DOPPIO BINARIO DI PRECEDENZA	24
5.1	SEZIONE TIPO	24
5.2	SCELTA DEL METODO DI SCAVO E CONSOLIDAMENTO	25
5.3	POZZO COSTRUTTIVO NORD.....	25
5.4	FASI ESECUTIVE	26
6.	OPERE ACCESSORIE.....	28
6.1	POZZO D'AGGOTTAMENTO.....	28
6.2	POZZI DI VENTILAZIONE SUD	28

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

1. INTRODUZIONE

1.1 Generalità

La presente relazione sintetizza tutti gli aspetti caratterizzanti questa fase di Progettazione Esecutiva della Penetrazione Urbana del Passante Ferroviario A.V. a Firenze.

L'obiettivo è quello di fornire un quadro sintetico delle soluzioni di progetto adottate per le opere civili, nonché inquadrare gli aspetti connessi alla sicurezza ed all'impatto generato dall'intervento sull'ambiente circostante.

La relazione, oltre ad accertare la rispondenza al Progetto Definitivo, che ha già superato l'iter approvativo presso gli enti di riferimento, fornisce gli elementi necessari per dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità cui è preposta l'opera stessa descrivendone tutte le scelte sviluppate.

1.2 Termini di rispondenza del P.E. al P.D.

Il Progetto Esecutivo è stato sviluppato in pieno accordo con le indicazioni contenute nel Progetto Definitivo e ne è un suo naturale sviluppo.

Il P.E. mantiene e sviluppa le soluzioni ed i concetti di base su cui è stato sviluppato il P.D..

Le modeste variazioni apportate riguardano solamente adattamenti tecnici derivanti dal naturale approfondimento dei dati nonché dall'approfondimento delle analisi di dettaglio. Alcune variazioni sono altresì connesse puramente ad aspetti costruttivi e di organizzazione del cantiere.

Più in particolare, come meglio esposto nel seguito, il P.E. è stato sviluppato ripercorrendo il seguente schema concettuale:

Geologia:

Sono stati integrati gli studi relativi alle zone geologicamente più incerte ed interessate da opere specifiche e specialistiche che necessitano di indagini puntuali sia in sito che in laboratorio. Queste indagini hanno permesso di dimensionare nel dettaglio aspetti specifici e puntuali di particolare interesse.

Caratteristiche del sistema, Tracciato e Sezioni tipo:

Non è stata apportata alcuna modifica/variazione sostanziale al sistema previsto in P.D. in termini di sistema ferroviario riproponendo una galleria a doppia con cunicoli trasversali di collegamento.

Il tracciato della linea ripercorre esattamente quanto previsto in P.D. apportando minimi adattamenti per l'adeguamento della linea agli standard previsti.

Le sezioni tipo della galleria sono rimaste pressoché analoghe a quelle previste in P.D.

Aerodinamica e sicurezza

I concetti base inerenti l'aerodinamica e la sicurezza assunti per lo sviluppo della progettazione esecutiva sono analoghi a quelli previsti in sede di P.D. apportando opportuni adattamenti al concetto di sicurezza in galleria al fine di rendere il progetto sviluppato in P.E. rispondente al sopravvenuto decreto ministeriale del 28 ottobre 2005 riferito all "Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie".

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

Aspetti costruttivi

Le linee generali degli aspetti costruttivi sono stati mantenuti invariati rispetto al P.D. sia in termini di modalità di scavo (utilizzo di sistema meccanizzato a pressione di fango), sia per quanto riguarda tempistiche.

Anche per quanto riguarda le problematiche inerenti lo smarino del materiale di scavo sono stati mantenuti i concetti sviluppati a base di P.D. privilegiando il trasporto su ferro dei materiali evacuati ed approvvigionati.

Aspetti ambientali

Il P.D. prevedeva un concetto generale di compatibilità ambientale che è stato sostanzialmente mantenuto e sviluppato.

1.3 Breve inquadramento dell'opera

Quanto vi descritto riguarda il Progetto Esecutivo delle gallerie naturali previste per il passante ferroviario nella città di Firenze della linea Alta Velocità Milano-Napoli.

Il passante AV prevede la costruzione di una coppia di nuovi binari che si svilupperanno in galleria nel tratto urbano compreso tra le attuali stazioni di Firenze Campo di Marte e di Firenze Rifredi lungo il quale è anche prevista la nuova stazione AV in sotterraneo.

Le gallerie naturali, oggetto della presente relazione, si estendono con continuità per una lunghezza complessiva di circa 5000 m tra l'imbocco di Campo di Marte (Sud) e quello di Rifredi (Nord), interrotte solo dalla nuova stazione AV posta a circa 3000 m dall'imbocco Sud.

Il sistema delle gallerie naturali di linea è costituito da due gallerie a semplice binario che corrono affiancate dagli imbocchi alla stazione. Ciascuna galleria in corrispondenza degli ingressi/uscite della nuova stazione AV presenta una sezione più larga per contenere, oltre al binario di corsa, anche il binario di precedenza con la relativa comunicazione e tronchino di sicurezza. Le gallerie a doppio binario di ingresso/uscita della stazione denominate nel seguito "di precedenza" sono lunghe circa 60 m, realizzate, nel tratto a nord, tra la stazione e pozzo costruttivi Nord, a sud tra stazione e By Pass n° 8 denominato Galleria Costruttiva Sud e di cui si dirà nel seguito.

Completano il sistema delle opere in sotterraneo attinenti le gallerie naturali, i cunicoli di collegamento per la sicurezza dei passeggeri tra le due gallerie a semplice binario (by-pass), i pozzi di ventilazione e il pozzo di aggettamento. Tutte queste opere saranno descritte nel seguito e sono illustrate più diffusamente nelle specifiche relazioni. Le opere di imbocco sono trattate in altre relazioni.

In questa introduzione si fornirà un elenco delle gallerie naturali, delle principali opere ad esse relative e un sommario dei principali temi affrontati nella progettazione.

Procedendo da Nord verso Sud la configurazione finale delle gallerie naturali si presenta come segue (le progressive sono riferite al binario pari):

- Due gallerie affiancate a semplice binario di sezione circolare di diametro interno di 8.3 m dalla progr. 1+317.76 (imbocco Sud) alla progr. 4+252.00 (inizio galleria di precedenza tratto sud);
- Due gallerie di sezione policentrica a doppio binario dalla progr. 4+252.00 (inizio galleria di precedenza tratto sud) alla progr. 4+323.64 (inizio banchina e camerone stazione AV);

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

- Due gallerie di sezione policentrica a doppio binario dalla progr. 4+776.44 (fine banchina e camerone stazione AV) alla progr. 4+838.71 (inizio pozzo costruttivo e di ventilazione nord);
- Due gallerie affiancate a semplice binario di sezione circolare di diametro interno di 8.3 m dalla progr. 4+850.91 (fine pozzo costruttivo e di ventilazione nord) alla progr. 6+891.20 (imbocco Nord).

