

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01**

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

RILEVATI

GENERALE

GENERALE

Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84

GENERAL CONTRACTOR			DIRETTORE LAVORI			SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio		Data:			
 Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Febbraio 2022	Iricav Due in s. Paolo Carmona Data: Febbraio 2022					

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R H	R I 0 0 0 X	0 0 6	B	- - - D I - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Febbraio 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti 	Ottobre 2021	V. Pastore 	Ottobre 2021	P. Ascari 	Ottobre 2021	Ing. Paolo Ascari Data: Febbraio 2022
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIA	M. Conti 	Febbraio 2022	V. Pastore 	Febbraio 2022	P. Ascari 	Febbraio 2022	

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RHRIO00X006B
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA



INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documentazione di progetto	4
2.2	Normativa e standard di riferimento	4
2.3	Bibliografia	5
3	SPESSORI DI SCOTICO E BONIFICO	6
4	STRATIGRAFIA SUPERFICIALE RILEVATA LUNGO IL TRACCIATO	7
5	SINTESI DEGLI SPESSORI DI SCOTICO E BONIFICO PREVISTI	8
6	STABILIZZAZIONE SUPERFICIALE DEI MATERIALI IN SITO – CRITERI GENERALI	10
7	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA PROVE DI LABORATORIO	12
7.1	Generalità	12
7.2	Granulometria e caratteristiche di plasticità	12
7.2.1	Considerazioni generali	15
7.3	Contenuto di solfati	15
7.4	Contenuto di sostanze organiche	18
8	SPERIMENTAZIONI DI LABORATORIO CON MISCELE TERRENO – LEGANTE	19

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 3 di 21

1 INTRODUZIONE

Il presente documento riassume le valutazioni condotte nell'ambito della tratta in oggetto e relative agli spessori di scotico e bonifico da realizzare alla base dei rilevati in progetto. Viene inoltre esaminata la necessità e la fattibilità di eventuali trattamenti a calce dello strato di sottofondo dei rilevati della nuova linea A.V. nel tratto compreso tra le progressive A.V. pk 21+991.51 (RI36D) e pk 24+874.84 (RI39).

Le valutazioni esposte nel seguito sono basate sui risultati delle indagini geotecniche di sito e di laboratorio disponibili, relative sia alla fase di Progetto Definitivo (PD) sia a quella di Progetto Esecutivo (PE). Si sono inoltre considerati i risultati di test sperimentali di stabilizzazione a calce eseguiti in laboratorio nell'ambito della più recente campagna di indagine (PE).

Laddove possibile e necessario, l'opportunità di ricorrere alla stabilizzazione a calce del terreno in sito per la creazione degli strati di sottofondo dei rilevati è motivata innanzitutto da criteri di ottimizzazione dell'intervento, in termini sia economici, sia di sostenibilità ambientale. Infatti, il riutilizzo di materiali normalmente non idonei consente, oltre ad un minore ricorso a materiali provenienti da cave di prestito, anche una riduzione del traffico veicolare pesante per il trasporto degli stessi e per il trasporto a scarica dei materiali provenienti dagli scavi di bonifica.

Quindi, nel complesso, il ricorso a questa tecnologia di trattamento presenta ricadute potenzialmente positive sia in termini economici, sia in termini di sostenibilità ambientale.

Le valutazioni esposte nel seguito riguardano anche gli spessori di scotico e bonifico da prevedersi in tratte di rilevato per le quali sono previsti interventi di consolidamento profondi (colonne di ghiaia), per i quali si fa riferimento alle specifiche indicazioni della progettazione esecutiva delle singole WBS.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 4 di 21

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo.
- [2] IN1710EI2RBGE0000003C Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33.500)
- [3] IN1710EI2LZGE0000017B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico
- [4] IN1710EI2RHGE0000004B Relazione idrogeologica 2/2
- [5] IN1710EI2RHGE0000007B-8B Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [6] IN1710EI2PRGE0000001A-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [7] IN1710EI2PRGE0000003A-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [8] IN1710EI2PRGE0000005A-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000009A-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2IGGE0000001A-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2IGGE0000003A-4B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento

- [12] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [13] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [14] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [15] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [16] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [17] RFI DTC SICS SP IFS 001 B – Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – Opere in terra e scavi
- [18] RFI – DTC SIGE SP IFS 003 A – Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II – Sezione 18 – Utilizzo di aggregati riciclati e trattamenti con calce per opere in terra
- [19] CNR-UNI 10006 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre
- [20] CNR – Bollettino Ufficiale n. 36 del 21/2/1973 – Norme Tecniche “Stabilizzazione delle terre a calce”

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 5 di 21

- [21] UNI 11531-1:2014: “Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture – Criteri per l’impiego dei materiali – Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati”.
- [22] ASTM D6276-19 Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization, 2019
- [23] ASTM C977-18 Standard Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilization, 2018

2.3 Bibliografia

- [24] Ministère de l’Equipement , des Transports et du Logement – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - «Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques Application à la réalisation des remblais et des couches de forme» LCPC – SETRA, Gennaio 2000
- [25] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti “Studio a carattere pre-normativo – Norme tecniche di tipo prestazionale per capitolati speciali d’appalto”, 2001
- [26] Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des assises de chaussées – Guide technique – LCPC – SETRA, 2007
- [27] CRR – Centre de Recherche Routières « Code de bonne pratique pour le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques » Bruxelles – n. 81/2010

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 6 di 21

3 SPESSORI DI SCOTICO E BONIFICO

La valutazione degli spessori presumibili di scotico e di bonifico lungo la tratta in oggetto è stata condotta sulla base delle risultanze stratigrafiche derivata dai sondaggi e dai pozzetti eseguiti durante le fasi di PD e di PE.

Le informazioni relative sono contenute nei profili geotecnici.

Più in dettaglio, le informazioni desunte dai profili geotecnici sono state confrontate con la porzione più superficiale delle stratigrafie dei pozzetti, condotti per la massima parte nella fase di Progetto Definitivo.

