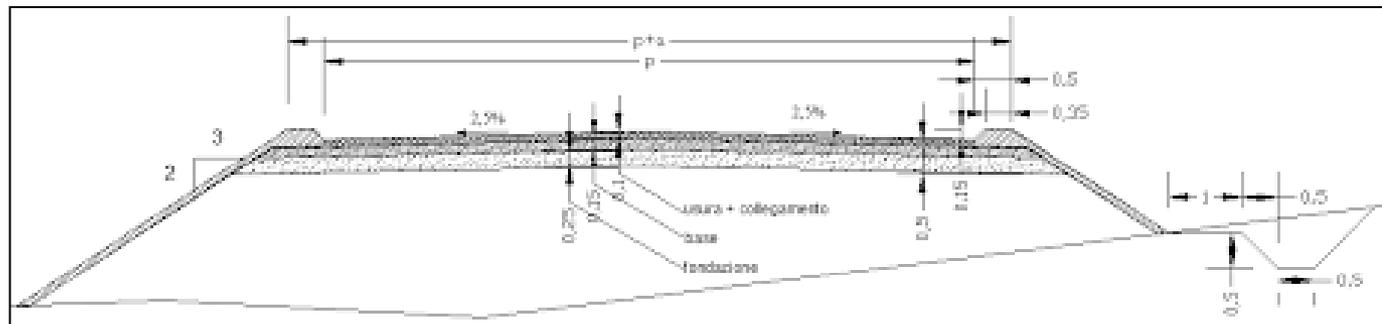


## LEZIONE N.6 – ESERCITAZIONE N.3

### ANALISI DI PROCESSO RELATIVO ALLA PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DI UN'OPERA IN TERRA: RILEVATO STRADALE/FERROVIARIO



#### DATI E RIFERIMENTI INIZIALI :

- Ente Proprietario o Concessionario
- Sito – Ambito Territoriale
- Tipo di opera
- Dimensioni e caratteristiche geometriche, e distributive
- Funzionalità
- Vita Utile – Durabilità



## PROCESSO: PRIME ANALISI E VERIFICHE:

Bilancio delle Terre: Scavi  
Riporti

Scavi: Valutazione delle quantità e delle qualità delle terre da scavo

- Analisi chimiche
- Analisi geotecniche

→ Valutazione quantità delle terre da scavo non riutilizzabili da portare fuori dal cantiere: discarica autorizzata

→ Valutazione quantità delle terre riutilizzabili: Classificazioni

→ Terre da utilizzare tal quali con sola applicazione di energia nelle condizioni di umidità ottimale, con adeguata energia

→ Terre da utilizzare con trattamenti di stabilizzazione per ridurre la plasticità e rendere più efficace la compattazione con l'energia necessaria.



## PROCESSO: PRIME ANALISI E VERIFICHE:

Bilancio delle Terre: Scavi  
Riporti

Terre da scavo non riutilizzabili da portare fuori dal cantiere: discarica autorizzata

- Ricerca di discarica autorizzata e disponibile
- Costi di trasporto e oneri di discarica



INFORMAZIONI DI BASE DA INSERIRE NEL PROGETTO



## PROCESSO: PRIME ANALISI E VERIFICHE:

Bilancio delle Terre: Scavi  
Riporti

Terre da scavo riutilizzabili per la costruzione dell'opera

- Classificazione
- Indice Plastico

Classificazione CNRUNI 10006: Classi A1-A7

**Indice plastico:  $PI = LL - LP$**

LL Limite Liquido

LP Limite plastico

$PI < 10$  non necessario trattamento a calce

$PI > 10$  utile il trattamento con calce



PROCESSO: PRIME ANALISI E VERIFICHE:

Trattamento a calce delle terre con plasticità  $PI > 10$

Calce viva: Ossido di calcio  $CaO$

Calce spenta: Idrossido di calcio:  $Ca(OH)_2$

Reazione esotermica:  $CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + \text{calore}$

**Effetti della calce mescolata alla terra: 1.**

**riduzione umidità  
riduzione plasticità  
riduzione le del limite liquido  
riduzione acidità PH**

**migliore efficacia nella compattazione  
del nuovo materiale ottenuto**



## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' PI>10

La costruzione di grandi opere infrastrutturali e di ingegneria civile negli ultimi decenni, nel nostro Paese, ha richiesto l'impiego di enormi risorse naturali per la costruzione di opere in terra (rilevati stradali, ferroviari, argini e dighe in terra, opere di contenimento). Da un lato la necessità di ridurre ai minimi termini lo sfruttamento del territorio naturale e dall'altra la convenienza per le Imprese di riferirsi a terre con caratteristiche tali da richiedere tecniche costruttive che, peraltro, nei paesi europei erano già da tempo applicati.

La soluzione tradizionale, canonica, per le bonifiche a questo problema nel passato erano le sarebbe la bonifiche, ovvero la sostituzione di un determinato spessore del terreno naturale in sito con un materiale selezionato di cava, di opportune caratteristiche, fisiche e meccaniche.

La proposta innovativa innovativa per il nostro Paese ma non per altri paesi Europei, rispetto alla precedente e al momento più diffusa e che, nel rispetto delle ragioni di natura ambientale ed economica, consente di migliorare le proprietà fisico-chimiche e meccaniche di un terreno argilloso giustificando il reimpiego del terreno originario è rappresentata dalla tecnica della stabilizzazione, mediante miscelazione con aggiunta di calce e/o cemento.



## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' $PI > 10$

Nella tecnica della stabilizzazione a calce è importante la sperimentazione con campi prova e le prove di laboratorio che iniziano con la qualificazione delle terre da stabilizzare.

L'indagine per la progettazione della stabilizzazione si è articola in tre fasi essenziali:

- prequalifica dei materiali;
- studio delle miscele sperimentali terra-calce
- realizzazione di campi prova sperimentali.



## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' $PI > 10$

### La prequalifica dei materiali

Le prove di prequalifica sono state eseguite su campioni di terra prelevati in situ, da “fondo scavo” se si tratta di eseguire stabilizzazioni insitu per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del sottofondo, oppure dal deposito artificiale o naturale delle terre da utilizzare per la costruzione delle opere in terra. .

I campioni di terreno vengono classificati ai sensi della Norma UNI 10006 e dichiarati idonei o meno dal progettista, per il trattamento con calce;

I campioni di terreno sono stati sottoposti ad analisi chimiche e ad analisi diffrattometriche a raggi X.



## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' PI>10

### Lo studio delle miscele terra-acqua-calce

Il primo passo è quello di utilizzare i campioni risultati idonei all'analisi chimica per la realizzazione di una miscela di terreno sulla quale è stato determinato il consumo iniziale di calce (C.I.C.) ai sensi della Norma ASTM C 977-92, il cui esito restituisce il valore C.I.C. .Il Consumo Iniziale di Calce rappresenta la quantità minima necessaria per soddisfare le reazioni immediate terra-calce ed è generalmente funzione della capacità di scambio cationico dei minerali argillosi presenti.

Il principio della prova è quello secondo cui una soluzione satura di calce in acqua distillata ha un valore di pH di 12,4 a 25 °C. Il C.I.C. viene individuato dalla minima percentuale di calce necessaria a raggiungere tale pH. La quantità di calce in eccesso rimane completamente disponibile per lo sviluppo delle reazioni pozzolaniche.



## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' $PI > 10$

La verifica preliminare del C.I.C. di un terreno è fondamentale nella fase iniziale della prequalifica in quanto un valore elevato del C.I.C. comporta maggiori quantitativi di calce che potrebbe rendere l'intervento di stabilizzazione antieconomico e quindi non percorribile. Lo studio delle miscele terra-acqua-calce prende l'avvio dalla determinazione del C.I.C. con un incremento costante dello 0,5% del contenuto di calce. Lo studio riguarda la miscela dei campioni di terra compattati convenzionalmente, con le modalità di costipamento AASHTO standard: le prove hanno interessato tanto il campione tal quale, senza l'aggiunta di calce, che i campioni ottenuti per miscelazione di percentuali crescenti di calce.



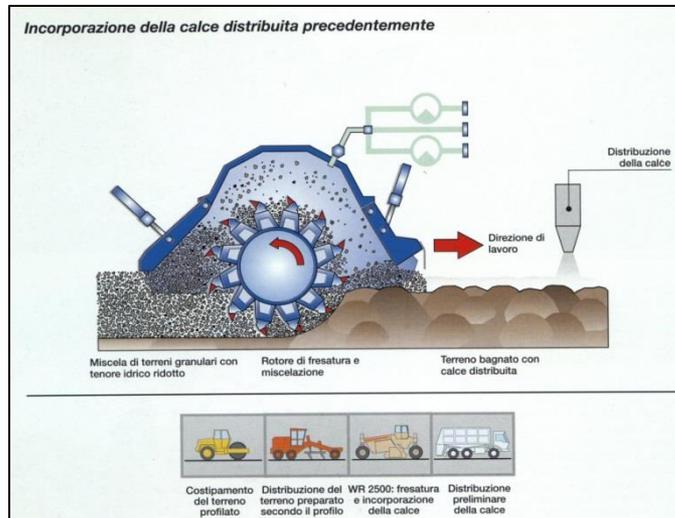
## STABILIZZAZIONE A CALCE DI TERRE CON PLASTICITA' PI>10

Tutte le miscele sono oggetto di un programma sperimentale di cui le prove geotecniche richiamate nel seguito sono:

:

- prova di costipamento AASHTO standard e modificato (AASHTO T99-61 Metodo D e AASHTO Mod. T-180 metodo D);
- determinazione dei limiti di consistenza (CNR UNI 10014-1964);
- indice di portanza immediato (NF P94-078) e prova CBR (CNR UNI 10009-1964) su provini costipati con energia AASHTO standard e modificata, a sette giorni di maturazione e quattro giorni di imbibizione in acqua (CBR7+4i);

## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE





## STABILIZZAZIONE DELLE TERRE PLASTICHE CON CALCE: NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

CNR – Bollettino Ufficiale (Norme Tecniche) – Anno VII – N.36 – 21 febbraio 1973

- Stabilizzazione delle terre con calce.

UNI EN 459-2:2002 - Calci da costruzione - Metodi di prova.

ASTM C977-92 - Determinazione del Contenuto Iniziale di Calce – CIC.

ASTM D 2974 - Determinazione del tenore in sostanza organica (metodo C) o, in alternativa, << AFNOR NF 94-055 – Determinazione del tenore in sostanza organica (Détermination de la teneur pondérale en matière organique) >>.

ASTM D 4373 - Determinazione rapida del tenore in carbonati.

AASHTO mod. T180 – Prova Proctor modificata.

AASHTO mod. T180 – Prova CBR.

ASTM D4253 - 00(2006) Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.

ASTM D4254 - 00(2006)e1 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.