Le gallerie a semplice binario verranno eseguite mediante fresa a pressione del fronte, mentre le gallerie di precedenza verranno scavate con metodo tradizionale e l'uso della tecnologia del congelamento per il consolidamento e l'impermeabilizzazione del terreno. La fresa avvierà lo scavo a partire dall'imbocco di Campo di Marte, e terminerà lo scavo con uscita nell'imbocco Nord di Rifredi operando prime per lo scavo della canna del binario pari e successivamente, sempre operando da sud verso nord, il binario dispari.

Le gallerie a semplice binario sono collegate ad intervalli variabili compresi tra 410 m e 490 m da 13 cunicoli di sicurezza per l'evacuazione dei passeggeri in caso di incidente.

Rientrano tra le opere accessorie per l'esercizio e la sicurezza delle gallerie le seguenti costruzioni:

- Una camera di sconnessione dei fumi Nord tra le gallerie e la stazione AV e di alloggiamento impianti tecnologici tra le progr. 4+838.71 e 4+850.91 (denominata Pozzo costruttivo e di ventilazione Nord). E' costituita da un camerone interrato (indicato in seguito e negli elaborati come pozzo) utilizzato in fase esecutiva per lo scavo delle gallerie a doppio Binario lato Nord e per la traslazione delle frese in ripartenza;
- Pozzi di sconnessione dei fumi Sud tra le gallerie e la stazione AV posti in corrispondenza delle gallerie a doppio binario Sud alla progressiva 4+315.24;
- Un pozzo di accumulo acque di infiltrazione delle gallerie munito di pompe di aggettamento alla progressiva 3+140.14;

La rappresentazione schematica delle opere elencate è riportata nell'elaborato "pianta schematica con ubicazione nicchie, gallerie di collegamento e opere accessorie"

Per l'esecuzione delle gallerie sono previste, con funzione prevalentemente costruttiva oltre agli imbocchi la seguente opera:

- Una camera di manovra realizzata negli ultimi 30 m della galleria di precedenza a doppio binario lato binario dispari tratto nord per la traslazione della fresa che dovrà riallinearsi in asse al binario dispari per lo scavo della tratta a singolo binario nord.

Per la sicurezza degli scavi e la salvaguardia di alcune interferenze sottopassate dalle gallerie a semplice binario, sono previsti, inoltre, alcuni lavori di consolidamento eseguiti dalla superficie. Si elencano procedendo da Nord a Sud:

- Consolidamento del terreno superficiale mediante trattamenti colonnari dall'alto dello sbocco delle frese a bassa copertura in zona Rifredi;
- Consolidamento mediante trattamenti colonnari dall'alto dei fronti del pozzo Nord e del camerone della nuova stazione A.V. tratto sud lato binario dispari dove le frese sono in entrata ed uscita;
- Controllo dei cedimenti mediante iniezioni cementizie (metodo del compensation grouting) per i bastioni murari del monumento storico di Fortezza da Basso;

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

- Controllo dei cedimenti mediante iniezioni cementizie (metodo del compensation grouting) per due edifici posti a circa 100 m dall'avvio delle frese all'imbocco di Campo di Marte;
- Consolidamento delle fondazioni della spalla del cavalcavia ferroviario "ponte al Pino" mediante micropali, posto anch'esso a circa 100 m dall'imbocco delle frese;
- Consolidamento mediante pali plastici del fronte di imbocco delle frese a Campo di Marte.

Il progetto esecutivo delle gallerie naturali è stato sviluppato in conformità al P.D. e pertanto a quanto approvato nella conferenza dei servizi sia del passante che della stazione e delle relative prescrizioni e accordi intercorsi. In particolare, oltre al dimensionamento e alle verifiche delle opere, il progetto comprende uno studio della cantierizzazione e delle fasi costruttive, nonché la scelta di modalità di scavo orientate al massimo contenimento dei disturbi indotti alle attività cittadine e al patrimonio edilizio esistente. I cantieri principali sono stati concentrati nelle aree ferroviarie poste agli imbocchi e nella zona della nuova stazione, il trasporto delle terre è previsto mediante l'uso di treni e le tecniche di scavo scelte assicurano il contenimento dei cedimenti in superficie entro limiti accettabili per la sicurezza e la conservazione delle preesistenze. Il progetto comprende anche un diffuso monitoraggio in corso d'opera che prevede misure in superficie e sulle opere esistenti allo scopo di dare evidenza ai terzi degli effetti dagli scavi in sottoterraneo, di verificare l'efficacia delle tecnologie utilizzate e di prevenire la produzione di danni e disturbi alle opere preesistenti.

La scarsa profondità delle gallerie che attraversano terreni sciolti sotto falda e la presenza in superficie di un territorio densamente urbanizzato ha richiesto un approfondimento dello studio geologico-tecnico già condotto sulla base di una estesa e completa campagna di sondaggi e prove, mentre per quanto concernen il censimento delle preesistenze sottoattraversate in superficie ci si è riferiti a quanto ereditato dalle fasi progettuali precedenti (P.P e P.D.).

Lo studio geologico e la caratterizzazione geotecnica è comune a tutto il tracciato.

Il progetto delle gallerie naturali è stato suddiviso in tre parti:

1. Gallerie naturali eseguite con sistema meccanizzato nella quale vengono trattati i seguenti temi:
 - le sezioni tipo;
 - i calcoli di stabilità degli scavi e dei rivestimenti;
 - le macchine di scavo a pressione del fronte;
 - l'analisi delle interferenze in superficie;
 - gli interventi di salvaguardia delle opere interferenti;
 - il monitoraggio;
 - i cunicoli di collegamento;
2. Galleria a doppio binario di precedenza nella quale vengono affrontati i seguenti argomenti:
 - le sezioni tipo;
 - i calcoli di stabilità degli scavi e del rivestimento definitivo delle gallerie;
 - i calcoli di stabilità delle opere di sostegno dei pozzi e delle strutture definitive;
 - le fasi esecutive dei pozzi e delle gallerie;

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

– il congelamento del terreno;

– il monitoraggio;

3. Opere accessorie:

– calcoli di stabilità delle opere di sostegno dei pozzi e delle opere definitive;

– fasi esecutive

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

2. STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO

Lo studio geologico e idrogeologico e la caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati dalle gallerie è particolarmente importante nel contesto dell'attraversamento urbano di Firenze, sia per la complessità stratigrafica e geotecnica in cui si opererà lo scavo, che per le condizioni di copertura e di interferenza in superficie.