Il criterio generale di valutazione degli spessori si basa su quanto indicazioni del paragrafo 5.5.4.1 del Capitolato generale Tecnico di Appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – Opere in terra e scavi.

5.5.4.1 Rilevato ferroviario

Tutti i rilevati, sia che si impostino sul piano di campagna o che si addossino a rilevati esistenti, dovranno essere eseguiti tenendo conto delle seguenti modalità.

- a) Prima della formazione del rilevato, il terreno al di sotto del piano di campagna andrà asportato per uno spessore minimo di 50 cm (scotico) e comunque per tutto lo strato di terreno vegetale. Successivamente dovrà essere preparato il piano di posa, alla quota prevista in progetto, secondo i requisiti previsti nel punto b) del presente paragrafo; se la quota di progetto è superiore a quella dello scotico, la stessa dovrà essere raggiunta con l'apporto di materiale selezionato, rispondente ai requisiti di cui al punto 5.5.3.b) (rinteri).
- b) Il piano di posa, che sia costituito dal terreno in sito o da materiale di rinterro, dovrà essere costipato mediante rullatura in modo da ottenere una densità secca non inferiore al 95% della densità massima, ottenuta per quella terra, con la prova di costipamento AASHTO modificata (UNI-EN13286-2).

Il modulo di deformazione, misurato mediante prova di carico su piastra, al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.05 MPa – 0.15 MPa, non dovrà essere inferiore a 20MPa e inoltre il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo dovrà essere non inferiore a 0.45 (CNR-BU n. 146). Qualora quest'ultimo valore non fosse conseguibile si dovrà fare riferimento a quanto previsto al punto 5.5.4.1.i). Se il terreno in situ non ha caratteristiche adeguate ai requisiti richiesti, dovrà essere effettuata la bonifica, secondo quanto previsto al punto 5.5.3.b) (rinteri).

La bonifica può essere eseguita, sempre in accordo al Capitolato RFI, utilizzando materiale di tipo A1, A2, A3 ed A4 (quest'ultimo, solo se proveniente dagli scavi) adeguatamente compattato, oppure, in caso di indisponibilità di materiali appartenenti a questi gruppi, utilizzando terreno stabilizzato a calce.

E' previsto, per il rilevato RI36E, un trattamento con colonne di ghiaia da eseguire a partire da un piano di lavoro realizzato riportando del materiale granulare sul piano di scotico. L'esecuzione del trattamento con colonne di ghiaia non richiede l'esecuzione di ulteriori interventi di bonifica (inclusa la stabilizzazione a calce), in quanto le colonne stesse, oltre a svolgere la loro funzione nei confronti dei fenomeni di liquefazione, costituiranno di fatto un rinforzo del terreno superficiale.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 7 di 21

4 STRATIGRAFIA SUPERFICIALE RILEVATA LUNGO IL TRACCIATO

La stratigrafia superficiale viene derivata, come accennato, dai profili geotecnici della tratta di interesse e dalla analisi di dettaglio dei pozzetti esplorativi disponibili nella tratta, elencati in Tabella 4-1.

In generale, per le profondità coinvolte (0.5 o 1.0 m) i terreni appartengono alla formazione 4 (sabbie limose). Solo in corrispondenza di parte dei rilevati RI36E ed RI37 sono presenti in superficie materiali ascrivibili alla formazione 3b.

Valgono quindi le considerazioni relative a strati limoso-sabbiosi e, solo in parte, a stati coesivi, la cui effettiva sequenza locale risulta comunque variabile senza possibilità di maggiore specificazione.

In linea generale, come emerge anche dalle stratigrafie dei pozzetti, la parte più superficiale al di sotto dello spessore di terreno vegetale risulta di natura sabbiosa (con le citate eccezioni).

Tabella 4-1 – Pozzetti esplorativi afferenti la tratta tra le pk 21+991.51 e pk 24+874.84

ID Pozzetto esplorativo	Progressiva di riferimento (indicativa)	Rilevato di riferimento
PT-PE-15	22+060	RI36D
PT-PE-16	23+250	RI36E
PZ12V	23+675	RI37

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 8 di 21

5 SINTESI DEGLI SPESSORI DI SCOTICO E BONIFICO PREVISTI

In Tabella 5-1 si riporta la sintesi degli spessori di scotico e bonifico previsti per i rilevati della tratta sulla base dei dati al momento disponibili.

La effettiva decisione operativa sul trattamento a calce potrà avvenire solo a valle di nuove determinazioni previste prima della fase di costruzione, al fine di localizzare con maggiore precisione le sub-tratte idonee o meno al trattamento. Solo a seguito di tali nuovi dati si potrà effettivamente procedere ad una zonazione di dettaglio, specificando le progressive dei campioni che risultano non idonei al trattamento in termini di contenuto di fini e indice di plasticità secondo la tabella 18.6.3.1.1-1 del Capitolato RFI.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 9 di 21

