

# CONVEGNO ALIG - AGI

UNIVERSITA' DI NAPOLI PARTHENOPE - 18 APRILE 2012

## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

### Interventi Relatori

**Prof. Stefano AVERSA** (Presidente AGI)

Saluto ai partecipanti

**Prof. Giacomo RUSSO** (Università degli Studi di Cassino)

Definizione dei parametri di trattamento e caratteristiche fisiche dei terreni stabilizzati

**Prof. Manuela CECCONI** (Università degli Studi di Perugia)

Caratteristiche meccaniche dei terreni stabilizzati

**Prof. Paolo CROCE** (Università degli Studi di Cassino)

Progettazione e verifiche geotecniche di costruzioni di terra stabilizzata a calce

**Dott. Vittorio MISANO** (Istituto Sperimentale RFI SpA)

La nuova specifica tecnica di RFI per il trattamento a calce dei terreni

**Dott. Marco GAROFALO** (Wirtgen Macchine srl)

Macchine per la stabilizzazione delle terre: aspetti costruttivi e operativi

**Dott. Stefano CIUFEGNI** (Italferr)

Stabilizzazione a calce per la costruzione delle linee ferroviarie Bologna-Verona e Parma-La Spezia

**Geom. Umberto PRESSATO - Ing. Angelo CANZIANI** (Unicalce)

Gestione e pratica dei cantieri: gli schemi di lavorazione, la logistica e le produzioni giornaliere

La corretta gestione delle problematiche più frequenti e i costi di produzione

**Ing. Mauro GORINI** (CGS)

Applicazioni specifiche di terre trattate a calce



Inviare a [alig@associazionealig.it](mailto:alig@associazionealig.it) un messaggio di posta elettronica contenente domande o commenti su questo sito Web.

Aggiornato il: 23 maggio 2012



## Presentazione AGI

**Stefano Aversa**

Università degli studi di Napoli Parthenope



Napoli – 18 aprile 2012

## BREVE STORIA

- Nasce nel 1947 su iniziativa di cultori della Geotecnica:
  - Imprenditori
  - Professionisti
  - Universitari
- Primo Presidente: Giovanni Rodio
- Prima sede: Milano
- Organo ufficiale dell'AGI:
  - Geotecnica (1954-1966)
  - Rivista Italiana di Geotecnica (1966-oggi)

## **Presidenti**

Giovanni Rodio

Girolamo Ippolito

Guido Ferro

Giacomo Baroncini

Arrigo Croce

Morando Capuzzo Dolcetta

Pietro Colombo

Sandro Martinetti

Giovanni Barla

Alberto Burghignoli

Stefano Aversa

## CONSIGLIO DI PRESIDENZA

Presidente: Stefano Aversa

Segretario Generale: Claudio Soccodato

### Consiglieri di Presidenza:

Marco D'Elia  
Margherita Ferrero  
Cristina Jommi  
Alessandro Mandolini  
Paola Monaco  
Nicola Moraci  
Maria Cristina Pepe  
Sebastiano Rampello  
Pietro Rimoldi  
Tatiana Rotonda  
Francesco Silvestri  
Paolo Simonini

### Revisori dei Conti

Enrico Conte  
Sebastiano Foti  
Guido Gottardi  
Vittorio Manassero  
Giancarlo Tresso

### Rivista Italiana di Geotecnica

Direttore: Augusto Desideri

### Segreteria

Susanna Antonielli  
Anna D'Elia (RIG)

## Sedi:

- Milano (1947 - 1952)
- Napoli (1952 - 1962)
- Roma (1962 – oggi)

## Attività Internazionale:

- Rappresentante in Italia di:
  - ISSMGE
  - ISRM
  - IGS
  - IACMAG
- Coordinamento di tre Comitati Tecnici Internazionali
  - TC 301 – Preservation of Historic Sites (Carlo Viggiani)
  - TC 215 – Environmental Geotechnics (Mario Manassero)
  - ERTC 4 – Eurocode 8 (Michele Maugeri)
- Partecipazione alle attività degli altri Comitati Tecnici con 2 rappresentanti per TC

