

# Opere in terra

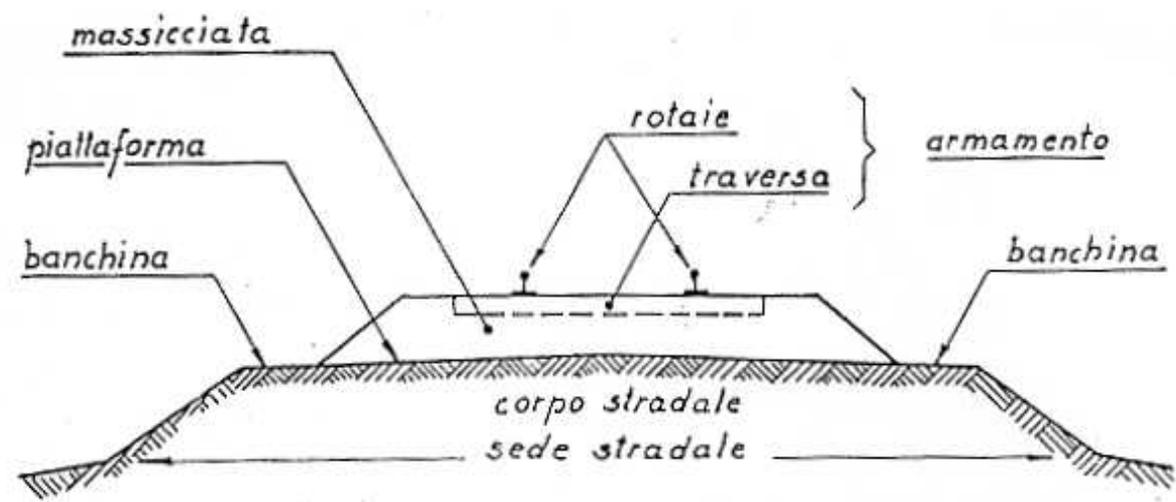
Rilevati ferroviari, Stabilizzazione a calce e tecniche di intervento.  
Focus sui cantieri in ambito ferroviario

29 Aprile 2022

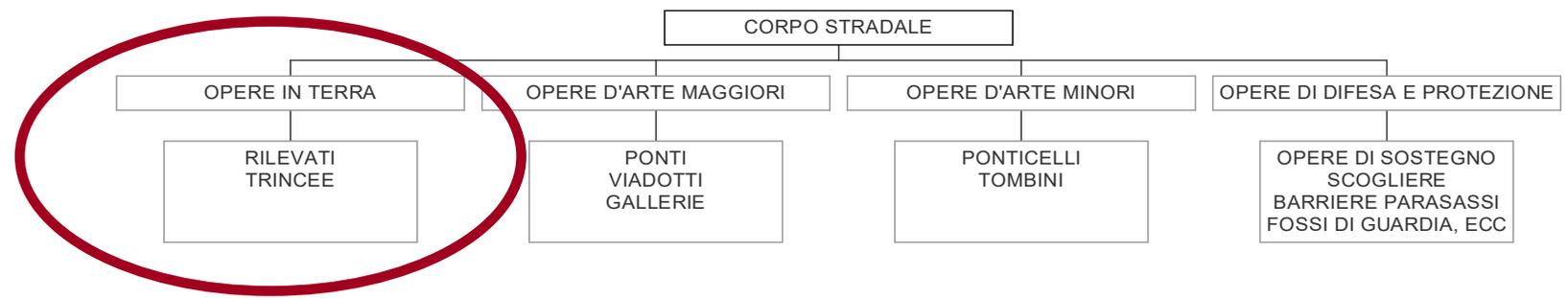


Stefano Ciufegni

# COMPONENTI DELLA SEDE FERROVIARIA



## CORPO STRADALE



# Opere in terra



## Opere in terra

### Documenti di riferimento

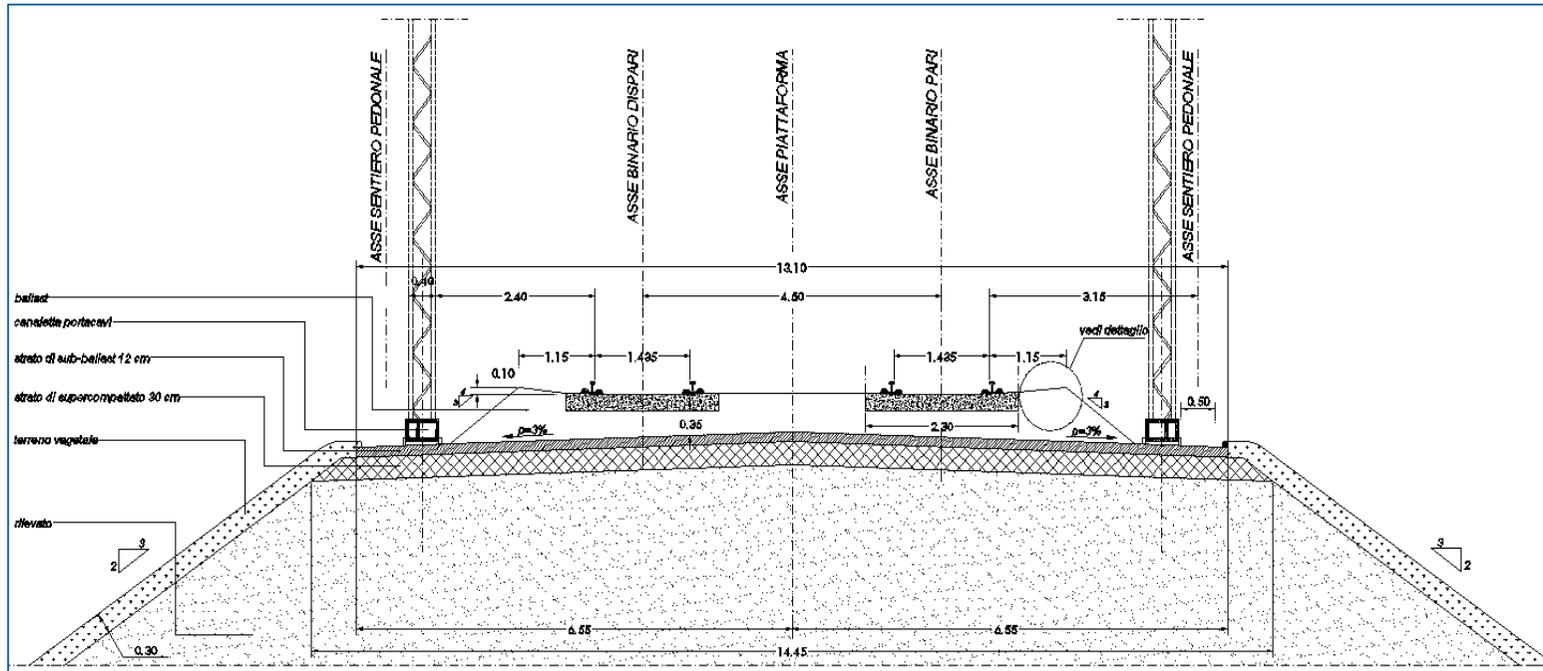
Manuale di Progettazione RFI – Corpo Stradale

Capitolato di Costruzione Opere Civili sez. V

- Stabiliscono le normative e gli standard da osservare
- Definiscono le prescrizioni generali e particolari da applicare
- Prescrivono i requisiti tecnici minimi richiesti
- Definiscono le specifiche e le modalità di impiego dei materiali da utilizzare
- Impongono i cedimenti residui massimi ammissibili
- Forniscono gli indirizzi operativi per l'espletamento dei controlli
- Individuano e definiscono, attraverso le specifiche di controllo qualità le procedure tecniche di esecuzione delle varie opere/lavorazioni e dei relativi controlli
- Definiscono la documentazione adottata quale mezzo di certificazione delle attività svolte

**Infine i rilevati ferroviari sono soggetti a collaudo statico**

# SEZIONI TIPO



# Opere in terra- compattazione



## Opere in terra - Compattazione

L'obiettivo della **compattazione** è il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno, che comporta, in generale, i seguenti vantaggi:

- aumento dell'addensamento del terreno e di conseguenza riduzione dei cedimenti
- incremento della resistenza al taglio del terreno (e quindi della stabilità e della capacità portante)
- riduzione dei vuoti e di conseguenza della permeabilità, degli effetti che possono essere prodotti dal gelo, da fenomeni di imbibizione o di ritiro.
- riduzione del rischio di liquefazione

## Compattazione

Il primo ad occuparsi di questo fenomeno, in maniera approfondita e sistematica, è stato l'ingegnere americano Proctor che ha evidenziato che il valore della densità secca alla fine del costipamento,

$$\rho_d = \gamma_d/g,$$

è funzione di tre variabili:

- il contenuto d'acqua ( $w$ )
- l'energia di costipamento
- il tipo di terreno (granulometria, composizione mineralogica, ecc.).

# Compattazione

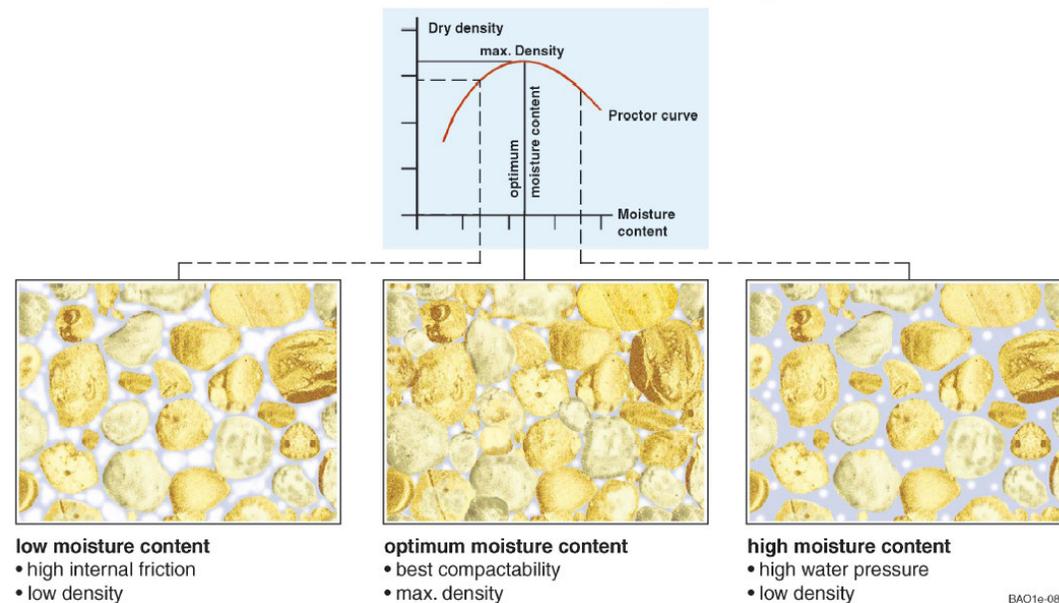
Influenza del tenore di umidità:

Il tenore di umidità riveste un' importanza particolare in materia di compattazione del terreno, in quanto funziona di fatto come lubrificante tra i granuli, facilitando il loro incastro.

Chiaramente se i terreni (sia di sottofondo che da compattare) sono granulari l'eccesso di acqua è poco influente, in quanto si avrà con facilità il suo smaltimento

Per quanto riguarda i terreni a grana fine l' importanza del tenore di umidità è elevata e possono essere compattati solo entro valori limite minimi e massimi.

Influence of water content on compactability



# Compattazione

## *Fattori relativi ai materiali:*

La compattabilità e conseguenti costi dipendono principalmente dal tipo di terreno costipato e la conseguente strategia necessaria ed applicata.

Una prima distinzione può essere:

### ➤ Terreni incoerenti :

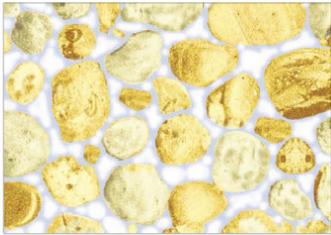
- Compattazione facile e costi minimi, per esempio è possibile ottenere ottime prestazioni per grandi spessori di materiale

### ➤ Terreni coerenti :

- Compattazione complessa, occorre un approfondito studio della strategia di compattazione, con operazioni aggiuntive rispetto ai terreni incoerenti, e comunque si hanno strati di spessore ridotto

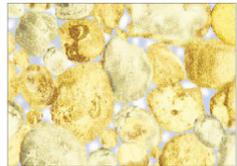
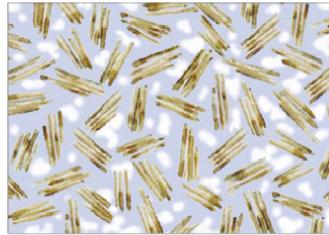
# Compattazione

Granular

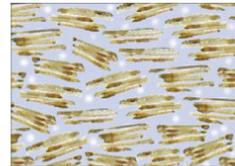


before compaction

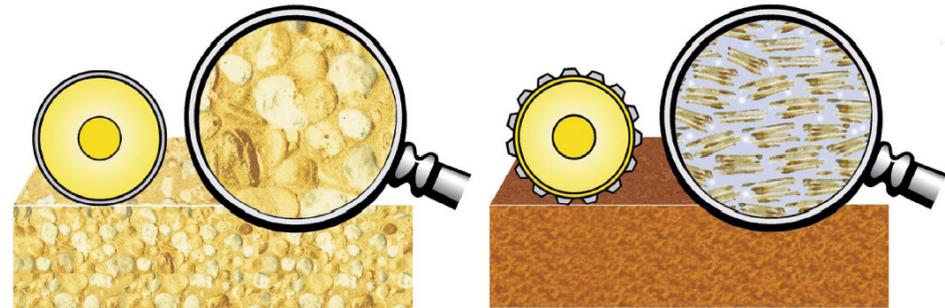
Cohesive



after compaction



## Soil type definitions



coarse aggregate  
granular  
non-cohesive

fine aggregate  
non-granular  
cohesive



BAC01e-05/03

# Compattazione – la classificazione delle terre

La nuova UNI 11531-1 per le terre.. (criteri EN 14688)

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbiose Frazione passante allo staccio 0.063 mm ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante allo staccio 0.063 mm > 35%					Torbe e terre organiche palustri	
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7			A8
Gruppo	A1-a		A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6	A8
Frazione passante allo staccio														
2 mm	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4 mm	≤ 30	≤ 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.063 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 mm														
LL (Limite liquido)	-	-	-	≤ 40	> 40	≤ 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	IP > LL-30	IP > LL-30
Indice di gruppo	0		0	0				≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi molto compressibili	Argille poco compressibili	Argille molto compressibili e mediamente plastiche	Argille molto compressibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazione e, detriti organici	
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellente a buono				Da mediocre a scadente								Da scartare	
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve			Media				Molto elevata	Media	Elevata	Media			
Ritiro e rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o medio	Elevato	Elevato	Molto elevato			
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa				Scarsa o nulla						



# Compattazione

Quali terreni per le opere ferroviarie?

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI



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

Da UNI 11531

Senza limitazioni  
Possibili anche strati da  
50 cm per i terreni dei  
gruppi A1 e A2-4

Solo se con coefficiente  
disuniformità > 7 quale  
rapporto tra i passanti ai  
setacci 0,4 mm e 0,063  
mm.

Solo dopo studi  
specifici, che  
dimostrino  
l'insensibilità all'acqua

Solo se proveniente  
da scavi  
Altrimenti stabilizzato  
a calce se  $I_p > 5$

Solo se in assenza di  
materiali altri gruppi  
e stabilizzati a calce

## Compattazione : Prova PROCTOR

Una delle prove più importanti quando si affronta il tema della compattazione è la prova Proctor in quanto permette di:

- ***Determinare Contenuto in acqua***
- ***Determinare il valore della densità secca di riferimento per le prova in ito***

Questa prova che prende il nome dall'ingegnere statunitense Proctor che negli anni 30 ne fu l'ideatore e che, come detto, eseguì per primo studi sistematici su questo argomento esaminando l'influenza del contenuto in acqua  $w$  e dell'energia di compattazione  $E$ .

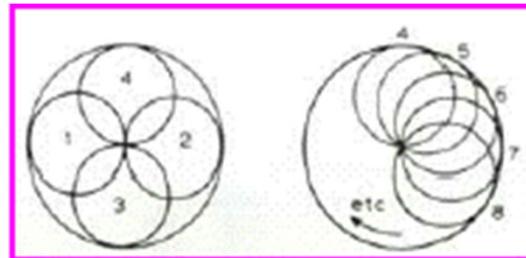
Ideò una prova nella quale la terra, posta a strati in un recipiente metallico cilindrico, viene compattata per strati grazie all'azione di un pestello a caduta libera.

Nel compattare ogni tipo di terra si può variare:

- ***Contenuto in acqua***
- ***Metodologia e strategia di compattazione***
- ***Energia di compattazione***

# Compattazione : prova PROCTOR

La prova Proctor viene eseguita disponendo a strati (3 o 5 a seconda del tipo di prova) una certa quantità di terreno, preventivamente essiccata e polverizzata e successivamente bagnata (B), miscelata (C) nel cilindro (D) e compattandola con il pestello di diverse caratteristiche a seconda della modalità di prova (E) per un numero prefissato di colpi (25 o 56), assestati in una posizione prestabilita.



## Compattazione : prova PROCTOR

L'operazione di compattazione viene ripetuta per il numero di strati previsto (3 o 5) fino a riempire il cilindro poco al di sopra dell'attaccatura col collare.

Successivamente viene rimosso il collare, livellato il terreno in sommità, pesato il tutto e determinato il contenuto d'acqua, prelevando una porzione di terreno dal cilindro.

Con il rapporto tra il peso del campione ( $P$ ) ed il suo volume,  $V$ , si ottiene il peso di volume  $\gamma$  del terreno, inoltre avendo determinato  $w$ , si può ricavare il peso di volume del campione secco,  $\gamma_d$  come dalle equazioni sottostanti:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{P_s + P_w}{V} = \frac{P_s}{V} + \frac{P_w}{V} \cdot \frac{P_s}{P_s} = \gamma_d + w \cdot \gamma_d = \gamma_d (1 + w)$$

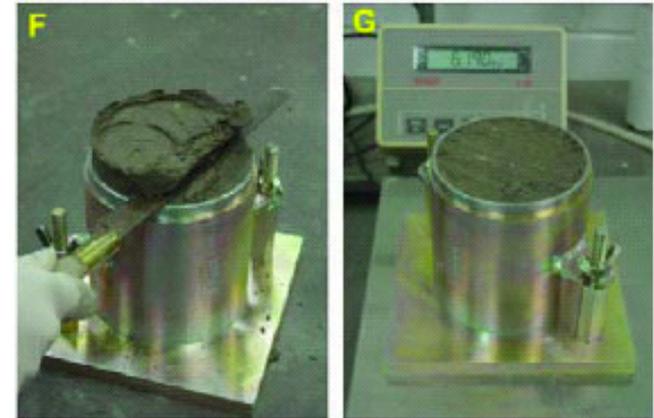
Da cui:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

Successivamente si può ricavare anche la densità secca:

$$\rho_d = \gamma_d / g$$

dove  $g$  rappresenta l'accelerazione di gravità.