Già nel corso dei precedenti sviluppi progettuali (progetto di massima e progetto definitivo) sono stati svolti approfonditi studi geologico-tecnici per verificare la fattibilità degli scavi, per scegliere le tecnologie di scavo e valutare le possibili interferenze degli stessi con l'ambiente e le costruzioni urbane. A tale scopo nelle precedenti fasi progettuali si è ricorso alla consulenza dei prof. Coli e Pranzini dell'Università di Firenze rispettivamente per lo studio geologico e per lo studio idrogeologico, scelti tra i maggiori esperti della geologia e idrogeologia dell'area Fiorentina. Lo studio geologico-tecnico presentato è in continuità e coerenza con il lavoro svolto in P.D. e aggiornato per tener conto della campagna d'indagine integrativa eseguita nel corso del 2007. Visto il numero considerevole di indagini eseguite nelle fasi precedenti nella campagna integrativa proposta per lo sviluppo del P.E. ci si è concentrati nell'esecuzione di studi mirati alla taratura di siti e contesti specifici connessi alle opere di maggior interesse. Lo studio, oltre che sui dati storici e di bibliografia, si è basato su n° 121 sondaggi con relative prove eseguiti direttamente per la progettazione nelle fasi geognostiche precedenti integrate con n°39 tra sondaggi e prove penetrometriche statiche. Su una lunghezza investigata di 7000 metri fornisce una densità media di sondaggi pari a 1 sondaggio ogni 50 m. La distanza massima tra due sondaggi è sempre inferiore a 150m.

Sono state eseguite prevalentemente indagini geognostiche di tipo diretto ed in particolare sondaggi a carotaggio continuo, intervallati mediamente 50-100 m l'uno dall'altro, spinti ad una profondità di circa un diametro al disotto dell'arco rovescio, con esecuzione di prove in sito (SPT, pressiometriche, Lefranc, cross-hole e down-hole) e prelievo di campioni sottoposti ad analisi di laboratorio.

Gran parte dei fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometro e alcuni di essi sono stati strumentati con doppio piezometro di tipo Casagrande, uno ubicato a quota calotta ed uno a quota arco rovescio. Alcuni piezometri sono stati installati nelle formazioni superficiali soprastanti il cavo della galleria, al fine di rilevare il regime idrodinamico nella falda superficiale ed in quella profonda, eseguendo a tale scopo prove di emungimento da pozzi opportunamente perforati ed attrezzati.

Il passante ferroviario A.V. attraversa una vasta zona di pianura alluvionale, in prevalenza costituita dai sedimenti fluviali e torrentizi dell'Arno e dei suoi affluenti, appoggiati su depositi di natura lacustre.

La distribuzione spaziale dei depositi, funzione dell'energia e della capacità di trasporto del mezzo, risulta spesso assolutamente casuale con passaggi eteropici e repentini dalle frazioni grossolane a quelle fini, e frequenti discontinuità stratigrafiche, in gran parte corrispondenti a fenomeni erosivi.

Considerando la natura dei depositi e la loro disposizione spaziale piuttosto caotica, si è deciso di adottare una nuova classificazione, rivedendo l'intera successione clastica neogenica dell'area fiorentina, secondo il criterio delle UBSU (Unità Stratigrafiche a Limiti Inconformi) suggerito dal Servizio Geologico Nazionale (S.G.I., 1992) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R., 1991), in modo da definire per i diversi corpi sedimentari, oltre ai reciproci rapporti spaziali anche il legame con le aree di provenienza.

I terreni studiati sono stati pertanto suddivisi in Sintemi a loro volta raggruppati in Supersintemi o divisibili in Subsintemi.

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

Lo scavo delle gallerie naturali interesserà tre unità sedimentarie che, dalle più antiche alle più recenti, sono: le Argille turchine del Supersintema del Lago Firenze-Prato-Pistoia, i depositi del Supersintema di Firenze e quelli del Supersintema dell'Arno.

Supersintema del Lago Firenze-Prato-Pistoia (Argille turchine)

Sono i sedimenti più antichi, di origine lacustre, sovraconsolidati, costituiti prevalentemente da argille sabbiose o limose o da limi argillosi, contenenti frequenti inclusi ghiaiosi di origine calcarea. Tali termini presentano una consistenza da solido-plastica a solida, con I_c prossimo a superiore all'unità. In alcune zone sono presenti lenti e strati di ghiaie sabbiose o limose mediamente addensate ($D_r = 50\%$).

L'indice plastico è generalmente compreso tra 16 e 32 ma può anche raggiungere valori di 45, hanno una buona resistenza al taglio a breve termine, con valori di c_u solitamente compresi tra 150 e 250 kPa, mentre per i parametri a lungo termine si può assumere $c' = 28$ kPa e $\phi' = 24^\circ$.

La permeabilità è in genere minore di $1E-7$ m/s anche se sono stati misurati valori di $1E-5$ m/s, riferibili a zone maggiormente ricche di materiali granulari con scarsa matrice fine.

Depositi del Supersintema di Firenze

Si possono distinguere due litofacies:

- argille sabbiose e limose, o limi argillosi, a consistenza semisolida (I_c compreso tra 0.75 e 1), da poco a mediamente plastiche, con livelli ghiaiosi sabbiosi addensati e con contenuto variabile di limo. Nelle ghiaie sono stati rinvenuti ciottoli di natura arenacea della dimensione dei 100÷150 mm di diametro, e a volte anche superiore ai 200 mm. Si tratta di materiali di natura lacustre o fluvio-lacustre, che rispetto ai terreni del Supersintema di Firenze precedentemente citati, presentano una maggiore frequenza di lenti ghiaiose sabbiose addensate rispetto ai livelli argillosi. I termini coesivi presentano una resistenza a breve termine mediamente elevata, con valori per la c_u compresi tra 90 e 170 (KPa), mentre a lungo termine le caratteristiche di resistenza presentano valori di $c' = 10$ kPa e $\phi' = 28^\circ$. I termini granulari risultano in genere addensati ($D_r = 70\%$). La permeabilità da prove Lefranc è medio-bassa, stimabile attorno a $1E-7$ m/s.
- ghiaie eterometriche con ciottoli (diam. max > 10 cm), poligenica, in matrice da limoso argillosa a limoso sabbiosa; a volte sono intercalati livelli limoso argillosi o limoso sabbiosi (di spessore massimo intorno al metro). Si tratta di materiali attribuiti alla sedimentazione del paleo-Arno. Sono terreni addensati con valore di densità relativa $D_r = 65\%$ ed angolo di attrito $\phi' = 38^\circ$; prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio hanno fornito per questi terreni valori di permeabilità da media a medio-alta, frequentemente compresi tra $1E-4$ e $1E-5$ m/s.

