

Convegno:
***Le nuove frontiere della stabilizzazione a calce dei terreni:
da rifiuto a risorsa.....***

***Le esperienze nella costruzione delle nuove linee
ferroviarie***

Letizia Berardi
Stefano Ciufegni

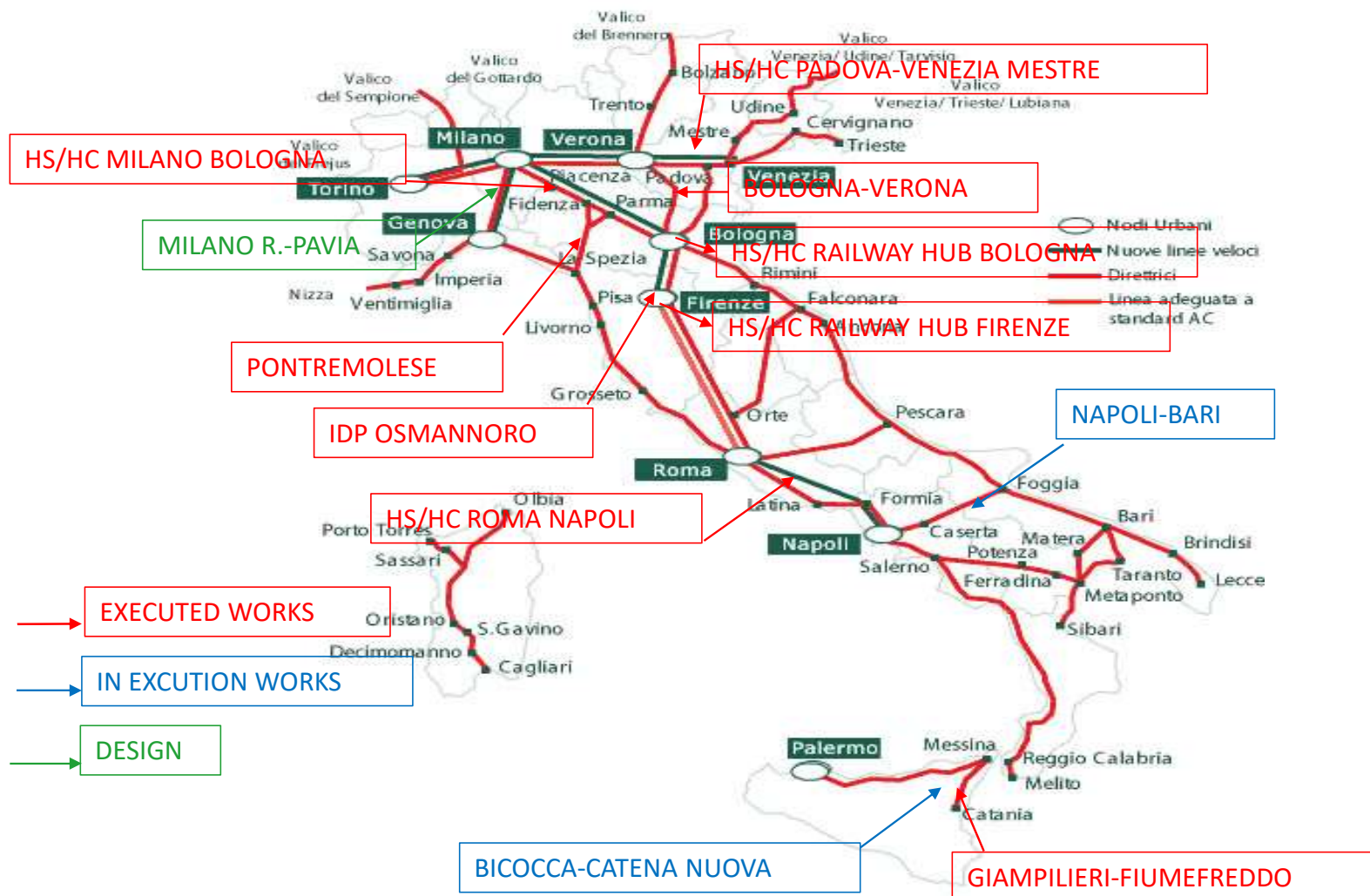
Catania 31 Maggio 2024



Premessa

- E' bene ricordare che da sempre per i lavori di costruzione gli uomini si avvalgono del potere di legante della calce.
- La più antica malta a base di calce è stata scoperta nelle vicinanze di una cittadina della Serbia Orientale ed è stata datata 5.600 anni a.C.
- Successivamente i Romani hanno perfezionato, sviluppandole le competenze delle civiltà precedenti sia per le costruzioni (es. il Pantheon la cui cupola è stata realizzata utilizzando una malta fatta con pozzolana e calce aerea) che per le strade (sottofondo della via Appia)
- Venendo ai giorni nostri l'uso della calce per la realizzazione di infrastrutture stradali è stata ripresa negli anni '70 e '80 (Belgio)
- Le prime esperienze nel mondo ferroviario risalgono alla metà-fine degli anni '80 con la stabilizzazione del piano di posa dell'Interporto di Cervignano del Friuli, IDP Firenze Osmannoro, quadruplicamento Rovezzano – Firenze Campo di Marte
- Dopo quelle esperienze «pioneristiche» l'uso della calce è cresciuto ed utilizzato, non solo per il piano di posa ma per la costruzione anche del corpo del rilevato sia nelle linee convenzionali che AV/AC

Premessa




3

Premessa

Con l’emissione del 2023 della sezione 18 del Capitolato Generale di appalto delle Opere Civili, sono state apportate significative modifiche alla precedente versione che possono essere così riassunte:

- E’ stato chiarito cosa si intende per stabilizzazione e miglioramento di una terra con calce, introducendo lo modalità operative per quest’ultima tipologia di trattamento
- Sono state riviste le prove da eseguirsi nella fase di studio e di campo prova, con la conseguente riduzione dei tempi della fase di studio
- Sono state aggiunte altre tipologie di terre da trattare a calce
- Sono state specificate le modalità operative in presenza di sospensioni delle lavorazioni



 RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI - PARTE II - SEZIONE 18 UTILIZZO DI AGGREGATI RICICLATI E TRATTAMENTI CON CALCE PER OPERE IN TERRA	
CAPITOLATO - PARTE II - SEZIONE 18	Codifica: <u>RFI DTC SI GE SP IFS 003 B</u>	FOGLIO 1 di 44

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI	
PARTE II - SEZIONE 18 UTILIZZO DI MISCELE NON LEGATE DI AGGREGATI RICICLATI TRATTAMENTI CON CALCE PER OPERE IN TERRA	
18.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
18.2	DOCUMENTAZIONE CORRELATA
18.3	DEFINIZIONI
18.4	ABBREVIAZIONI
18.5	UTILIZZO DI MISCELE NON LEGATE DI AGGREGATI RICICLATI COME MATERIALI PER LA REALIZZAZIONE DI OPERE IN TERRA
18.6	STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE
18.7	MIGLIORAMENTO DI UN TERRENO CON TRATTAMENTO A CALCE

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Verifica Tecnica	Autorizzazione
A	22/12/2017	Emissione per Applicazione	L. Mostocotto S. Gorelli V. Rameci	M. Mezzabotta L. Mostocotto	F. Iacobini
B	30/12/2022	Emissione per applicazione	L. Mostocotto G. Iacobini	M. Mezzabotta L. Mostocotto	F. Iacobini

31/05/2024

Le esperienze nella costruzione delle nuove linee ferroviarie - Berardi - Ciufegni

Facciamo chiarezza

Quando si fa riferimento all'uso della calce per le opere in terra spesso si parla di trattamento a calce ed a volte si usano, come sinonimi, 2 termini:

➤ **Miglioramento**

➤ **Stabilizzazione**

Apparentemente possono essere considerati simili ma nella realtà rappresentano due processi che danno risultati completamente diversi :

Per “**Miglioramento**” di un terreno si intende un processo, dovuto ad aggiunta di calce, che modifichi il comportamento del terreno durante le lavorazioni, senza però modificare la caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno, ovvero permette una migliore lavorabilità del terreno. Il caso più tipico è quello della riduzione dell'umidità per avvicinarsi quella ottimale. In questo caso per riuscire uno dei sistemi è appunto aggiungere calce viva, che idratandosi assorbe acqua, ma non si modificano le caratteristiche meccaniche del materiale.

Per “**Stabilizzazione**” di un terreno plastico si intende invece un processo che innesci una serie di fenomeni che portano sia alla modifica delle proprietà intrinseche del materiale con la modifica della mineralogia e delle sue proprietà meccaniche. Il risultato finale è un materiale cementato insensibile nel tempo all'azione dell'acqua, e quindi in grado di mantenere in pratica inalterate nel tempo anche le sue proprietà meccaniche (resistenza a compressione, indice CBR, resistenza al taglio, ecc.).

