

# **STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE**

**Venerdì 5 maggio 2006**

**ASSOCIAZIONE GEOLOGI della Provincia di FERRARA**  
**Auditorium della Biblioteca Comunale "G.Bassani" - Ferrara**

A.Canziani, U.Pressato



# La Stabilizzazione delle terre

## LO SVILUPPO STORICO

Il primo esempio documentato di consolidamento del terreno con calce si ebbe ad opera delle FORZE ARMATE USA a FORT SAM HOUSTON nel **TEXAS nel 1948**

Già negli **anni '70** negli Stati Uniti D'America si stabilizzavano con calce **circa 23 milioni di metri cubi** di terre argillose ogni anno.

Negli **anni '70** si inizia ad applicare la tecnica anche in Europa; in particolare in Francia, dove a partire dagli anni '80 si sono realizzate le linee ferroviarie veloci TGV e numerose autostrade e strade statali.

Nel **1994** in Francia sono stati stabilizzati con la calce circa 20 milioni di metri cubi di terre

# La Stabilizzazione delle terre in Italia

## ESPERIENZE ITALIANE FINO AGLI ANNI '70

### STUDIO DI LABORATORIO - 1973

associazione dell'industria italiana del cemento  
dell'amianto-cemento, della calce e del gesso  
settore calce

00198 roma - via di s. teresa, 23 - tel. 864.314 - 865.068

Dot. Ing. Umberto Perinetti  
Dot. Ing. Romano Foschi

**Alcuni risultati di prove di laboratorio sulla stabilizzazione con calce di terre fini plastiche**

Estratto da "L'Industria Italiana del Cemento" - Anno XLIII - settembre 1973

### CICLO DI CONFERENZE - 1976

*Congressi e Convegni*

**Ciclo di incontri sulla stabilizzazione delle terre con calce**

**INCONTRO DEL 24-10-1974 A PERUGIA**

**« Argilla + calce nelle costruzioni stradali »**

*Relazione introduttiva del Dr. Ing. Marando Mancini*

*Estratto da "L'Industria Italiana del Cemento" - Anno XLVI - Gennaio 1976*

**Ciclo di incontri sulla stabilizzazione delle terre con calce**

1 Promosso ed organizzato dal Settore Calce dell'Associazione dell'Industria Italiana del Cemento, dell'Amianto-cemento, della Calce e del Gesso (Assoemento) si è svolto, dall'ottobre 1974 al maggio 1975, un ciclo di incontri sulla stabilizzazione delle terre con calce.

Le manifestazioni hanno avuto luogo a Perugia (24 ottobre 1974), Milano (11 dicembre 1974) e Palermo (23 maggio 1975) con la partecipazione di esponenti delle Pubbliche Amministrazioni, fra le quali l'ANAS, docenti universitari, tecnici, rappresentanti di imprese di costruzioni stradali e di società autostradali, i quali nel corso del dibattito hanno potuto approfondire, anche sulla base di particolari esperienze, i diversi aspetti della stabilizzazione con calce delle terre argillose.

È stato anche proiettato un film-documentario che illustra la tecnica di stabilizzazione con calce dei corpi stradali, applicata nei lavori di costruzione dell'autostrada tedesca della Balle.

Non appare superfluo sottolineare che tale tecnica ha raggiunto negli altri Paesi grande diffusione; è auspicabile pertanto che in conseguenza dei positivi risultati ottenuti all'estero, la stabilizzazione dei terreni argillosi con calce possa avere applicazione e sviluppo anche in Italia.

In considerazione dell'interesse suscitato, pubblichiamo le relazioni introduttive ai dibattiti che sono stati tenuti a Perugia dall'Ing. Marando Mancini, Vice Direttore Tecnico Centrale dell'ANAS, a Milano dal Prof. Ing. Franco Giannini, titolare della Cattedra di Progetto delle Infrastrutture Stradali dell'Università di Roma, e a Palermo dal Prof. Ing. Giuseppe Tesoriere, Direttore dell'Istituto di Costruzioni Stradali di quella Università. Riportiamo anche il testo di due comunicazioni presentate al Convegno di Palermo rispettivamente dall'Ing. G. Barresi e dall'Ing. B. Celauro, O. Giuffrè e A. Lo Bianco.

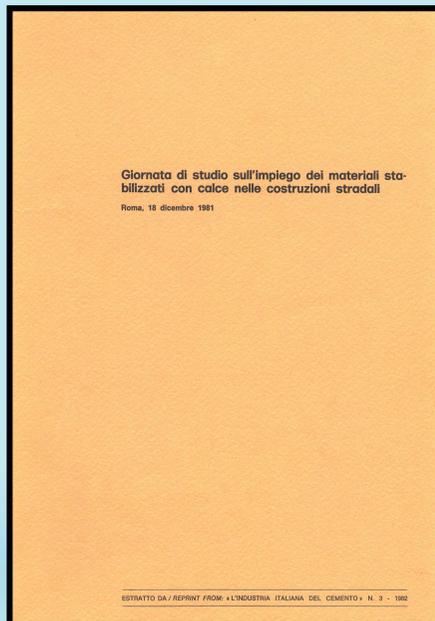
# La Stabilizzazione delle terre in Italia

IL CONVEGNO DI ROMA, 18 DICEMBRE 1981

- Giornata di studio sull'impiego dei materiali stabilizzati con calce nelle costruzioni stradali.