## Compattazione : prova PROCTOR

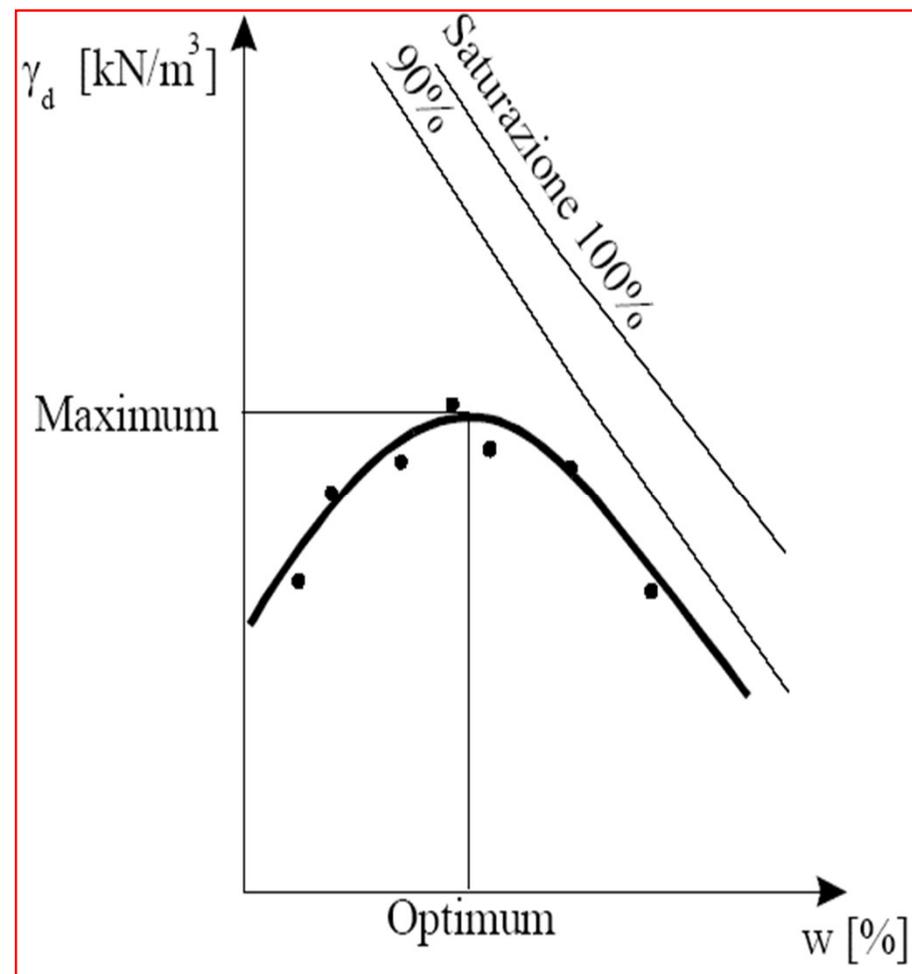
L'operazione precedentemente descritta deve essere ripetuta su alcuni campioni dello stesso terreno (minimo 5) aventi diversi contenuti d'acqua.

Il contenuto d'acqua in ogni campione verrà incrementato di circa il 1-4 % a seconda del materiale oggetto di prova

Per ciascun campione il valore del peso di volume del secco (o densità secca) ottenuto al termine della prova in funzione del contenuto d'acqua corrispondente dovrà essere riportato in un grafico

Unendo i vari punti, otteniamo una curva, detta **“curva di costipamento”**,

Il valore del contenuto d'acqua corrispondente al valore massimo del peso di volume del secco (detto “maximum”) è indicato come “optimum Proctor”.



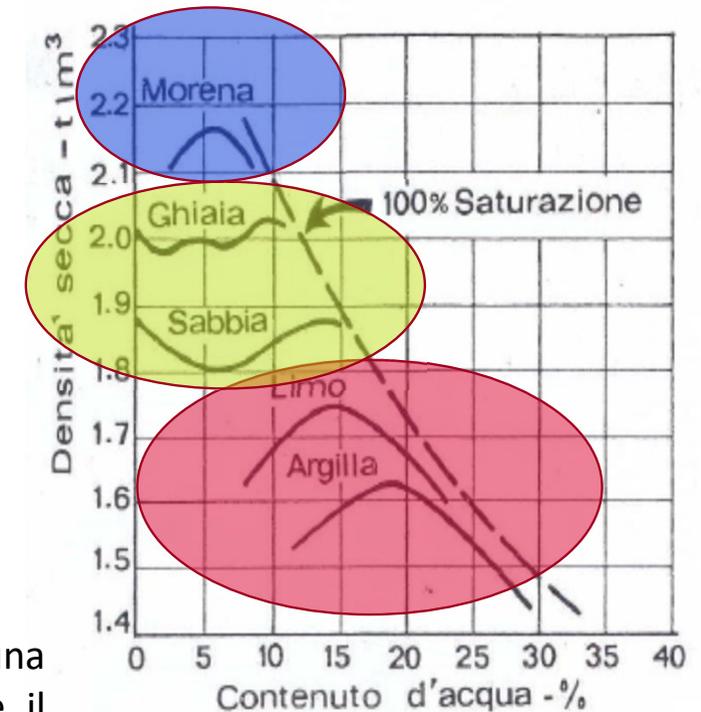
## Compattazione : prova PROCTOR

Le curve ottenute graficizzando il contenuto d'acqua del campione e il valore della densità secca ottenuta, saranno chiaramente diverse a seconda del materiale compattato

La curva di compattazione dei materiali fini come argille e dei limi (quindi poco permeabili) ha andamento tipico a campana ed il ginocchio corrispondente alla massima densità secca ad alla umidità ottimale è facilmente riconoscibile

Nei terreni incoerenti e privi di materiali fini (quindi con alta permeabilità), l'addensamento avviene con riduzione dei vuoti e con la espulsione di acqua interstiziale in eccedenza e la curva risultante relativamente piatta .

Nella realtà è difficile trovare un materiale privo di fini, pertanto è sufficiente una minima percentuale di questi per ridurre la permeabilità e quindi rendere il terreno incoerente assimilabile, ai fini della compattazione, ai terreni coesivi e, quindi avremo anche per questi una curva a campana e per ottenere il massimo dell'addensamento dovremo compattare il volume di terreno al valore ottimo della umidità



## Compattazione : prova PROCTOR –UNI EN 13286

La norma descrive sei procedure (3 per la prova standard e 3 per la prova modificata) di esecuzione della prova simili tra loro con variazioni procedurali relative alla dimensione massima delle particelle della miscela da testare, alla quantità di campione richiesta e alla dimensione della fustella e del pestello

Table 5 — Summary of Proctor test and modified Proctor test

Type of test	Characteristics of test	Symbol	Dimension	Proctor mould		
				A	B	C
Proctor test	Mass of rammer	$m_R$	kg	2,5	2,5	15,0
	Diameter of rammer	$d_2$	mm	50	50	125,0
	Height of fall	$h_2$	mm	305	305	600
	Number of layers	–	–	3	3	3
	Number of blows per layer	–	–	25	56	22
Modified Proctor test	Mass of rammer	$m_R$	kg	4,5	4,5	15,0
	Diameter of rammer	$d_2$	mm	50	50	125,0
	Height of fall	$h_2$	mm	457	457	600
	Number of layers	–	–	5	5	3
	Number of blows per layer	–	–	25	56	98

For the routine control of pavement layers the one point Proctor test in annex B may be used.

NOTE In this table, the values for the dimensions are rounded. For the exact values see Table 2.

## Compattazione : prova PROCTOR –UNI EN 13286

Nella tabella 4 vengono definiti, in funzione della granulometria, il peso del campione e la fustella da utilizzare

Table 4 — Summary of sample preparation methods

Percentage passing test sieves			Preparation clause	Mass of sample kg	Proctor mould
16 mm	31,5 mm	63 mm			
100	–	–	6.4	15	A
				40	B
75 to 100	100	–	6.5.1	40	B
< 100	75 to 100	100	6.5.2	40	B
–	< 75	75 to 100	6.5.3	200	C

Come si può osservare la prova può essere eseguita su terreni aventi granuli di dimensioni massime di 63 mm, ma il capitolato permette di utilizzare frammenti rocciosi con dimensioni fino a 125 mm e quindi nasce la domanda su come si può determinare l'umidità ottimale

Come si è visto sono le dimensioni dei granuli ad influenzare maggiormente l'umidità ottimale, pertanto in questo caso la prova dovrà essere eseguita solo sui materiali passanti al setaccio da 63 mm e il risultato dovrà essere corretto sulla base della procedura prevista nell'annex C. Chiaramente nel certificato di prova dovrà essere specificato che la prova ha significato solo per la determinazione dell'umidità ottimale di riferimento per la compattazione

## Compattazione terreni

Come abbiamo detto la compattazione dipende da:

- proprietà geotecniche del terreno di fondazione
- tipo di terreno da compattare
- umidità del terreno da compattare
- strategia e procedura di compattazione
- impianto di compattazione

Il progetto avrà definito le caratteristiche del terreno di fondazione e gli eventuali interventi di bonifica necessari

Il tipo di terreno da utilizzare per la costruzione dei rilevati, rinterri, ecc. viene definito in sede di progetto sulla base delle informazioni presenti

Abbiamo visto come analizzare e come gestire l'umidità e il terreno da stabilizzare

Adesso analizzeremo come definire la procedura e la strategia di compattazione del terreno per la realizzazione dell'opera

## Compattazione terreni – Strategia di compattazione

La strategia e la metodologia di compattazione potranno essere sviluppate dopo aver definito le prestazioni del terreno compattato, le sue caratteristiche fisiche, l'umidità ottimale, la densità desiderata, lo spessore degli strati, ecc.

In questa fase avremo la scelta del mezzo di compattazione più idoneo (rullo compattatore statico o vibrante, rullo a piede di montone o liscio, ecc.) nonché la definizione degli schemi di rullatura

In passato la compattazione era un'operazione di tipo statico, ovvero basata sul peso intrinseco dell'impianto stesso

L'introduzione della vibrazione e/o oscillazione ha avuto un'influenza dominante nel settore della compattazione del terreno, permettendo di raggiungere con più facilità la densità desiderata di un terreno

L'effetto compattante dinamico esercitato dipende dall'azione congiunta della frequenza di eccitazione (ovvero il numero delle singole vibrazioni), della durata di applicazione, dal peso intrinseco del rullo, dalla forza di impatto, dalla forma e dimensione dell'area di contatto

## Compattazione terreni – Rulli compattatori



## Compattazione terreni – Quali rulli compattatori usare

I rulli dovranno essere adeguati alla natura dei materiali da mettere in opera e, in ogni caso, tali da permettere di ottenere i requisiti di densità e di portanza richiesti per gli strati finiti.

Le linee guida nella scelta dei compattatori per la costruzione di opere come i rilevati ferroviari e stradali sono:

- I rulli a piede di pecora vibranti sono per l'impiego specifico per le terre fini coerenti, ma dopo la compattazione lo strato deve essere rifinito con rulli lisci o gommati
- I rulli lisci vibranti sono particolarmente adatti per le terre granulari (A1, A2 e A3) e, se molto pesanti, per i detriti di falda contenenti elementi di grosse dimensioni e, in una certa misura, per quelli provenienti da scavi in roccia;

## Compattazione terreni – Quali rulli compattatori usare



Esistono poi rulli speciali per la compattazione di grandi spessori di materiali granulari con associate piastre vibranti di finitura



## Compattazione terreni – Quali rulli compattatori usare

Indipendentemente dai vari software oggi presenti l'attitudine delle macchine di costipamento deve essere verificata in campo prova per **ogni tipo di materiale** che si prevede di impiegare.

Oltre al raggiungimento degli obiettivi richiesti, in questa fase deve essere verificato che la loro produzione sia compatibile con quella delle altre fasi di lavoro (scavo, trasporto e stesa) e con il programma temporale stabilito nel piano particolareggiato dei movimenti di terra

Per la fase di costruzione dell'opera è evidente che le caratteristiche dei rulli compattatori (peso, pressione di gonfiaggio dei pneumatici, ecc.) come le varie regolazioni (velocità, frequenza di vibrazione, ecc.), gli spessori degli strati ed il numero di passaggi debbono rispettare le condizioni stabilite nel corso della sperimentazione in campo prova.



# La stabilizzazione a calce

## 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

## Facciamo chiarezza

Quando si fa riferimento all'uso della calce per le opere in terra spesso si usano, come sinonimi, 2 termini:

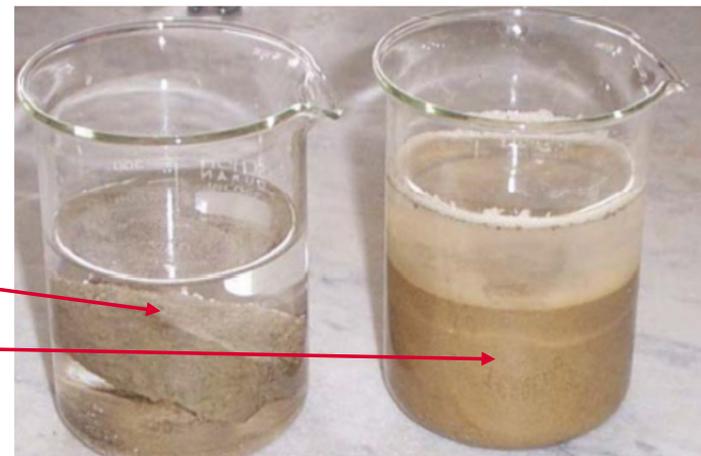
- **Miglioramento**
- **Stabilizzazione**

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 innesca 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.).

Una semplice prova è l'immersione di un campione di terra **stabilizzato** e uno **solo migliorato**: dopo qualche ora il campione non stabilizzato si scioglie e si disperde nell'acqua



## Riferimenti Legislativi ambientali

### DELIBERA DEL CONSIGLIO DEL SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL' AMBIENTE N° 54/2019 DEL 9 Maggio 2019

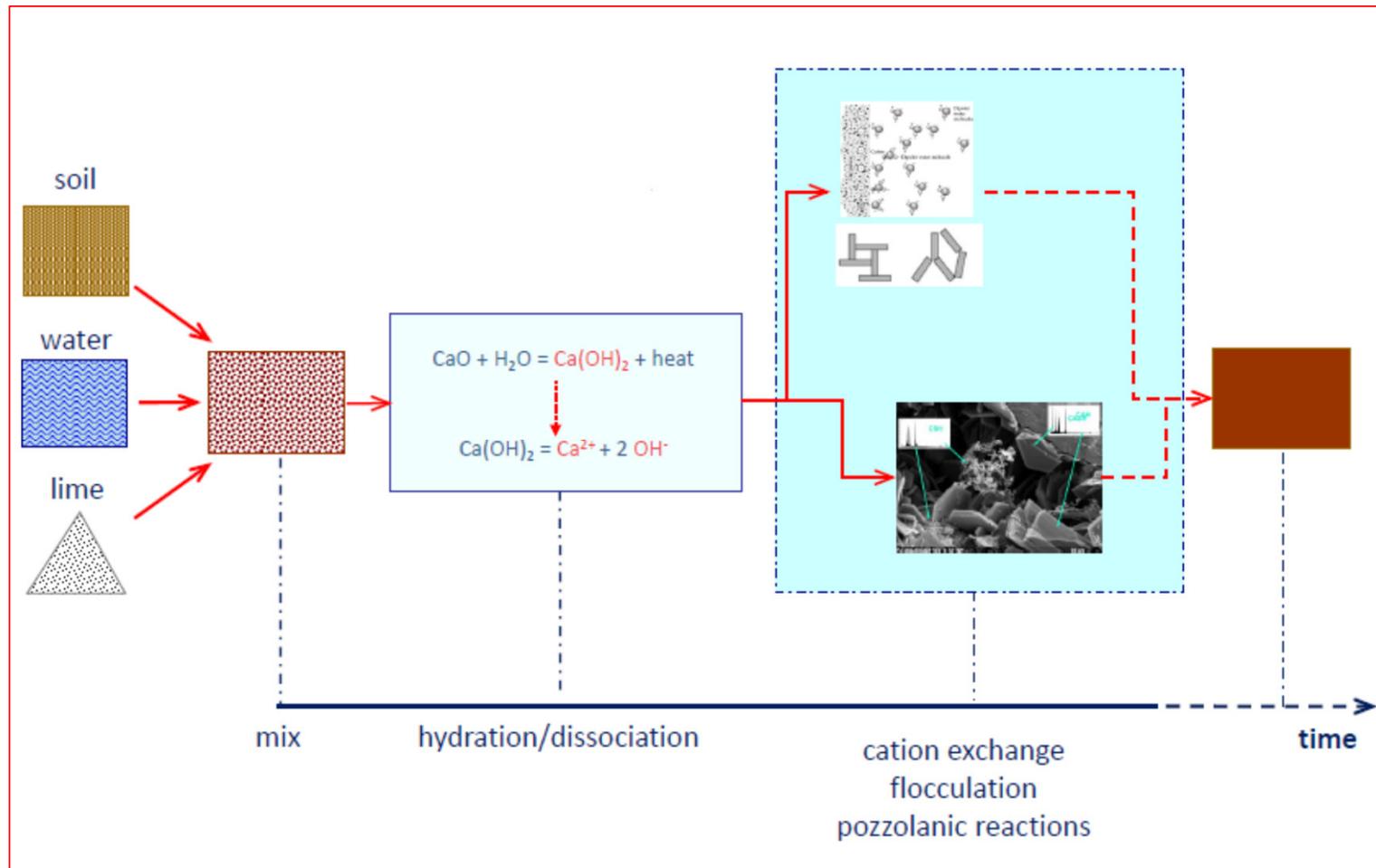
1. di approvare il manuale "Linea guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo" che è parte integrante del presente atto;
2. di ritenere il presente atto, ai sensi dell'art. 8 del predetto Regolamento di funzionamento, immediatamente esecutivo;..... (omissis).....

#### 6.5 - Il trattamento a calce

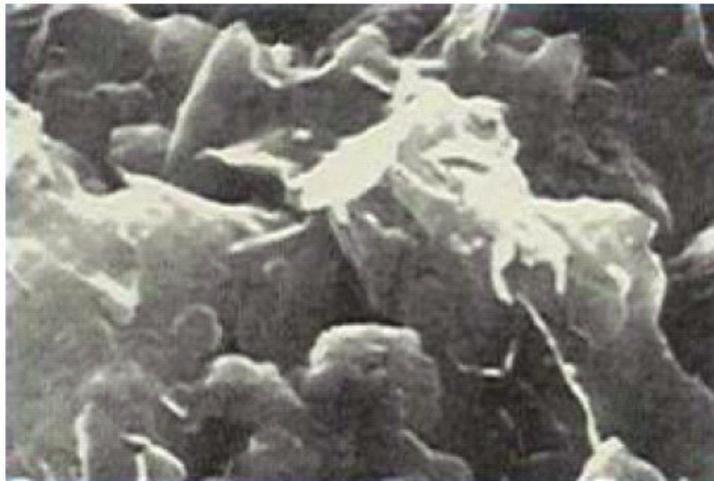
In merito occorre rilevare che, tuttavia, il DPR 120/2017 non vieta espressamente il trattamento di stabilizzazione a calce e che le operazioni elencate nel citato allegato 3 vanno interpretate in senso esemplificativo e non esaustivo. Infatti il DPR sono individuate **alcune** “tra le operazioni più comunemente effettuate...” ..... omissis.....