Facciamo chiarezza

Immergendo un terreno stabilizzato succede questo



Facciamo chiarezza

Se invece immergiamo un terreno solo **migliorato** succede questo



Facciamo chiarezza

Se invece immergiamo un terreno solo **migliorato** succede questo



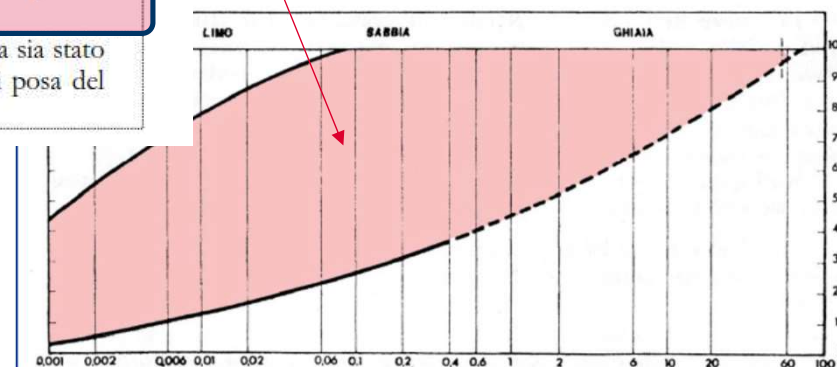
Il Capitolo RFI – quali terre stabilizzare

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 (es. piroclastiti e argilliti) 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 di un quarto ($\frac{1}{4}$) 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 limite potrà essere superato, a condizione che siano soddisfatti i valori delle prove sul prodotto finale riportati al capitolo II.5 e che l'intervento venga giudicato economicamente conveniente da Ferrovie.

⁽³⁾ Questo valore può essere aumentato fino a raggiungere l'1%, qualora lo studio di laboratorio della miscela sia stato ritenuto idoneo da Ferrovie e che il materiale venga utilizzato unicamente per la formazione del piano di posa del rilevato.



Il Capitolato RFI – quali terre stabilizzare

Da UNI 11531

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbioso Frazione passante al setaccio 0,063 mm ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 mm > 35%				
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Frazione passante al setaccio												
2 mm	≤50	-	-									
0,4 mm	≤30	≤50	>50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,063 mm	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	>35	>35	>35	>35	>35
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 mm												
LL (Limite liquido)	-	-	-	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	≤40	>40	>40
IP (Indice di plasticità)	≤6	≤6	N.P.	≤10	≤10	>10	>10	≤10	≤10	>10	IP ≤ LL-30	IP > LL-30

Solo se $I_p > 5$

Ma indipendentemente dalla loro classificazione si possono stabilizzare a calce tutti le terre che reagiscono con la calce, come le piroclastiti, le argilliti, ecc.

Il Capitolato RFI – campionamento

18.6.3.1 FASE 1 - Identificazione della terra da trattare e definizione delle percentuali di calce

PIANO DI POSA (stabilizzazione in sito)	n. 1 campione ogni volta che si riscontrino caratteristiche differenti e, in ogni caso, almeno uno ogni 2000 mq
Stabilizzazione di materiali provenienti da scavi più o meno profondi, da scavo fondazioni, cave di prestito, cumuli, ecc.	Si dovrà procedere al prelievo, mediante sondaggi, pozzetti o altre indagini, di campioni rappresentativi di ogni litotipo e comunque almeno uno ogni 4000 mc

Consumo iniziale di calce

Sui campioni prelevati oltre alle prove di cui alla precedente tabella deve essere analizzato il consumo iniziale di calce (CIC), ovvero la percentuale minima in grado di elevare il ph della miscela terra/calce a 12,4

L'analisi dei risultati delle prove della precedente tabelle insieme al CIC permettono di individuare i **gruppi omogenei** di terreno su cui sviluppare lo studio delle miscele

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele

Per ogni tipo di terreno individuato dovranno essere studiate almeno **3 miscele**.

Le miscele saranno preparate aumentando dello 0,5% il CIC individuato e, comunque, il valore percentuale di calce minimo da adottare non dovrà risultare inferiore al 2%, riferito al peso del secco del terreno.

Ma..... Quale tipo di calce utilizzare

I tipi di calce impiegabili nella stabilizzazione dei terreni sono suddivisi in classi, mediante sigle definite nella norma di prodotto UNI EN 459-1.

Le norme di riferimento per le prove sono le UNI EN 459-2 e UNI EN 459-3.

Il tipo di ossido di calce da utilizzare è solo quello appartenente alla classe **CL 90**; i relativi requisiti chimici, fisici e granulometrici sono indicati nella suddetta norma UNI EN 459 e nella norma UNI EN 14227-11.

Requisiti chimici della calce^{a)}

	Tipo di calce da costruzione	CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Calce libera
1	CL 90	≥90	≤5 ^{c)}	≤4	≤2	-

Da UNI EN 459-1

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele

Le prove da eseguire sono riportate nelle tabelle seguenti

PROVE SUL TERRENO NATURALE	
Test di Laboratorio	Norma di riferimento
Prova di costipamento Proctor Modificata, con determinazione di umidità ottima (Wopt)	UNI EN 13286-2
Indice di portanza CBR imbibito	UNI EN 13286-47
Indice di portanza immediato (IPI)	

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele

Le prove da eseguire sono riportate nelle tabelle seguenti

TEST DI LABORATORIO		NORMA DI RIFERIMENTO
1	Indice di portanza CBR imbibito da misurare dopo 28 gg. di maturazione, con imbibizione negli ultimi 4 gg.	UNI EN 13286-47
2	Prova di costipamento Proctor Modificata, con determinazione di umidità ottima (Wopt)	UNI EN 13286-2
3	Prova di taglio in cella triassiale CID su 3 provini, a 28 gg. di maturazione	AGI 1994 UNI CEN ISO/TS 17892-9
4	Compressione semplice a 7 giorni di maturazione, su n° 9* provini cilindrici con rapporto d/h=1/2, prelevati da n° 3 campioni con diverso grado di umidità: Wopt, Wopt + 2%, Wopt - 2%. Per ogni provino dovrà essere determinata l'umidità e il peso specifico.	UNI EN 13286-41 UNI EN ISO/TS 17892-7
5	Compressione semplice a 7 giorni di maturazione, più 2 giorni di immersione in acqua su n° 9* provini cilindrici con rapporto d/h=1/2, prelevati da n° 3 campioni con diverso grado di umidità: Wopt, Wopt + 2%, Wopt - 2%.	
6	Compressione semplice a 28 gg. di maturazione, su n° 9* provini cilindrici con rapporto d/h=1/2, prelevati da n° 3 campioni con diverso grado di umidità: Wopt, Wopt + 2%, Wopt - 2%	

(*) Dovranno essere predisposti n° 3 provini per ogni campione.

Solo se i terreni stabilizzati saranno utilizzati nel corpo del rilevato

La prova di immersione fornisce questa indicazione immediata sulla bontà dell'intervento, infatti, se il terreno stabilizzato rimane integro in acqua invece di sciogliersi si ha l'evidenza che si sta sviluppando la cementazione e il campo prova può avere inizio con un notevole risparmio di tempo.

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele – prova Proctor

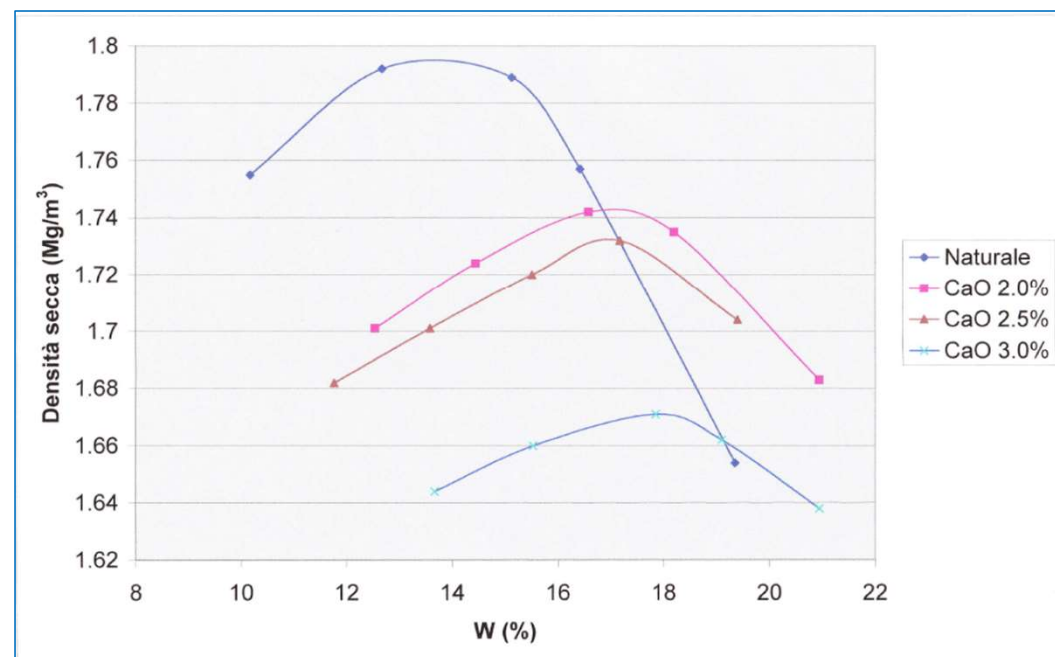
Come abbiamo visto le prove di compattazione (Proctor Modificata) devono essere eseguite sia sul terreno allo stato naturale (cioè prima della miscelazione con calce) sia sulle miscele terra-calce da studiare.