## ALTRE ATTIVITÀ

- **Convegno Nazionale di Geotecnica**
  - XXIV CNG - Innovazione Tecnologica in Ingegneria geotecnica. Napoli, 2011
- **Convegno Nazionale Geosintetici**
  - XXV CN Geosintetici – Bologna 2012
- **Arrigo Croce Lecture**
  - Renato Lancellotta – Roma 2012
- **IAGIG – Incontro Annuale Giovani Ingegneri Geotecnici (Bologna, 2012)**
- **Rivista Italiana di Geotecnica (Direttore: Augusto Desideri)**
- **Convegni Internazionali**
  - Seismic Performance Based Design (Taormina, 2012)
  - Preservation of Monuments and Historic Sites (Napoli, 2013)
  - Environmental Geotechnical Engineering (Torino, 2013)
- **Rapporti con Istituzioni ed Enti Pubblici**
  - CSLLPP: collaborazione alla redazione delle NTC
  - DPC: collaborazione a varie attività


## ALTRE ATTIVITÀ

- Pubblicazione di Raccomandazioni e Linee guida
  - Raccomandazioni su indagini (nuova edizione nel 2013)
  - Raccomandazioni sui pali (nuova edizione a fine 2012)
  - Raccomandazioni su prove di laboratorio (1994)
  - Raccomandazioni su jet-grouting (2012)
  - Raccomandazioni su ancoraggi (con AICAP, 2012)
  - Commentario su NTC (con AICAP, 2011)
  - Linee guida Ing. Geot. Sismica (2005)
  - Raccomandazioni sui Geosintetici (2013)
  - Raccomandazioni sul monitoraggio geotecnico (2013)
- Visite tecniche
  - Metropolitana di Napoli (2010)
  - Stazione AV di Bologna (2011)
  - MOSE a Venezia (2011)
  - SS. Jonica – Cantiere Astaldi (2012)
- Premi per tesi di laurea e dottorato
- Rapporti con altre associazioni
  - AICAP, ANIDIS, CTA e CTE
  - **ALIG**
  - SIG, GEAM
  - ITCOLD
- Corsi di aggiornamento (Marco D'Elia)

## Soci

- Soci individuali (862)
- Soci juniores (28)
- Enti (9)
- Soci collettivi (23)
- Soci sostenitori (Astaldi, Italferr, Soles, Uretek)
  
- Soci benemeriti:
  - Baldovin
  - Calabresi
  - Colombo
  - Cotecchia
  - Jappelli
  - Jamiolkowski
  - Martinetti
  - Popescu
  - Viggiani





Associazione  
Geotecnica Italiana

Accedi ▾

Home

AGI

Attività


Eventi

Pubblicazioni

RIG

Novità

Eventi




**DECIMA CONFERENZA ANNUALE  
"ARRIGO CROCE"**  
Roma, Aula Convegni del CNR  
Dal: 15 Dicembre 2011  
Al: 15 Dicembre 2011


[Second international conference on  
performance-based design in  
earthquake geotechnical...](#)  
Taormina  
Dal: 28 Maggio 2012  
Al: 30 Maggio 2012

[4th International Conference on  
Geotechnical and Geophysical Site  
Characterization \(ISC'4\)](#)  
Porto de Galinhas, Pernambuco – Brazil  
Dal: 18 Settembre 2012  
Al: 21 Settembre 2012

Rivista Italiana di Geotecnica



[Influenza dei fattori  
geologici sulla  
proprietà delle rocce  
sciolte - Terzaghi](#)

Autori: Jappelli R. (recensione)  
R.I.G.: 1/1957 Pagina: 31  
Scarica articolo:  [710.18 KB](#)

ARCHIVIO  
ARTICOLI

In primo piano

[I Soci](#)

[Norme Tecniche per le Costruzioni](#)

[Visita Tecnica Napoli](#)

[Visita Tecnica Bologna](#)

[Visita Tecnica al "MOSE" - Venezia](#)

[Links](#)

Novità


[East Japan March 2011 Great Earthquake...](#)  
"Geo-hazards During Earthquakes and Mitigation  
Measures-Lessons and Recommendations from the  
2011 Great East Japan  
Earthquake"...