Depositi del Supersintema dell'Arno

Sono in prevalenza costituiti da ghiaie sabbiose addensate e in misura minore da argille limose compatte e limi argillosi di media plasticità. Possono presentare inclusi ciottoli arenacei di diametro dell'ordine dei 100÷150 mm e più raramente superiore ai 200 mm.

I materiali granulari risultano mediamente addensati ($D_r = 55\div 65\%$) e presentano angolo di attrito $\phi' = 33\div 38^\circ$. I risultati di prove di permeabilità indicano valori, per il coefficiente di permeabilità K , compresi in genere tra $1E-4$ e $1E-5$ m/s.

La resistenza a breve termine per i termini coesivi è rappresentata da valori della c_u generalmente compresi tra 90 e 150 kPa mentre a lungo termine ha fornito valori di $c' = 7,5$ KPa e $\phi' = 27^\circ$.

Committente Principale RFI	Alta Sorveglianza ITALFERR	Contraente Generale NODAVIA s.c.p.a.
PASSANTE – LOTTO 2 GALLERIE NATURALI RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA GENERALE		PROGETTO ESECUTIVO DI I LIVELLO

Dal punto di vista idrogeologico il Supersistema dell'Arno costituisce un buon acquifero e contiene la falda più importante e produttiva della pianura fiorentina; i valori maggiori di permeabilità, sono stati registrati nelle ghiaie in matrice sabbiosa in prossimità dell'Arno, in presenza di sedimenti più grossolani e recenti.

Il minore grado di permeabilità rilevato per il Supersistema di Firenze (a parte i depositi attribuiti al paleo-Arno), è dovuto alla elevata percentuale di materiale fine presente nella matrice delle ghiaie; le Argille Turchine rappresentano invece un acquicludo essendo prevalenti i litotipi limoso-argillosi.

La falda idrica è localizzata negli orizzonti macroclastici che fanno parte dei Supersistemi dell'Arno e di Firenze, e nelle lenti ghiaiose all'interno delle Argille Turchine.

Si tratta in generale di una falda libera, con tavola d'acqua ubicata a profondità comprese fra 1 e 10 metri, che risulta confinata laddove l'acquifero è sovrastato da uno strato di terreno superficiale limoso-argilloso, oppure nelle ghiaie presenti nelle Argille Turchine, sedi di falde in pressione alimentate dalle zone apicali dei conoidi e dalla lenta infiltrazione dalla superficie.

Le escursioni stagionali della superficie freatica sono legate principalmente al regime delle precipitazioni, per cui i livelli di massima si registrano in primavera e i minimi all'inizio dell'autunno, con variazioni mediamente contenute entro 1- 1,5 m. La diminuzione dei pompaggi per l'abbandono di molti pozzi, ne sta determinando in questi ultimi anni una notevole risalita.

**Protocollo di caratterizzazione delle terre e rocce da scavo prodotte
nella realizzazione del passante AV di Firenze con riferimento
all'utilizzo degli additivi, della pasta di tenuta e del lubrificante della
fresa utilizzati durante gli scavi**

1. Introduzione

Il Protocollo si origina dalla richiesta di supplemento istruttorio alla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS (CTVA) da parte della Direzione Valutazioni Ambientali (DVA) del Ministero Ambiente (MATTM) con nota DVA/2013/24358 del 24/10/2013; nella medesima nota si dispone la sospensione a titolo cautelare del piano utilizzo terre (PUT), realizzato dal Contraente Generale NODAVIA, il quale si dovrà avvalere di un soggetto pubblico per la verifica della compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo; sempre nella citata nota si invita la CTVA ad avvalersi dell'ausilio di ISPRA

L'incarico ricevuto da ISPRA dalla CTVA con nota prot. 4184 del 22/11/2013 relativamente a "Disposto L.241/90. Richiesta di supplemento istruttorio parere tecnico Commissione CTVA n. 1126, del 14/12/2012, piano utilizzo terre lotto II passante ferroviario A.V. del nodo di Firenze. Sospensione della determina Dirigenziale DVA/2013/583, del 10/01/2013." richiedeva il supporto dell'ISPRA per i seguenti profili:

1. verifica della destinazione urbanistica-paesaggistica dell'area dell'ex sito minerario Santa Barbara, cui sono destinate le terre da scavo risultanti dallo scavo nell'ambito dell'AV Firenze, al fine di stabilire se va rispettata la colonna A ovvero la colonna B dell'allegato 5, parte IV, titolo V, del d.lgs. n. 152/2006, quanto ai valori CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione);
2. nuovo accertamento, a carico del richiedente il PUT, del valore CSC delle terre risultanti dallo scavo con fresa, condizionate con gli additivi indicati nel PUT e nel presupposto parere, per il tramite di istituto pubblico, nonché, se del caso, per conto del MATTM, da parte dell'ISPRA;
3. verifica della idoneità tecnica, anche sotto il profilo statico, delle terre risultanti dallo scavo con fresa, condizionate con gli additivi, rispetto al fine a cui risultano destinate (realizzando collina nell'ex sito minerario di S. Barbara).

Ai fini dello svolgimento dell'incarico la CTVA in data 20/12/2013 chiede l'istituzione di un Tavolo Tecnico (TT1) coordinato da ISPRA cui parteciperanno ITALFERR società di progettazione del Gruppo Ferrovie dello Stato incaricata da RFI dell'Alta Sorveglianza, NODAVIA quale Contraente Generale, CNR incaricato da NODAVIA per le verifiche ambientali delle terre da scavo e, su coinvolgimento del CNR, l'ISS per la determinazione delle CSC. Scopo delle attività del TT è fornire alla CTVA gli elementi utili all'esame istruttorio del PUT aggiornato

Successivamente fa seguito la richiesta di NODAVIA del 23/12/2013 prot. DVA 474 del 10/01/2014 di sospendere il supplemento istruttorio di cui alla nota DVA/2013/24358 del 24/10/2013 (già menzionata) per il tempo necessario alla presentazione del PUT aggiornato alla luce delle nuove destinazioni urbanistiche decise, coerentemente con le richieste di Regione Toscana e ARPA Toscana di utilizzare nel sito di Santa Barbara materiali di scavo le cui caratteristiche rispettino la destinazione urbanistica dei siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, per il riutilizzo dei materiali di scavo nel sito di Santa Barbara, e l'accoglimento della

richiesta da parte del MATTM (nota DVA/2014/795 del 14/01/2014) che rimane in attesa di ricevere le integrazioni per il proseguimento dell'istruttoria.