L'applicazione dello schema decisionale, riportato nel paragrafo 5.4, al trattamento a calce condurrebbe a concludere che **tale trattamento può essere considerato di normale pratica industriale** se le terre e rocce in questione **hanno tutti i requisiti indicati dal DPR 120/2017 per essere considerati sottoprodotti, prima del trattamento stesso.**

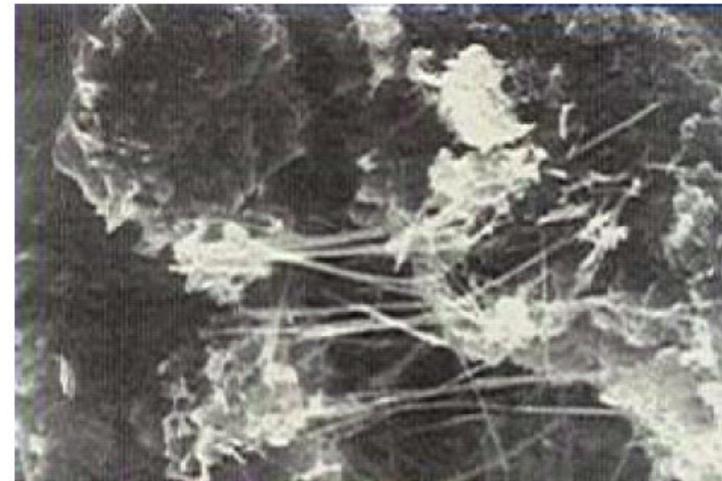
## La stabilizzazione a calce – processi permanenti



## Reazioni pozzolaniche



Senza Calce



Con Calce

## *La stabilizzazione a calce*

Le valutazioni sulla stabilizzazione a calce di terreni argillosi possono essere fatte in funzione di:

- **EFFICACIA**
- **EFFICIENZA**
- **SOSTENIBILITA'**
- **DURABILITA'**

## La stabilizzazione a calce: EFFICACIA

La stabilizzazione a calce interviene modificando sia la natura che lo stato fisico del terreno non trattato

Processi:

- Scambio ionico
- Reazioni pozzolaniche

Risultati:

- **Modifica distribuzione granulometrica**
- **Riduzione della plasticità**
- **Ottimizzazione del processo di compattazione**
- **Riduzione della compressibilità**
- **Annullamento della sensibilità all'acqua**
- **Eliminazione potenziale di rigonfiamento**
- **Aumento della resistenza al taglio**

## La stabilizzazione a calce: EFFICIENZA

L'EFFICIENZA è ottenuta controllando tutti i fattori che intervengono nel processo:

Controllo e scelta di:

- Materiali
- Processi esecutivi

- Tipo di calce
- Percentuale in peso della calce
- Energia di compattazione
- Contenuto d'acqua del materiale al momento della compattazione
- Tempo di maturazione

## La stabilizzazione a calce: SOSTENIBILITA'

L' utilizzo di materiali non idonei come tali e quali per la costruzione delle opere garantisce la sostenibilità ambientale



- Riutilizzo del materiale prodotto all'interno dello stesso cantiere
- Annullamento e/o riduzione del trasporto del materiale scavato e non idoneo come tale a discarica



- Riduzione dei trasporti sia in uscita (verso discarica) e in entrata (fornitura di materiale idoneo) con conseguente riduzione delle emissioni
- Eliminazione o riduzione dell'impatto sulla viabilità locale
- Annullamento o forte riduzione del consumo di territorio, annullando o riducendo fortemente l'apertura di nuove cave o ampliamento delle esistenti



## La stabilizzazione a calce: DURABILITA'

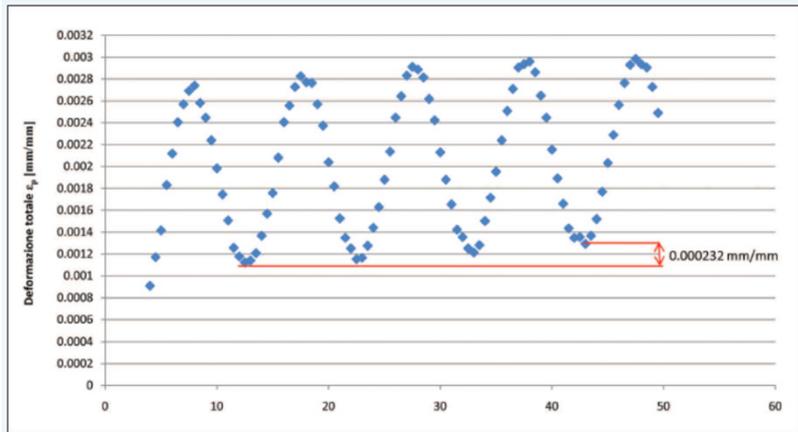
La durabilità sarà garantita se tutte le fasi operative e i controlli saranno eseguiti correttamente

Controllo :

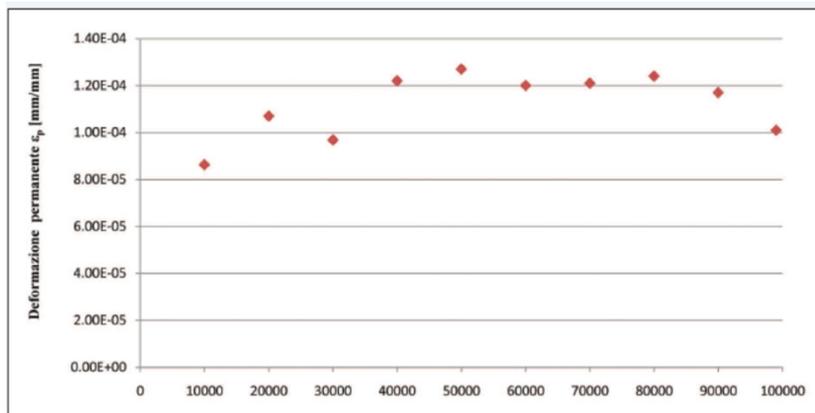
- Sulla qualità della calce
- Modalità esecutive

- Controllo della qualità della calce e corrispondenza a quella dello studio
- Prove in sito sul materiale prima e dopo la stabilizzazione
- Prove di laboratorio
- Controllo della taratura delle macchine utilizzate per lo spandimento della calce
- Controllo dell'efficienza della miscelazione
- Controllo della posa in opera

## DURABILITA' DEL TERRENO STABILIZZATO A CALCE: *Effetto carichi ciclici*



Deformazione totale registrata su 4 generici cicli



La deformazione permanente campionata ogni 1.000 cicli

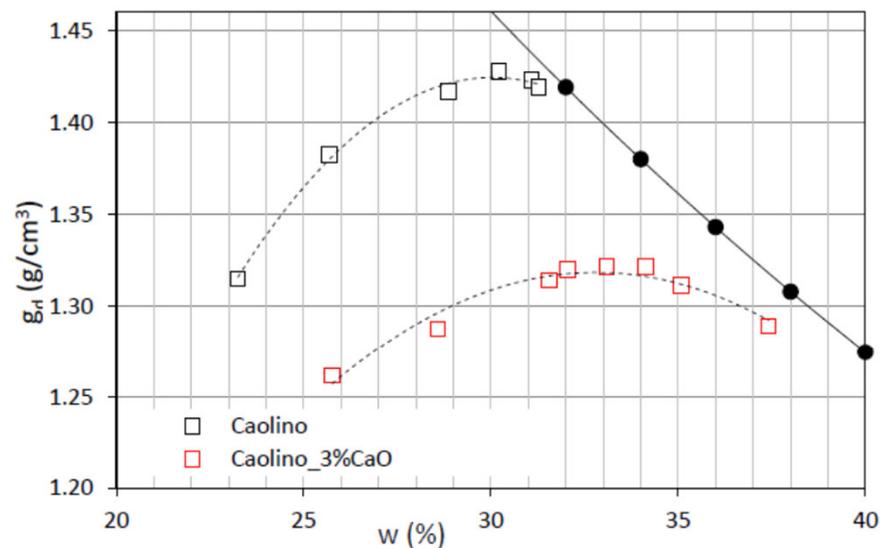
In conclusione le prove di creep dinamico e le successive simulazioni numeriche, eseguite per considerare una durata di prova superiore ai 100.000 cicli, mostrano come la miscela terra/calce studiata, se sottoposta alle sollecitazioni a cui è soggetto il materiale posto nella sommità di un rilevato ferroviario, non manifesti una tendenza all'accumulo di deformazioni permanenti tale da indurre cedimenti incompatibili con l'esercizio ferroviario.

## DURABILITA' DEL TERRENO STABILIZZATO A CALCE: Effetto carbonatazione

### Caolino Speswhite

- Non trattato\*
- Trattato con 3%CaO\*

\*Compattamento: Proctor Standard,  $w_{opt}$



### Condizioni di maturazione:



## DURABILITA' DEL TERRENO STABILIZZATO A CALCE: *Effetto carbonatazione*

- **Maturazione INDOOR**



24 ore



7 giorni



28 giorni

- **Maturazione OUTDOOR**



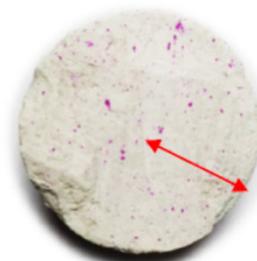
24 ore



7 giorni

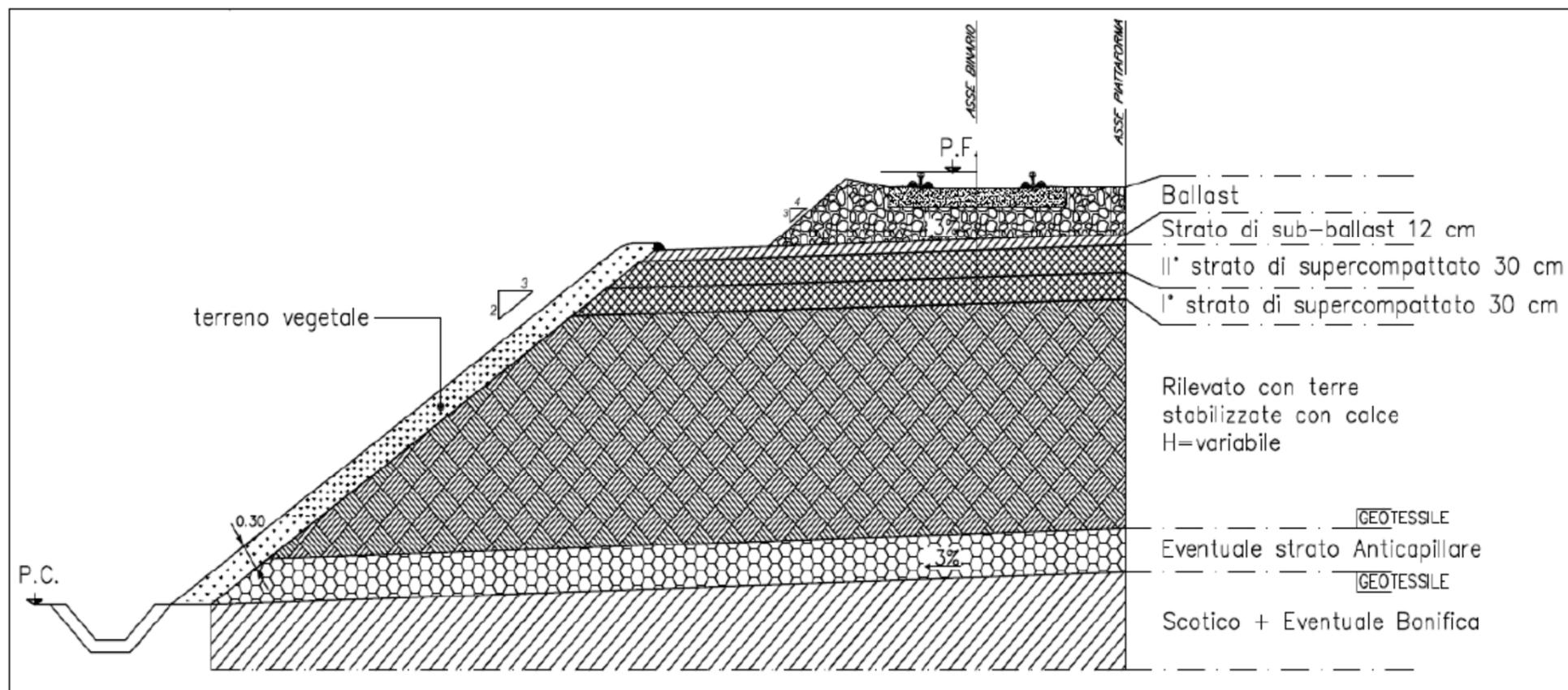


12 giorni



28 giorni

## Il Capitolato RFI – la sezione tipo



# Il Capitolato RFI – quali terre stabilizzare

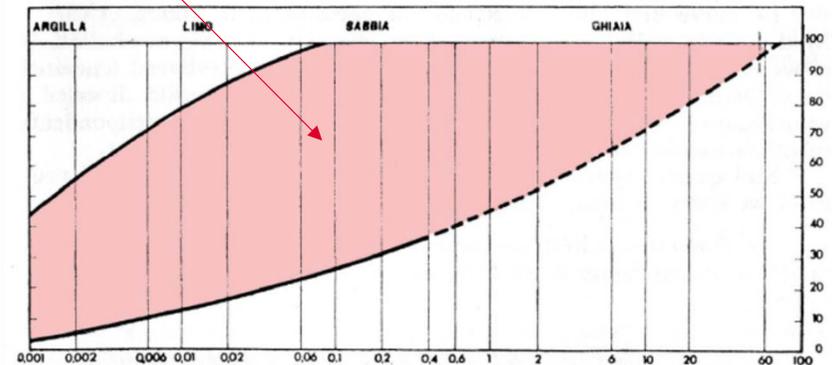
Tabella 18.6.3.1.1-1

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 <sup>(1)</sup>
Limiti di Atterberg (LL-LP)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	Indice di plasticità IP	>10 <sup>(1)</sup>
Contenuto in sostanze organiche	ASTM D 2974 - C	Sostanze organiche	< 2% <sup>(2)</sup>
Contenuto in solfati	UNI EN 1744-1	Solfati totali	< 0,25% <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> 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  $IP > 5$

<sup>(2)</sup> 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

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



## 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%				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
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  $I_p > 5$

## Il Capitolato RFI – campionamento

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

<b>PIANO DI POSA (stabilizzazione in sito)</b>	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.

Ogni fornitura di calce approvvigionata in cantiere deve essere marcata CE e accompagnata dalla relativa documentazione di legge.

Le norme di riferimento per le prove sono le UNI EN 459-2 e UNI EN 459-3. I tipi di calce da costruzione da utilizzare sono quelli appartenenti alle classi CL 80 e 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<sup>a)</sup>

	Tipo di calce da costruzione	CaO + MgO	MgO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Calce libera
1	CL 90	≥90	≤5 <sup>c)</sup>	≤4	≤2	-
2	CL 80	≥80	≤5 <sup>c)</sup>	≤7	≤2	-

Da UNI EN 459-1

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

DICHIARAZIONE DI PRESTAZIONE

Nr. DOP-LLF-031114-4

1. Codice di identificazione unico del prodotto-tipo: Calce calcica EN 459 CL 90-Q (R5,P1)		
2. Numero di tipo, lotto, serie o qualsiasi altro elemento che consenta l'identificazione del prodotto da costruzione ai sensi dell'Art. 11, paragrafo 4: Ossido di calcio ventilato – Data e sito di produzione o altri dati identificativi sono stampati sull'imballo e/o sul DDT		
3. Uso o usi previsti del prodotto da costruzione, conformemente alla relativa specifica tecnica armonizzata, come previsto dal fabbricante: Utilizzata in applicazioni o materiali da costruzione, edilizia ed ingegneria civile		
4. Nome, denominazione commerciale registrata o marchio registrato e indirizzo del fabbricante ai sensi dell'Art. 11, paragrafo 5		
5. Se opportuno, nome e indirizzo del mandatario il cui mandato copre i compiti cui all'Art. 12, paragrafo 2 Nessun mandatario		
6. Sistema o sistemi di valutazione e verifica della costanza della prestazione del prodotto da costruzione di cui all'Allegato V: Sistema 2+		
7. Nel caso di una dichiarazione di prestazione relativa ad un prodotto da costruzione che rientra nell'ambito di applicazione di una norma armonizzata: L'organismo notificato DNV (0496) ha effettuato secondo il sistema 2+: i) ispezione iniziale dello stabilimento di produzione e del controllo della produzione di fabbrica; ii) sorveglianza, valutazione e verifica continue del controllo della produzione di fabbrica; e ha rilasciato il certificato di conformità del controllo della produzione di fabbrica: nr. 0496-CPR-0063		
8. Prestazione dichiarata:		
Caratteristiche essenziali	Prestazione	Specifiche tecniche armonizzate
CaO + MgO	≥ 90 %	EN 459-1:2010
MgO	≤ 5 % (vedi 4.4.2. in EN 459-1)	
CO <sub>2</sub>	≤ 4 % (vedi 4.4.2. in EN 459-1)	
SO <sub>2</sub>	≤ 2 %	
Calce libera	≥ 80 %	
Stabilità	superata	
Reattività	R5	
Distribuzione granulometrica	P1	
9. La prestazione del prodotto di cui ai punti 1 e 2 è conforme alla prestazione dichiarata di cui al punto 8. Si rilascia la presente dichiarazione di prestazione sotto la responsabilità esclusiva del fabbricante di cui al punto 4. Firmato a nome e per conto del fabbricante da:		

Dal momento che i valori dei parametri caratteristici della calce influenzano la sua «efficienza» è bene analizzare oltre alla «**dichiarazione di prestazione**» rilasciata del produttore anche i certificati di laboratorio eseguiti periodicamente per il mantenimento della marcatura CE

Anche perché nella dichiarazione di prestazione sono riportati solo i limiti di accettabilità, occorre verificare che non ci siano variazioni significative nei singoli parametri

Infine è bene ricordare che:

**Qualora, durante le lavorazioni si voglia cambiare tipo di calce e/o fornitore, eccetto il caso in cui tutti i valori dei parametri della calce siano PERFETTAMENTE IDENTICI, dovrà essere rifatto lo studio completo**

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

Le prove da eseguire sono riportate nelle tabelle seguenti

Tabella 18.6.3.2-1

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)	

Tabella 18.6.3.2-3

PROVE SU MISCELE TERRA/CALCE DESTINATE ALLA FORMAZIONE DEL PIANO DI POSA DEL RILEVATO	
TEST DI LABORATORIO	NORMA DI RIFERIMENTO
Indice di portanza CBR imbibito da misurare dopo 28 gg. di maturazione, con imbibizione negli ultimi 4 gg.	UNI EN 13286-47
Prova di costipamento Proctor Modificata, con determinazione di umidità ottima (Wopt)	UNI EN 13286-2
Compressione semplice a 7 giorni di maturazione, su provini cilindrici con rapporto d/h=1/2, su n° 3 campioni con diverso grado di umidità: Wopt, Wopt + 2%, Wopt - 2%	UNI EN 13286-41 UNI EN ISO/TS 17892-7
Compressione semplice a 28 giorni di maturazione, su provini cilindrici con rapporto d/h=1/2, su n° 3 campioni con diverso grado di umidità: Wopt, Wopt + 2%, Wopt - 2%	

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

Tabella 18.6.3.2-4

PROVE SU MISCELE TERRA/CALCE DESTINATE ALLA FORMAZIONE DEGLI STRATI DEL CORPO DEL RILEVATO	
TEST DI LABORATORIO	NORMA DI RIFERIMENTO
Indice di portanza CBR imbibito da misurare dopo 28 gg. di maturazione, con imbibizione negli ultimi 4 gg.	UNI EN 13286-47
Prova di costipamento Proctor Modificata, con determinazione di umidità ottima ( $W_{opt}$ )	UNI EN 13286-2
Prova di taglio in cella triassiale CID su 3 provini, a 28 gg. di maturazione	AGI 1994 UNI CEN ISO/TS 17892-9
Compressione semplice a 7 gg. di maturazione, su provini cilindrici con rapporto $d/h=1/2$ , su n° 3 campioni con diverso grado di umidità: $W_{opt}$ , $W_{opt} + 2\%$ , $W_{opt} - 2\%$	UNI EN 13286-41 UNI EN ISO/TS 17892-7
Compressione semplice a 28 gg. di maturazione, su provini cilindrici con rapporto $d/h=1/2$ , su n° 3 campioni con diverso grado di umidità: $W_{opt}$ , $W_{opt} + 2\%$ , $W_{opt} - 2\%$	



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

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)		$\geq 10$ (IPI <sub>10</sub> )

Come si può osservare alcune delle prove eseguite, come le prove Triassiali, durante lo studio non hanno un limite di accettazione ma servono per avere conoscenza del materiale e fornire i parametri necessari per la progettazione e la verifica delle opere in terra secondo quanto previsto dalle NTC

## Il Capitolato RFI – Fase 1 – Relazione tecnica

Sulla base delle risultanze della sperimentazione in laboratorio, dovrà essere redatta una apposita relazione, in cui verranno illustrate le risultanze della sperimentazione stessa, la proposta **della miscela sperimentale (per ogni tipo di terreno studiato)** da testare nel campo prova ed i valori dei parametri per le verifiche geotecniche.