[Nuove funzionalità del sito](#)  
I soci possono accedere alla propria scheda personale,  
modificare i propri dati, aggiungere una foto e un  
curriculum.  
Le...

[Corso di aggiornamento](#)  
OPERE DI PROTEZIONE CONTRO LA CADUTA MASSI  
ASPETTI PROGETTUALI  
Torino, 12-13 dicembre 2011

SCARICA

il modulo di iscrizione



## Sito web dell'AGI – Scheda socio

**AGI** Associazione Geotecnica Italiana

Pannello utente ▾

HomeAGIAttivitàEventiPubblicazioniRIGNovità

Modifica

Area Utente

La tua scheda associato

**Prof. Ing. Aversa Stefano**

ordinario

 Impostazioni Privacy

☒ Hai dato il consenso al trattamento dei tuoi dati personali.

☒ Hai accettato la pubblicazione del tuo profilo nell'area riservata ai soci.

☒ Hai accettato la pubblicazione del tuo nome e cognome nell'elenco pubblico dei soci.

 Dati di contatto

 Dipartimento per le Tecnologie  
Università degli studi di Napoli Parthenope  
Centro Direzionale di Napoli Isola C/4 Piano 6 Ufficio 601 (sud)  
80143 Napoli

 081 5476730

 081 5476780

 stefano.aversa@uniparthenope.it

Curriculum:  [46.9 KB](#)

 Iscritto Dal: 1991

 Codice Agi: 1738

 Newsletter

Gestisci le [mie iscrizioni](#)

Iscrizioni  
[Newsletter AGI](#)



 > Profilo utente

## Pagina web dell'AGI – Forum aperti ai soli soci

The screenshot shows the AGI Forum web page. The page has a blue header with the AGI logo and navigation links. The main content area displays a forum table with columns for Forum, Argomenti, Messaggi, and Ultimo messaggio. Below the table, there is a section for 'Che sta succedendo?' and a sidebar with navigation links. The footer contains contact information and social media links.

Forum	Argomenti	Messaggi	Ultimo messaggio
<b>Associazione Geotecnica Italiana - Forum</b> Questo è il forum di Associazione Geotecnica Italiana.	3	19	s.foti <a href="#">Primo post del forum...</a> 7/12/2011 - 10:35
<b>Altro Forum...</b> non c'è nessuna descrizione...	1	7	s.foti <a href="#">Nuovo Argomento inserito da Moderat...</a> 29/11/2011 - 18:21
<b>prova contenitore</b>			
<b>Nuovissimo forum</b> prova nuovissimo	1	3	s.foti <a href="#">sdscsd dsa dfafdafafa...</a> 1/12/2011 - 12:16

**Che sta succedendo?**  
 Utenti attualmente attivi: 1 (1 utenti e 0 ospiti)  
[admin](#)  
**Statistiche**  
 Discussioni: 5, Messaggi: 29, Utenti: 3  
 Benvenuto al nostro ultimo utente, [s.foti](#)

Forum con nuovi messaggi
 Forum senza nuovi messaggi
 Questo forum è chiuso

**Footer:**  
 Sito: Home, AGI, Attività, Eventi  
 Pubblicazioni: RIG, Novità  
 AGI Associazione Geotecnica Italiana  
 Associazione Geotecnica Italiana  
 Viale dell'Università, 11 - 00185 Roma (RM)  
 P.IVA 01153821002  
 Copyright 2010 - 2011 - Tutti i Diritti Riservati.  
 Credits.  
 Privacy, Contatti, Mappa sito, Login

### **Finalità**

Spazio di discussione tra i soci  
(normativa, RIG, vita AGI)