## PRINCIPALI INTERVENTI:

- Saluto del Direttore Generale dell'ANAS Dott. A.Soreca;
- Saluto del Presidente settore calce di Assocemento Sig. G. Ghisalberti;
- Sintesi del Prof. F.G.Giannini;
- Relazioni di: Prof. Tesoriere, Ing. F.Della Scala; Prof. G.Montaldi, Ing. G.Camomilla, Ing. R.Foschi, Ing. R.Cicognani, Prof. C.Benedetto, Ing. M.Macori;
- Comunicazioni: Prof. O.Giuffré, Ing. P.Maggiorotti, Ing.F.Sabato, Ing.M.Cupo Pagano e Ing. G.Rossi, Ing. L.Domenichini, Ing. M.Paglia, Prof. G.Barresi, Prof. B.Celauro;



# La specifica tecnica Unicalce

	<b>BONIFICHE</b>		<b>STABILIZZAZIONI</b>	
	<b>PIANI D'APPOGGIO</b>	<b>RILEVATI</b>	<b>SOTTOFONDAZIONI</b>	<b>SOVRASTRUTTURA (FONDAZIONI E BASI)</b>
<b>TERRE</b>	CLASSIFICAZIONE (CNR-UNI 10006): A2-6, A2-7, A5, A6, A7 GRANULOMETRIA: conforme al FUSO CNR - B.U. n. 36 VALORE DI BLU (UNI 8520 p.15^): VB > 200 (riferito al fine < 0,25 UNI) CONSUMO INIZIALE DI CALCE (ASTM C977-92): CIC > 1,5% SOSTANZE ORGANICHE (AFNOR NF 94-055): < 4% SOLFATI (UNI 8520 p. 11^): SO3 < 4% ESAME DIFFRATTOMETRICO E SEDIMENTAZIONE: RICERCA DI MINERALI ARGILLOSI ESAME OTTICO: RICERCA DI MINERALI SILICEI AMORFI			
<b>CALCI</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>CALCE VIVA</b>	<b>CALCE IDRATA</b>	
	CO2	≤ 5%	-	
	(CaO+MgO) TOTALI	≥ 84%	-	
	TITOLO IN IDRATI	-	≥ 85%	
	SiO2+Al2O3+Fe2O3+SO3	≤ 5%	≤ 5%	
	PEZZATURA	≤ 2 mm	-	
	PASSANTE AL SETACCIO CON LUCE NETTA DA:	200 μm ≥ 90%	90 μm ≥ 85%	
<b>ACQUA</b>	Conforme ad UNI 8981/7 - UNI 9858			
<b>MISCELA DI PROGETTO</b>	<b>COMPATTAZIONE:</b> AASHTO Standard (T99 Metodo D) DOSAGGIO: 1) CALCE % > CIC + 0,5% 2) CALCE % > CIC + 0,5% + x 3) CALCE % > CIC + 0,5% + 2x PORTANZA IMMEDIATA (CNR-B.U.n.36): IPI > 10% RIGONFIAMENTO: Vol (7) - Vol (0) < 5% (su 3 provini costipati con AASHTO T99 Metodo A dopo 76 h a 20°C, UR > 95% Vol (0) e 7 gg a 40°C, in acqua Vol (7))		<b>COMPATTAZIONE:</b> AASHTO Modificato (T180 Metodo D) DOSAGGIO: 1) CALCE % > CIC + 1,0% 2) CALCE % > CIC + 1,0% + x 3) CALCE % > CIC + 1,0% + 2x SOTTOFONDAZIONI CBR (*) > 50 RIGONFIAMENTO < 1,0% (*) su provini CBR (CNR-UNI n. 10009) dopo 21 gg a 20°C, UR > 95% + 7gg a 20°, in acqua	
			<b>FONDAZIONI E BASI</b> CBR (*) > 80 RIGONFIAMENTO < 0,5% (*) su provini CBR (CNR-UNI n. 10009) dopo 21 gg a 20°C, UR > 95% + 7 gg a 20°, in acqua <b>FONDAZIONI</b> Rc(28) > 1,5 Mpa Rt(28) > 0,15 Mpa BASI Rc(28) > 2,5 Mpa Rt(28) > 0,25 Mpa	
			<b>RISCHIO GELO</b> Rt(n) > 0,25 Mpa ((n) = da ricercarsi)	
<b>QUALITA' IN SITO</b>	<b>COSTIPAMENTO RELATIVO</b> Ds > 95% AASHTO Standard (T99) CBR (**) > 20% RIGONFIAMENTO (**) < 1,5% (**) su provini CBR (CNR-UNI n. 10009) dopo 3 gg a 20°C, UR > 95% + 4 gg a 20°C, in acqua		<b>COSTIPAMENTO RELATIVO</b> Ds > 92% AASHTO Modificato (T180) CBR (**) > 30% RIGONFIAMENTO (**) < 1,0% (**) su provini CBR (CNR-UNI n. 10009) dopo 3 gg a 20°C, UR > 95% + 4 gg a 20°C, in acqua	
			<b>FONDAZIONI</b> Rc (7) > 1,00 Mpa Rt (7) > 0,10 Mpa Rc(28) > 1,5 Mpa Rt(28) > 0,15 Mpa	
			<b>BASI</b> Rc (7) > 1,5 Mpa Rt (7) > 0,15 Mpa Rc(28) > 2,5 Mpa Rt(28) > 0,25 Mpa	
			Rc (7) > 0,50 Mpa Rt (7) > 0,03 Mpa	
	Md ≥ 15 N/mm², rilevati > 1 m	Md ≥ 20 N/mm² con esclusione ultimi 30 cm	Md ≥ 50 N/mm², piani di posa in trincea, sottofondazioni, fondazioni, ultimi 30 cm dei rilevati	
	Md ≥ 20 N/mm², rilevati < 1 m		Md ≥ 80 N/mm², basi	