E' bene che i risultati delle singole prove siano analizzati in un unico grafico

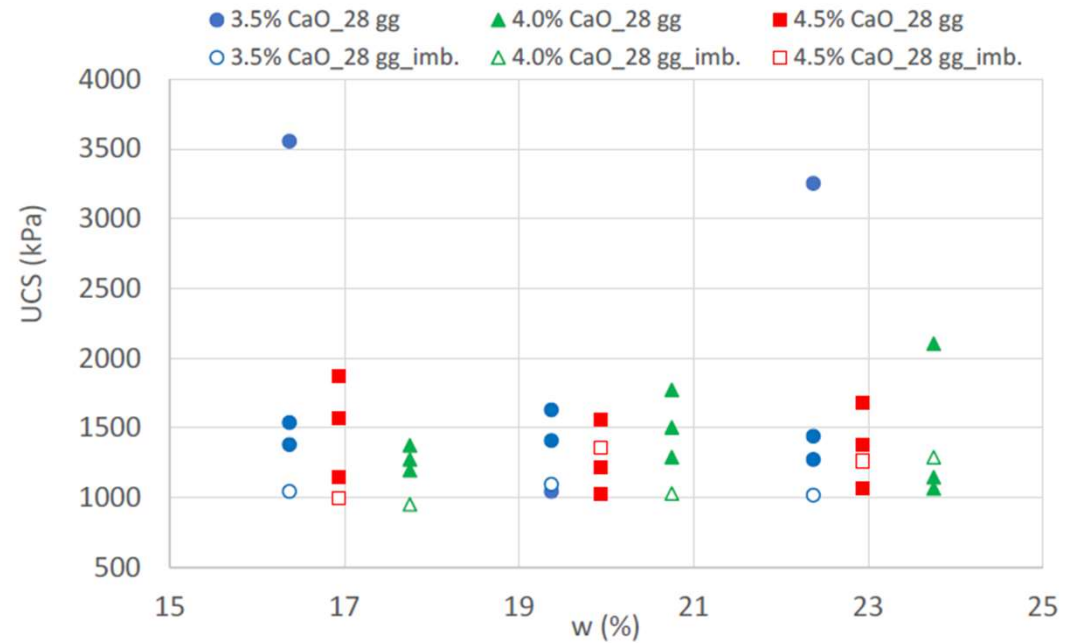
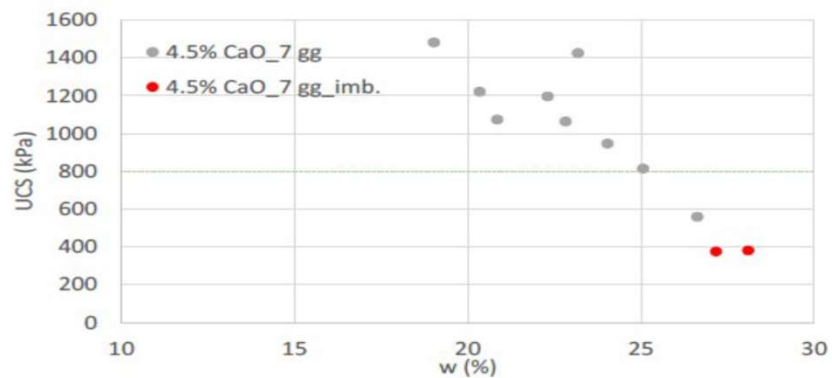
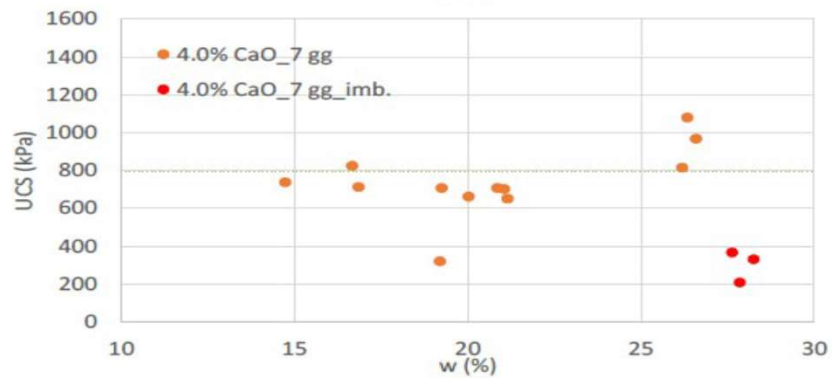
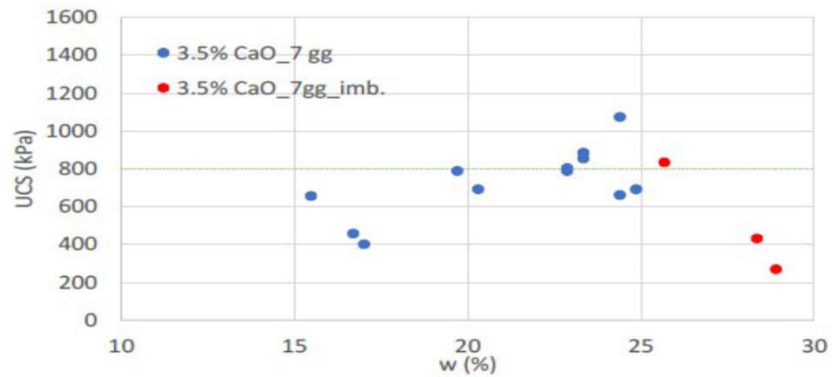
Chiaramente l'analisi di questi risultati fornirà elementi che concorreranno alla scelta della miscela finale

Dall'analisi del grafico si osservano 2 fenomeni che devono essere sempre presenti:

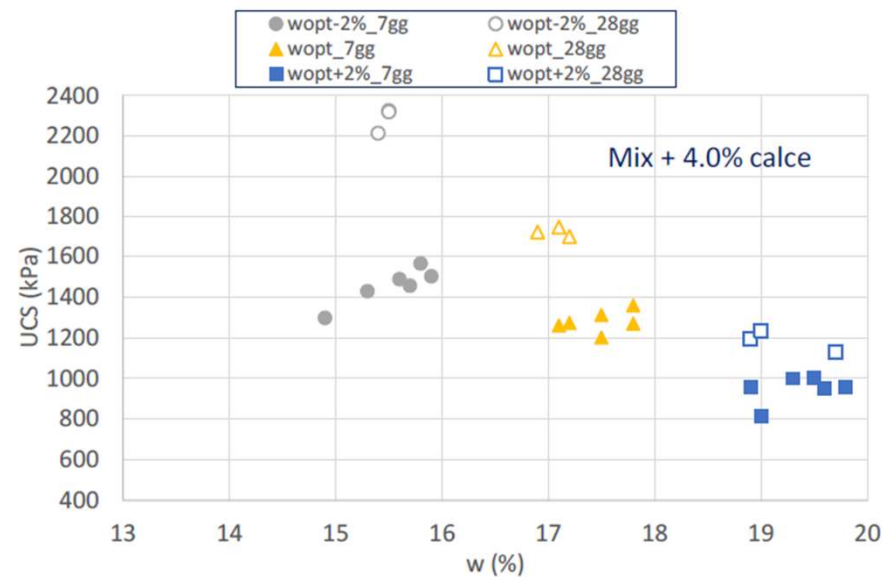
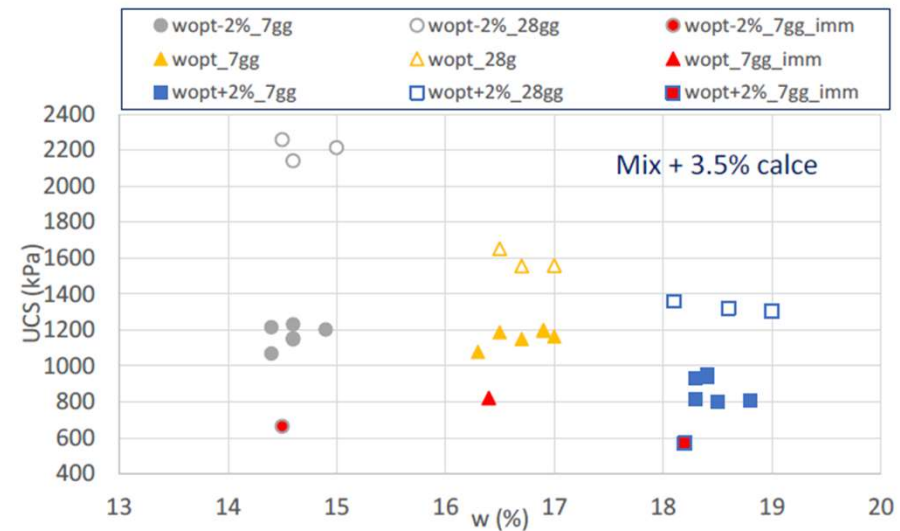
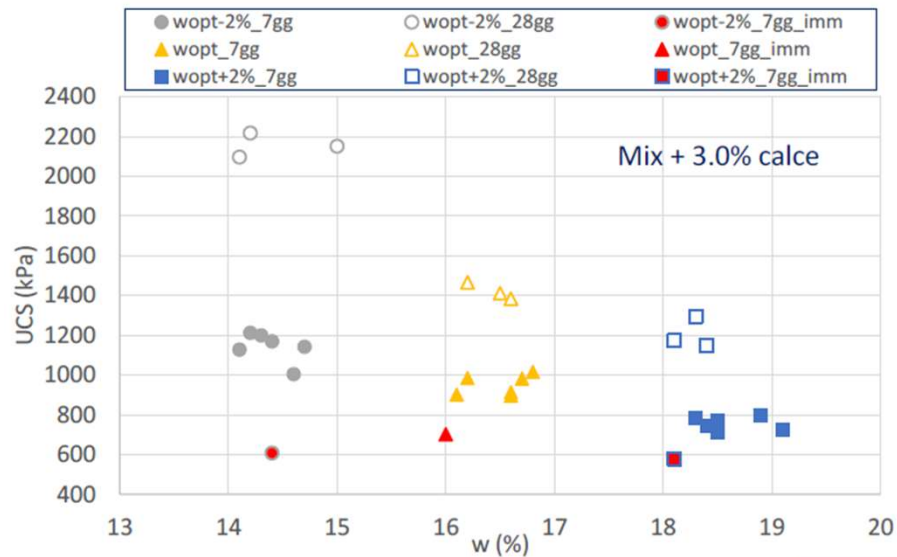
- **Aumentando la percentuale di calce la densità della miscela terreno/calce diminuisce**
- **Aumentando la percentuale di calce l'umidità ottimale aumenta**