Le attività del TT1 si sono svolte dal 13 gennaio 2014, prima riunione, al 5 agosto 2015 settima e conclusiva riunione con la consegna da parte del CNR dell'elaborato tecnico-scientifico "Relazione finale - Attività di sperimentazione sui terreni condizionati derivanti dalla realizzazione del passante AV del nodo ferroviario di Firenze" cui ha seguito l'atto documentale tecnico-scientifico ISPRA "Considerazioni Tecniche sulla Relazione finale del CNR" consegnato il 27 agosto 2015 alla CTVA e alla DVA del MATTM. Successivamente in data 27 novembre 2015 è stato consegnato dal CNR l'Addendum alla Relazione Finale "Sperimentazione geotecnica sui terreni condizionati Nodo AV Firenze" che completa la risposta al punto 3 del supporto richiesto.

In data 28/03/2014 viene discusso e approvato dal TT1 il documento Protocollo Nodavia-CNR, denominato Protocollo base, che descrive le attività che si intendono portare avanti. In particolare per quanto riguarda gli additivi da utilizzare durante lo scavo si assume di considerare fino a un massimo di cinque prodotti commerciali e di scegliere, tra questi, i due prodotti più favorevoli sotto il profilo ambientale per le ulteriori indagini di biodegradazione. Per quanto riguarda i terreni da esaminare si assume di considerare due tipologie di terreno (nel seguito terreno 1 e terreno 2) che individuano gli estremi dall'intervallo di variabilità dei terreni potenzialmente scavati.

Particolare importanza ha rivestito nella fase propedeutica l'individuazione del terreno da campionare che ha condotto alla scelta e campionamento di 2 tipi di terreni e, successivamente, le prove di condizionamento dei terreni con 5 agenti schiumogeni che si utilizzano durante gli scavi con la fresa TBM. Dei 5 prodotti testati uno non ha soddisfatto i requisiti geotecnici richiesti, per cui il prosieguo delle indagini vengono portate avanti su 4 prodotti, coerentemente con quanto precedentemente stabilito.

Oggetto di indagine sono stati anche la pasta di tenuta e il lubrificante utilizzati per il funzionamento della fresa TBM, argomento non compreso nel protocollo NODAVIA-CNR ed emerso nel corso di una riunione presso il CNR in data 27/11/2014. Tale attività ha costituito un Addendum al protocollo in essere basato su una prima preliminare analisi su dati di letteratura.

I risultati dell'analisi preliminare di rischio ecotossicologico fatta sui 4 prodotti ai fini di una graduatoria dei 4 prodotti hanno evidenziato per i prodotti Polyfoamer ECO/100 e MasterRoc SLE41 un profilo ambientale migliore rispetto agli altri due. In tal senso l'attività successiva, con riferimento al protocollo base, ha riguardato l'analisi di biodegradabilità di questi due prodotti. In continuità con il Protocollo base si svolgono le attività di cui all'Addendum. La tematica ambientale viene affrontata individuando le concentrazioni da adottare per le analisi e scegliendo un approccio estremamente cautelativo focalizzato sul comparto acquatico in quanto più sensibile.

Le prove geotecniche, per problemi tecnici di tempo, sono state svolte in due momenti temporali: sono iniziate sul terreno argilloso (terreno1) in quanto i dati di letteratura suggeriscono che i terreni incoerenti (terreno2) in genere hanno caratteristiche migliori in particolare per la resistenza al taglio in termini di componente attritiva. Successivamente i test geotecnici sono stati eseguiti anche sul terreno 2 e i risultati sono stati riportati nell'Addendum alla relazione finale presentato dal Cnr a novembre 2015.

I risultati finali delle attività che comprendono sia quelle previste nel Protocollo di base che nell'Addendum evidenziano in riferimento alle analisi eco tossicologiche che l'analisi stessa non contiene i valori per le CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) relativamente alle sostanze condizionanti menzionate nella già citata nota del MATTM prot. DVA 24358 del 24/10/2013. Le

attività di ricerca documentale, nella banca dati dell'ISS, su sostanze con una struttura chimica affine alle sostanze in esame (per le quali già si conosce la CSC) e che avrebbe permesso di identificare i valori delle CSC per analogia, non hanno prodotto risultati.

Tuttavia, dal punto di vista tecnico-scientifico, sulla base delle analisi e delle valutazioni fatte nell'ambito dell'incarico ricevuto, è stato possibile, con tutte le cautele del caso, ragionare su un riutilizzo delle terre e rocce da scavo nell'ambito di un processo che preveda costanti e puntuali verifiche della qualità del materiale scavato.

In tal senso è stato possibile dare indicazioni con riferimento ai tre profili per i quali è stato richiesto il supporto ISPRA, atteso il fatto che l'attività oggetto di studio e analisi, conclusa con l'atto documentale di ISPRA "Considerazioni Tecniche sulla Relazione finale del CNR" consegnato il 27 agosto 2015 alla CTVA e alla DVA del MATTM, non ha riguardato la verifica della compatibilità ambientale delle terre e rocce da scavo con riferimento al PUT originario, sospeso con citata nota DVA/2013/24358 del 24/10/2013 ma, a seguito della menzionata decisione inerente alla modifica della destinazione urbanistica dei materiali da scavo (di cui alla riunione del 5/12/2012 e atti conseguenti), ha riguardato le attività pedotecniche all'aggiornamento del PUT.

Il MATTM e la CTVA a seguito dei preliminari elementi raggiunti nell'ambito delle attività tecnico scientifiche svolte dal TT1, come fin qui descritte, hanno valutato l'opportunità di proseguire lo studio alla luce delle novità emerse. In tal senso e nell'ambito dell'attività istruttoria ancora in corso, con nota prot. DVA 27549 del 3 nov. 2015, il MATTM ha incaricato ISPRA di coordinare un nuovo tavolo tecnico (TT2) costituito, oltre che da ISPRA, dal CNR, dall'ISS e dall'ARPA Toscana con lo scopo di addivenire rapidamente a uno specifico Protocollo finalizzato all'aggiornamento del Piano Utilizzo Terre riferito alla realizzazione del "Passante AV Nodo ferroviario di Firenze". In particolare, il documento tecnico indicherà le finalità, le attività da svolgere, le modalità e i tempi delle attività in esso previste.