# Principali capitolati pubblicati

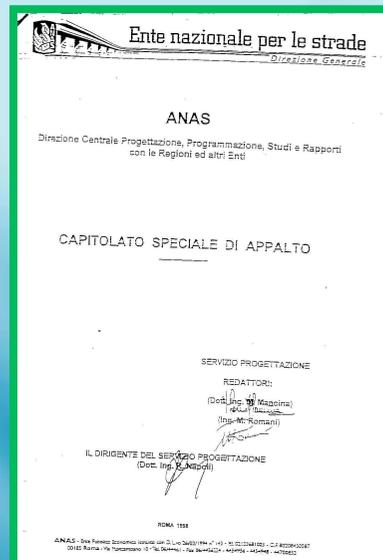
**PUBBLICATO  
NEL 1996**



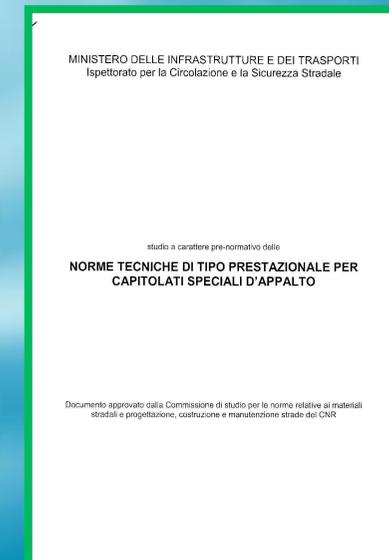
**PUBBLICATO  
NEL 1998**



**PUBBLICATO  
NEL 1999**



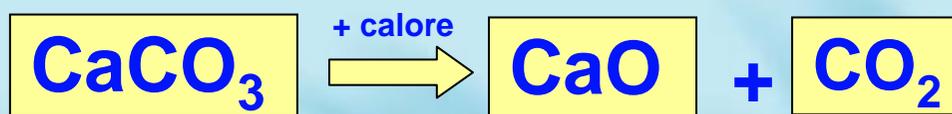
**PROPOSTO  
NEL 2001**



# La produzione della calce aerea



- La **calce viva** (ossido di calcio,  $\text{CaO}$ ) si ottiene per cottura in forno a circa  $1000^\circ\text{C}$  del calcare naturale ( $\text{CaCO}_3$ )



(carbonato di calcio)



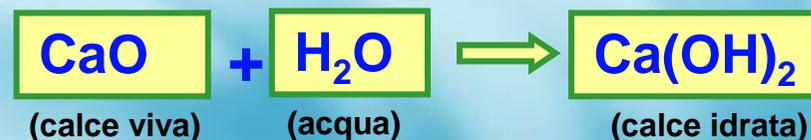
(ossido di calcio)

- le zolle di calce viva sono ridotte in polvere; in questa forma la calce è impiegata nel trattamento delle terre limo - argillose

# La produzione della calce aerea



- La calce idrata si ottiene per reazione chimica della calce viva con l'acqua:



- La reazione è esotermica; il calore sviluppato è importante, poiché aiuta ad asciugare le terre argillose troppo umide
- Solubilità della calce idrata: 1,65g/l a 20°C; pH della soluzione satura: 12,45
- Durante la buona stagione, il trattamento delle terre secche, può essere fatto anche con la calce idrata.

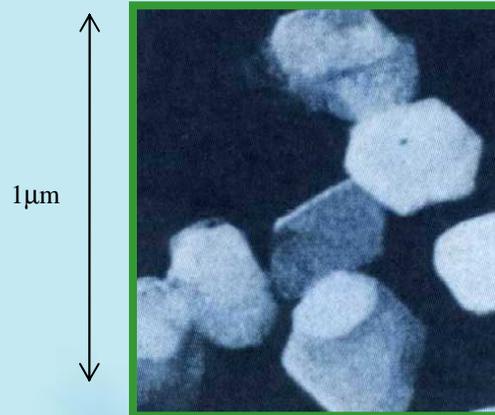
# La Calce aerea

- Caratteristiche qualitative della calce riconosciuta adatta alla stabilizzazione delle terre in Italia.