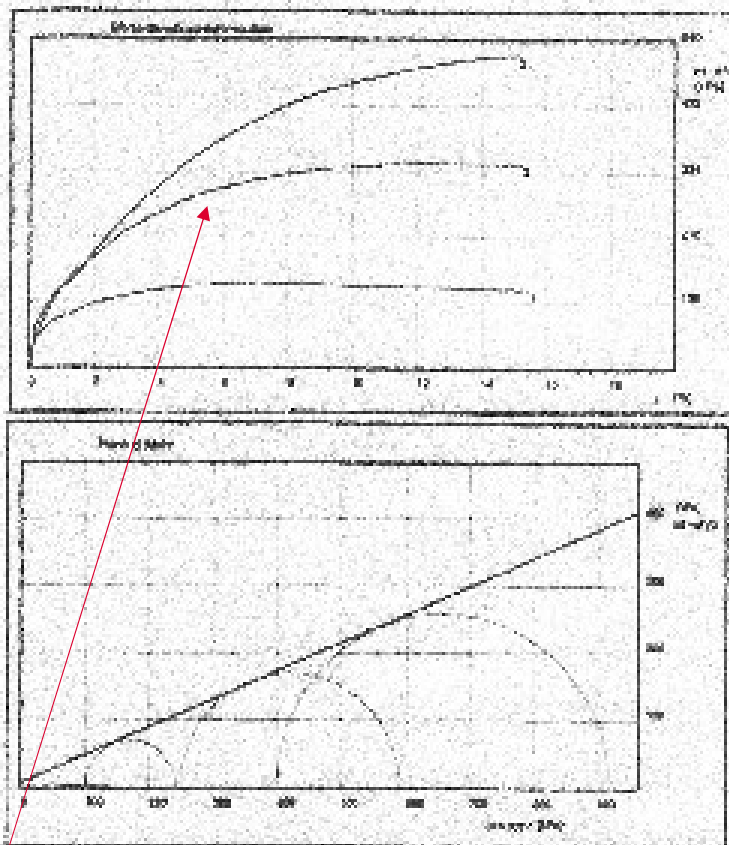
Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele – UCS



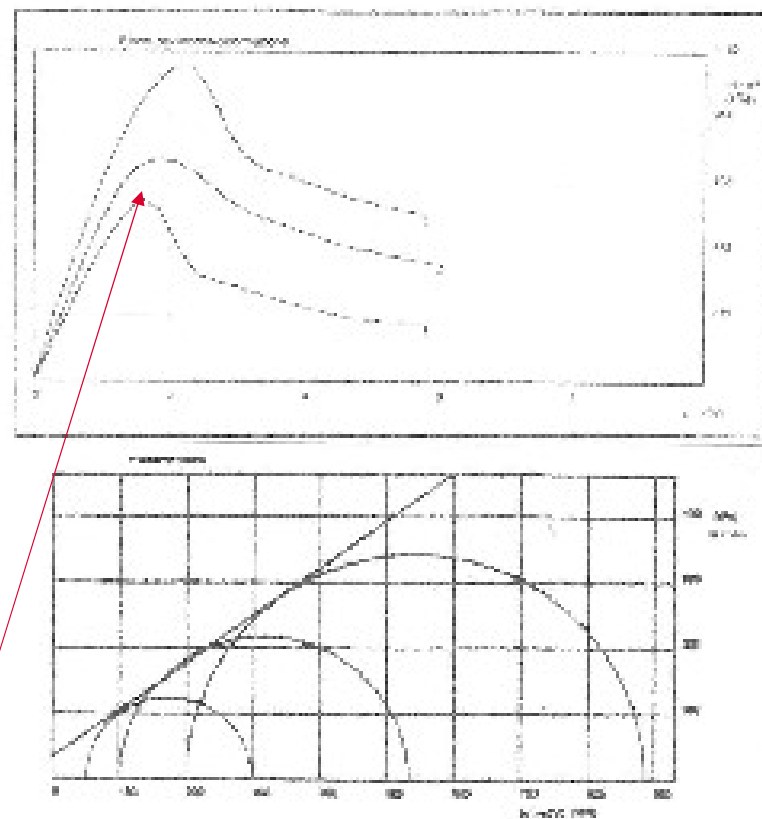
Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele – UCS



Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio – Prove triassiali



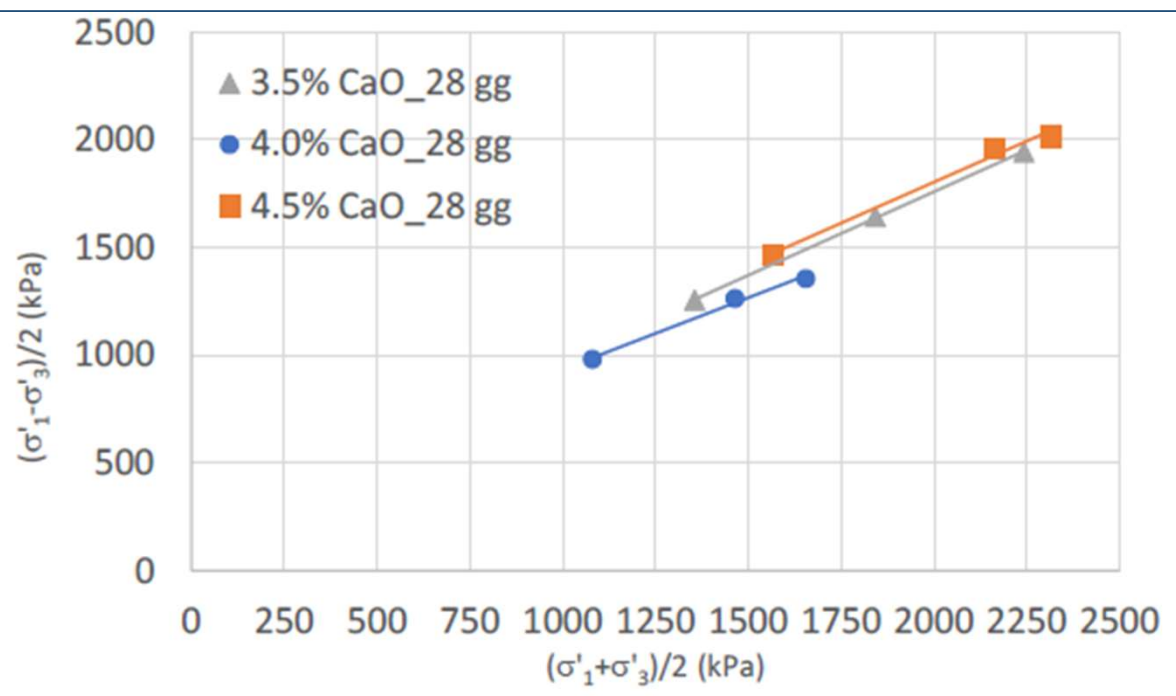
Terreno naturale: deformazione e rottura plastica



Terreno stabilizzato: deformazione e rottura rigida

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele – prova triassiale

Nel grafico gli involuپی di resistenza nel piano degli invarianti di prove triassiali su campioni maturati 28 gg



	resistenza di picco	
campione	c' (kPa)	ϕ' (°)
3.5%_28 gg	291.3	44.6
4.0%_28 gg	361.3	41.6
4.5%_28 gg	433.9	49.6

Sulla base delle prove fino ad oggi eseguite, per le verifiche si possono utilizzare, in condizioni cautelative i seguenti parametri:

$$\phi' = 35^\circ \quad c' = 70 \text{ Kpa.}$$

Il Capitolato RFI – Fase 2 - lo studio delle miscele

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)

Ma se questi sono gli unici limiti di accettabilità come scegliere la miscela finale da testare nel campo prova??