Tabella 5—1 – Indicazioni relative a scotici e bonifici

Pozzetto di riferimento	WBS	Denominazione	Progressive		Tipo di intervento di sottofondazione del rilevato	Spessore di scotico (*)	Spessore di bonifico (*)	Spessore totale di scotico + bonifico (*)	Trattamento del terreno alla base dello scotico
			pk iniziale	pk finale		m	m	m	
PT-PE-15	RI36D	Rilevato ferroviario da pk 21+991.51 a pk 22+748.51	21+991.51	22+748.51	-	0.50	-	0.50	
PT-PE-16	RI36E	Rilevato ferroviario da pk 22+748.51 a pk 23+527.15	22+748.51	23+527.15	Colonne di ghiaia per riduzione di cedimento	0.50	-	0.50	Prevista creazione di un piano di lavoro mediante messa in opera di materiale da rilevato compattato in sostituzione del terreno scavato ed esecuzione di colonne di ghiaia L=4m
PZ12V	RI37	Rilevato ferroviario da pk 23+549.15 a pk 23+978	23+549.15	23+978	-	0.50	0.50	0.50 (1.00)	Sulla base dei dati disponibili il materiale presente a fondo scavo potrà essere sia di tipo 4, sia costituito da alternanze di materiale 3a/3b. In ogni caso, si procederà con una compattazione con rullo vibrante con peso statico pari ad almeno 15 t sul piano di scotico. Questo al fine di compattare eventuali strati sabbioso - limosi sciolti posti al disotto del fondo scavo. Se la natura del materiale a fondo scavo è di tipo sabbioso limoso (materiale 3a), si dovrà procedere con la compattazione fino ad ottenere i valori del modulo su piastra previsti dal Capitolato RFI. Se invece ci si trova in presenza di materiali limoso-argillosi 3b, e i requisiti non sono stati ottenuti, si potrà prevedere il trattamento di stabilizzazione (per 50 cm circa) con calce previa verifica puntuale di idoneità in accordo al Capitolato Generale RFI sezione 18.
	RI38	Rilevato ferroviario da pk 23+978 a pk 24+368	23+978	24+368	-	0.50	-	0.50	
	RI39	Rilevato ferroviario da pk 24+368 a pk 24+874.84	24+368	24+874.84	-	0.50	-	0.50	

(*) Valori medi stimati a partire dall'involuppo dei dati delle indagini puntuali disponibili (sondaggi e pozzetti esplorativi). La situazione effettiva dovrà essere determinata puntualmente in campo, caso per caso, durante la fase di costruzione. Lo spessore di bonifico, dove indicato, corrisponde all'eventuale spessore all'interno del quale eseguire la stabilizzazione a calce al di sotto del piano di scotico.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 10 di 21

6 STABILIZZAZIONE SUPERFICIALE DEI MATERIALI IN SITO – CRITERI GENERALI

Nell'ambito della realizzazione dei rilevati della tratta in oggetto viene valutata, in termini generali, la possibile idoneità dei terreni più superficiali a subire un trattamento di stabilizzazione a calce per consentirne l'utilizzo per la realizzazione di strati di rilevato e/o strati di sottofondazione.

La possibilità di utilizzo di calce per la stabilizzazione del terreno naturale viene analizzata nel capitolo 18.6.3 del Capitolato Generale Tecnico Di Appalto Delle Opere Civili – Parte II – RFI (rif. [18]). I pre-requisiti di idoneità dei materiali per il trattamento a calce sono sintetizzati nella Tabella 18.6.3.1.1-1, qui riportata per facilità di consultazione (Tabella 6—1).

Tabella 6—1 – Limiti di accettazione dei terreni naturali da sottoporre a trattamento di stabilizzazione con calce (cfr. Tabella 18.6.3.1.1-1 Capitolato Generale Tecnico Di Appalto Delle Opere Civili – Parte II – RFI)

LIMITI DI ACCETTAZIONE DEL TERRENO NATURALE			
Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Requisito	Limiti di accettabilità
Analisi granulometrica	CNR B.U n. 36 UNI EN 933-1 UNI CEN ISO/TS 17892-4	Granulometria	par. 2.1 della norma CNR B.U. n.36 ⁽¹⁾
Limiti di Atterberg (LL-LP)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	Indice di plasticità IP	>10 ⁽¹⁾
Contenuto in sostanze organiche	ASTM D 2974 - C	Sostanze organiche	< 2% ⁽²⁾
Contenuto in solfati	UNI EN 1744-1	Solfati totali	< 0,25% ⁽³⁾

⁽¹⁾ Saranno ammesse granulometrie diverse da quelle interamente comprese nel fuso e un valore minore della plasticità a condizione che si dimostri l'idoneità della terra ad essere trattata, attraverso lo studio delle miscele di laboratorio e un campo prova preventivamente approvato da Ferrovie. In ogni caso il diametro massimo degli elementi non dovrà essere maggiore della metà dello spessore finito di ciascuno degli strati di terra trattata per la realizzazione dei rilevati e l'indice di plasticità dovrà essere IP>5

⁽²⁾ Questo valore può essere aumentato fino al 4%, nel caso di impiego del trattamento per il piano di posa del rilevato, a condizione che siano soddisfatti i valori delle prove sul prodotto finale riportati al capitolo II.5

⁽³⁾ Questo valore può essere aumentato fino a raggiungere l'1%, qualora lo studio di laboratorio della miscela sia stato ritenuto idoneo da Ferrovie

Dal punto di vista granulometrico, come indicato in Tabella 6—1, i materiali da assoggettare al trattamento a calce devono, in linea di principio, rientrare nel fuso granulometrico riportato nel paragrafo 2.1 della Norma CNR B.U. 36 del 21/2/1973, riportato nella Figura 6-1.

Come indicato sempre nella Tabella 6—1, sono ammesse anche granulometrie non ricadenti nel fuso citato anche con valori inferiori di plasticità, purché ne venga dimostrata l'idoneità tramite sperimentazione specifica di laboratorio e di sito.