Tale relazione farà parte degli elaborati di progetto e dovrà indicare tutte le modalità esecutive, i macchinari previsti (che saranno poi utilizzati per la realizzazione dell'opera) e tutti gli altri dettagli necessari per la realizzazione del campo prova.

### ***Ma..... Come scegliere la miscela finale?***

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

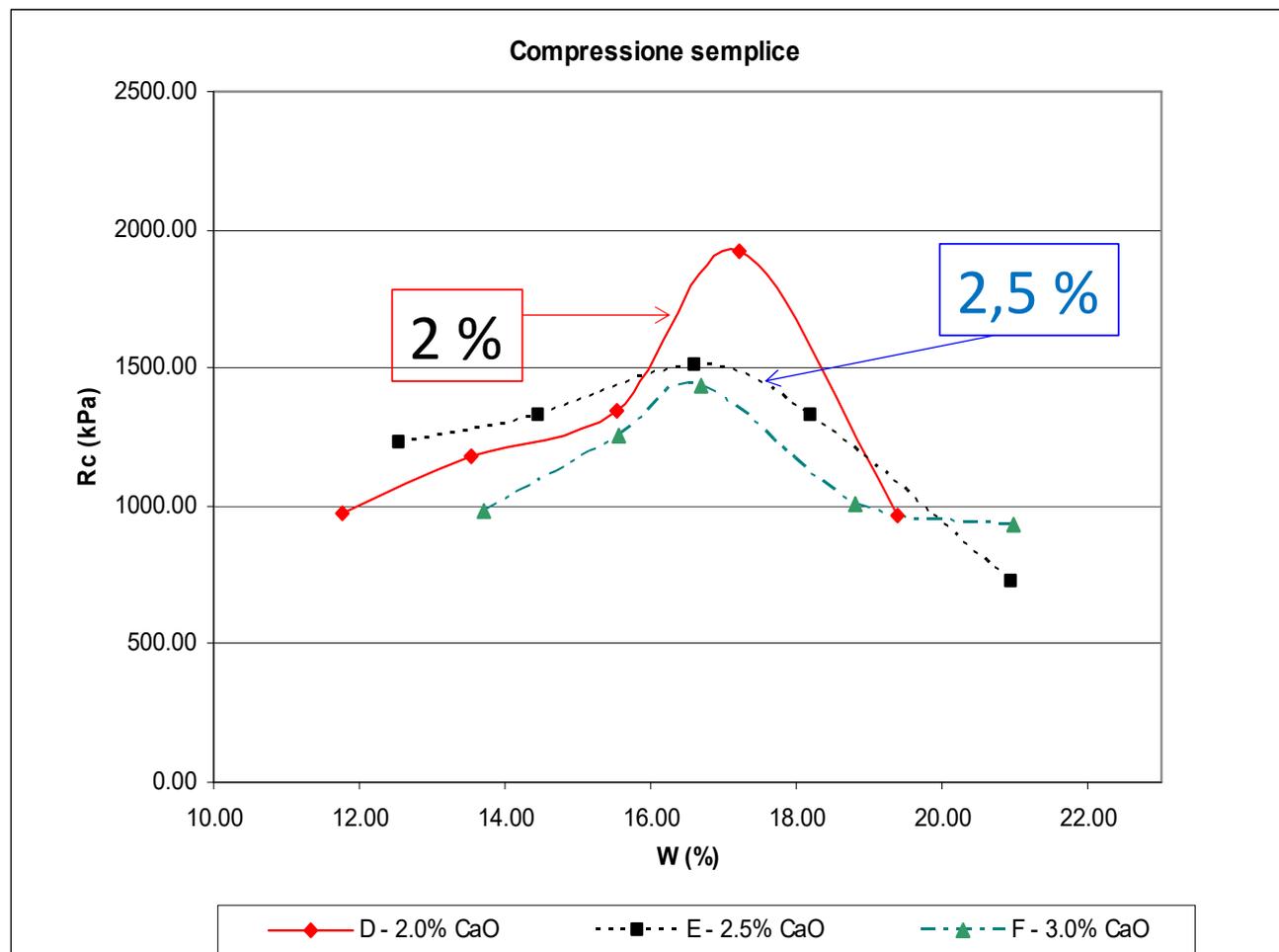


## Il Capitolato RFI – Fase 1 – Relazione tecnica

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

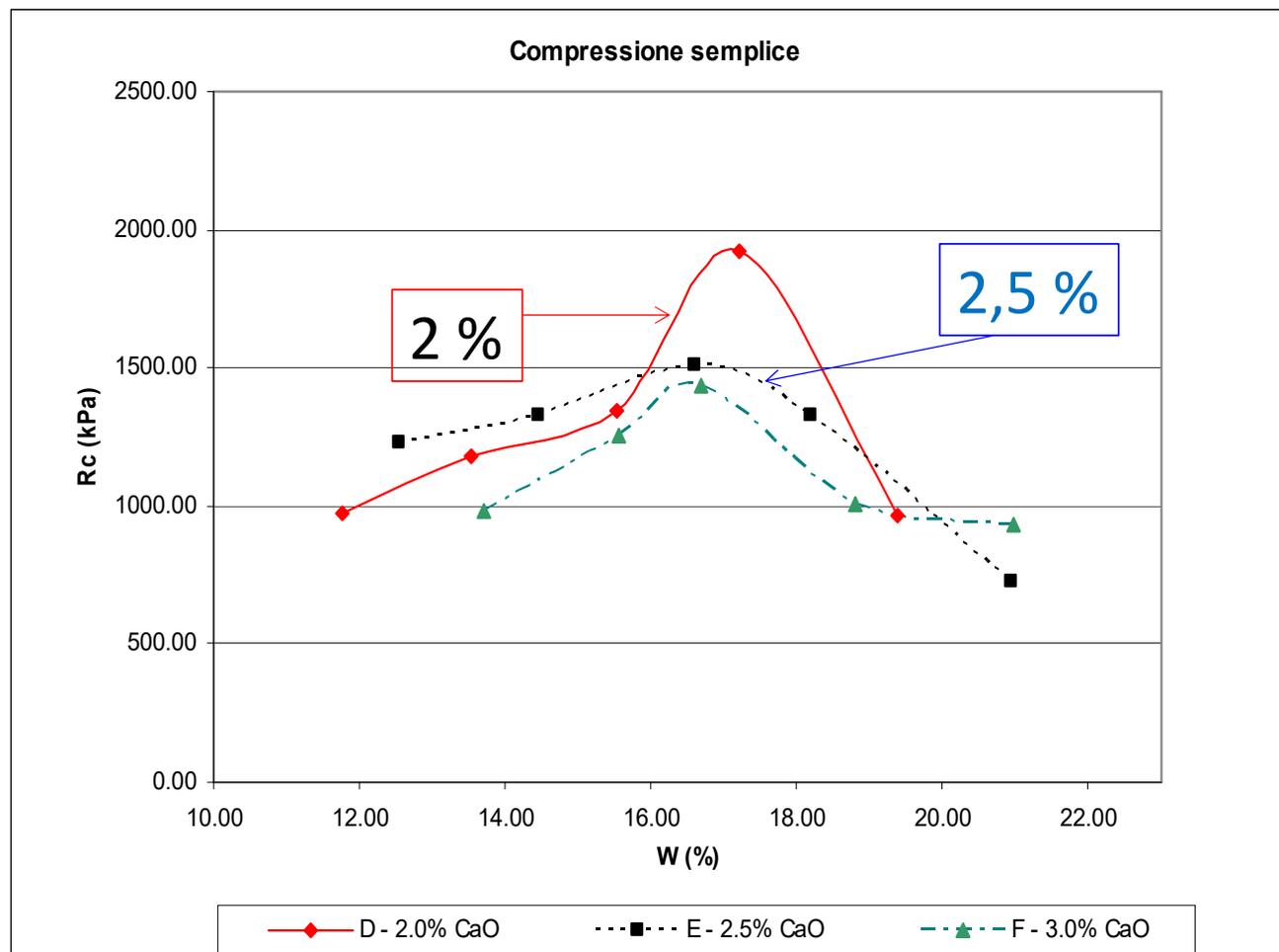


## Il Capitolato RFI – Fase 1 – Relazione tecnica

Osservando in dettaglio le curve si può osservare però che:

- Il valore di Rc decade ripidamente 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 Rc



## Il Capitolato RFI – Fase 3 – campo prova

Il campo prova ha lo scopo di verificare su scala reale quanto desunto dallo studio della miscela scelta e di definire metodo e modalità di compattazione in opera.

Il campo prova deve essere previsto quando:

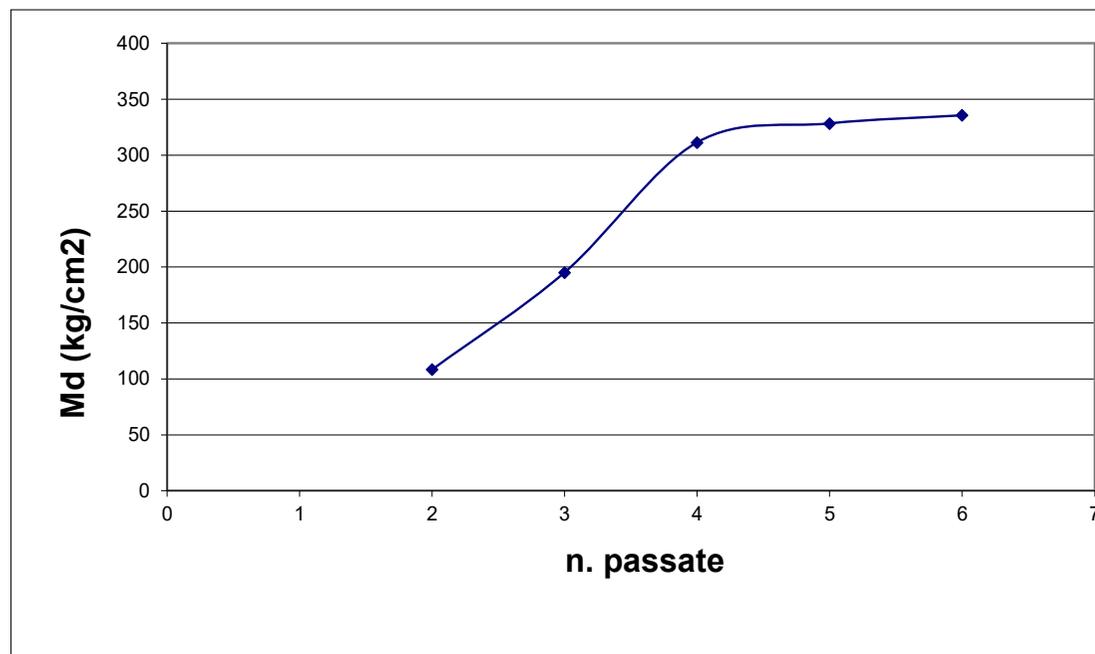
- Entro un tratto di 5 km di linea, il trattamento delle terre con calce destinate alla realizzazione del piano di posa di rilevati o di sedi in trincea, interessa una superficie superiore a 15.000 mq.
- Nel caso il terreno stabilizzato con calce venga utilizzato per la formazione del corpo dei rilevati, il campo prova deve essere realizzato quando il trattamento con calce interessa un volume di terre superiore a 30.000 mc

Per prima cosa dovrà essere decisa la strategia di compattazione con la definizione dello schema di rullatura

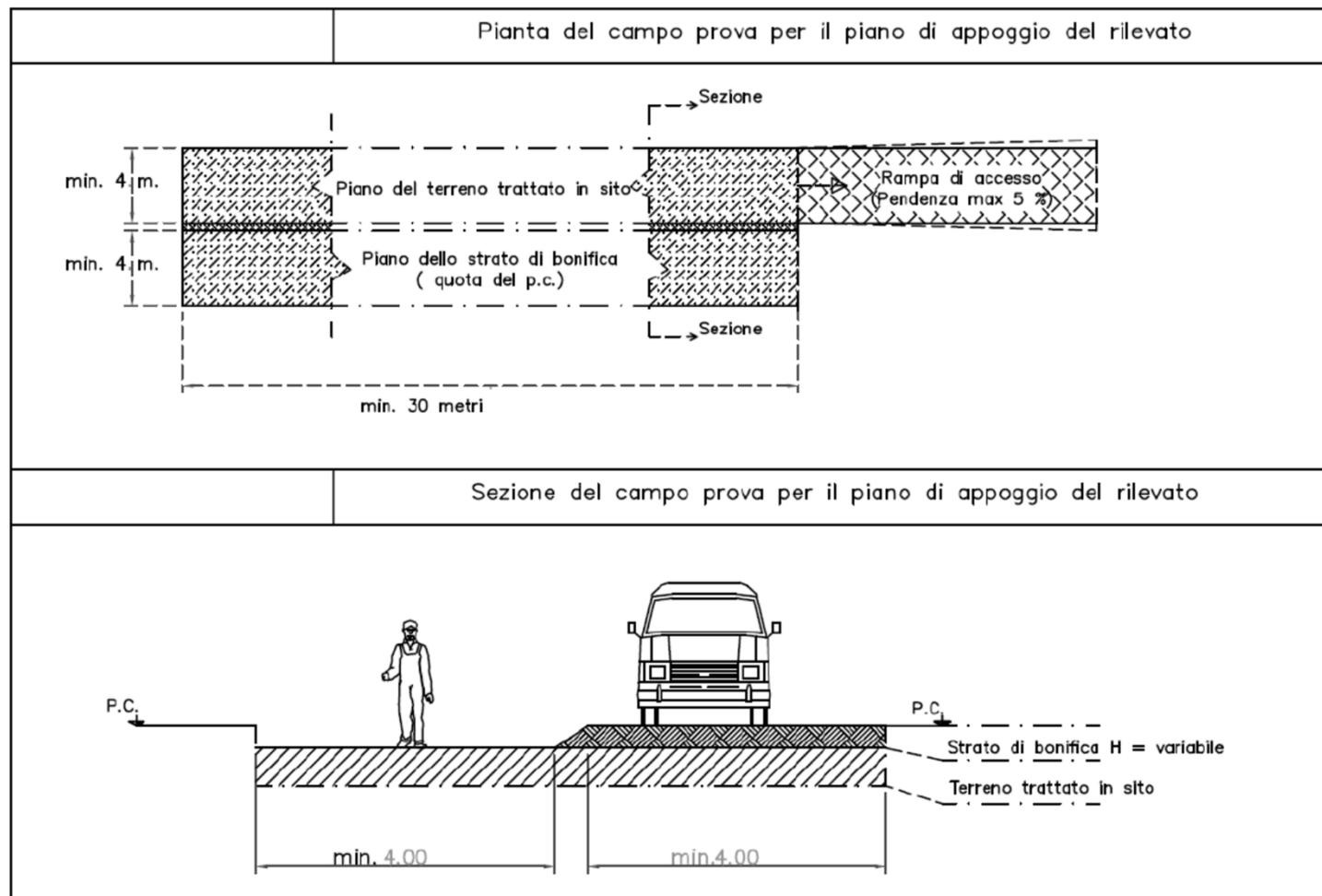
Dovranno essere eseguite una serie di passate e dopo ognuna dovrà essere determinato il modulo di deformazione, i dati saranno riportati su un grafico e il numero ottimale di passate corrisponde a quello per cui continuando a rullare non si hanno incrementi sensibili del Modulo di deformazione