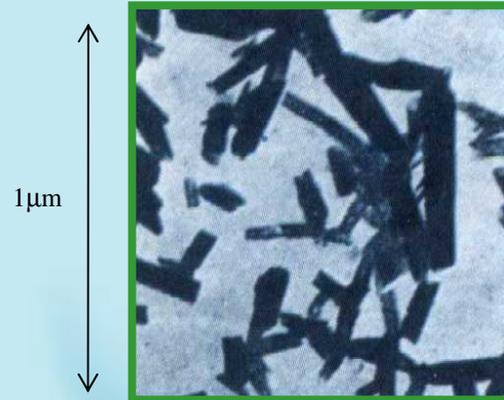
REQUISITO	CALCE VIVA	CALCE IDRATA
CO <sub>2</sub>	≤ 5%	-
CaO+MgO	≥ 84%	-
TITOLO	-	≥ 85%
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SO <sub>3</sub>	≤ 5%	≤ 5%
GRANULOMETRIA	≤ 2 mm	-
PASSANTE A:	200 μm ≥ 90%	90 μm ≥ 85%

# Le Argille (mineralogia)

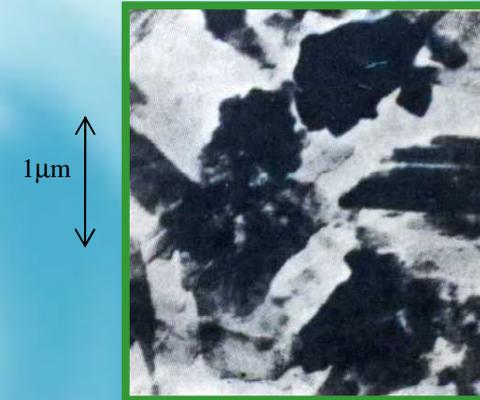
1. CHIMICAMENTE LE ARGILLE SONO SILICATI DI ALLUMINIO IDRATI, CONTENENTI ANCHE IONI  $Mg^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , ecc.



CRISTALLI DI CAOLINITE



CRISTALLI DI HALLOYSITE

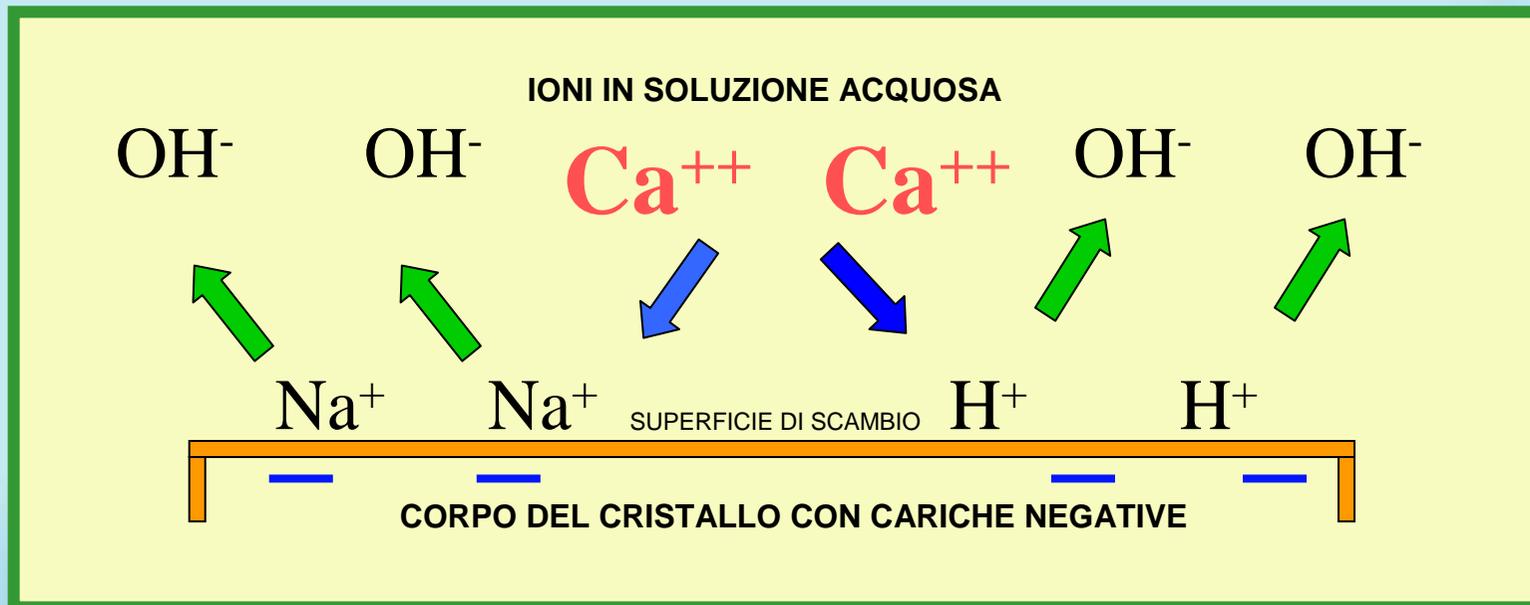


CRISTALLI DI ILLITE

- Le argille appartengono alla sottoclasse dei fillosilicati. I cristalli si presentano sempre come particelle molto fini (normalmente inferiori a  $2 \mu m$ ) e formano la frazione argillosa del suolo.