Interazione con commissioni AGI  
(ad es.: revisione raccomandazioni e lineeguida)

## Interazione con i soci

Rivista Italiana di geotecnica

Newsletter AGI

Sito web

Frequentissime mail del presidente

Grazie a:

ALIG

DIT

UNICALCE

WIRTGEN



## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Università di Napoli “Parthenope”

Napoli, 18 aprile 2012



## PARAMETRI DI TRATTAMENTO ED EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



GIACOMO RUSSO

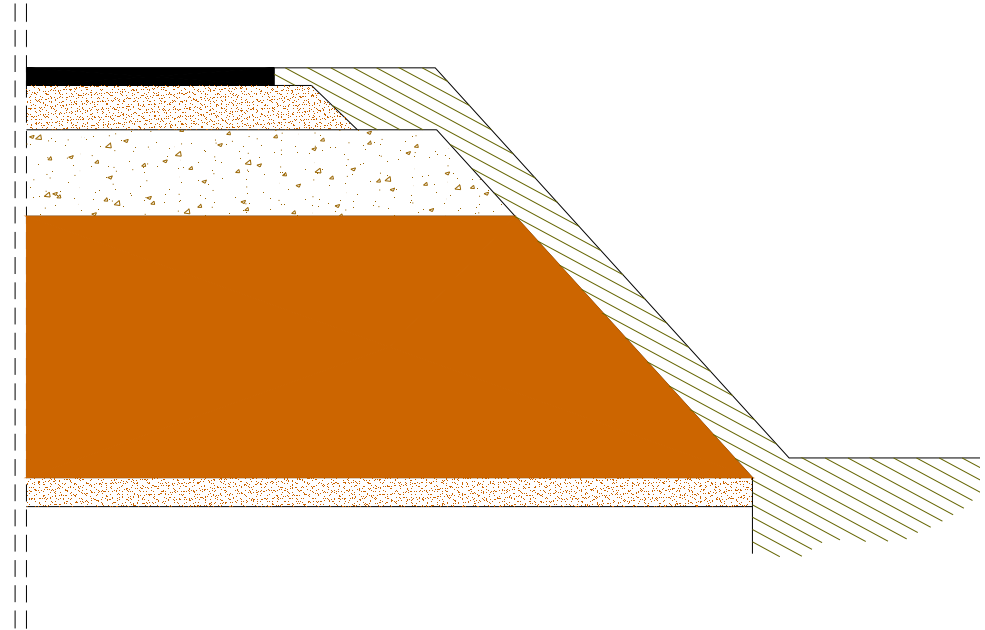
Università di Cassino

Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

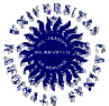
# STABILIZZAZIONE A CALCE

---

- realizzazione di sottofondi stradali
- bonifica dei terreni alla base dei rilevati
- costruzione del corpo dei rilevati



- consolidamento dei terreni (deep-mixing, lime columns, ...)
- bonifica siti inquinati







## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Università di Napoli “Parthenope”

Napoli, 18 aprile 2012



G. Russo - Parametri di trattamento ed efficacia della stabilizzazione a calce



M. Cecconi – Proprietà geotecniche di terreni stabilizzati



G. Russo – Durabilità di un intervento di stabilizzazione a calce

## PARAMETRI DI TRATTAMENTO ED EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

- REAZIONI INDOTTE DALLA CALCE
- IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE
- PERCENTUALE DI CALCE PER LA STABILIZZAZIONE
- EFFETTI DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE
  - caratteristiche fisiche
  - caratteristiche meccaniche





L'ossido di calcio ( $\text{CaO}$ ) si ottiene per cottura in forno (circa  $1000^{\circ}\text{C}$ ) del calcare naturale ( $\text{CaCO}_3$ ):



Le zolle di calce viva sono poi ridotte in polvere



(da Unicalce)



(da Unicalce)

Reazione di idratazione :