Le attività del TT2 si sono svolte dal 3 novembre 2015 al 12 febbraio 2016, con la consegna del **"Protocollo di caratterizzazione ambientale delle terre e rocce prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze"** alla CTVA e alla DVA del MATTM. Tali attività si sono basate sui risultati delle analisi e delle valutazioni fatte nell'ambito del precedente incarico. In tal senso le risultanze dell'elaborato tecnico scientifico del CNR "Relazione finale – Attività di sperimentazione sui terreni condizionati derivanti dalla realizzazione del passante AV del nodo ferroviario di Firenze" nonché l'addendum e in particolare le conclusioni, sono parte integrante e sostanziale del presente Protocollo.

Il TT2 ha definito le procedure di caratterizzazione e di campionamento in corso d'opera delle terre e rocce da scavo prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze. Le attività hanno riguardato la verifica ambientale dei materiali e la verifica della resistenza geotecnica. Il Protocollo è riferito esclusivamente all'utilizzo degli additivi nonché della pasta di tenuta e del lubrificante della fresa utilizzati durante gli scavi, in quanto non compresi nelle sostanze di cui alla Tab. I del DM 10 agosto 2012 n. 161 per le quali il D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152, Allegato 5 – parte quarta, tab. 1, colonne A e B, fornisce le CSC che invece come più volte sottolineato mancano per gli additivi e i grassi.

2. Caratterizzazione in corso d'opera delle terre e rocce da scavo prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze

2.1 Premessa

Le procedure di caratterizzazione e di campionamento devono essere conformi agli allegati 1 e 8 del DM 161/2012. Inoltre nel caso di specie i controlli da effettuare sui cumuli dopo il periodo di maturazione di 14 giorni nel caso di terreno 2 o 28 giorni in tutti gli altri casi, dovranno essere eseguiti ogni volta che si verifichi anche una sola delle condizioni seguenti:

- si riscontri un cambiamento della litologia del terreno oggetto di scavo;
- i parametri di condizionamento adottati (FIR, FER e Cf) determinino un incremento di consumo del prodotto schiumogeno utilizzato, individuato dal cosiddetto *treatment ratio* (TR), espresso in litri di prodotto schiumogeno consumato per metro cubo di terreno scavato.

Questo protocollo può essere applicato solo nel caso che le condizioni di scavo determinino un *treatment ratio* (TR) uguale o inferiore ai valori riportati nella Tabella 8.1 dello studio del Cnr a pag. 131/146 e qui riportata (Tabella 1). In Tabella 1 sono riportati anche i dati di consumo del polimero rinforzante da utilizzare solo per il terreno 2, nonché quelli della pasta sigillante e del lubrificante, utilizzati per la lubrificazione della guarnizione di tenuta del cuscinetto della fresa, di cui alle note Nodavia al DTA del Cnr n. 183NV-15/GAR/gal del 9/2/2015 e n. 705/NV-15/GAR/gal del 31/3/2015.

In corso d'opera, la verifica di qualità ambientale del materiale scavato sarà condotta dal contraente generale (CG) in contraddittorio con ARPA Toscana, eseguendo su ogni cumulo gli accertamenti secondo le modalità descritte nel seguito.

Al termine di un periodo di 6 mesi e di almeno 90 cumuli verificati, alla luce dei risultati ottenuti, potranno essere valutate con l'Autorità di controllo diverse frequenze.

Tabella 1 Valutazione dei consumi dei prodotti utilizzati nel corso dello scavo con fresa TBM

	Consumi (TR)	Concentrazione di prodotto attesa nel terreno	Concentrazione di tensioattivo anionico attesa nel terreno (SLES)
	l/m ³ terreno	mg/kg	mg/kg
Terreno 1			
Polyfoamer ECO/100	2,25	1.170	162,6
Pasta di tenuta 1 HBW NG	25 kg/anello di 1,5 m	120	
Lubrificante 2 GR217EP	12,5 kg/anello di 1,5 m	60	
Terreno 2			

Polyfoamer ECO/100	1,75	827	124,9
Mapedrill XG01	1,16	527	
Pasta di tenuta 1 HBW NG	25 kg/(anello di 1,5 m)	109	
Lubrificante 2 GR217EP	12,5 kg/(anello di 1,5 m)	55	

2.2 Protocollo di verifica geotecnica

- a) Il materiale di smarino avrà, presumibilmente, una composizione granulometrica diversa da quella dei due terreni tipo studiati in laboratorio. Sarà pertanto necessario durante il tempo di maturazione valutare la pezzatura di almeno tre campioni ritenuti rappresentativi del terreno contenuto in ogni piazzola. Il terreno potrà essere equiparato ai terreni tipo per confronto con la tabella 2 e con i fusi granulometrici presentati in figura 1. Estesa discussione sulla distinzione dei terreni tipo è riportata nella "Relazione sui risultati della Fase 1 della sperimentazione sui terreni condizionati del passante ferroviario di Firenze" del CNR, 2015. Le analisi granulometriche dovranno essere eseguite per via umida secondo le Raccomandazioni AGI 1994 (paragrafo 1.2.4), tranne che per la definizione della parte fine per la quale si utilizzerà il setaccio n.200 ATSM. Ai fini del riconoscimento non sarà necessario eseguire anche la sedimentazione (o densimetria) per la definizione della curva granulometrica del passante al setaccio da 0,074 mm (setaccio n. 200 ASTM). Nei casi di tipologie di terreno diverse o intermedie rispetto al tipo 1 e tipo 2, dovrà essere eseguita una prova Proctor modificata per valutare la densità secca massima e il relativo contenuto d'acqua all'ottimo (contenuto d'acqua corrispondente al valore massimo della densità secca) in modo da avere un riferimento sullo stato ottimale del terreno al termine del costipamento.