In assenza di valori di riferimento per tutte le prove la scelta finale della miscela da utilizzare per la costruzione deve essere eseguita sulla base di una **analisi ragionata** dei risultati di tutte le prove eseguite e della facilità di gestione durante le fasi operative

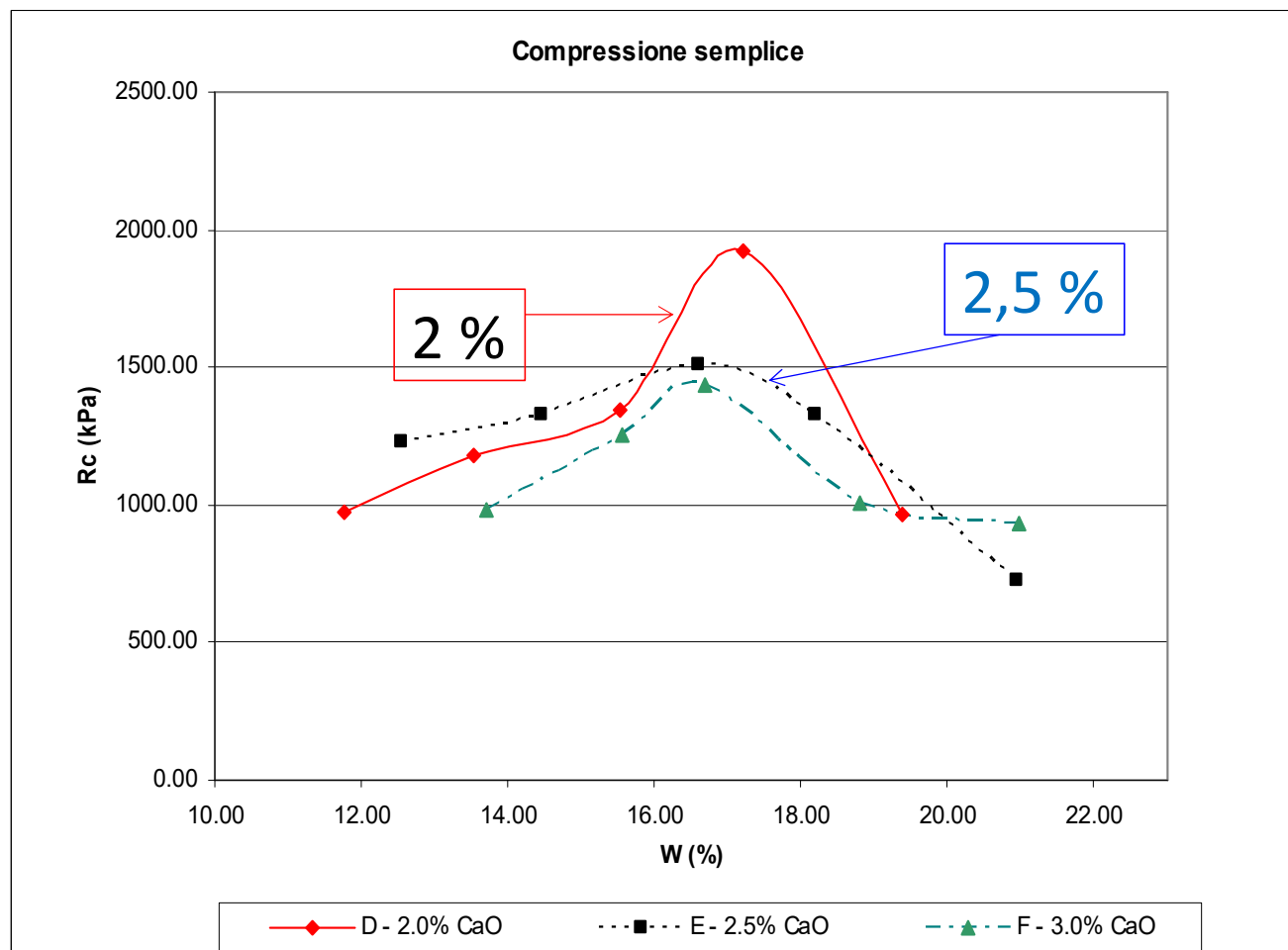


Il Capitolato RFI – Fase 1 – Relazione tecnica – scelta della miscela

Un esempio ce lo ha fornito l'analisi dello studio delle miscele per i rilevati della Pontremolese dove a fronte di un CIC di circa 1,5 sono state studiate 3 miscele con il 2, 2,5 e 3 % di calce

Per tutte e 3 le miscele i valori richiesti dalla tabella precedente erano verificati, pertanto la scelta finale è stata basata sull'analisi della curva W(%) e Resistenza a Compressione a 28 gg e si può osservare che:

- Il valore massimo di Rc è stato ottenuto per la miscela con il 2% di calce
- Il valore minimo di Rc è stato ottenuto per la miscela con il 3% di calce

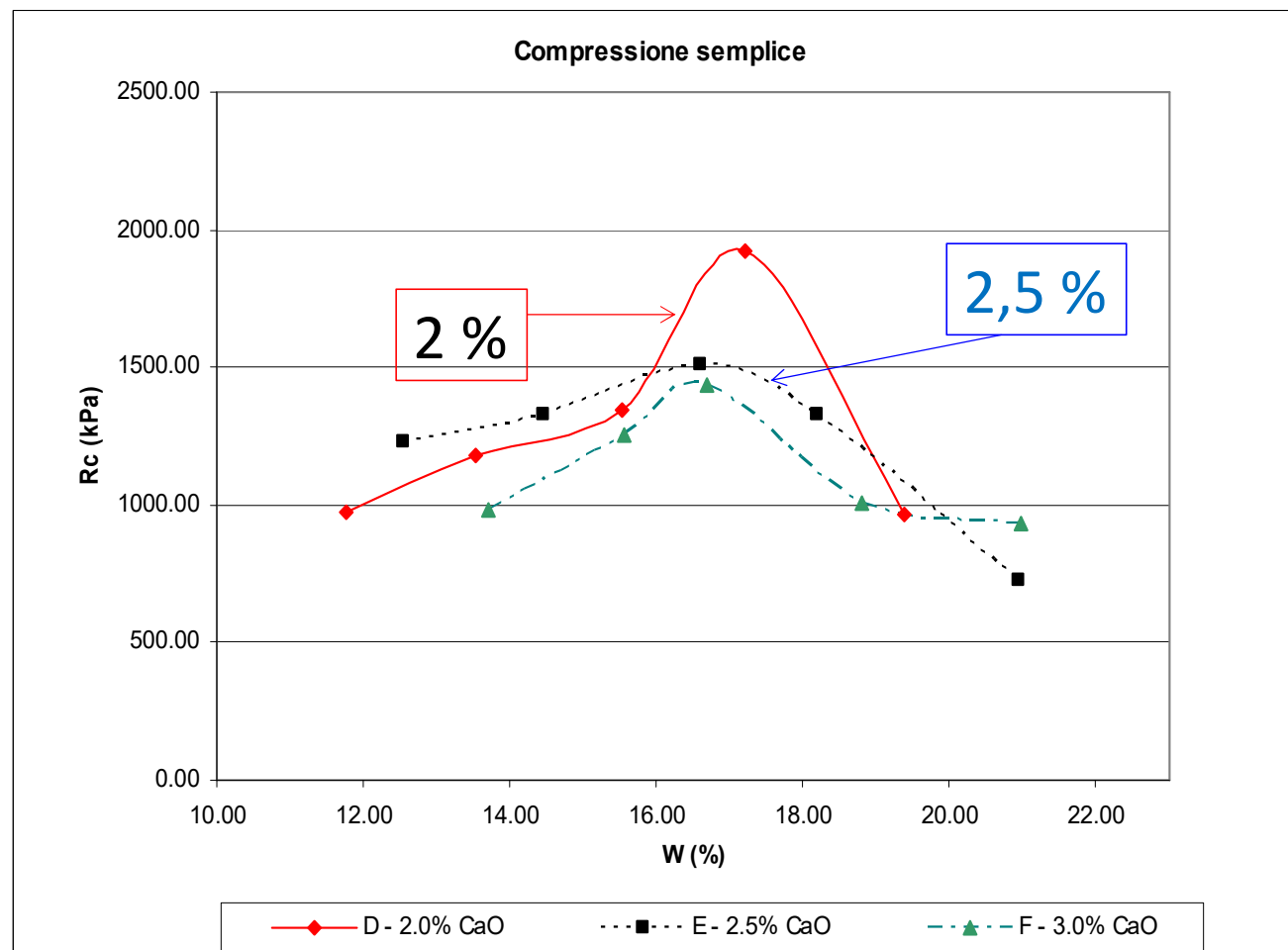


Il Capitolo RFI – Fase 1 – Relazione tecnica – scelta della miscela

Osservando in dettaglio le curve si può osservare però che:

- Il valore di R_c decade rapidamente al variare dell'umidità per la calce al 2% E tenendo inoltre in conto che:
- la stabilizzazione avveniva in cumulo
- il cumulo era a ridosso del fiume Taro
- Il periodo previsto per le attività era dall'autunno all'estate
- In queste condizioni ci aspettavamo, infine, che l'umidità del terreno a stabilizzare cambiasse durante la giornata (come poi abbiamo verificato)

Abbiamo scelto di utilizzare la miscela con il **2,5%** di calce che garantisce una minore sensibilità dalla variazione dell'umidità, pur mantenendo un elevato valore di R_c



Stabilizzazione: il campo prova

Una volta studiate le miscele deve essere eseguito un campo prova per definire, in dettaglio, le modalità operative la funzionalità dei mezzi e la capacità degli operatori