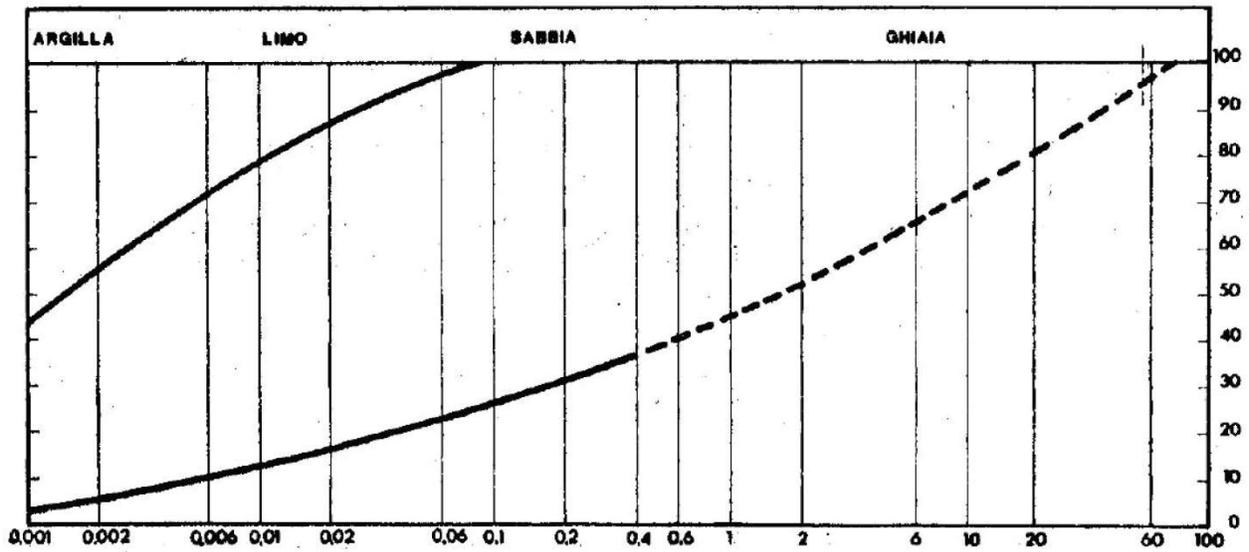


Figura 6-1 – Fuso granulometrico delle terre per la stabilizzazione con calce (da CNR B.U. 36)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 12 di 21

7 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA PROVE DI LABORATORIO

7.1 Generalità

La tratta in esame vede in prevalenza la presenza in superficie di materiali ascrivibili alla formazione sabbiosa 4 e localmente alla formazione argillosa 3b. Sono stati esaminati i risultati delle prove di laboratorio disponibili, eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi e nei pozzetti, nell'ambito dei primi 3 m circa di profondità circa da p.c.

In questo intervallo di profondità sono stati analizzati i dati relativi ai quattro requisiti fondamentali di cui alla Tabella 6—1, ovvero:

- Granulometria (ed in particolare contenuto di materiali fini, limo + argilla – FC).
- Limiti di Atterberg (e in particolare l'indice di plasticità IP).
- Contenuto di solfati.
- Contenuto di sostanze organiche.

7.2 Granulometria e caratteristiche di plasticità

In Figura 7-1 vengono mostrati i valori del contenuto di fine determinati sui campioni disponibili prelevati nei sondaggi di riferimento, per profondità fino a 3.5 m circa da p.c. Come si evince dalla Figura 7-1, il contenuto di limo e argilla (<0.063 mm) risulta in vari casi sia superiore, sia inferiore al 25%, valore limite inferiore del fuso granulometrico di Figura 6-1 (CNR B.U. 36). Questa situazione conferma quanto emerso dalla caratterizzazione geotecnica generale, che vede l'alternanza di livelli granulari e coesivi a piccola profondità.

Analogamente, per lo stesso intervallo di progressive, la Figura 7-2 mostra l'andamento dei valori dell'indice di plasticità IP nei primi 3.5 m di profondità, così come determinato su campioni prelevati nei sondaggi e nel pozzetto ricadenti nel tratto in esame. I risultati disponibili mostrano in generale valori superiori al limite minimo previsto del 5%, tranne in un campione prelevato nel pozzetto PT-PE-15 che risulta non plastico e per il quale il contenuto di fine risulta inferiore al 25%.

In conclusione, si ritiene sulla base dei dati disponibili che la stabilizzazione a calce dei terreni naturali debba essere valutata localmente, caso per caso.