Tabella 2 Criterio per il riconoscimento in cantiere dei terreni tipo

	Descrizione	Criterio
Terreno 1	limo-argilla limo o argilla sabbioso ghiaioso	Passante al setaccio 0.074 mm > 75%
Terreno 2	ghiaia-sabbia in matrice limoso-argillosa	35% > Passante al setaccio 0.074 mm > 10%

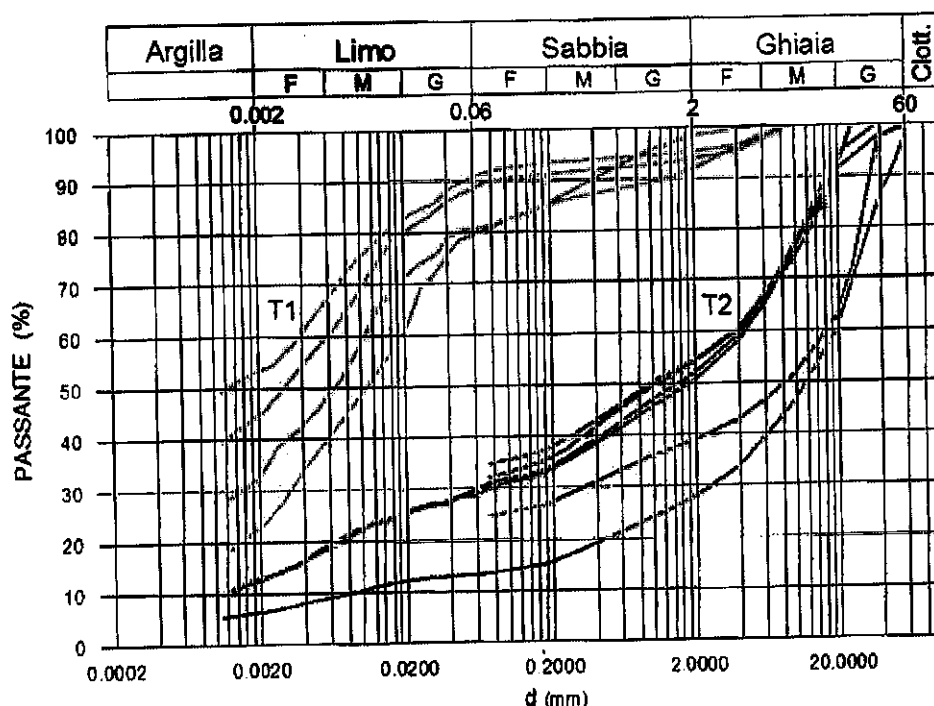


Figura 1 Fusi granulometrici del terreno di tipo 1 (rosso) e terreno di tipo 2 (nero)

- b) Al termine del tempo di maturazione (14 o 28 giorni) si dovrà determinare il contenuto d'acqua del terreno presente nella piazzola prelevando tre campioni a diverse profondità in almeno tre diverse zone della piazzola, per un totale di nove campioni che costituiranno il campione composito sul quale determinare il contenuto d'acqua. Le zone saranno scelte in funzione della presenza di eventuali disomogeneità nel deposito. Tale contenuto d'acqua dovrà ricadere nel campo di contenuti d'acqua, determinato nelle prove Proctor del CNR, che corrispondono a valori di densità secca superiori al 90% di quella massima. Tale intervallo è 10-18% per il terreno 1 e 6-12% per il terreno 2. Per terreni di tipologia intermedia si farà riferimento alla prova Proctor modificata di cui al precedente punto a). Per i cumuli con composizione granulometrica assimilabile ai terreni tipo 1 o 2, ove il contenuto d'acqua non ricadesse negli intervalli che individuano il campo di umidità richiesto ai fini di una compattazione ottimale, il CG dovrà provvedere ad eseguire le prove Proctor sul terreno del cumulo per verificare che il terreno non abbia un ottimo diverso da quello di riferimento. Qualora il valore di umidità non risultasse compreso nell'intervallo determinato con la prova Proctor specificatamente eseguita, il terreno potrà essere portato al livello conforme di umidità, o per idratazione o per essiccamento, prolungando eventualmente il tempo di maturazione. Quest'ultima operazione sarà invece la sola procedura da eseguire nel caso il terreno del cumulo con contenuto d'acqua esterno al campo di accettabilità sia stato oggetto di specifiche prove Proctor di cui al punto a).
- c) I parametri di resistenza al taglio in tensioni efficaci individuati dalla sperimentazione eseguita dal CNR mediante prove triassiali rappresentano i valori minimi attesi per i due terreni tipo. Tali parametri dovranno essere confermati in corso d'opera. Pertanto il CG dovrà eseguire prove triassiali su campioni compattati ad una densità secca superiore al 90% del valore massimo. Tali prove dovranno essere eseguite su ogni 5 cumuli di terreno 1 ed ogni 10 cumuli sul terreno di diversa composizione granulometrica. I parametri di resistenza in tensioni efficaci così

determinati (angolo di attrito e coesione) dovranno essere confrontati con quelli previsti dal progetto.

La fattibilità dell'esecuzione delle prove triassiali in corso d'opera dovrà essere verificata in relazione ai tempi di esecuzione. Il programma potrà essere semplificato dopo le prime determinazioni conformi e in relazione alle risultanze delle prove di identificazione del materiale, previo accordo tra il CG e l'autorità di controllo, eventualmente supportati da CNR e ISPRA.

2.3 Protocollo di verifica ambientale

In relazione alla maturazione nelle apposite piazzole dove il terreno di smarino sarà steso si prescrive che:

- Il terreno di smarino dovrà essere opportunamente omogeneizzato nelle piazzole al termine della stesa, il cui completamento è previsto in 2 - 3 giorni, considerato che la superficie di ciascuna piazzola di 4.200 m², lo spessore dello strato steso è di circa 0,8 m (tali dati sono riportati nel PUT già approvato dalla Commissione VIA del Minambiente e poi sospeso) e la produzione di smarino prevista è di circa 1.400 m³/d (Φ fresa 9,4 m, avanzamento previsto 20 m/giorno). Dopo un tempo di maturazione di 14 - 28 giorni (in funzione del terreno scavato) dovrà essere prelevato un campione composito rappresentativo del terreno della piazzola nel suo complesso, costituito da 10-20 "incrementi" prelevati casualmente nell'intero spessore del terreno in maturazione. Il protocollo operativo di campionamento potrà essere concordato con l'autorità di controllo.
- La piazzola dovrà essere chiaramente identificabile in relazione alle date di inizio e di fine stesa e dei parametri utilizzati per il condizionamento (FIR, FER, concentrazione di impiego del prodotto condizionante, consumo TR in litri di prodotto condizionante per m³ di terreno scavato). Inoltre, dovranno essere riportati tipologia di terreno, quantità di condizionante, tipologia di polimero ove utilizzato e il consumo registrato di pasta di tenuta e di lubrificante della fresa.
- Per ogni campione composito dovranno essere prelevate tre aliquote, una per le analisi del CG, una a disposizione di Arpa Toscana, e una da conservare per eventuali controanalisi. Se non vengono analizzati subito dopo il campionamento, i campioni dovranno essere conservati congelati, onde evitare ulteriore biodegradazione dei prodotti aggiunti o rilasciati in fase di scavo, per un periodo di almeno sei mesi.
- Per ogni specifico test i risultati sul bianco di riferimento sono quelli indicati nello studio del CNR considerando la media dei quattro valori per il test con *Vibrio fischeri*, per il terreno 1 e 2, rispettivamente. Per i terreni intermedi, cautelativamente, deve essere considerato il valore medio di riduzione di bioluminescenza calcolato per il terreno 2. Per il test con *Danio rerio* si assumerà, come riferimento, il valore di 15 embrioni sopravvissuti, sia per il terreno 1 sia per tutti i terreni intermedi fra quelli 1 e 2, e di 14 per il terreno 2.