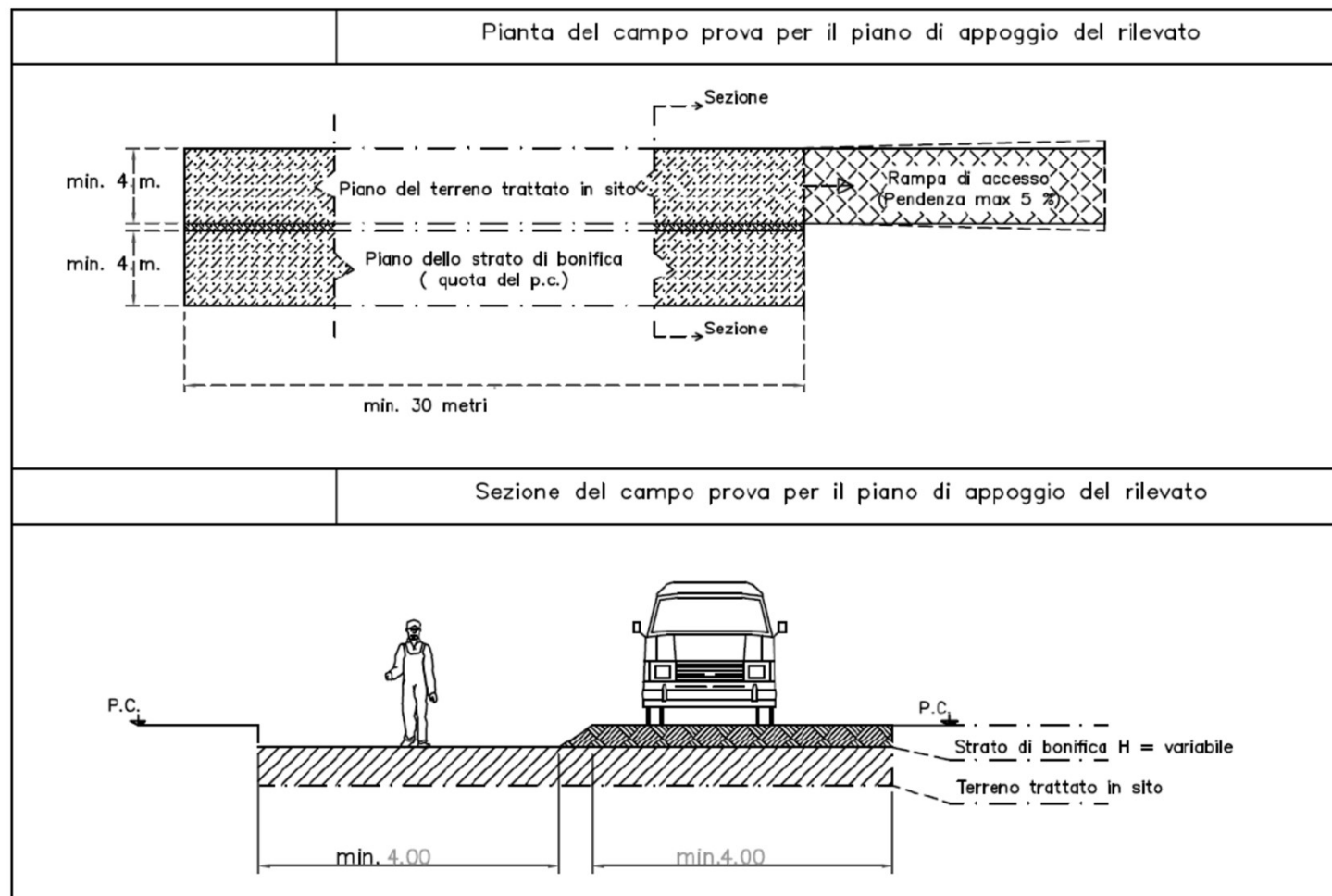
Per prima cosa dovrà essere decisa la strategia di compattazione con la definizione degli schemi di rullatura

Dovranno essere eseguite una serie di passate e dopo ognuna dovrà essere determinato il modulo di deformazione, i dati saranno riportati su un grafico e il numero ottimale di passate corrisponde a quello per cui continuando a rullare non si hanno incrementi sensibili del Modulo di deformazione

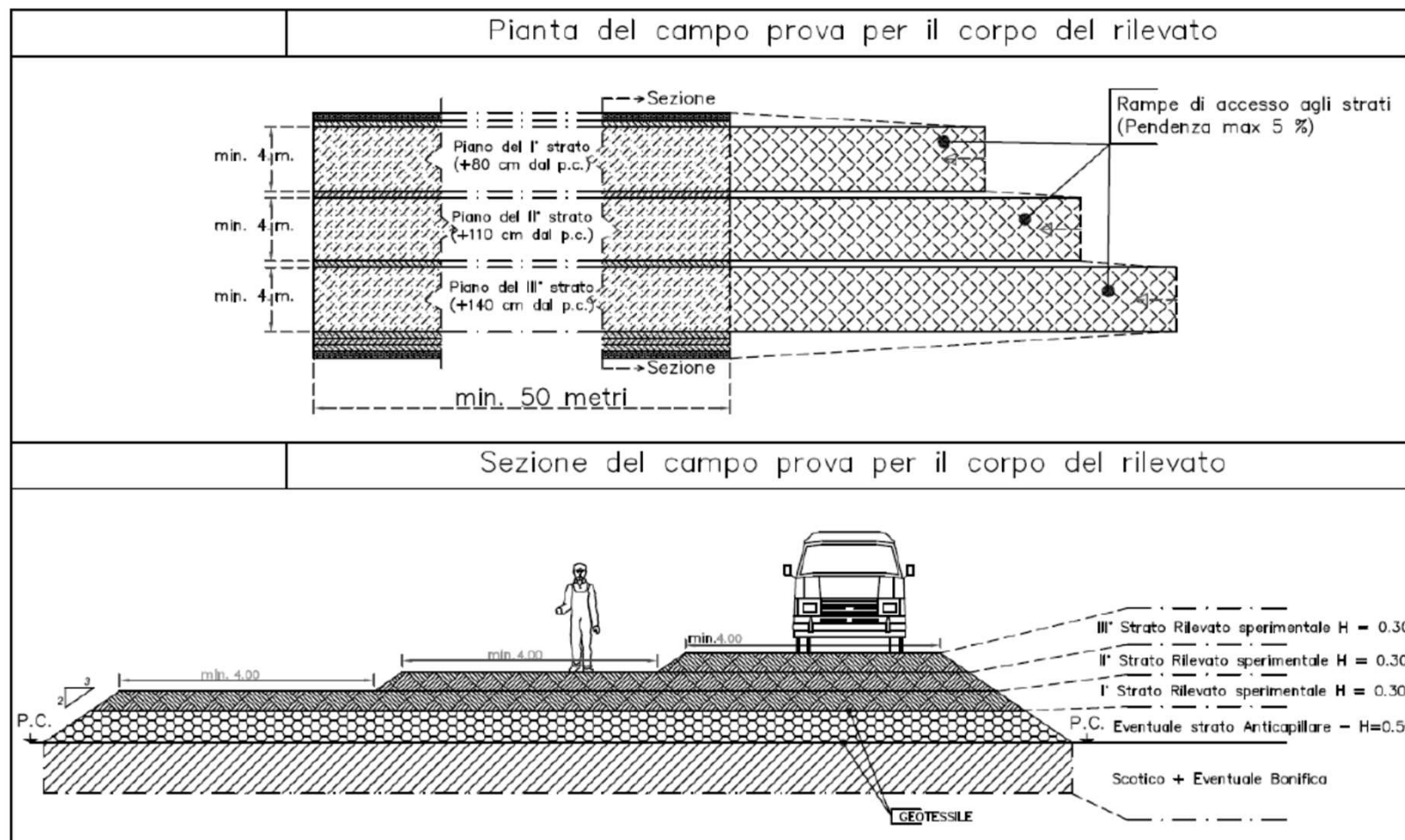
I rulli compattatori dovranno essere del tipo e del peso adeguati, di seguito, a titolo indicativo, le caratteristiche minime richieste:

- Rullo ferro/gomma vibrante con padfoot (piede di montone) con massa superiore a 16 tonnellate;
- Rullo gommato con massa di esercizio superiore a 25 ton, o rullo ferro/gomma vibrante liscio con massa d'esercizio superiore a 16 tonnellate da utilizzarsi per la finitura dello strato.