# Trasformazioni “immediate” argilla-calce

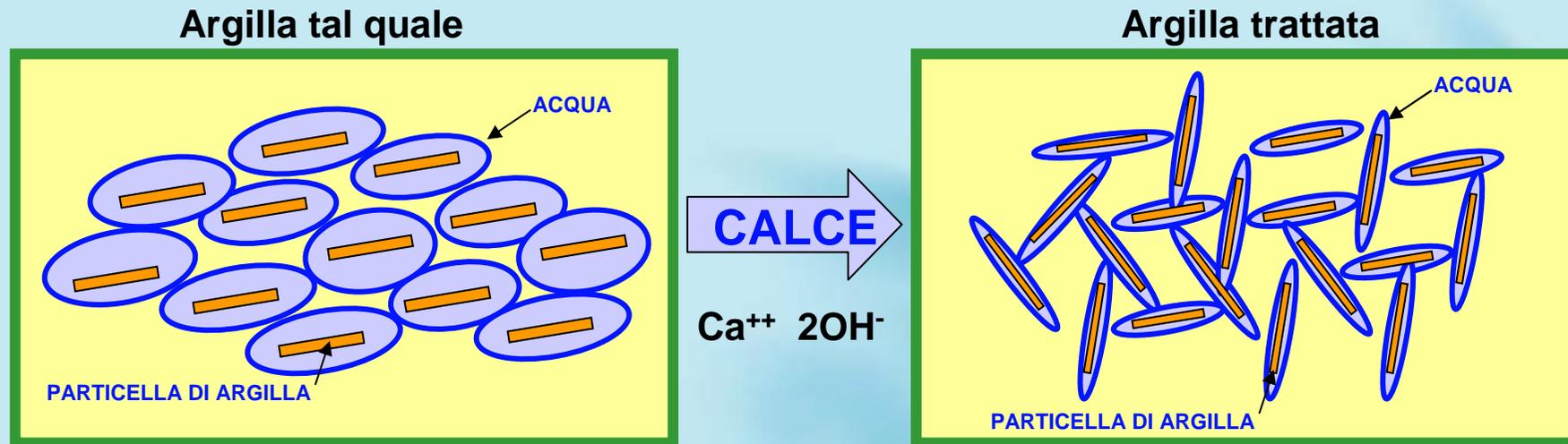
## 1. REAZIONI DI SCAMBIO CATIONICO SULLA SUPERFICIE DEI MINERALI DI ARGILLA



- Gli ioni calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) in soluzione acquosa sostituiscono gli ioni ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) presenti sulla superficie del cristallo di argilla. Gli ioni sostituiti compensano le cariche elettriche negative degli ioni ( $\text{OH}^-$ ) della calce presenti nella soluzione acquosa.
- Esempio di compensazione di cariche elettriche in soluzione acquosa:  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}^+ // \text{OH}^-$