Tabella 3 Condizioni di riferimento dei terreni indisturbati dei test ecotossicologici del CNR

	Tempo maturazione (d)	Riduzione bioluminescenza con batterio <i>Vibrio fischeri</i>	Organismi <i>Danio rerio</i> sopravvissuti su 20 di inizio prova
Terreno 1	0	18,11%	15
	7	10,80%	-
	14	10,80%	-
	28	6,52%	15
	Media	11,56%	15

Tavolo Tecnico ISPRA-CNR-ISS-ARPAT per Protocollo finalizzato all'aggiornamento del Piano Utilizzo
Terre riferito alla realizzazione del "Passante AV Nodo ferroviario di Firenze"
Nota MATTM prot. DVA-2015-0027549 del 03/11/2015

Terreno 2	0	15,99%	14
	7	11,71%	-
	14	11,71%	-
	28	-0,45%	14
	Media	11,03%	14

- e) Il CG dovrà determinare la concentrazione di sles (seguendo il metodo ufficiale APAT-IRSA 5170) per ciascuna piazzola esaminata al tempo di fine stesa dopo omogeneizzazione e al tempo finale dopo maturazione di 14 o 28 giorni sul campione rappresentativo prelevato come descritto al punto a). Tali determinazioni sono funzionali ad accertare la biodegradazione dello SLES ma non direttamente a qualificare la natura di smarino dopo maturazione.
- f) Il CG dovrà eseguire in parallelo i due test di ecotossicità, FET con embrioni del pesce *Danio rerio* e *Vibrio fischeri*, sull'elutriato dei campioni dopo maturazione. I metodi di riferimento da adottare sono riportati nella relazione finale del CNR a pag. 98 (*Vibrio fischeri*) e pag. 108 (FET). Fatte salve tutte le altre condizioni individuate dal D.M. 161/2012 e quanto previsto dal punto h), il terreno della piazzola sarà considerato sottoprodotto se i risultati dei due test, eseguiti sul medesimo campione composito, risultassero ambedue conformi come da tabella 4. In caso contrario il terreno sarà qualificato come rifiuto e gestito ai sensi della parte IV del D. Lgs. 152/2006.

Tabella 4 Condizioni di ammissibilità per la qualificazione ai fini ambientali delle terre e rocce da scavo prodotte nella realizzazione del passante AV di Firenze come sottoprodotti

		Riduzione bioluminescenza massima ammissibile rispetto al bianco	N. minimo embrioni viventi
Terreno 1			
	28	29,00%	14
Terreno 2	14	28,00%	13
	28	28,00%	13

- g) In una prima fase di valutazione della conformità, della durata approssimativa di due mesi, il CG dovrà raccogliere i dati dei test di ecotossicità, per la medesima tipologia di terreno, di almeno 5 campioni composti come descritto al punto a) prelevati da altrettante piazzole di maturazione. I risultati possono costituire la base di dati per verificare se il test con *Vibrio fischeri* è sempre conforme quando lo è quello FET. In tal caso, a seguito di assenso da parte dell'Autorità di controllo, nella fase successiva di verifica potrà essere usato solo il test con *Vibrio fischeri*.
- h) Tale campione dovrà essere utilizzato anche per eseguire una prova di cessione ex DM 5/2/1998 Allegato 3 e s.m.i., al fine di valutare la conformità della concentrazione del COD al valore ivi indicato (30 mg/l).
- i) Dovranno essere concordate con l'Autorità di controllo le metodologie di analisi, prelievo e condizionamento e conservazione dei campioni, le modalità di comunicazione del programma dei controlli da parte del CG e dei risultati delle analisi. L'Autorità di controllo potrà in ogni momento eseguire campionamenti autonomi.

m ante CTVA REGISTRO UFFICIALE U.0001301.12-04-2016

m ante CTVA REGISTRO UFFICIALE T.0010083.14-04-2016



*Ministero dell'Ambiente
e della Tutela del Territorio
e del Mare*

COMMISSIONE TECNICA DI VERIFICA DELL'IMPATTO
AMBIENTALE - VIA E VAS

IL SEGRETARIO

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA
DEL TERRITORIO E DEL MARE
Commissione Tecnica per le valutazioni ambientali

REGISTRO UFFICIALE - USCITA
Prot. 0001301/CTVA del 12/04/2016

Pratica N.

Ref. Altilondo:

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA
DEL TERRITORIO E DEL MARE
Direzion Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali

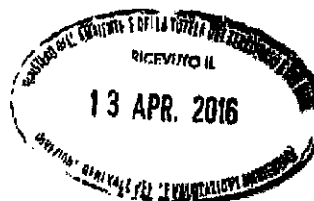
REGISTRO UFFICIALE - INGRESSO
Prot. 0010083/DVA del 14/04/2016

Al Sig. Ministro
per il tramite del Sig. Capo di Gabinetto

Sede

Direzione Generale per le
Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali

Sede



OGGETTO: I.D. VIP 2084 trasmissione parere CTVA n. 2032 del 1 aprile 2016. Richiesta di parere art. 9 D.M. 150/07, Disposto L. 241/90. Richiesta di supplemento istruttorio parere tecnico Commissione CTVA n. 1126, del 14/12/2013, piano utilizzo terre lotto II passante ferroviario A.V. del nodo di Firenze. Sospensione della Determina Dirigenziale DVA/2013/583, del 10/01/2013.

Ai sensi dell'art. 11, comma 4 lettera e) del D.M. GAB/DEC/150/2007, e per le successive azioni di competenza della Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali, si trasmette copia conforme del parere relativo al procedimento in oggetto, approvato dalla Commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale VIA e VAS nella seduta Plenaria del 1 aprile 2016.

Si saluta.

Il Segretario della Commissione
(avv. Sandro Campilongo)

All. c/s

Ufficio Mittente: MATT-CTVA-US-00
Funzionario responsabile: CTVA-US-08
CTVA-US-08_2016-0422.000