Stabilizzazione: il campo prova



Stabilizzazione: il campo prova



Stabilizzazione: il campo prova – le prove da eseguire

Immediatamente dopo aver completato la compattazione ($T=0$) su tutti gli strati:

- determinazione del modulo di deformazione, con piastra di diametro 30 cm, valutato mediante norma CNR B.U. n. 146, in almeno 5 punti appartenenti al medesimo strato omogeneo
- determinazione della densità in sito e del contenuto d'acqua, subito dopo aver completato la compattazione ($T=0$), in prossimità dei punti di misura del modulo di deformazione

dopo 24 ore e 7 giorni su tutti gli strati:

- determinazione del modulo di deformazione, con piastra di diametro 30 cm, valutato mediante norma CNR B.U. n. 146, in almeno 5 punti appartenenti al medesimo strato omogeneo

Solo sull'ultimo strato del corpo del rilevato

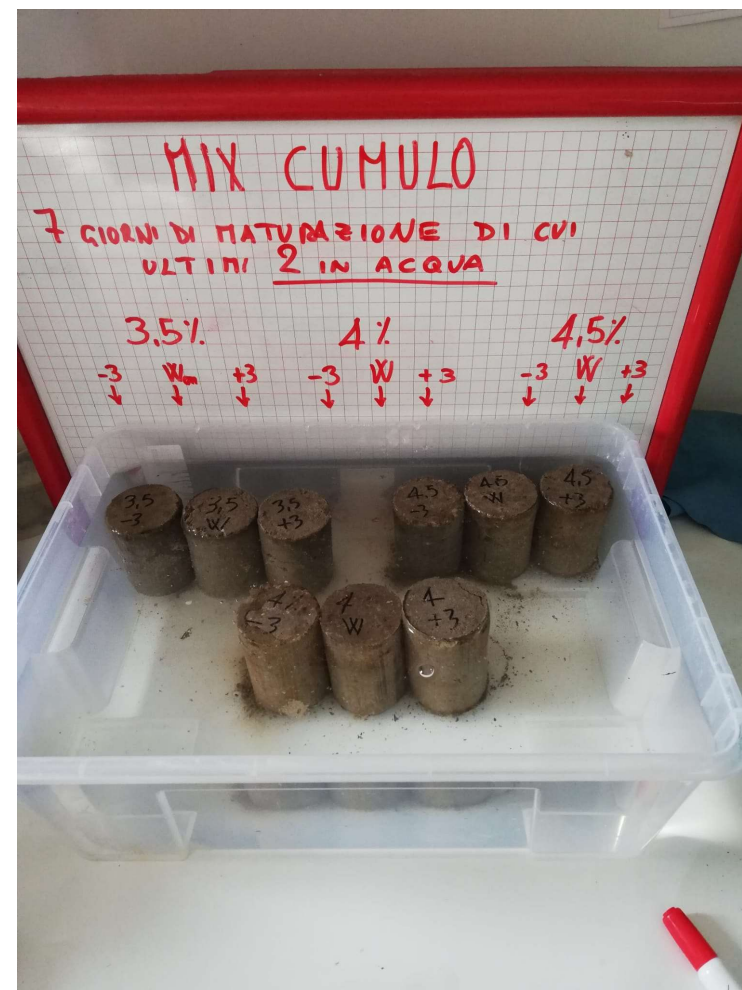
a 28 giorni dalla compattazione

- prelievo di complessivi 4 campioni da sottoporre a prova di compressione semplice (provini cilindrici con rapporto $d/h=1/2$). 3 saranno sottoposti a prova tal quali, mentre il 4° sarà schiacciato dopo 48 h di immersione in acqua.
- se il campione immerso rimane integro si ha l'evidenza che la cementazione sta avvenendo e le attività di costruzione dei rilevati possono iniziare nelle more del completamento dello studio con le prove a 28 giorni

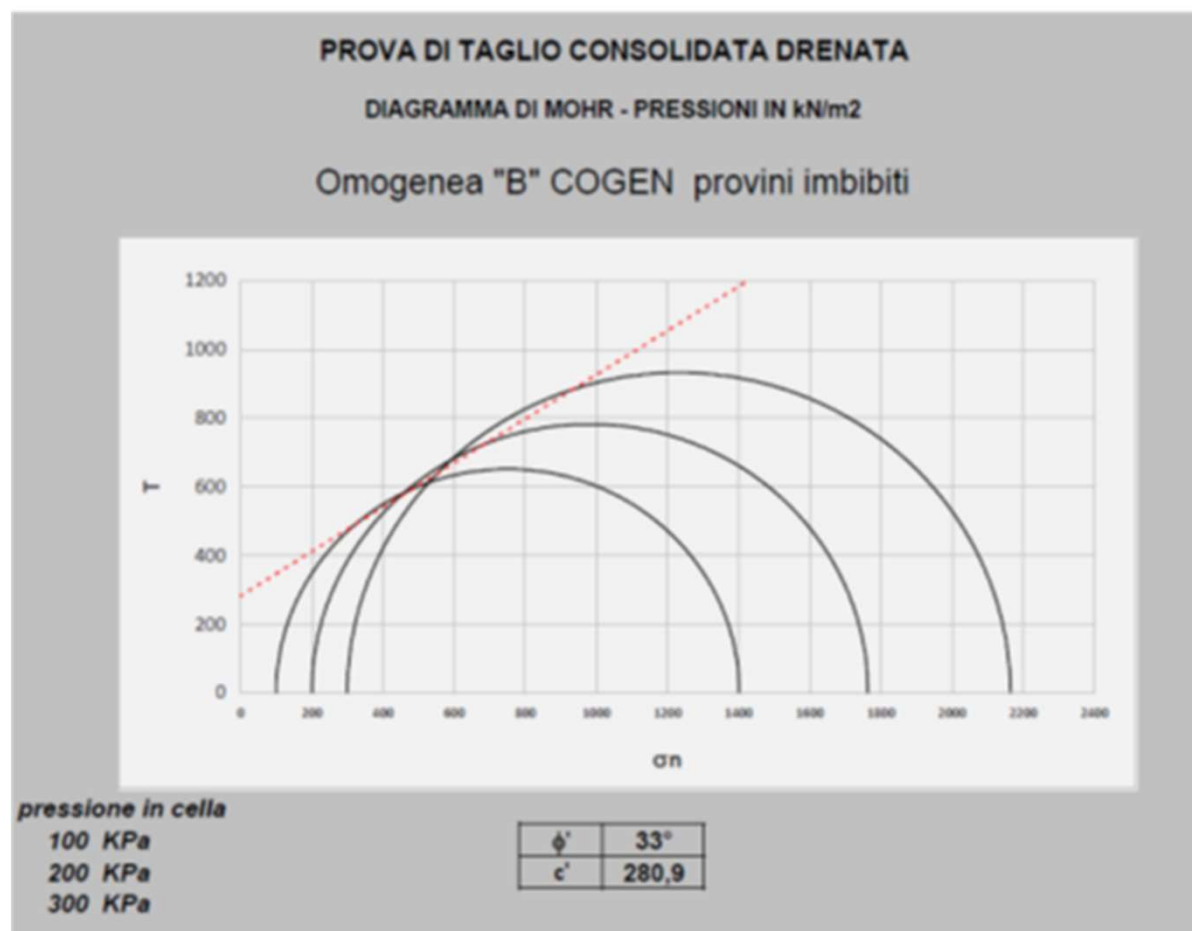
a 28 giorni dalla compattazione

- determinazione del modulo di deformazione
- prelievo di 3 campioni da sottoporre a prova di taglio in cella triassiale (CID); le prove verranno eseguite sia sui provini tal quali che dopo 24 h di immersione in acqua.

Stabilizzazione – prove di laboratorio – Prove triassiali



Stabilizzazione – prove di laboratorio – Prove triassiali



Stabilizzazione – prova di immersione



1. Estrazione campione su strato compattato dopo 7 gg di maturazione e immersione in acqua



2. Controllo del campione dopo 48h di immersione



Prove di controllo

- E' opportuno che prima di iniziare i lavori in oggetto, l'ESECUTORE predisporre di un Piano dei Controlli per ogni opera da eseguire.

Controlli sui materiali		
Requisiti della calce	ogni 1000 tonnellate	
Verifica delle caratteristiche del terreno in cumulo, per realizzazione del corpo del rilevato	ogni 3.000 mc	
Misura del contenuto d'acqua della terra prima dell'aggiunta di calce	Giornaliera	
Verifica della quantità di calce in fase di stesa	Giornaliera	quantità (%) scelta al termine della sperimentazione sul campo prova
Controllo omogeneità granulometrica dei terreni a grana fine dopo l'aggiunta di calce e la miscelazione	ogni 1.000 mq	100 % passante al setaccio da 31,5 mm 70 % passante al setaccio 5,6 mm
Verifica del contenuto d'acqua della miscela prima della compattazione	Giornaliera	compreso tra +2 e -2% Wopt

Prove di controllo

Controlli sugli strati realizzati

Determinazione del modulo di deformazione con piastra da 30 cm, n° 1 al centro + n° 1 sul bordo del rilevato	ogni 2.000 mq	secondo i valori di cui ai successivi paragrafi
Determinazione del grado di costipamento, n° 1 al centro + n° 1 sul bordo del rilevato		
Verifica dello spessore dello strato finito.	ogni 2.000 mq	< 30 cm

Modulo di deformazione

- > di **40 MPa** nell'intervallo 0,15 – 0,25 MPa - per i rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS, per l'intera superficie dello strato trattato, fino al bordo superiore della scarpata, nonché per i piani di posa in trincea;
- > di **20 MPa** nell'intervallo di carico 0,05 – 0,15 MPa - per il piano di posa dei rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza;
- > Di **15 MPa** nell'intervallo di carico 0,05 – 0,15 MPa - per le dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali;

Il Capitolato RFI – Limiti di accettazione

GRADO DI COSTIPAMENTO

- non inferiore a 95%	per i rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS, per l'intera superficie dello strato trattato, fino al bordo superiore della scarpata, nonché per i piani di posa in trincea;
- non inferiore a 90%	per il piano di posa dei rilevati ferroviari e delle strade di pertinenza FS, per le dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali;
- da definire	con l'Ente gestore per strade destinata a terzi