AV/AC VERONA VICENZA

RI36 - RI39 da pk 21+991 a pk 24+874

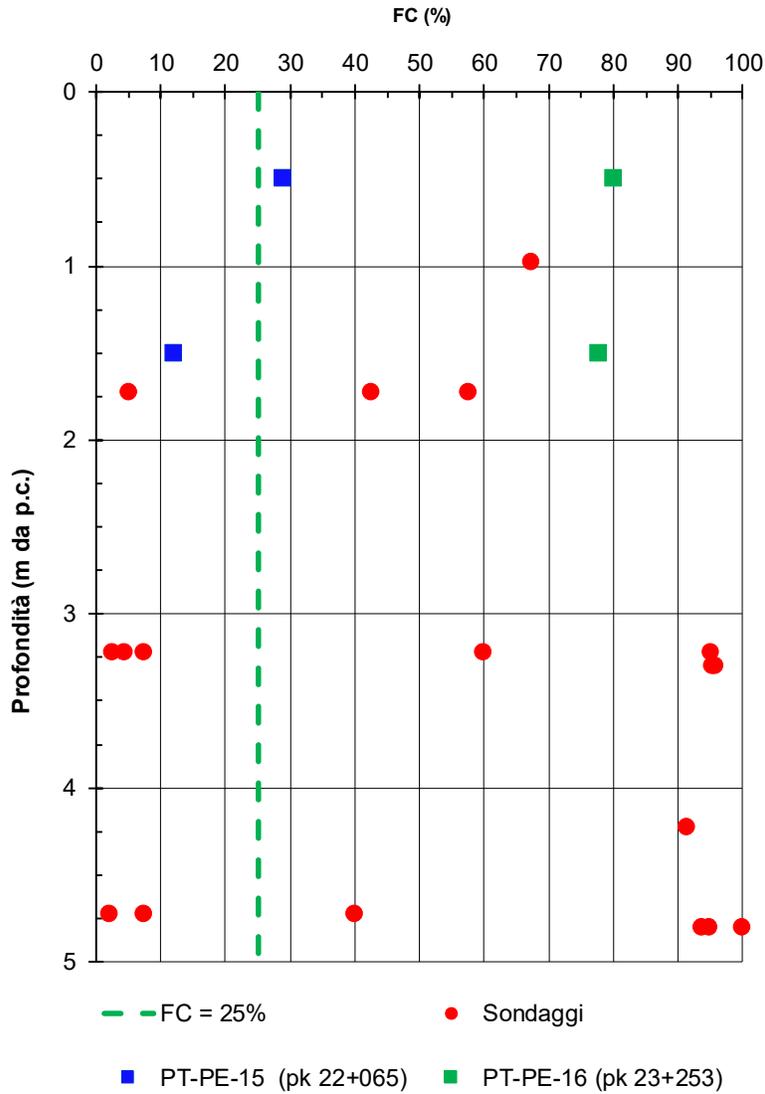


Figura 7-1 – Frazione fine (limo + argilla) nell'area di interesse

AV/AC VERONA VICENZA

RI36 - RI39 da pk 21+991 a pk 24+874

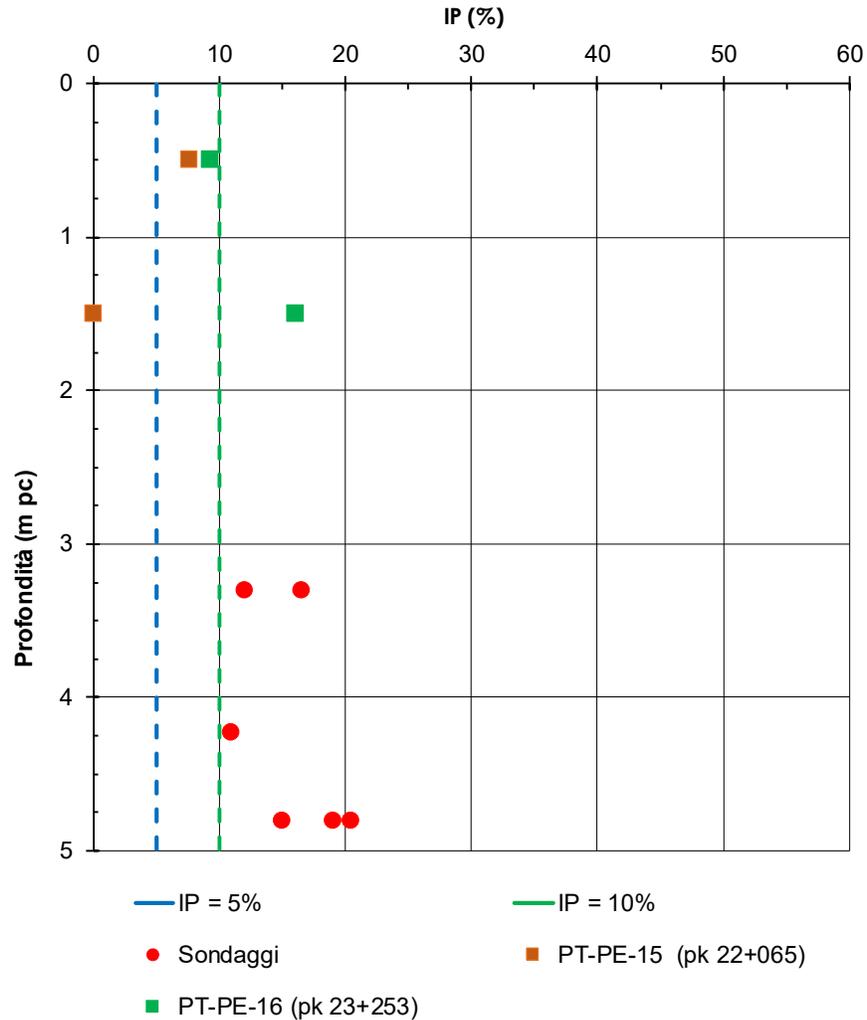


Figura 7-2 – Valori di IP nell'area di interesse

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 21+991.51 a pk 24+874.84	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento E12 RO RI 00 0 X 006	Rev. B	Foglio 15 di 21

7.2.1 Considerazioni generali

Per completezza di informazione, la Figura 7-3 riporta l'insieme delle curve granulometriche disponibili al momento della stesura del presente documento, relativi a campioni prelevati nei pozzetti esplorativi eseguiti nell'ambito delle indagini integrative del PE, lungo tutta la linea. L'insieme delle granulometrie viene confrontato nella Figura 7-3 con i limiti del fuso previsti dal CNR BU 36, richiamato nella Figura 6-1. Una sintesi dei risultati ottenuti dalle prove di laboratorio sui pozzetti esplorativi eseguiti sull'intera linea nell'ambito del PE, incluse le granulometrie ed i limiti di Atterberg, è riportata in Tabella 7—1.

In conclusione, si può affermare come la quasi totalità dei campioni dei pozzetti analizzati rientri nell'ambito del fuso di accettabilità per i materiali assoggettabili al trattamento a calce, in accordo al Capitolato RFI (rif. [18]).

7.3 Contenuto di solfati

Solfati e solfuri sono costituenti spesso presenti nei suoli (sotto forma di gesso o piriti) e nei materiali di demolizione (ad esempio negli intonaci). Questi composti risultano essere molto dannosi, perché la loro azione può già essere negativa per concentrazioni molto inferiori all'1%.

All'inizio della presa, questi costituenti hanno generalmente un ruolo benefico nella regolazione della stessa ma, se l'apporto di solfati (o solfuri) e di acqua è sufficiente, la loro azione prosegue con la formazione dell'ettringite, specie cristallina molto rigonfiante che può provocare distruzione della presa idraulica. Soprattutto ai fini della durabilità della stabilizzazione è necessario quindi limitare il più possibile il contenuto di solfati dei materiali da trattare.