## Il Capitolato RFI – Fase 3 – campo prova – schemi di rullatura

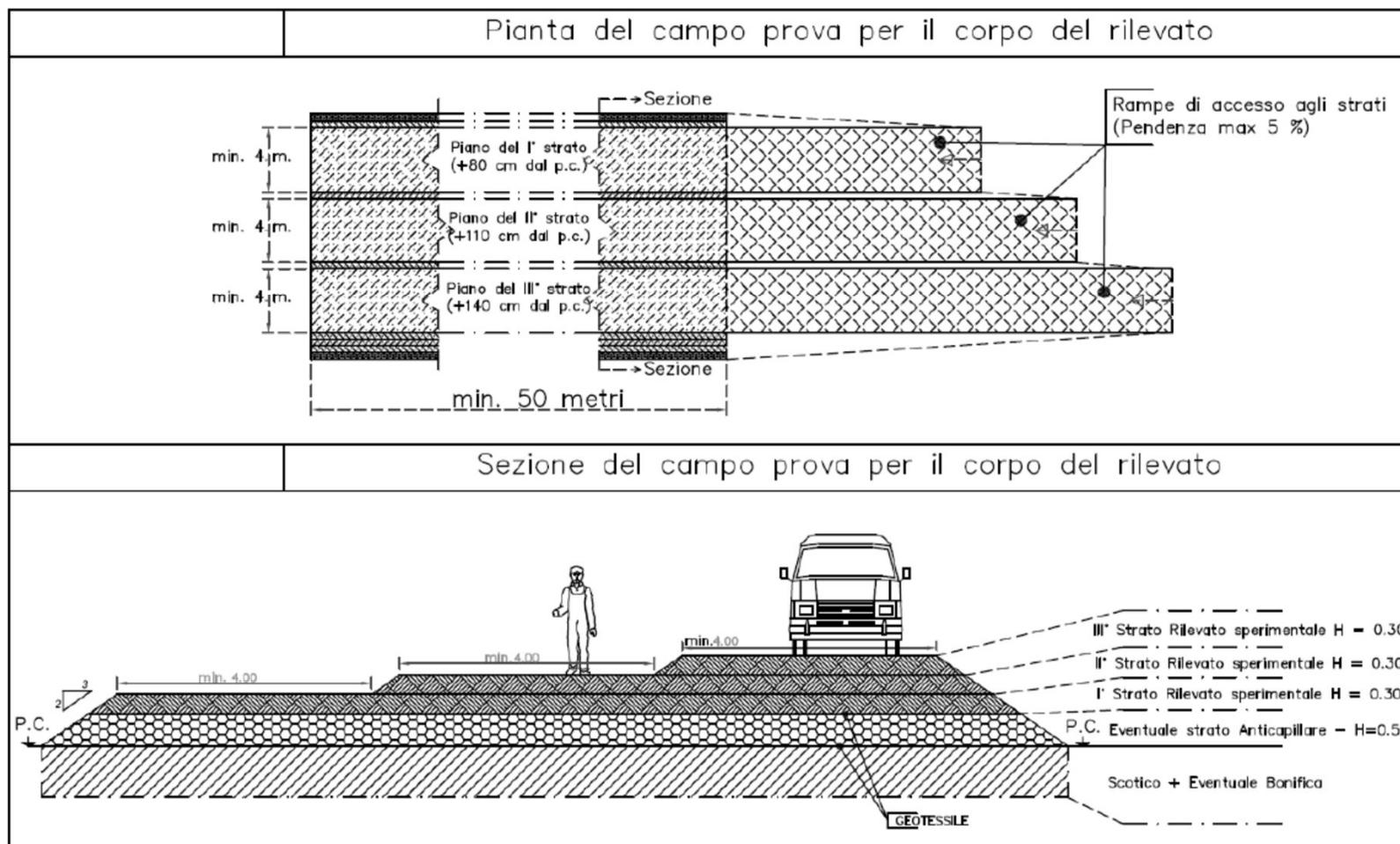
Passate Rullo	Md-a	Md-b	Md-c	Media
n.	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
2	107	110	108	108
3	200	190	195	195
4	309	316	309	311
5	333	326	326	328
6	333	333	341	336



## Il Capitolato RFI – Fase 3 – Campo prova



## Il Capitolato RFI – Fase 3 – Campo prova



## Il Capitolato RFI – Fase 3 – 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

a 28 giorni dalla compattazione **solo sull'ultimo strato del corpo del rilevato**

- Dovranno essere prelevati 3 campioni indisturbati che saranno sottoposti a prova di taglio in della triassiale (CID)
- le prove verranno eseguite sia sui provini tal quali che dopo 5 cicli di imbibizione (4 gg.) ed essiccamento (24h) e completa saturazione per almeno 7 giorni

## Il Capitolato RFI – Prescrizioni esecutive

Nel capitolato troviamo poi tutte le modalità esecutive (dallo stoccaggio delle terre e della calce, alle modalità di stesa di questa, sia sfusa che in sacchi, ecc.), le prescrizioni per la costruzione dell'opera, nonché il piano di controlli da eseguire (tipo di prova e frequenza) ed i valori di accettazione delle prove stesse

Di particolare rilievo sono i seguenti punti:

*Nel caso si preveda il reimpiego di terre provenienti da scavi, altre lavorazioni di cantiere o cave di prestito, tali terre, successivamente allo scavo saranno depositate in cumuli omogenei in aree dedicate previste in progetto e sottoposte alle verifiche relative alla loro classificazione (granulometria e limiti) e presenza di sostanze inibenti il trattamento (solfati, sostanze organiche) (paragrafo 18.6.3.1.1) in ragione di un campione ogni 4000 mc di terreno*

*Il trattamento delle terre con calce non dovrà essere effettuato in caso di pioggia, di temperature inferiori a 5°C, in presenza di vento forte, che sollevi la calce stesa, e nel caso in cui ci sia presenza di acqua o venute di acqua sul piano dove viene steso o trattato il terreno. Nel caso il terreno sia saturo fino al piano di campagna, prima di procedere al trattamento con calce del piano di posa del rilevato, si dovrà obbligatoriamente provvedere ad abbassare il livello d'acqua e a mantenerlo tale per un tempo, approvato da Ferrovie, sufficiente a non inficiare l'esito del trattamento.*

## Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio

Abbiamo visto che le prove da eseguire sui campioni di terreno sono:

- determinazione dei limiti di Atterberg;
- analisi granulometrica per via umida con setacci e con aerometro;
- determinazione del contenuto in sostanze organiche;
- determinazione del contenuto in solfati;
- determinazione del consumo iniziale di calce (CIC);

## Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio

Le esperienze maturate in questi anni hanno dimostrato che:

- con percentuali di minerali argillosi inferiori al 4 – 5% difficilmente il terreno risulta “stabilizzabile”, mentre è stato dimostrato che con valori dell’indice plastico pari a 4 – 5 si ottengono ottimi risultati.
- con percentuali di calce pari al CIC si ottiene un semplice “miglioramento” del terreno, e non una stabilizzazione completa
- si sono riscontrati ottimi risultati con un contenuto in Sostanza organica anche pari al 6%.
- In questo caso, però, avremo un CIC elevato, in quanto parte della calce andrà a neutralizzare la sostanza organica

## Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio – Proctor Modificata

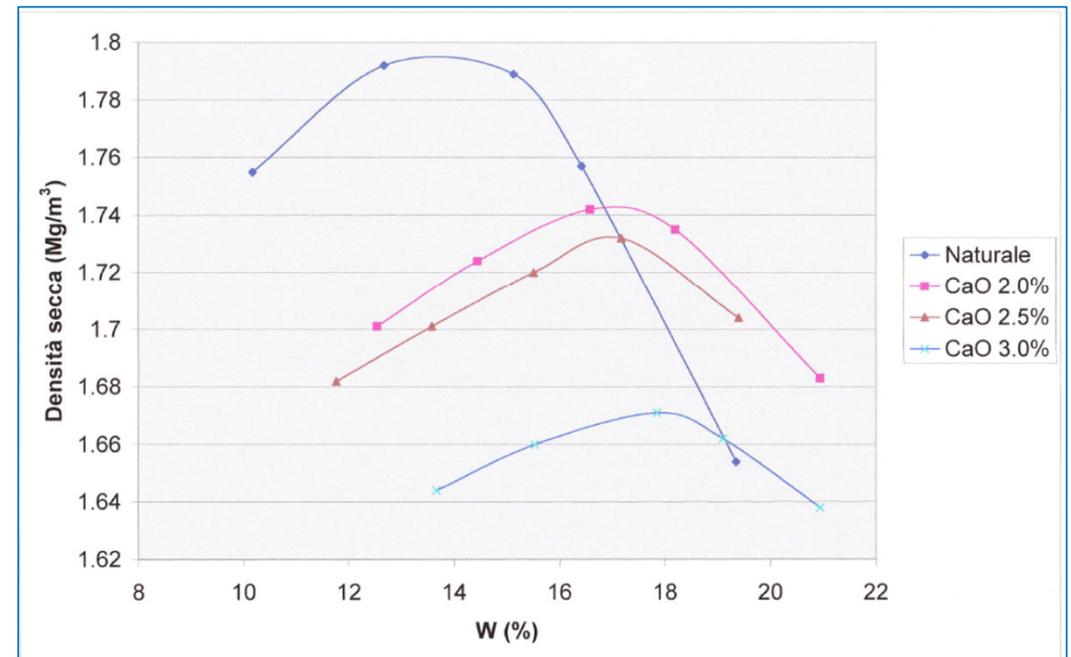
Le prove di compattazione (Proctor Modificata) devono essere eseguite sia sul terreno allo stato naturale (cioè prima della miscelazione con calce) sia sulle miscele terra-calce da studiare.

I risultati delle singole prove dovranno essere analizzati in un unico grafico

Chiaramente questi risultati verranno analizzati e concorreranno alla determinazione della miscela finale

Dall'analisi del grafico si osservano 2 fenomeni:

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



# Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio - UCS

Le prove devono sempre essere eseguite con rilievo delle curve sforzi-deformazioni per permettere la valutazione dei moduli elastici.

COMMITTENTE:  
LOCALITÀ:  
CANTIERE:  
Data laboratorio comprese:

SONDAGGIO: --  
CAMPIONE: C1  
PROFONDITÀ: m: 2 / 101.00  
Data esecuzione prova:

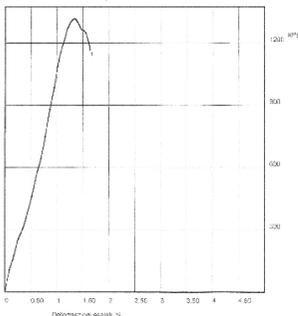
PROVA DI COMPRESIONE E.L.L. (ASTM D 2166-00)

Condizioni del campione: Con patto: In laboratorio

CARATTERISTICHE INIZIALI DEL PROVING

Diametro: 10,16 cm  
Altezza: 11,00 cm

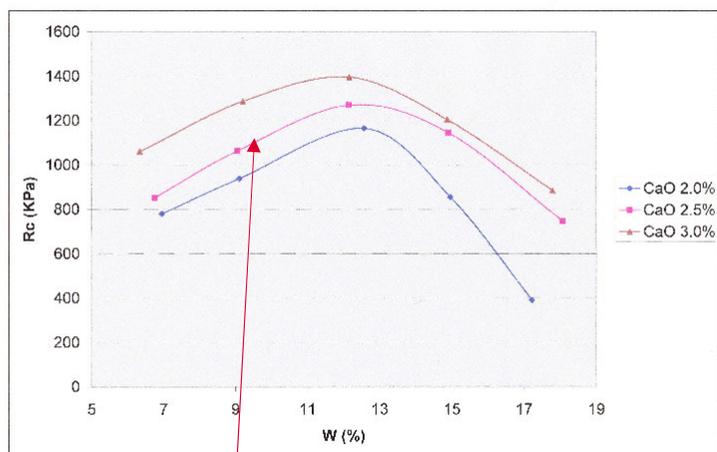
Deformazione assiale % - pressione kPa



Prova n. n. 1  
Pressione di rottura (kPa): 1314,71  
Deformazione a rottura (%): 1,36  
Contenuto in acqua (%): 25,87  
Indice di consistenza (IC): 15,53  
Densità fresca (kN/m³): 19,09  
Velocità di deformazione, mm/min: 1,0

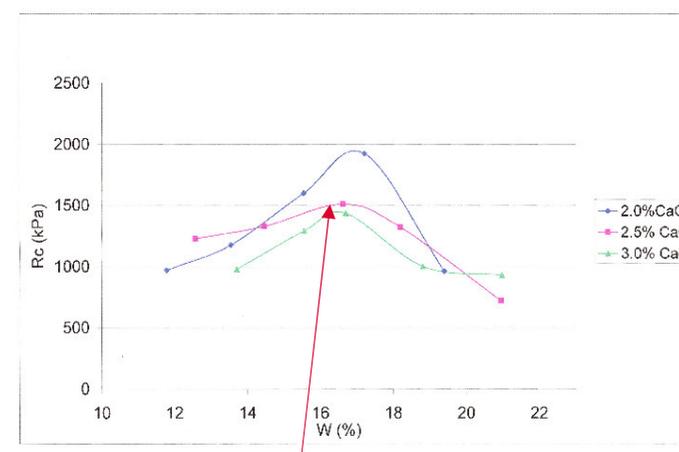
NOTA: Campione stabilizzato con il 2,5% di CaO - maturazione 7 gg

Terreno stabilizzato A<sub>4</sub>



Miscela scelta 2,5%

Terreno stabilizzato A<sub>6</sub>-A<sub>7-6</sub>



Miscela scelta 2,5%

## Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio – Prove triassiali

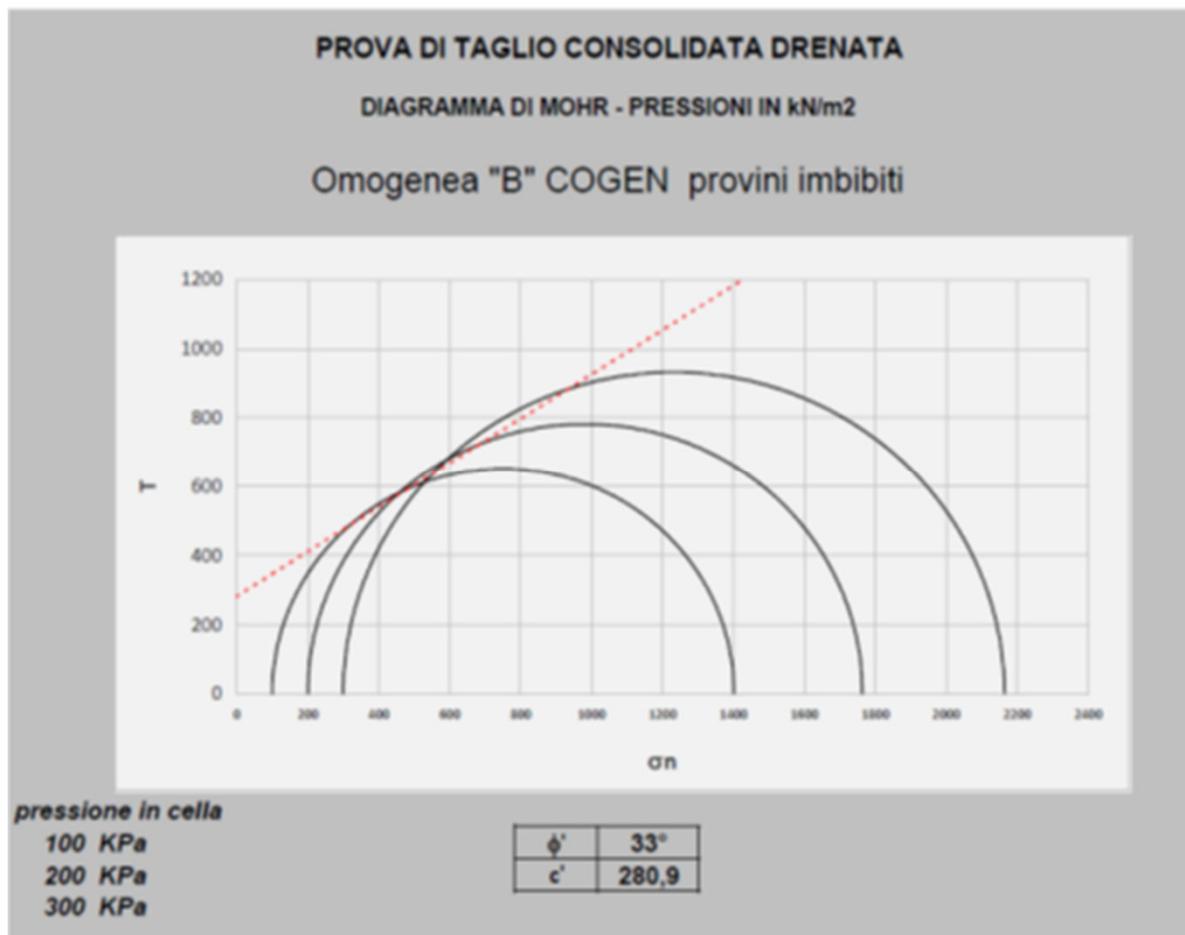
Una volta che sia stata scelta la miscela da utilizzare, nel caso che il terreno stabilizzato debba essere utilizzato per la realizzazione di rilevati, si procede, dopo 28 gg di maturazione, all'esecuzione di prove triassiali tipo CD per la determinazione dei parametri di resistenza necessari per le verifiche di stabilità dei rilevati stessi.

Prova analoga, come abbiamo visto deve essere eseguita su campioni prelevati da campo prova, sia su campioni tali e quali, sia dopo cicli di imbibimento ed essiccazione

# Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio – Prove triassiali



## Stabilizzazione a calce – prove di laboratorio – Prove triassiali



# Stabilizzazione a calce – prova di immersione



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



2. Controllo del campione dopo 48h di immersione





# Opere in terra- Prove di controllo

## Compattazione – prove di controllo

Durante la costruzione delle opere dovrà, chiaramente essere controllata la corretta esecuzione delle lavorazioni

I parametri che dovranno essere monitorati sono:

- Classificazione del materiale
- Controllo della posa degli strati (pendenza e spessore)
- Caratteristiche geometriche del rilevato (pendenza delle scarpate, spessore dello strato vegetale, ecc.)
- Contenuto d'acqua
- Densità secca dopo la compattazione
- Modulo di deformazione

Il capitolato di riferimento e/o il progetto definiranno la frequenza dei controlli

Nel caso dei rilevati ferroviari e stradali di pertinenza FS stabilizzati a calce vale quanto riportato nella Sezione 18 del Capitolato OO.CC., mentre per gli interventi su strade non FS dovrà essere verificato che, analogamente al progetto, il controllo rispetti le prescrizioni dell' Ente stesso

## Compattazione – prove di controllo - classificazione del materiale

Per quanto concerne il controllo i criteri saranno 2 in funzione della provenienza dei materiali stessi

Materiali provenienti da cava certificata:

- Dal momento che l'accettazione è subordinata alla presentazione di un dossier di qualifica in sostanza il controllo sarà effettuato solo sui certificati.
- Nel caso che dovessero cambiare i materiali, sarà la DL ad ordinare le prove da eseguire

Materiali provenienti da scavi:

- Con 2 campionamenti per ogni lotto e volume non maggiore di 3.000 mc dovrà essere verificato che il materiale sia idoneo alle finalità del progetto e corrisponda a quello individuato e testato nello studio propedeutico
- **E' evidente, in entrambi casi che qualora il materiale non fosse lo stesso precedentemente autorizzato/analizzato, seppure rientrante nelle tipologie di suolo ammesse, dovranno essere eseguite, prima della posa in opera, tutte le prove necessarie per la sua caratterizzazione, in particolare dovrà essere individuato il maximum e l'optimum Proctor**

## Compattazione – prove di controllo – controllo degli strati

Nel campo prova sarà definito lo spessore del materiale steso che permette l'ottenimento dello spessore massimo previsto dal progetto/capitolato, pertanto durante l'esecuzione dei lavori la prima cosa da misurare è appunto lo spessore dello strato prima della compattazione

Nel caso di rilevati ferro questo controllo deve essere eseguito almeno ogni 2.000 m<sup>2</sup>

Con la stessa frequenza, 2.000 m<sup>2</sup>, dovranno essere eseguiti i controlli sulla geometria del rilevato dopo la compattazione dello strato

Come detto dovranno essere controllate che la pendenza sia dello strato compattato che delle scarpate sia quella prevista dal progetto/capitolato

E' opportuno verificare, anche se non previsto lo spessore dello strato compattato



## Compattazione – prove di controllo – controllo dell' umidità

Vista l'importanza dell' umidità per il processo di compattazione questa dovrà essere verificata e regolata qualora il contenuto fosse diverso da quello previsto dallo studio di laboratorio con la prova Proctor

Il Capitolato OO.CC. Sezione 5 prevede che sia fatta una prova ogni 10.000 m<sup>3</sup> e comunque almeno 1 per strato

Comunque qualora siano possibili variazioni dipendenti ad esempio dalle condizioni operative, dalla provenienza del materiale e/o delle condizioni ambientali il programma dei controlli dovrà essere tarato sulla base di queste

Ad esempio che nel caso che il materiale sia stoccato in cumulo prima della stesa è opportuno che la prova venga effettuata almeno 1 o 2 volte al giorno

Esistono in commercio misuratori elettronici per l'umidità, ma il metodo migliore rimane quello di prelevare un campione di terreno, pesarlo prima e dopo l'essiccazione in forno

## Compattazione – prove di controllo – densità in sito

La prova più importante per la verifica della compattazione è la verifica della densità ottenuta con il costipamento

La prova permette di determinare la densità secca del materiale ottenuta in campo con il costipamento ed i risultati ottenuti sono confrontati con quelli delle prove Proctor modificata eseguite in laboratorio.