# Trasformazioni “immediate” argilla-calce

## 2. FENOMENI DI AGGLOMERAZIONE DELLE PARTICELLE DI ARGILLA

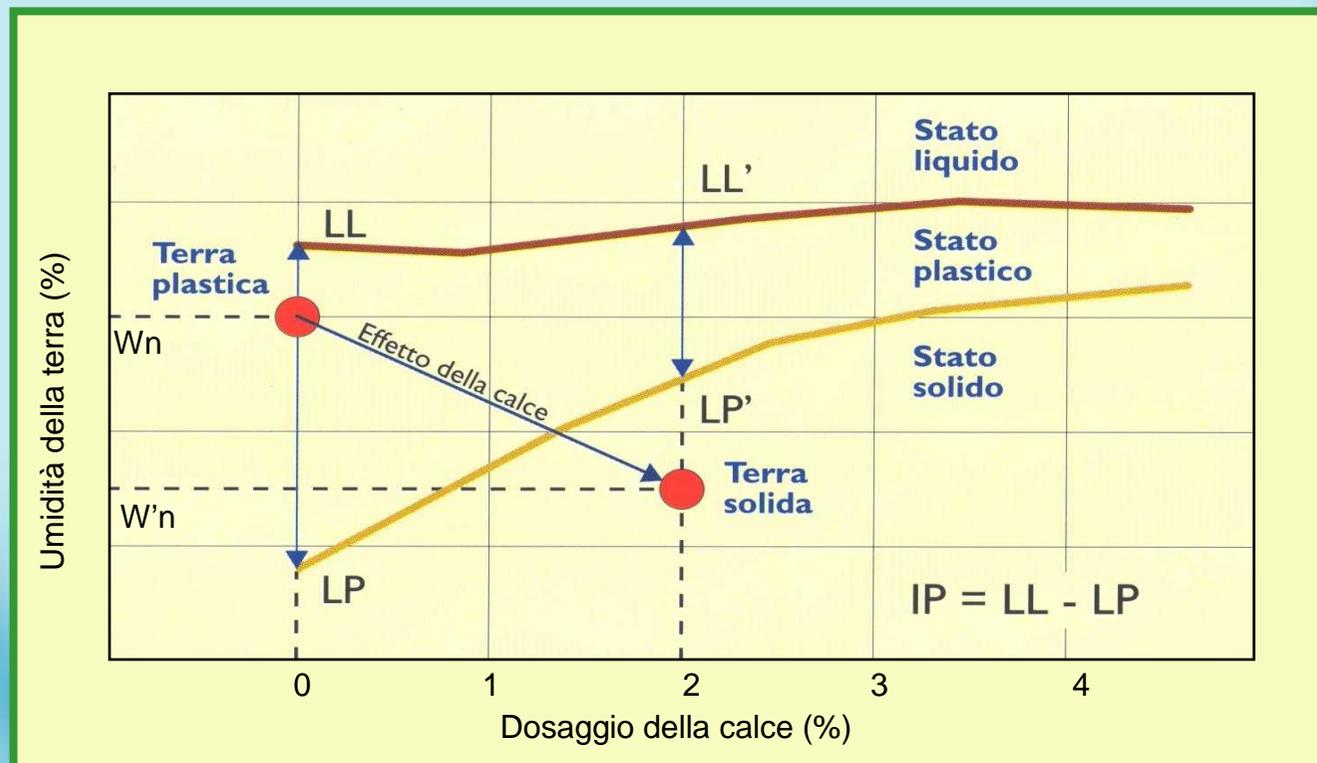


- I cristalli di argilla (fillosilicati) sono allineati e scorrono facilmente gli uni sugli altri; ciascun cristallo trattiene una notevole quantità d'acqua.  
La terra manifesta elevata plasticità.

- I cristalli di argilla modificati si dispongono reciprocamente con gli spigoli puntati verso le altre superfici piane; il volume d'acqua trattenuto da ciascuna particella è ridotto. La terra manifesta plasticità ridotta.

# Trasformazioni “immediate” argilla-calce

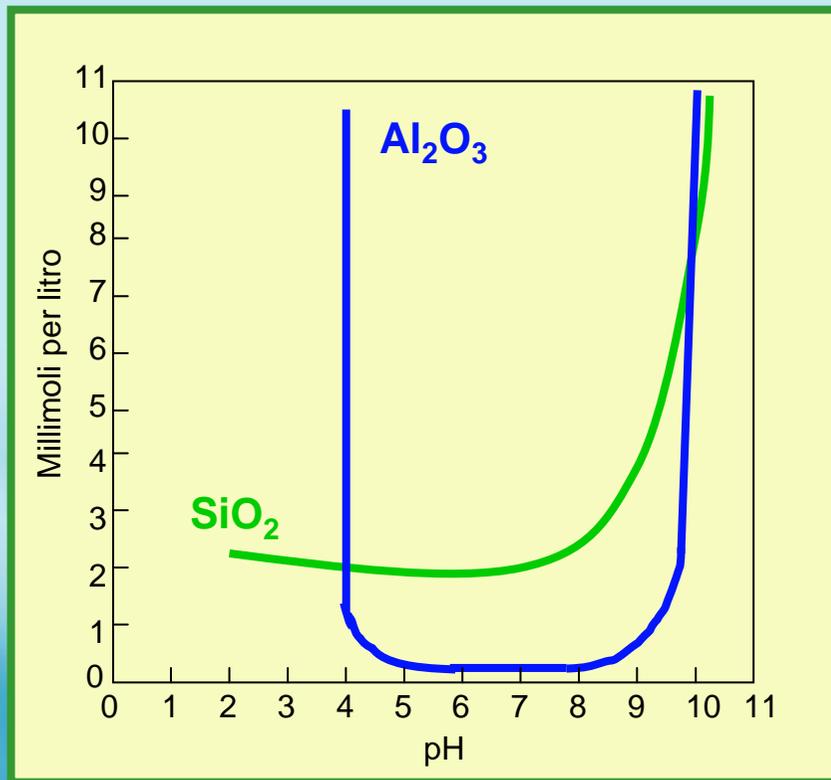
## 3. L'INDICE DI PLASTICITA' DI UNA TERRA ARGILLOSA DIMINUISCE SIGNIFICATIVAMENTE DOPO TRATTAMENTO CON CALCE



- La terra argillosa, caratterizzata dallo stato plastico, passa immediatamente allo stato solido quando è trattata con una piccola percentuale di calce aerea; le terre troppo umide diventano molto più facilmente lavorabili.