Per quanto riguarda i limiti di accettazione per i solfati applicabili al progetto, le informazioni generali disponibili (riassunte in Tabella 7—1) indicano valori di concentrazione sui campioni superficiali (0.0 ÷ 2.5 m) generalmente inferiori o pari allo 0.02 %, compatibili con quanto indicato dalla CNR BU 36 (rif. [20]), sintetizzata in Tabella 6—1 (≤ 0.25 %).

In questa fase di progetto, sui campioni superficiali dei pozzetti effettuati lungo la linea è stato sistematicamente determinato il contenuto di solfati. In sede di realizzazione delle opere verranno effettuati i pozzetti previsti dal Contratto per gli scopi legati agli interventi di preparazione e stabilizzazione del piano di posa.

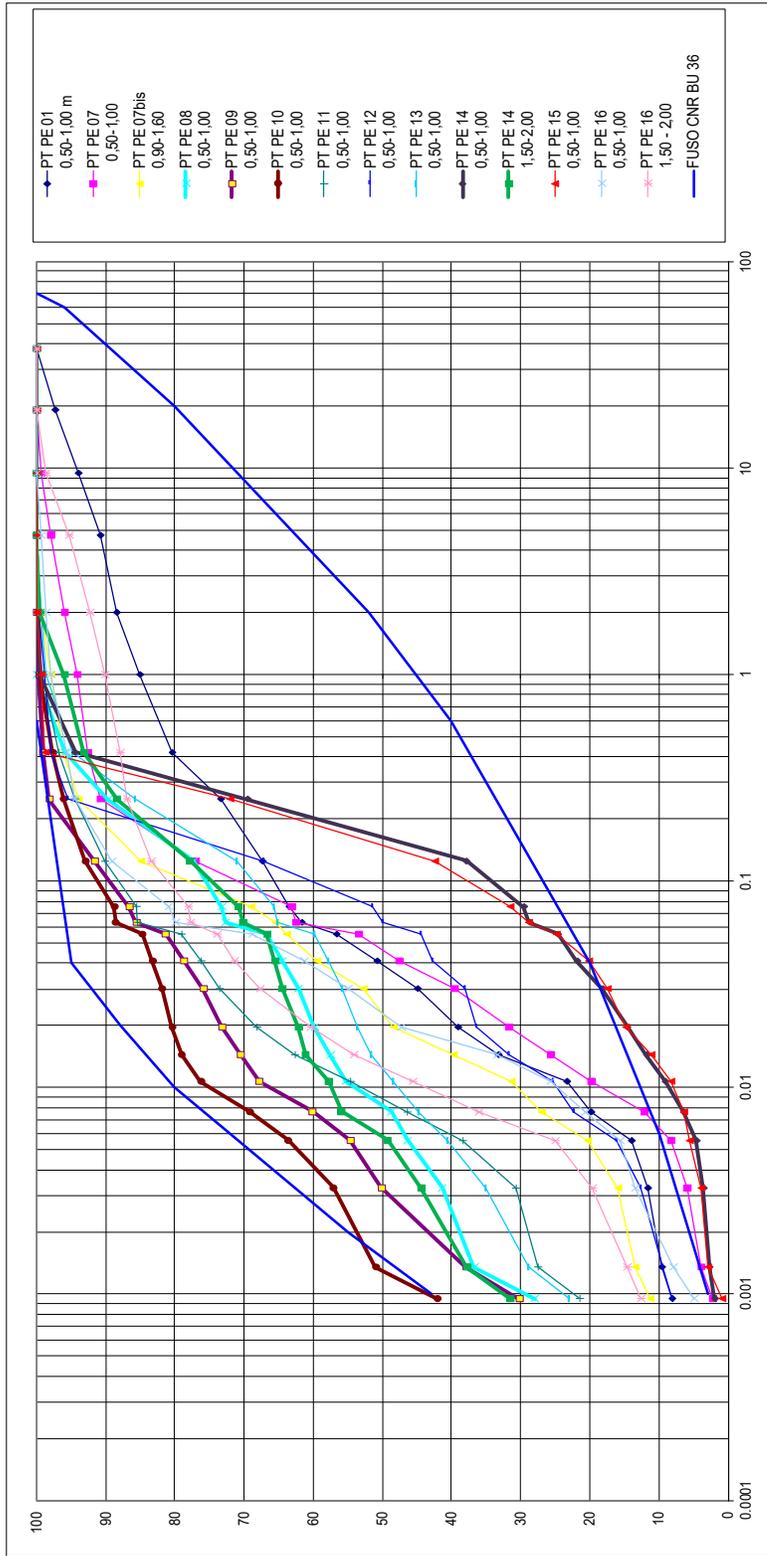


Figura 7-3 – Curve granulometriche determinate su campioni prelevati nei pozzetti esplorativi eseguiti durante la fase di indagine di PE – Confronto con il fuso CNR BU 36

Tabella 7—1 – Sintesi dei risultati di laboratorio – Pozzetti eseguiti durante la fase di PE