Pertanto la densità secca (o il peso di volume del secco) ottenuta dal costipamento in sito è una percentuale prefissata in sede di progetto e/o capitolato di quella ottenuta in laboratorio.

La norma in uso in Italia è la **CNR BU n° 22/72** (Peso specifico apparente di una terra in sito) che norma 2 metodologie di prova:

Con Volumometro a sabbia



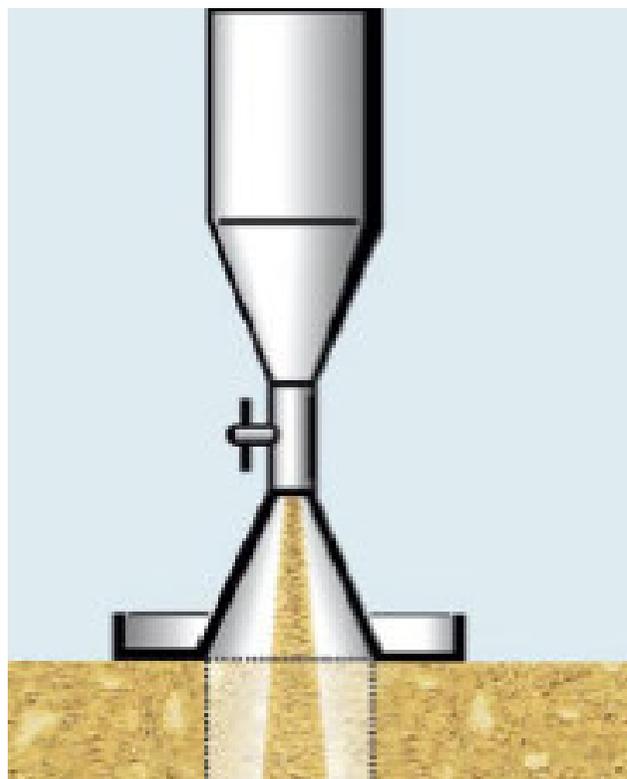
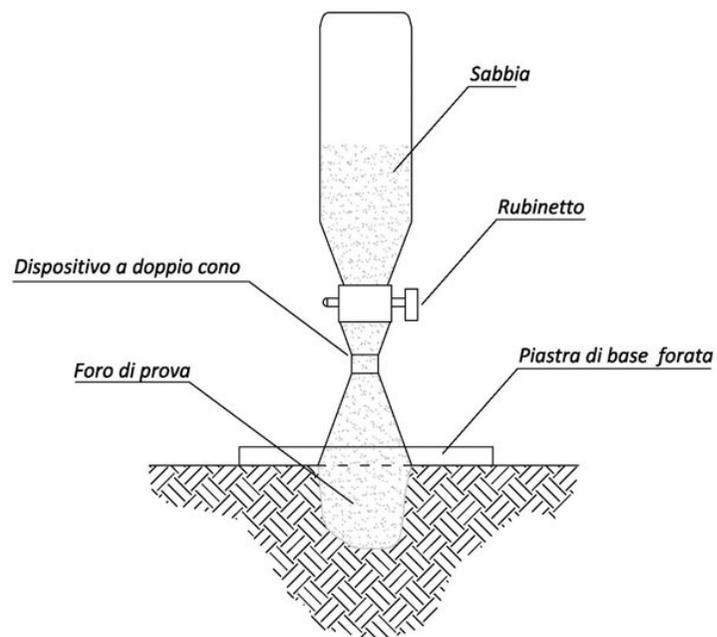
Con volumometro a membrana



## Compattazione – prove di controllo – densità in sito

### ➤ Metodo della sabbia tarata

Si posiziona un imbuto doppio accuratamente pesato e riempito con sabbia calibrata sull'anello d'acciaio. La sabbia attraversa un rubinetto ed entra nel foro di prova, fino a riempirlo. Il rubinetto viene chiuso solo quando anche la parte inferiore dell'imbuto si è riempita di sabbia.



## Compattazione – prove di controllo – densità in sito

### ➤ Metodo della sabbia tarata

Essendo note tutti i dati di taratura relativi allo strumento e alla sabbia in esso contenuta le informazioni della sabbia in esso contenuta il volume dello scavo ( $V_t$ ) può essere calcolato con la seguente formule:

$$V_t = \frac{P_{11}}{\gamma_1} = \frac{P_{sab} - P_1 - P_{cal}}{\gamma_1}$$

dove:

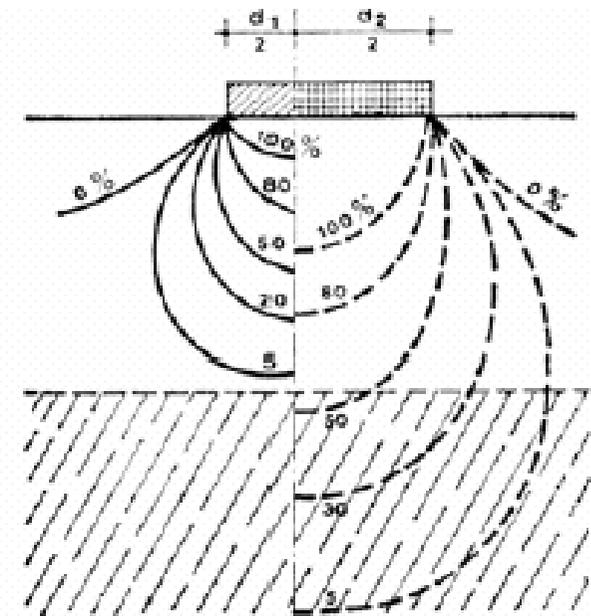
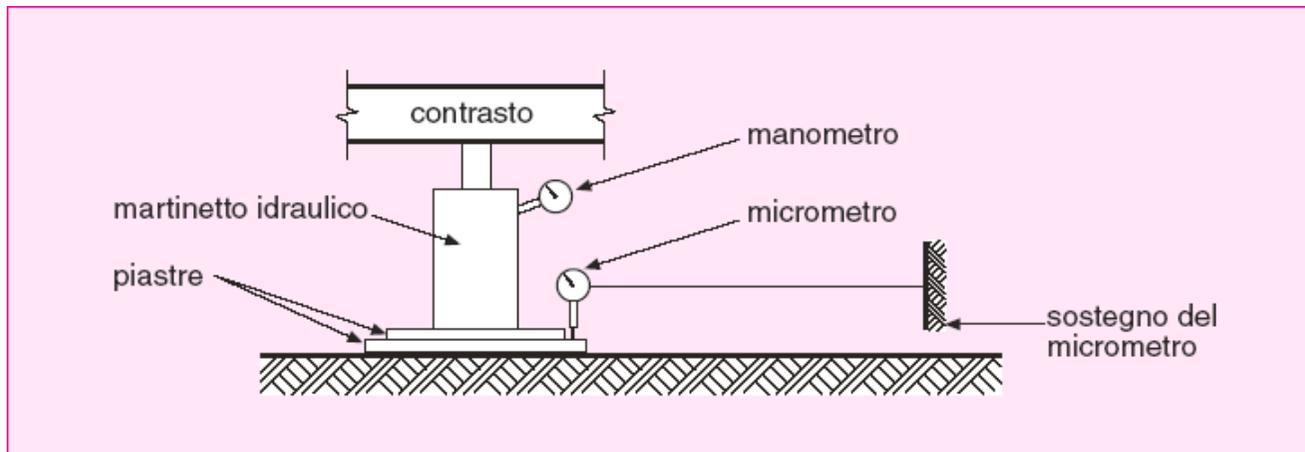
- $V_t$  = Volume terreno scavato
- $P_{11}$  = Peso calcolato volume della sabbia nello scavo
- $P_{sab}$  = Peso della sabbia contenuta nel volumometro
- $P_1$  = Peso della sabbia rimanente nel volumometro dopo riempimento dello scavo
- $P_{cal}$  = *Peso della sabbia a seguito della calibrazione del volumometro (ovvero di quella contenuta nell'imbuto inferiore)*
- $\gamma_1$  = Peso di volume della sabbia di prova contenuta nel volumometro

### Calibrazione:

Dopo aver pesato il volumometro riempito di sabbia, viene posto su un piano perfettamente piano e liscio e viene aperto il rubinetto fino al riempimento dell'imbuto inferiore. Successivamente viene pesata il volumometro con la sabbia rimanete. Questa operazione deve essere ripetuta almeno 3 volte.

## Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra

Le prove di carico su piastra hanno lo scopo di controllare il comportamento del terreno sottoposto ad un carico  
 Se si tiene nel dovuto conto l'effetto scala è la prova che meglio simula il comportamento del terreno sotto carico



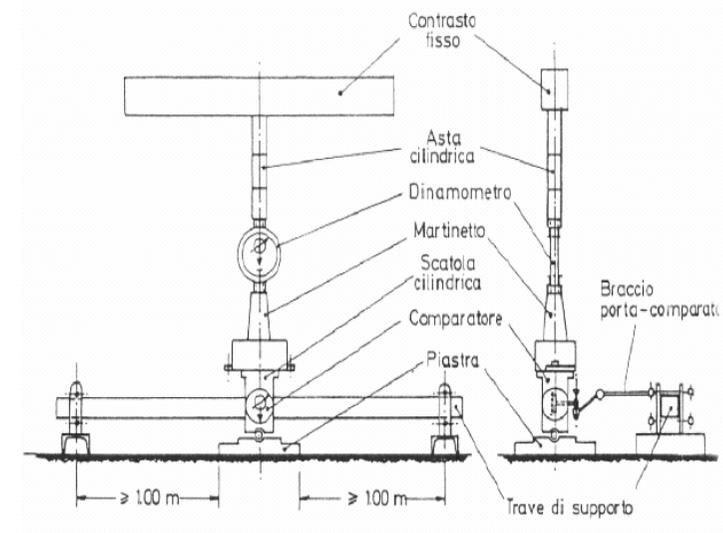
Analizzando il volume interessato dalla piastra però si evince che il suo uso è limitato ed è utilizzata soprattutto per il controllo della deformabilità o della portanza dei terreni, e quindi per il controllo dei rilevati e rinterri in genere

# Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra

La norma di riferimento è la C.N.R. BU N° 146

L'attrezzatura è costituita da:

- ❑ piastra circolare in acciaio rigida
- ❑ micrometro per la lettura dei cedimenti
- ❑ martinetto di carico
- ❑ struttura di contrasto
- ❑ trave di riferimento porta comparatore/i (Benkelman)
- ❑ eventuali prolunghe in acciaio per il collegamento della piastra alla struttura di contrasto
- ❑ manometro per misurare pressioni



# Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra



## Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra

La prova è estremamente semplice ma è opportuno avere alcune attenzioni così come prescritto dalla norma:

- il carico di contrasto deve essere progettato in modo da permettere il raggiungimento della pressione di contatto prevista e/o i cedimenti richiesti
- il sito dove deve essere eseguita la prova deve essere preparato adeguatamente, livellandolo anche con sabbia pulita monogranulare
- La piastra deve essere posizionata perfettamente orizzontale con l'ausilio della bolla o in sua assenza di una livella
- La colonna di carico deve essere posizionata centralmente e perpendicolarmente **(deve essere verificato)** alla piastra in modo che il carico di reazione risulti applicato alla piastra senza eccentricità
- Il carico di reazione o i suoi supporti devono essere sufficientemente lontani dalla posizione della prova in modo da ridurre le sue influenze
- tra il centro della piastra ed il sistema di reazione è normalmente sufficiente una distanza pari a 3,5 la lunghezza o il diametro della piastra
- la trave di supporto dei comparatori deve essere protetta dall'irraggiamento solare

## Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra

La norma prevede 2 metodologie di prova:

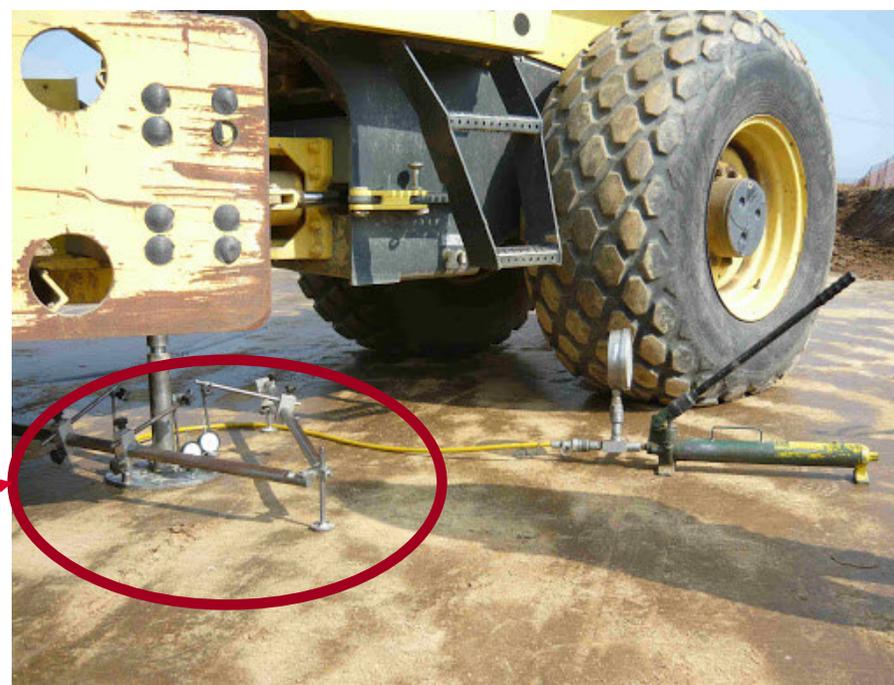
- con 1 solo comparatore
- con 3 comparatori

La procedura con un solo comparatore è sicuramente la più veloce, ma anche quella che fornisce minore sicurezza sulla correttezza del risultato per 2 motivi:

- La piastra può ruotare senza che se ne abbia evidenza ad esempio per disomogeneità del sottofondo
- martinetto di carico non perfettamente verticale

In questo caso è opportuno chiedere che sia verificata la verticalità del martinetto e l'orizzontalità della piastra (prima e dopo la prova) e che ne sia data evidenza nel certificato con una foto

**Infine questa foto evidenzia un grave errore**



## Compattazione – prove di controllo – prova di carico su piastra

- Tutta la strumentazione di misura deve essere tarata periodicamente, almeno ogni 6 mesi, e i certificati devono essere disponibili con l'attrezzatura
- L'errore massimo del manometro per la misura del carico deve essere del 5% del carico applicato.
- L'errore massimo del sistema di misura dei cedimento (comparatori o trasduttori di spostamento elettrici) deve essere del 2%.



## Compattazione – prove di controllo

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI

E' opportuno ricordare che il capitolato prescrive che:

- **Prima di iniziare i lavori in oggetto, l'ESECUTORE dovrà disporre di un Piano dei Controlli approvato dalla DL, per ogni opera da eseguire.**
- **Prima di iniziare i lavori l'ESECUTORE dovrà trasmettere alla DIREZIONE LAVORI l'elenco del personale, delle attrezzature di prova nonché i certificati di calibrazione e taratura delle apparecchiature; durante i lavori l'esito delle prove dovrà essere trasmesso tempestivamente su appositi moduli.**
- **Il personale addetto dovrà essere di provata esperienza ed affidabilità; il numero dei tecnici nonché quello delle attrezzature effettivamente disponibili dovrà essere tale da poter esperire le prove in sito ed in laboratorio con tempestività, continuità e con le frequenze previste**

# Compattazione – prove di controllo

## Densità secca (CNR BU 22)

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI



OPERA	PARTE D'OPERA	VALORE MINIMO (%)	FREQUENZA MINIMA
RILEVATI FERROVIARI E STRADALI	Piano di posa	95	1 ogni 4.000 m <sup>2</sup> **
	Anticapillare	--	--
	Corpo rilevato	95	1 ogni 2.000 m <sup>2</sup> **
	Supercompattato	98**	1 ogni 1.000 m <sup>2</sup> **
TRINCEE	Piano di posa	95	1 ogni 1.000 m <sup>2</sup> **
	Supercompattato	98**	1 ogni 1.000 m <sup>2</sup> **
DUNE, RITOMBAMENTI, COLLINE ARTIFICIALI		90	Stessa frequenza rilevati

\*\* con il minimo di 1 per strato

# Compattazione – prove di controllo

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI



## Modulo di deformazione (CNR BU 146)

OPERA	PARTE D'OPERA	INTERVALLO DI CARICO (Mpa)	CARICO FINALE 1° CICLO	CARICO FINALE 2° CICLO	Md (Mpa)	K (Md/Md')	FREQUENZA MINIMA
RILEVATI FERROVIARI E STRADALI	Piano di posa	0,05-015	0,25	0,15	20	0,45**	ogni 2.000 m <sup>2</sup> *
	Anticapillare	0,15-0,25	0,35	0,25	20	0,45**	--
	Corpo rilevato	0,15-0,25	0,35	0,25	40	0,45**	ogni 2.000 m <sup>2</sup> *
	Supercompattato	0,25-0,35	0,45	0,35	80	0,45**	ogni 1.000 m <sup>2</sup> *
TRINCEE	Piano di posa	0,15-0,25	0,35	0,25	40	0,45**	ogni 1.000 m <sup>2</sup> *
	Supercompattato	0,25-0,35	0,45	0,35	80	0,45**	ogni 1.000 m <sup>2</sup> *
DUNE, RITOMBAMENTI, COLLINE ARTIFICIALI		0,05-015	0,25	0,15	10	0,45**	Stessa frequenza rilevati

\* con il minimo di 1 per strato

\*\* qualora il valore di K risultasse inferiore a 0,45, dovrà essere predisposto, un campo prova per definire il valore massimo del K ottenibile per il tipo di materiale da utilizzare. Nel campo prova dovranno essere provati vari tipi di rulli, velocità di avanzamento, numero di passate, frequenza. Il valore del K accettabile sarà quello ottenuto ridotto del 10%