# Trasformazioni “a lungo termine” argilla-calce

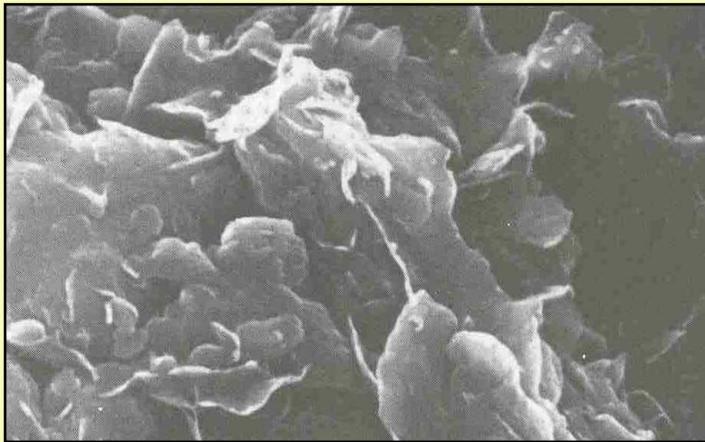
## 1. SOLUBILIZZAZIONE DEI MINERALI ARGILLOSI (SILICATI DI ALLUMINIO) IN AMBIENTE BASICO



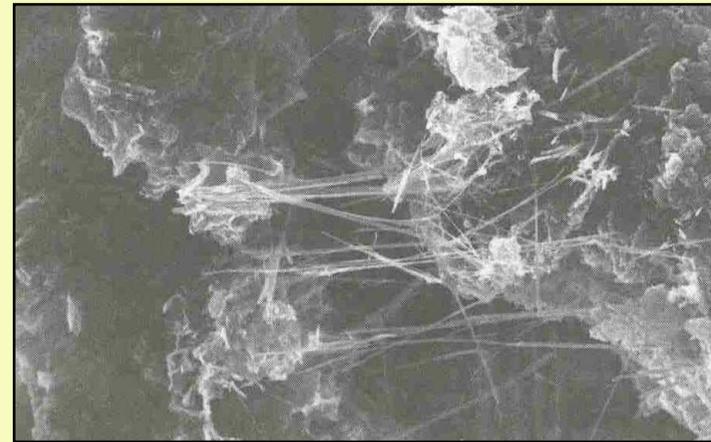
- E' possibile formare silico-alluminati di calcio solubili per reazione chimica tra i minerali di argilla (silicati di alluminio) e una soluzione acquosa satura di calce (solubilità a 20°C del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1,65g/l; pH della soluzione satura 12,45).
- La velocità di dissoluzione dipende dal tipo di argilla e aumenta rapidamente con l'aumentare della temperatura, mentre rallenta fino a esaurimento sotto i 5 °C.
- La quantità di silicati prodotti è proporzionale sia alla quantità di calce aggiunta sia al trascorrere del tempo

# Trasformazioni “a lungo termine” argilla-calce

## 2. MICROGRAFIE AL MICROSCOPIO ELETTRONICO A SCANSIONE (SEM) DI DELL'ARGILLA DI DENVER, COLORADO PRIMA E DOPO UN TRATTAMENTO CON CALCE



Microcristalli di argilla



Struttura aghiforme ancorata all'argilla derivata dalla  
reazione con la calce

- Dopo essersi formati in soluzione acquosa, i silico-alluminati di calcio, polimerizzano e riprecipitano; essi formano strutture aghiformi che cementano tra loro i minerali della terra trattata con la calce, indurendola.
- Affinché la reazione proceda regolarmente è necessaria la presenza di una sufficiente quantità di acqua. La velocità di reazione (velocità di indurimento) aumenta o diminuisce all'aumentare o al diminuire della temperatura.