I risultati della prova non sono disponibili immediatamente, pertanto è importante definire sia durante il campo prova che durante le prime fasi delle lavorazioni a quale valore minimo di Modulo di deformazione e di K (che possono essere calcolati in campo) sono garantiti i valori di densità richiesti

Per esperienza il valore minimo per cui è garantito il 95% nel corpo del rilevato è tra 42 e 43 Mpa quindi a T_0 se il valore del Modulo di deformazione non raggiunge questi valori può bastare un'ulteriore passata di rullo compattatore, aspettando i risultati della prova di densità in sito (servono 2-3 gg) c'è il rischio di dover demolire quanto fatto successivamente all'esecuzione delle prove

Miglioramento di un terreno per mezzo di calce

18.6.7 MIGLIORAMENTO DI UN TERRENO CON TRATTAMENTO A CALCE

Come detto per miglioramento di un terreno tramite aggiunta di calce, si intende il miglioramento immediato delle caratteristiche geotecniche della terra stessa, (quali, ad esempio: la riduzione del contenuto d'acqua, l'incremento della capacità portante, l'aumento dell'umidità ottima di costipamento, la riduzione dell'indice di plasticità, ecc.). A tal fine dovrà essere eseguito uno studio di laboratorio che permetta di individuare la percentuale di calce necessaria per ottenere i risultati attesi e un campo prova, con il mix individuato nello studio, in cui vengano testate le modalità operative.

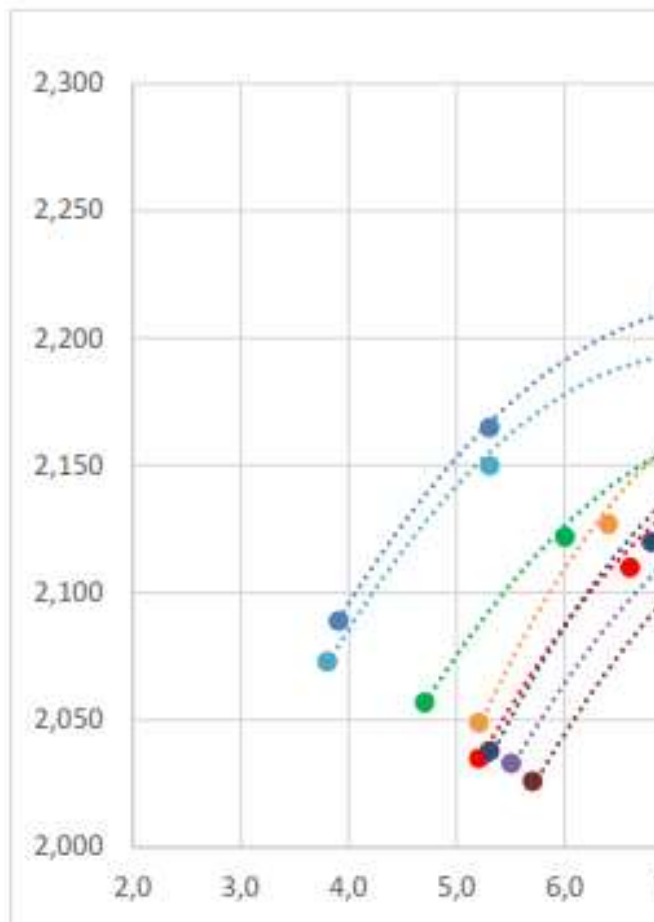
In questo, salvo diverse indicazioni dello studio, i controlli saranno ridotti al solo modulo di deformazione, al parametro K (rapporto M_d/M_d') e alla determinazione della densità in sito.

La frequenza sarà la stessa della tabella 18.6.5-1 e dovranno essere rispettati i limiti definiti nella Sez. 5 del CGTAOC, per la tipologia di opera da realizzare.

Miglioramento materiale da TBM per mezzo di calce (BS-VR)



Miglioramento materiale da TBM per mezzo di calce (BS-VR)



DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA											
C4 TAL QUALE						C5 TAL QUALE					
	T=0	T=24	T=48	T=72	T=96		T=0	T=24	T=48	T=72	T=96
LIMITE DI LIQUIDITA'	17	17	17	17	17	LIMITE DI LIQUIDITA'	17	17	17	17	17
LIMITE DI PLASTICITA'	12	13	12	12	13	LIMITE DI PLASTICITA'	12	12	13	12	12
INDICE PLASTICO	5	4	5	5	4	INDICE PLASTICO	5	5	4	5	5
C4 + 1,0% CALCE						C4 + 1,0% CALCE					
	T=0	T=24	T=48	T=72	T=96		T=0	T=24	T=48	T=72	T=96
LIMITE DI LIQUIDITA'	18	18	18	18	18	LIMITE DI LIQUIDITA'	18	18	18	18	18
LIMITE DI PLASTICITA'	15	15	15	15	15	LIMITE DI PLASTICITA'	15	14	15	15	14
INDICE PLASTICO	3	3	3	3	3	INDICE PLASTICO	3	4	3	3	4
C4 + 1,5% CALCE						C5 + 1,5% CALCE					
	T=0	T=24	T=48	T=72	T=96		T=0	T=24	T=48	T=72	T=96
LIMITE DI LIQUIDITA'	0	0	0	0	0	LIMITE DI LIQUIDITA'	0	0	0	0	0
LIMITE DI PLASTICITA'	0	0	0	0	0	LIMITE DI PLASTICITA'	0	0	0	0	0
INDICE PLASTICO	0	0	0	0	0	INDICE PLASTICO	0	0	0	0	0
C4 + 2,0% CALCE						C5 + 2,0% CALCE					
	T=0	T=24	T=48	T=72	T=96		T=0	T=24	T=48	T=72	T=96
LIMITE DI LIQUIDITA'	0	0	0	0	0	LIMITE DI LIQUIDITA'	0	0	0	0	0
LIMITE DI PLASTICITA'	0	0	0	0	0	LIMITE DI PLASTICITA'	0	0	0	0	0
INDICE PLASTICO	0	0	0	0	0	INDICE PLASTICO	0	0	0	0	0

Miglioramento materiale da TBM per mezzo di calce (BS-VR)



Miglioramento materiale da scavo pali scavati utilizzando polimeri per mezzo di calce (NA-BA)

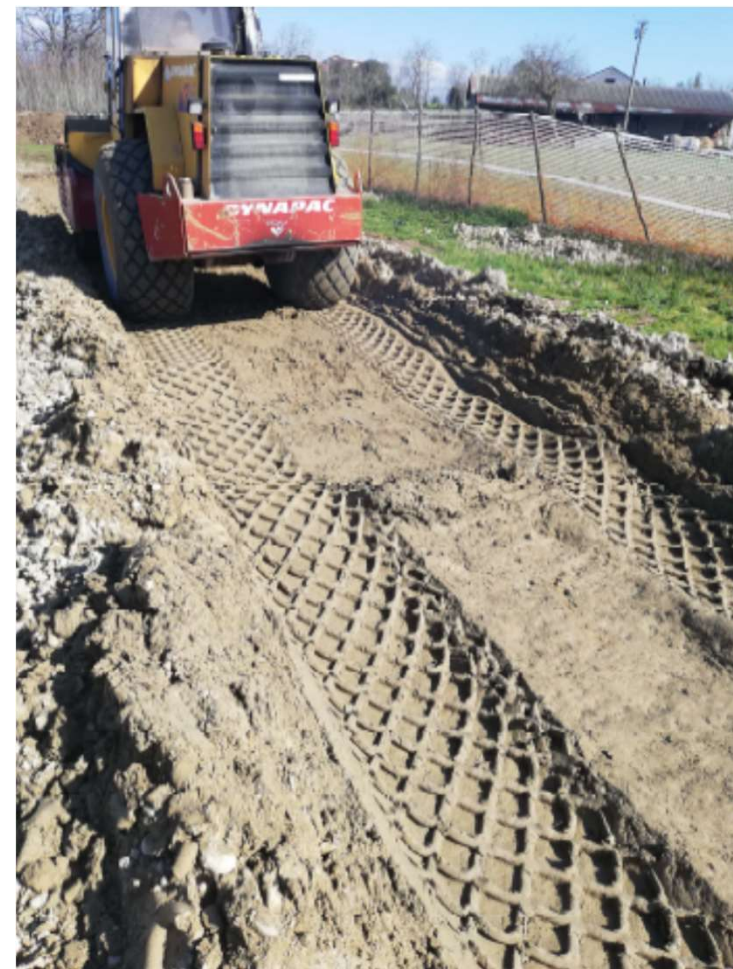
Campo
prova
materiale
tal quale



Miglioramento materiale da scavo pali scavati utilizzando polimeri per mezzo di calce (NA-BA)

2° Campo
prova


Materiale
fresato per
omogeneizzare
l'umidità



Miglioramento materiale da scavo pali scavati utilizzando polimeri per mezzo di calce (NA-BA)

Dopo trattamento a calce



A photograph of a construction site. In the center, a large white roller is compacting a dirt road. To the left, a white van is parked with its rear hatch open, and several workers in orange safety gear are gathered around it. A man in a dark jacket and light blue jeans stands in the foreground, gesturing towards the roller. The background shows a line of trees under an overcast sky.

Grazie per l'attenzione