# Compattazione – prove di controllo

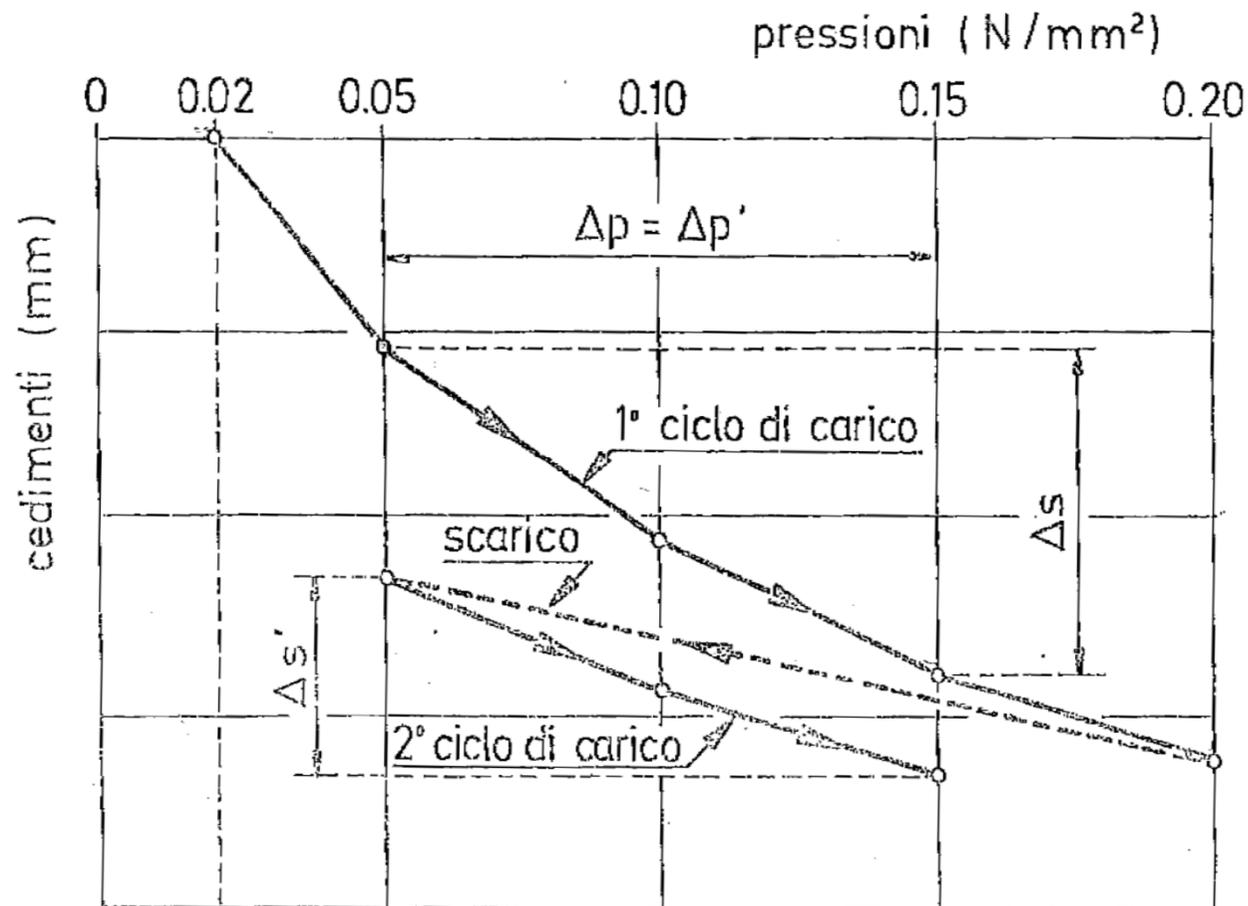
## Modulo di deformazione (CNR BU 146)

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI



### Curva Fig. 4a CNR BU 146)

Da utilizzare per i rinterri e  
il piano di posa dei rilevati

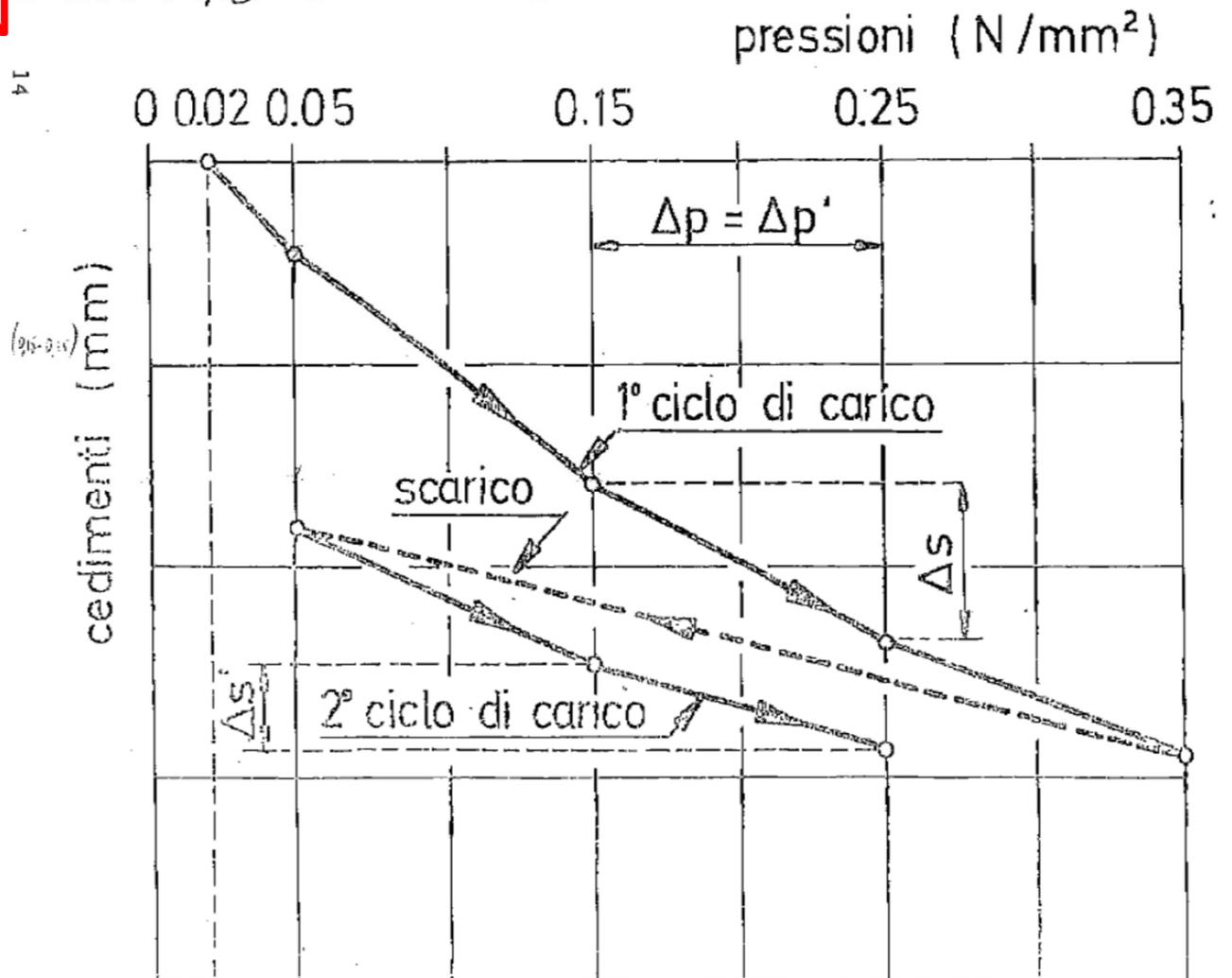


# Compattazione – prove di controllo

## Modulo di deformazione (CN

### Curva Fig. 4b CNR BU 146)

Da utilizzare per il corpo dei rilevati ed il piano di posa del supercompattato nelle trincee



# Compattazione – prove di controllo

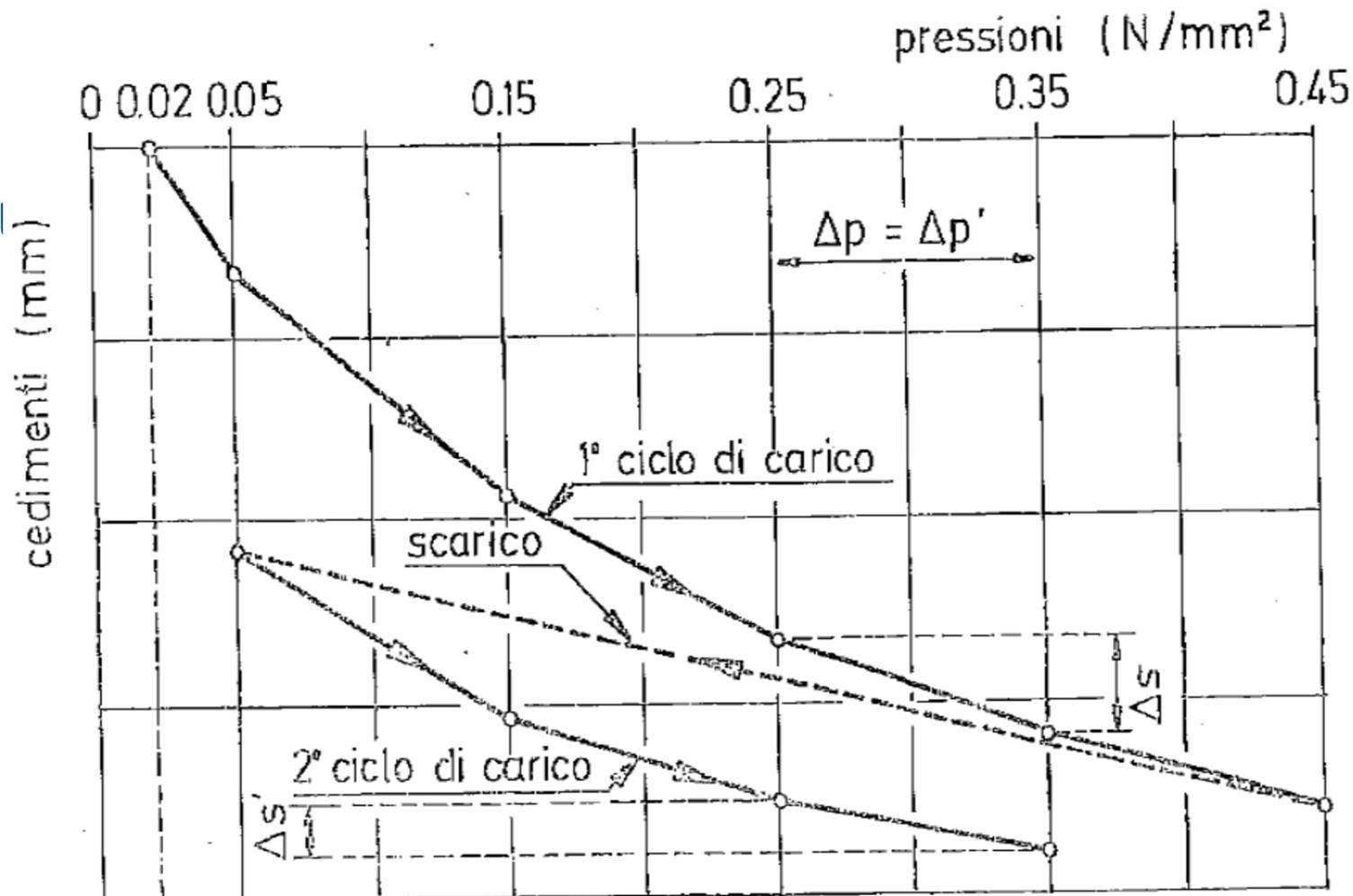
## Modulo di deformazione (CNR BU 146)

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO  
DELLE OPERE CIVILI  
PARTE II - SEZIONE 5  
OPERE IN TERRA E SCAVI



Curva Fig. 4c CNR BU 146

Da utilizzare per il  
supercompattato



## Compattazione – prove di controllo

### Controllo dei materiali

- ❑ Per i materiali provenienti da cave certificate, l'accettazione è subordinata alla presentazione del dossier di qualifica della cava, completo dei certificati di qualifica del materiale stesso ed approvato dalla DIREZIONE LAVORI. In questo caso il controllo per la rispondenza dei requisiti dei materiali si ridurrà quindi al controllo del certificato.
- ❑ Per materiali provenienti da scavo le prove avverranno sullo scavo di approvvigionamento, con una frequenza di n.2 campionamenti per ogni lotto e volume non maggiore di 3000 m<sup>3</sup> (UNI 11531-1/2014) di materiale scavato, ed in ogni caso ogni qualvolta cambi la tipologia del materiale scavato.

### Controllo sul contenuto d'acqua dei materiali

- ❑ Prima della compattazione, dovrà essere determinato (UNI EN 13286-2) il contenuto d'acqua del materiale da utilizzare, e confrontato che rientri nell'intervallo tra -2% e +2% rispetto all'optimum Proctor. Nel caso ci sia la necessità di variarlo, mediante l'aggiunta di acqua o mediante evaporazione, la determinazione del contenuto d'acqua verrà ripetuta anche dopo le suddette operazioni.
- ❑ La frequenza dei controlli sarà di 1 ogni 10000 m<sup>3</sup> e comunque almeno 1 ogni strato da compattare

# Stabilizzazione a calce – prove di controllo

## CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI PARTE II - SEZIONE 18 Stabilizzazione a calce

Per quanto concerne le opere eseguite con materiali stabilizzati a calce il Capitolato prevede, oltre a quelli precedentemente elencati, ulteriori controlli sui materiali.

In dettaglio:

- Requisiti della calce ogni 1000 tonnellate
- Misura dell'**umidità** prima dell'aggiunta della calce (che dovrà essere maggiore di quella ottimale della miscela terra/calce perché si deve tener conto di quella consumata per permettere l'idratazione della calce e di quella persa per evaporazione durante il trasporto e la stesa)
- La frequenza minima è giornaliera, ma sarà definita in campo in funzione delle condizioni ambientali
- Verifica dell'umidità prima della compattazione.
- Anche in questo caso la frequenza minima prevista è giornaliera, ma sarà definita in campo in funzione delle condizioni ambientali
- Verifica del quantitativo di calce stesa, con frequenza giornaliera



# Case history

## Premessa

Le anomalie e gli errori riscontrati nell'esecuzione delle prove di qualificazione e di controllo nelle opere in terra:

- Granulometrie
- Prova Proctor
- Prova su piastra
- Controllo umidità

# Prove granulometriche (UNI EN 933-1)

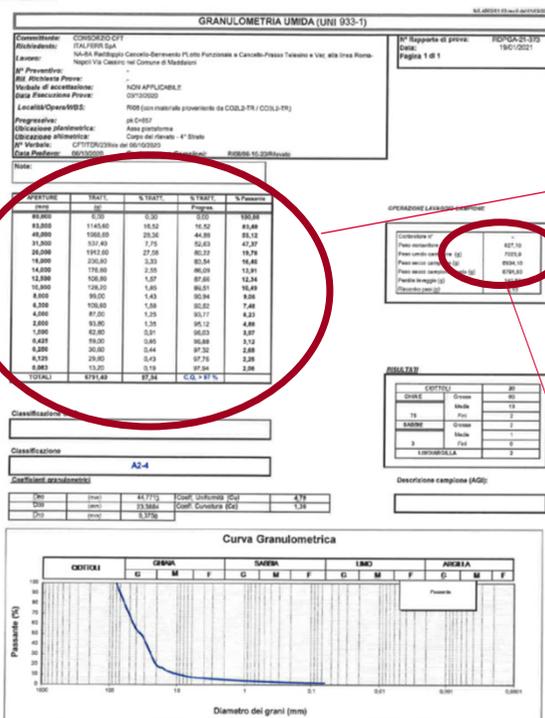
Nella figura un certificato di una prova granulometrica eseguita su un materiale avente un trattenuto al setaccio da 63 mm

APERTURE (mm)	TRATT. (g)	% TRATT.	% TRATT. Progres.	% Passante
80,000	0,00	0,00	0,00	100,00
63,000	1145,60	16,52	16,52	83,48
40,000	1966,60	28,36	44,88	55,12
31,500	537,40	7,75	52,63	47,37
20,000	1912,60	27,58	80,22	19,78
16,000	230,80	3,33	83,54	16,46
14,000	176,60	2,55	86,09	13,91
12,500	108,80	1,57	87,66	12,34
10,000	128,20	1,85	89,51	10,49
8,000	99,00	1,43	90,94	9,06
6,300	109,60	1,58	92,52	7,48
4,000	87,00	1,25	93,77	6,23
2,000	93,80	1,35	95,12	4,88
1,000	62,80	0,91	96,03	3,97
0,425	59,00	0,85	96,88	3,12
0,250	30,60	0,44	97,32	2,68
0,125	29,80	0,43	97,75	2,25
0,063	13,20	0,19	97,94	2,06
<b>TOTALI</b>	<b>6791,40</b>	<b>97,94</b>	<b>C.Q. &gt; 97 %</b>	

La dimensione massima dei granuli è tra 63 e 80 mm e questi rappresentano circa il 16,5% della massa totale

La massa totale è 6.934,10 gr, ma la norma di riferimento specifica che (nota 1 del prospetto 1):  
*«Per gli aggregati, minori di 90 mm la massa minima della porzione di prova può essere ricavata utilizzando la formula seguente :  $M=(D/10)^2$  dove  $M$  è la massa del campione da provare (in Kg) e  $D$  la dimensione dell'aggregato in mm».* Così facendo il campione da testare doveva avere una massa di oltre **60 Kg**

Contenitore n°	*
Peso contenitore (g)	627,10
Peso umido campione (g)	7023,9
Peso secco campione (g)	6934,10
Peso secco campione lavato (g)	6791,50
Perdita lavaggio (g)	142,60
Riscontro pesi (g)	0,10



# Prove Proctor (UNI EN 13286-2)

**PROCTOR MODIFICATA (UNI EN 13286-2)**

Completata:  Richiedente:  N° Rapporto di prova: RDPOA-20-2439  
 Lavoro:  Data: 17/07/2020  
 Pagina 1 di 1

N° Preventivo:   
 Ril. Richiesta Prova:   
 Modalità di accettazione:   
 Data Esecuzione Prova:   
 Località/Operai/WBS:   
 Progressiva:   
 Ubicazione planimetrica:   
 Ubicazione altimetrica:   
 N° Verbale:   
 Data Prelievo:

**PROVA**

Levitazione (cm)	219,2
Ø Sottile (cm)	31,5
Costi per stato (€)	0,00
Stati sottopuntuali (€)	0,00
Massa siccità (kg)	4,843
Massa ceduta (kg)	45,7

**CONTENUTO DI ACQUA RETENUTO W<sub>r</sub>**

Peso di volume v<sub>1</sub> (Mg/m<sup>3</sup>):  Contatto di acqua w<sub>r</sub>(%):

**DETERMINAZIONE PESO DI VOLUME SECCO P<sub>d</sub>**

Peso di volume secco v<sub>d</sub> (Mg/m<sup>3</sup>):  Tipo di materiale:  Peso spettilo 0,15 (Mg/m<sup>3</sup>):

**DETERMINAZIONE W<sub>opt</sub>**

Caratteristica	TEST 1					TEST 2					TEST 3					TEST 4					TEST 5																								
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E																				
Contenuto w <sub>1</sub>	32,02	32,04	44,18	31,65	33,31	36,97	40,54	42,58	33	40,48	40,5	43,13	49,65	49,1	33,25	1,81	3,08	6,41	7,71	10,11	3292,29	4380,30	4882,06	4885,06	4513,00	1,44	2,278	3,331	3,221	3,918	2,472	2,443	2,338	2,133	2,113	2,444	2,321	2,328	2,133	2,013	2,315	2,199	2,129	2,011	1,913