Riferimento	Progressiva pk (km)	Pozzetto	Profondità (m)	Granulometria			Limiti di Atterberg			Classificazione UNI 11531	Prove chimico-fisiche		Consumo iniziale di calce ASTM C 977 app (%)	Sperimentazione miscela terra - calce	
				Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	LL (%)	LP (%)		IP (%)	S.O. (%)		Solfati (%)	CaO (%)
PT PE 01 (pk 1+370)	1+370	PT PE 01	0.3								3.3				
		PT PE 01	1.5	11.6	26.7	51.1	10.6	35.5	23.4	A6		< 0,25			
		PT PE 01	2.5	31.6	21.5	39.7	7.2			A6					
PT PE 02 (pk 1+800)	1+800	PT PE 02	0.3								3.8				
		PT PE 02	1.5	0.3	69.9	26.6	3.2			A2-4					
		PT PE 02	2.5	0.5	66.8	29.2	3.5			A2-4					
PT PE 07 (pk 12+030)	12+030	PT PE 07	0.5-1.0	4.1	33.4	57.8	4.7	27.1	25.0	A4	1.5	< 0,25			
		PT PE 07bis	0.9-1.6	0.7	34.1	50.6	14.7	41.8	23.6	A7-6	1.9	< 0,25	1.20		
		PT PE 08	0.3								5.6				
PT PE 08 (pk 34+380)	34+380	PT PE 08	0.5-1.0	0.0	27.4	33.2	39.4	43.2	26.4	A7-6	3.8	< 0,25	3.10	2.5	3.0
		PT PE 08	1.5-2.0	0.0	18.0	36.0	46.0	31.0	15.0	A7-5			3.40		
		PT PE 09	0.5-1.0	0.0	14.4	40.8	44.8	66.6	32.0	A7-5	4.4	< 0,25		2.5	3.0
PT PE 10 (pk 40+025)	40+025	PT PE 10	0.3								3.8				
		PT PE 10	0.5-1.0	0.3	11.2	33.8	54.7	60.5	31.5	A7-5	3.4	< 0,25	3.30	2.5	3.0
		PT PE 10	1.5-2.0	4.2	74.6	20.5	3.7			A2-4			1.00		
PT PE 11 (pk 41+336)	41+336	PT PE 11	0.3								5.4				
		PT PE 11	0.5-1.0	0.0	14.6	56.3	29.1	38.1	23.2	A6	2.5	< 0,25	2.00	2.0	2.5
		PT PE 11	1.5-2.0	0.0	14.6	66.8	18.7	32.0	20.0	A6			1.70	2.0	2.5
PT PE 12 (pk 16+795)	16+795	PT PE 12	0.3								5.2				
		PT PE 12	0.5-1.0	0.3	49.7	39.1	10.9	28.9	19.4	A4	1.8	< 0,25	1.10	1.5	2.0
		PT PE 12	1.5-2.0	17.0	67.3	13.7	1.9			A2-4			1.00		
PT PE 13 (pk 28+384)	28+384	PT PE 13	0.3								3.4				
		PT PE 13	0.5-1.0	0.7	34.1	32.9	32.3	41.2	24.6	A7-6	4	< 0,25		2.5	3.0
		PT PE 13	1.5-2.0		34.7	46.8	18.5			A4			1.10		
PT PE 14 (pk 30+694)	30+694	PT PE 14	0.3								5.1				
		PT PE 14	0.5-1.0	0.3	70.9	25.7	3.1			A2-4	3.5	< 0,25	1.00		
		PT PE 14	1.5-2.0	0.5	29.3	28.5	41.7	45.1	23.8	A7-6			2.50		
PT PE 15 (pk 22+065)	22+065	PT PE 15	0.3								2.8				
		PT PE 15	0.5-1.0	0.0	71.2	25.5	3.4	24.8	17.1	A2-4	1.3	< 0,25	0.80		
		PT PE 15	1.5-2.0	0.4	87.7	10.7	1.3			A2-4			0.70		
PT PE 16 (pk 23+253)	23+253	PT PE 16	0.3								2				
		PT PE 16	0.5-1.0	1.3	18.7	69.5	10.5	30.9	21.6	A4	1.2	< 0,25	1.40	1.5	2.0
		PT PE 16	1.5-2.0	7.7	14.6	60.7	17.0	33.4	17.3	A6			1.30		

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 10+135 a pk 14+640</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RO RI 00 0 X 002</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 18 di 21</p>

7.4 Contenuto di sostanze organiche

Il contenuto di sostanze organiche dei materiali, come richiamato in Tabella 6—1, costituisce un elemento fondamentale per la valutazione della assoggettabilità degli stessi alla stabilizzazione con calce. La presenza di materia organica, come noto, può ritardare o annullare l'effetto del trattamento con legante consumandone una quantità maggiore o minore per neutralizzare l'acidità del mezzo (acidi umici).

In presenza di pH inferiore a 12 (ad esempio, a causa della concentrazione di acidi umici nel terreno), non ha infatti luogo la reazione pozzolanica tra calce e minerali di argilla. Il principio dell'azione pozzolanica si basa sulla possibilità, in un mezzo ad alto pH (maggiore di 12), di sciogliere silice, allumina ed ossidi di ferro, presenti nei minerali argillosi sotto forme cristallizzate più o meno alterate. Questi elementi in soluzione reagiscono poi con la calce, formando ferro-silico-alluminati di calcio insolubili, che precipitano e cristallizzano in presenza di acqua, creando legami della stessa natura di quelli prodotti con altri leganti idraulici (rif. [24], [26]).

Le determinazioni disponibili del contenuto di S.O. dei terreni superficiali della intera linea, ottenute dai campioni prelevati nei pozzetti esplorativi eseguiti durante la fase di PE, sono riportate, in sintesi, nella Tabella 7—1 di cui sopra.

In generale, il contenuto di sostanza organica è rilevante, compreso tra 1.2 – 4.4% (mediamente 3%), come era lecito attendersi in terreni sottoposti ad intenso uso agricolo; un maggior contenuto di sostanza organica comporta generalmente una maggiore richiesta di calce, ma si tratta comunque di valori potenzialmente compatibili con il trattamento, previa idonea sperimentazione per la determinazione della miscela ottimale.

Pertanto in fase di costruzione, come anche richiesto dal Capitolato, verranno eseguiti ulteriori pozzetti esplorativi con prelievo campioni al fine di verificare i requisiti dei materiali sulla base della Tabella 6—1.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 10+135 a pk 14+640		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO RI 00 0 X 002	Rev. B	Foglio 19 di 21

8 SPERIMENTAZIONI DI LABORATORIO CON MISCELE TERRENO – LEGANTE

Sono state eseguite prove di laboratorio su miscele di terreno e legante (calce o calce + cemento) a partire da campioni prelevati in alcuni dei pozzetti esplorativi realizzati durante la fase di PE lungo tutta la linea. I risultati di queste prove, con le relative percentuali di legante (generalmente ossido di calcio CaO) sono riportati in Tabella 8—1, unitamente al valore del Consumo Iniziale di Calce (CIC) determinato con il test di Eades & Grim (1996) in accordo alla norma ASTM C 977 – Appendice1.