# Trasformazioni “a lungo termine” argilla-calce

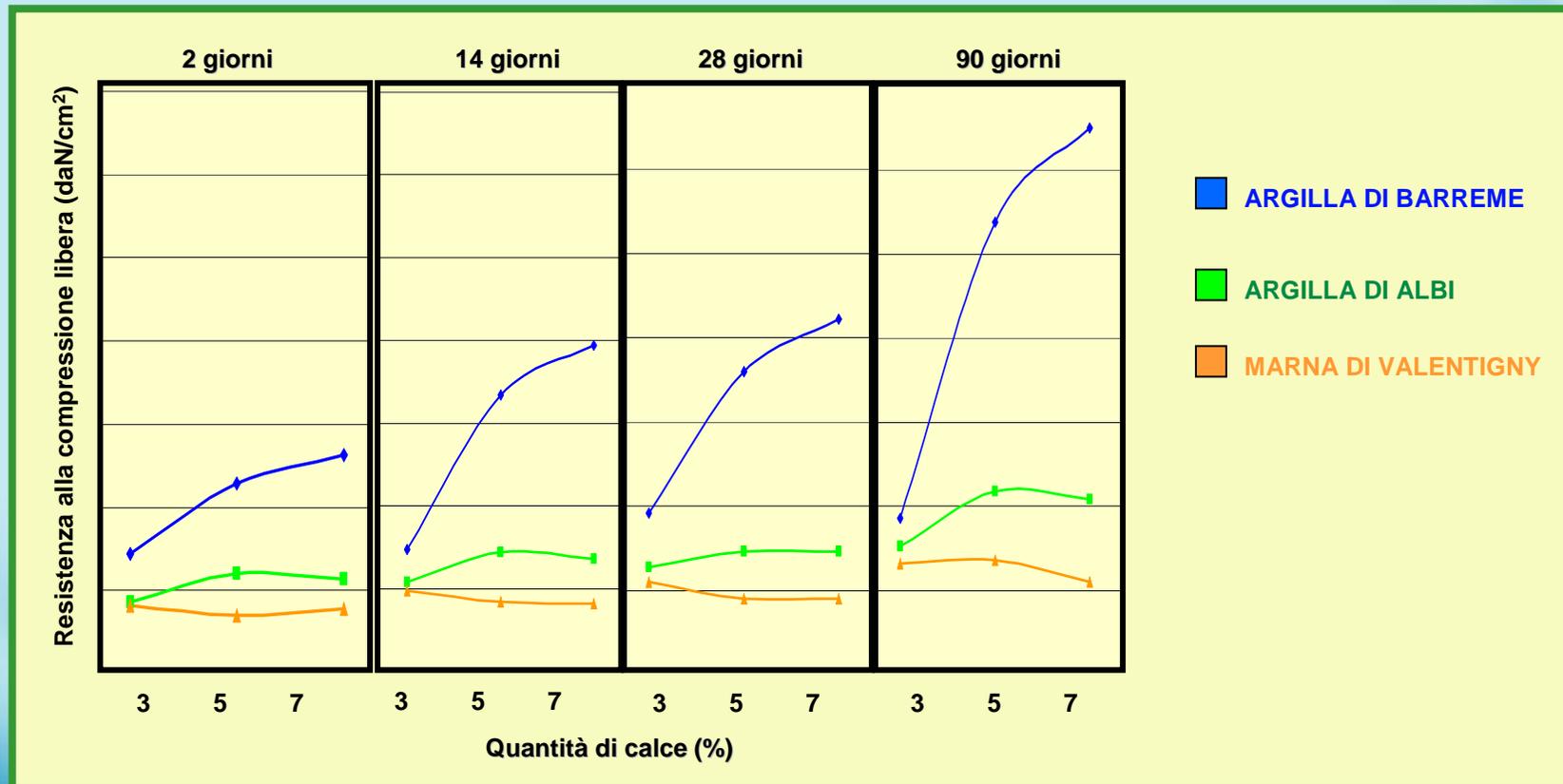
3. LE TERRE FINI PLASTICHE SONO NORMALMENTE COSTITUITE DA MINERALI ARGILLOSI (FILLOSILICATI) ACCOMPAGNATI DA QUANTITA' VARIABILI DI ALTRI MINERALI FILLOSILICATICI: FELDSPATI, ecc. E DA CRISTALLI DI SILICE (SiO<sub>2</sub>) E DI CALCITE (CaCO<sub>3</sub>)

TERRA SPERIMENTALE	< 80 μm (%)	< 2 μm (%)	LIMITE LIQUIDO E INDICE DI PLASTICITA'	CLASSIF. UNI 10006	CAOLINITE (%)	ILLITE (%)	MONTMO-RILLONITE (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
ARGILLA DI BARREME (F)	83	43	LL=41 IP=25	A7-6	30-35	5-10	0	0
ARGILLA DI ALBI (F)	100	68	LL=45 IP=25	A7-6	5-7	45-50	0	<5
MARNA DI VALENTIGNY (F)	100	50	LL=46 IP=23	A7-6	5-7	15	15	47

- La classificazione delle terre solo sulla base della granulometria e dei limiti di Atterberg non è sempre in grado di distinguere tra loro terre di differente composizione mineralogica, come evidenzia l'esempio della tabella.
- Per prevedere il comportamento pratico di una miscela terra-calce è perciò importante conoscere anche la natura e la quantità dei minerali presenti.

# Trasformazioni “a lungo termine” argilla-calce

4. LA MISCELA TERRA-CALCE COSTIPATA E MANTENUTA ALL'UMIDITA' OTTIMA DEL COSTIPAMENTO AUMENTA GRADUALMENTE NEL TEMPO LA PROPRIA RESISTENZA MECCANICA



- A parità di altre condizioni l'aumento di resistenza è tanto più rapido quanto più elevata è la temperatura alla quale sono stati mantenuti i provini.

# L'importanza del Laboratorio

## LA MISCELA DI PROGETTO E LE LAVORAZIONI

- Terre diverse richiedono dosaggi di calce e modalità di lavorazioni differenti, in relazione alle caratteristiche finali degli strati da costruire (sottostrutture o sovrastrutture)
- Le terre di scavo in cantiere possono essere pretrattate nel luogo stesso di scavo, trasferendo poi la miscela sull'opera; il Laboratorio definisce le migliori condizioni di lavorazione
- Alcune terre richiedono un trattamento misto calce + cemento o altri leganti; il Laboratorio stabilisce le modalità di aggiunta dei leganti e quando necessario dell'acqua.