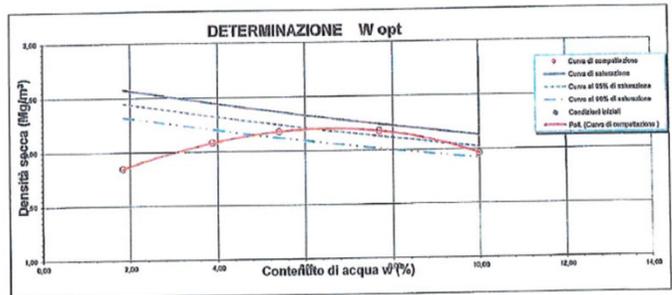
**CORREZIONI PER IL SOPRAVAGLIO**

Contenuto di acqua del sopravaglio (w)	3,23
Massa vol. del granuli essudati e saggiti escluso del sopravaglio (Mg/m <sup>3</sup> )	2,41
Massa del materiale di sopravaglio secco (Mg)	4378,33
Massa del materiale totale secco (Mg)	4400,20

W<sub>opt</sub> (W<sub>1</sub>) (W<sub>2</sub>) (W<sub>3</sub>) (W<sub>4</sub>) (W<sub>5</sub>) (W<sub>6</sub>) (W<sub>7</sub>) (W<sub>8</sub>) (W<sub>9</sub>) (W<sub>10</sub>) (W<sub>11</sub>) (W<sub>12</sub>) (W<sub>13</sub>) (W<sub>14</sub>) (W<sub>15</sub>) (W<sub>16</sub>) (W<sub>17</sub>) (W<sub>18</sub>) (W<sub>19</sub>) (W<sub>20</sub>) (W<sub>21</sub>) (W<sub>22</sub>) (W<sub>23</sub>) (W<sub>24</sub>) (W<sub>25</sub>) (W<sub>26</sub>) (W<sub>27</sub>) (W<sub>28</sub>) (W<sub>29</sub>) (W<sub>30</sub>) (W<sub>31</sub>) (W<sub>32</sub>) (W<sub>33</sub>) (W<sub>34</sub>) (W<sub>35</sub>) (W<sub>36</sub>) (W<sub>37</sub>) (W<sub>38</sub>) (W<sub>39</sub>) (W<sub>40</sub>) (W<sub>41</sub>) (W<sub>42</sub>) (W<sub>43</sub>) (W<sub>44</sub>) (W<sub>45</sub>) (W<sub>46</sub>) (W<sub>47</sub>) (W<sub>48</sub>) (W<sub>49</sub>) (W<sub>50</sub>) (W<sub>51</sub>) (W<sub>52</sub>) (W<sub>53</sub>) (W<sub>54</sub>) (W<sub>55</sub>) (W<sub>56</sub>) (W<sub>57</sub>) (W<sub>58</sub>) (W<sub>59</sub>) (W<sub>60</sub>) (W<sub>61</sub>) (W<sub>62</sub>) (W<sub>63</sub>) (W<sub>64</sub>) (W<sub>65</sub>) (W<sub>66</sub>) (W<sub>67</sub>) (W<sub>68</sub>) (W<sub>69</sub>) (W<sub>70</sub>) (W<sub>71</sub>) (W<sub>72</sub>) (W<sub>73</sub>) (W<sub>74</sub>) (W<sub>75</sub>) (W<sub>76</sub>) (W<sub>77</sub>) (W<sub>78</sub>) (W<sub>79</sub>) (W<sub>80</sub>) (W<sub>81</sub>) (W<sub>82</sub>) (W<sub>83</sub>) (W<sub>84</sub>) (W<sub>85</sub>) (W<sub>86</sub>) (W<sub>87</sub>) (W<sub>88</sub>) (W<sub>89</sub>) (W<sub>90</sub>) (W<sub>91</sub>) (W<sub>92</sub>) (W<sub>93</sub>) (W<sub>94</sub>) (W<sub>95</sub>) (W<sub>96</sub>) (W<sub>97</sub>) (W<sub>98</sub>) (W<sub>99</sub>) (W<sub>100</sub>)

La dimensioni sono quelle della fustella B, mentre si registrava un trattenuto al setaccio 63 mm

APERTURE (mm)	TRATT. (g)	% TRATT.	% TRATT. Proges.	% Passante
80,00	0,00	0,00	0,00	100,00
63,00	398,10	4,07	4,07	95,13
40,00	540,00	6,63	11,50	88,50
31,500	728,30	8,91	20,41	79,59
20,000	1576,80	19,29	39,70	60,30
16,000	745,50	9,12	48,82	51,18
14,000	395,60	4,84	53,66	46,34
12,500	238,70	2,92	56,58	43,42
10,000	467,60	5,72	62,30	37,70
8,000	300,80	3,68	65,98	34,02
6,300	340,10	4,16	70,14	29,86
4,000	542,80	6,64	76,78	23,22
2,000	550,10	6,73	83,51	16,49
1,000	391,60	4,79	88,30	11,70
0,425	230,50	2,82	91,12	8,88
0,250	197,00	2,41	93,53	6,47
0,125	109,50	1,34	94,87	5,13
0,083	56,40	0,69	95,56	4,44
<b>TOTALI</b>	<b>7811,40</b>	<b>95,56</b>	<b>C.Q. &gt; 97 %</b>	



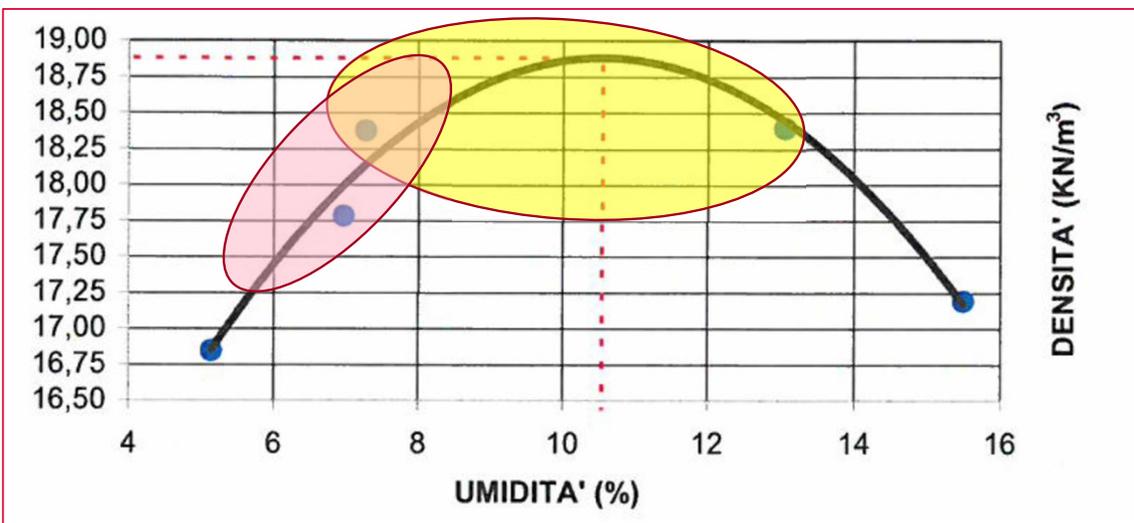
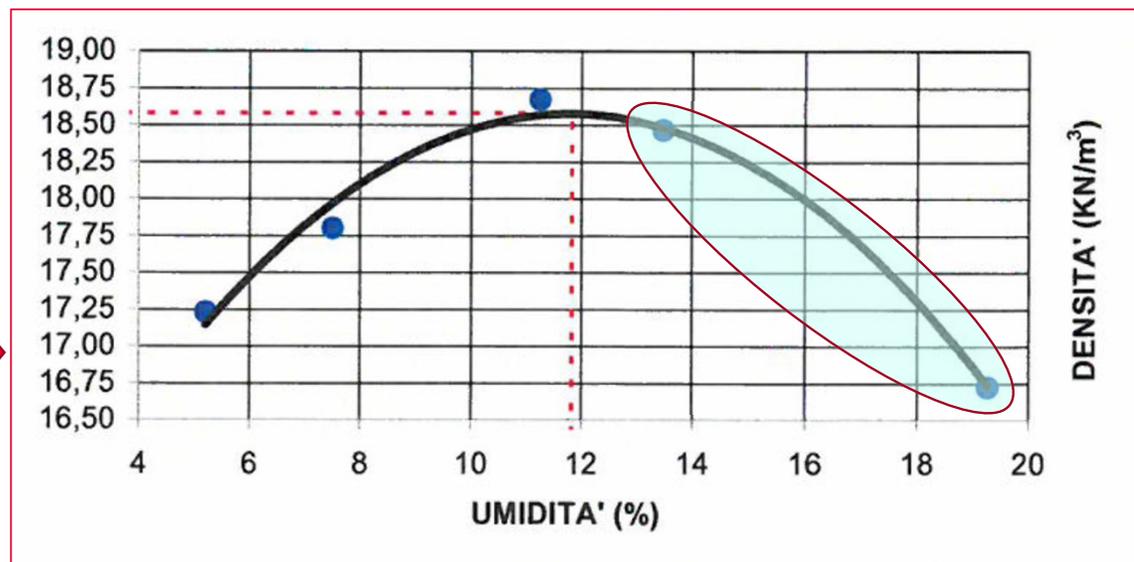
## Prove Proctor (UNI EN 13286-2)

Chiaramente realizzare un'opera in terra non è un lavoro da farmacisti, ma questo non vale per le prove di laboratorio, nelle figure alcune curve Proctor inaccettabili che dimostrano come il laboratorio abbia fatto dei grossi errori:

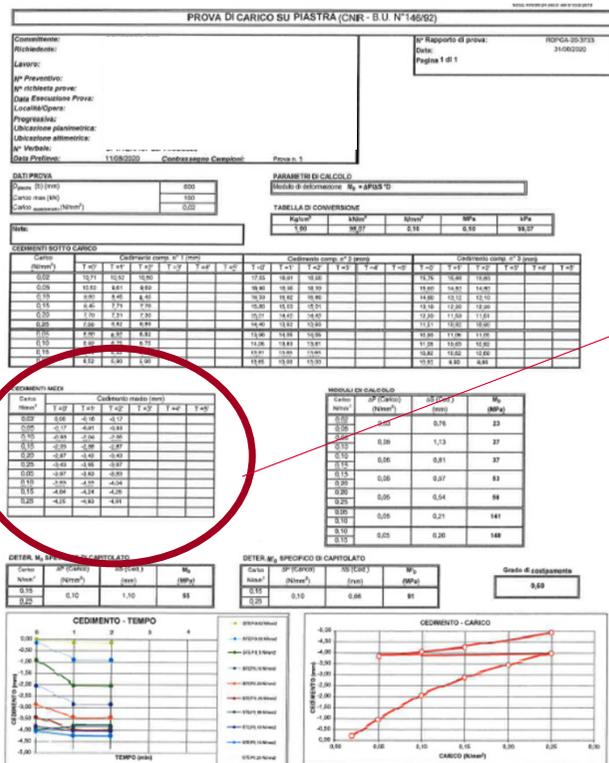
- L'aggiunta di acqua deve avvenire per quantità costanti, non accettabile che si passi dal 12 al 20%
- In questo caso si registra un incremento troppo elevato e soprattutto uno troppo ravvicinato, pertanto l'umidità ottimale non è affidabile

Infatti la norma specifica che:

*To increase the accuracy of the test it might be desirable to prepare samples with smaller increments of water in the region of optimum water content. Three or four water contents should be included in the range 0,8 and 1,2 of the optimum water content.*

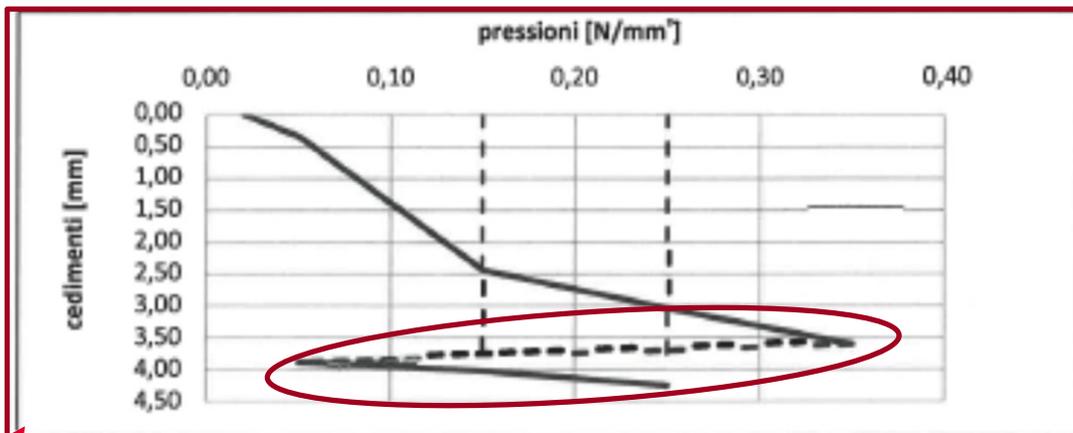


# Prova su piastra (CNR BU 146)



L'errore che invalida i risultati è che la pressione finale applicata nel primo ciclo di carico per il calcolo del Modulo di deformazione ( $M_d$ ) è stato 0,25 Mpa invece di 0,35 Mpa. Disattendendo quindi quanto prescritto nella norma dove sono indicati solo 3 livelli di carico finale per il primo ciclo, ovvero **0,20, 0,35 e 0,45 Mpa**. In questo case essendo una prova sul corpo del rilevato il carico finale a cui deve essere portato il primo ciclo è 0,35 Mpa. Questo errore nell'applicazione della norma ha come conseguenza la non accettabilità l conseguente valore di  $K$  ( $M_d'/M_d$ ) che in questo caso risulta molto più elevato di quello che sarebbe stato ottenuto rispettando la norma. In assenza della prova della densità in sito, come detto  $K$  è l'unico parametro che ci fornisce informazioni sul grado di costipamento.

# Prova su piastra (CNR BU 146)



ATTREZZATURE UTILIZZATE								
Descr. Attrezzatura	Modello	Caratteristiche	Identificativo	Identificativo	Identificativo	Identificativo	Identificativo	
CECOT 2001	APPARECCHIO PER LA MISURA DEL CARICO	1000/232	CECOT	2001/2327	2007/0200	Tecnica Srl	2501/0201	Tecnica Srl
CCU_2014	COMPENSATORE ORIZZONTALE	n.d.						

Oggetto/Cantiera

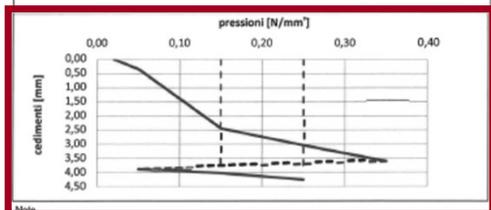
ID STRUTTURA: RI 60 - saggio per determinazione K - p1 a -0,3 m - pk 147+006 - Prova 7

ESPRESSIONE DEI RISULTATI

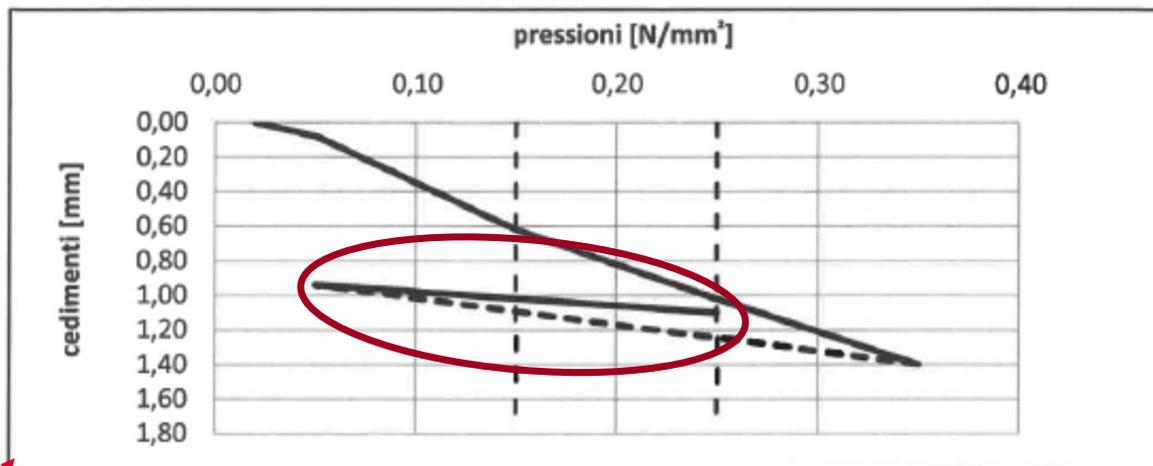
carico [N]	p [N/mm²]	s [mm]	Strato in esame: -		
1.413	0,020	0,000	Temperatura media di prova 1° ciclo °C		
3.533	0,050	0,340	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	Δp = p <sub>2</sub> - p <sub>1</sub>
10.298	0,150	2,240	0,150	0,250	0,100
17.663	0,250	3,040	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	Δs = s <sub>2</sub> - s <sub>1</sub>
24.728	0,350	3,610	2,440	3,040	0,600
			M <sub>u</sub> = 50,0 N/mm²		
carico [N]	p [N/mm²]	s [mm]	Temperatura media di prova 2° ciclo °C		
3.533	0,050	3,860	p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>	Δp = p <sub>2</sub> - p <sub>1</sub>
10.298	0,150	4,030	0,15	0,25	0,10
17.663	0,250	4,260	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	Δs = s <sub>2</sub> - s <sub>1</sub>
			4,03	4,26	0,23
			M <sub>u</sub> = 130,4 N/mm²		

M<sub>d</sub> / M<sub>d</sub>' = 0,38

L'anomalia evidente è che si registra un cedimento durante la fase di scarico



# Prova su piastra (CNR BU 146)



L'anomalia evidente è che la curva di carico del secondo ciclo cede meno della curva di scarico, tenendo conto che questo era un materiale granulare, ipotizzando che il recupero dello scarico era prevalentemente elastico, con il secondo ciclo, avremmo dovuto veva registrare lo stesso cedimento

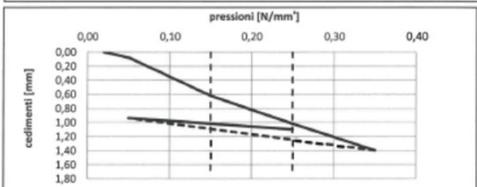
PROVA		DESCRIZIONE ATTIVITÀ		SERVIZIO		LAVORAZIO		PARTECIPANTI		DATA		PROVA		ESECUTORE	
COLL_0214		Analisi di campo	Comparative test	U.S. 146	Bulenti	2020/12/27	20/07/2020	Tecnolab Srl	2020/10/01	Tecnolab Srl					

Oggetto/Cantiera  
 ID STRUTTURA: RI 80 - 5° rilevato - saggio 2 per determinazione K a -0,3 m - pk 148+110 - Prova 2

### ESPRESSIONE DEI RISULTATI

carico [N]	p [N/mm²]	s [mm]	Strato in esame:	
1.413	0,030	0,030	-	
3.533	0,050	0,050	Temperatura media di prova 1° ciclo °C	
10.598	0,150	0,620	p <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>
17.663	0,250	1,020	0,150	0,250
24.728	0,350	1,400	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>
			Δs = s <sub>2</sub> - s <sub>1</sub>	M <sub>d</sub> = 75,0 N/mm²
			0,620	1,020
				0,400

M<sub>d</sub> / M<sub>d'</sub> = 0,20



**Grazie per l'attenzione**