Si segnala che, sul materiale prelevato nel pozzetto PT-PE-07 alla pk 12+030, in ragione della natura prevalentemente sabbioso-limosa del campione (classificato come A4), le prove di stabilizzazione sono state eseguite con l'1% di calce e percentuali di cemento variabili dal 2% al 3%. Tale tipologia di trattamento è ipotizzabile su materiali di questo tipo (sabbioso-limosi), dove la calce, normalmente in bassa percentuale, svolge la funzione di riduzione del contenuto d'acqua iniziale e di prima agglomerazione delle particelle più fini, mentre la funzione vera e propria di legante è demandata al cemento.

¹ attualmente in vigore la norma ASTM D 6276-19, del tutto analoga - rif. [21]

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 10+135 a pk 14+640		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO RI 00 0 X 002	Rev. B	Foglio 20 di 21

Tabella 8—1 – Sperimentazione di miscela terra – leganti – campioni prelevati nei pozzetti in fase di PE

Riferimento	Profondità (m)	Classificazione	Consumo iniziale di calce	Sperimentazione miscele terra - calce		
		UNI 11531	ASTM C 977 app (%)	CaO (%)		
PT PE 07 (pk 12+030)	0.5 - 1.0	A4		1% CaO + 2% cem	1% CaO + 2.5% cem	1% CaO + 3% cem
PT PE 07bis (pk 20+013)	0.9 - 1.6	A7-6	1.20	2.0	2.5	3.0
PT PE 08 (pk 34+380)	0.3					
	0.5 - 1.0	A7-6	3.10	2.5	3.0	3.5
	1.5 - 2.0	A7-5	3.40			
PT PE 09 (pk 38+010)	0.5 - 1.0	A7-5		2.5	3.0	3.5
PT PE 10 (pk 40+025)	0.3					
	0.5 - 1.0	A7-5	3.30	2.5	3.0	3.5
	1.5 - 2.0	A2-4	1.00			
PT PE 11 (pk 41+336)	0.3					
	0.5 - 1.0	A6	2.00	2.0	2.5	3.0
	1.5 - 2.0	A6	1.70	2.0	2.5	3.0
PT PE 12 (pk 16+795)	0.3					
	0.5 - 1.0	A4	1.10	1.5	2.0	2.5
	1.5 - 2.0	A2-4	1.00			
PT PE 13 (pk 28+384)	0.3					
	0.5 - 1.0	A7-6		2.5	3.0	3.5
	1.5 - 2.0	A4	1.10			
PT PE 16 (pk 23+253)	0.3					
	0.5 - 1.0	A4	1.40	1.5	2.0	2.5
	1.5 - 2.0	A6	1.30			

Nella Tabella 8—2 sono stati sintetizzati i principali risultati delle sperimentazioni eseguite su terre provenienti dal pozzetto PT-PE-16, ricadente nella tratta in esame, miscelato a materiale prelevato nel pozzetto PT-PE-12 (entrambi appartenenti al gruppo A4). I risultati ottenuti in termini di CBR sono da confrontarsi con i requisiti minimi di accettabilità previsti dalla Tabella 18.6.3.2-2 del Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II – Sezione 18, riportata per facilità di consultazione in Tabella 8—3.

Come si può vedere, i risultati ottenuti sono soddisfacenti e forniscono quindi una buona indicazione generale per le successive fasi sperimentali che saranno necessarie all'atto della costruzione.

Nella fase realizzativa dovranno comunque essere condotte tutte le sperimentazioni del caso per aree omogenee di materiale, secondo quanto riportato per esteso nei paragrafi 18.6.3.2 e 18.6.3.3 del Capitolato RFI citato [18], inclusa la realizzazione di campi prova sperimentali.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
Preparazione del piano di posa e valutazione della compatibilità del trattamento a calce per i rilevati ubicati da pk 10+135 a pk 14+640	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RO RI 00 0 X 002	Rev. B	Foglio 21 di 21

Tabella 8—2 – Risultati della sperimentazione sul materiale del pozzetto PT-PE-16 (miscelato a materiale di PT-PE-12)

POZZETTO ESPLORATIVO	PT-PE-12 + 16			
Campione	PT-PE-12+16 naturale	PT-PE-12+16 trattato a CaO al 1,5%	PT-PE-12+16 trattato a CaO al 2,0%	PT-PE-12+16 trattato a CaO al 2,5%
Profondità (m da p.c.)	0,50 - 1,00 m			
UNI 11531-1				
INDICE CBR IPI a 2,5 mm (all' umidità ottima)		62.6	78.4	86.2
INDICE CBR IPI a 5,0 mm (all' umidità ottima)		65.5	78.7	99.8
INDICE CBR immerso 96h a 2,5 mm (all' umidità ottima) (7 gg)		67.0	90	102.4
INDICE CBR immerso 96h a 5,0 mm (all' umidità ottima) (7 gg)		72.3	81.9	109.4
Rigonfiamento dopo immersione 96h (%) (7 gg)		0.07	0.05	0.07

Tabella 8—3 – Limiti di accettazione delle miscele Terra/Calce in accordo al Capitolato Tecnico RF1

Tabella 18.6.3.2-2

LIMITI DI ACCETTAZIONE DELLE MISCELE TERRA/CALCE		
Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Limiti di accettabilità
Indice di portanza CBR imbibito a 7 giorni, di cui i primi 3 di maturazione e gli ultimi 4 di imbibizione	UNI EN 13286-47	$\geq 20\%$ per gli strati del piano di posa $\geq 50\%$ per gli strati del corpo del rilevato $< 1\%$ per il Rigonfiamento lineare
Indice di portanza immediato (IPI)		≥ 10 (IPI ₁₀)