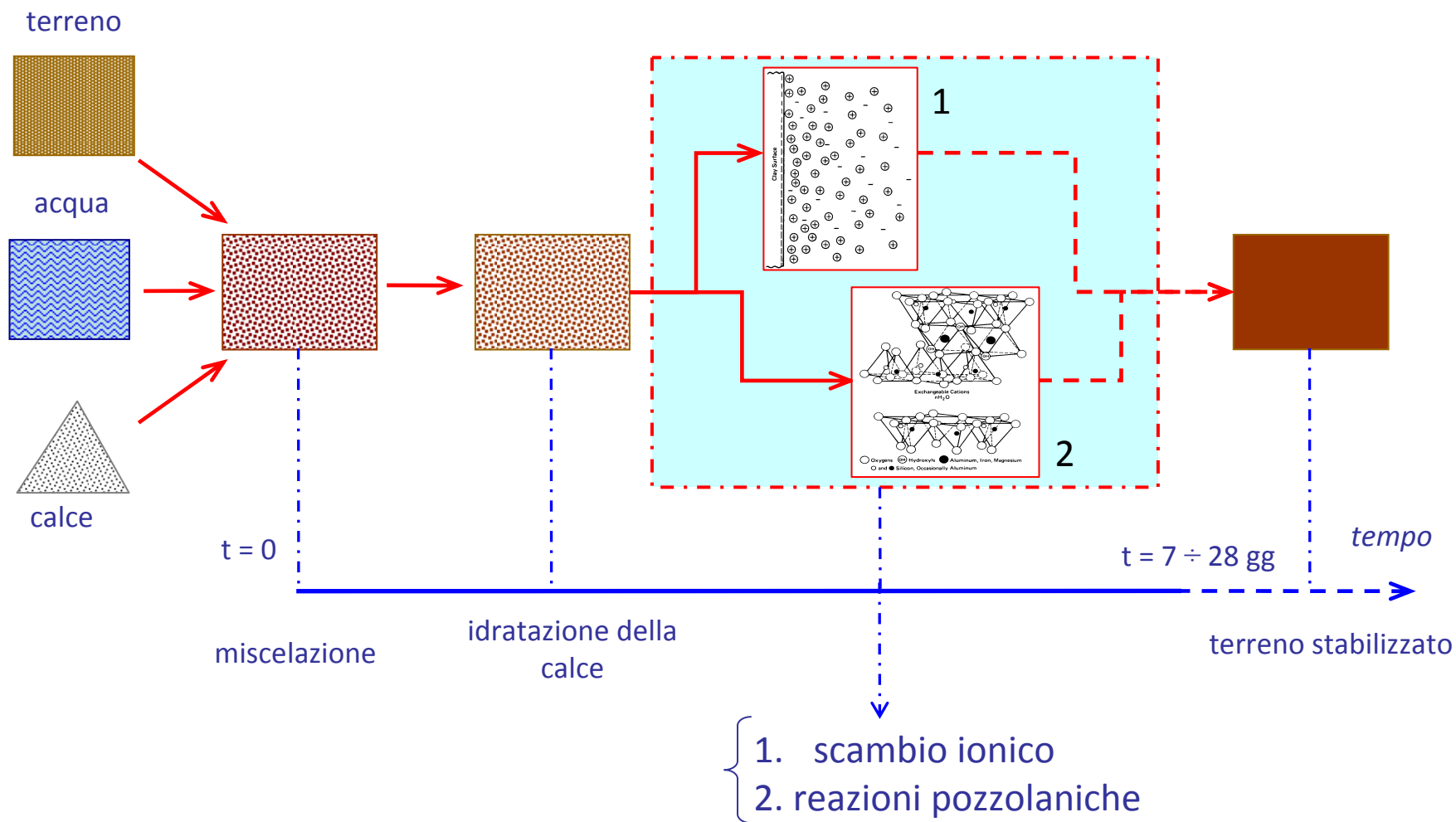


calce idrata:  $\text{Ca(OH)}_2$

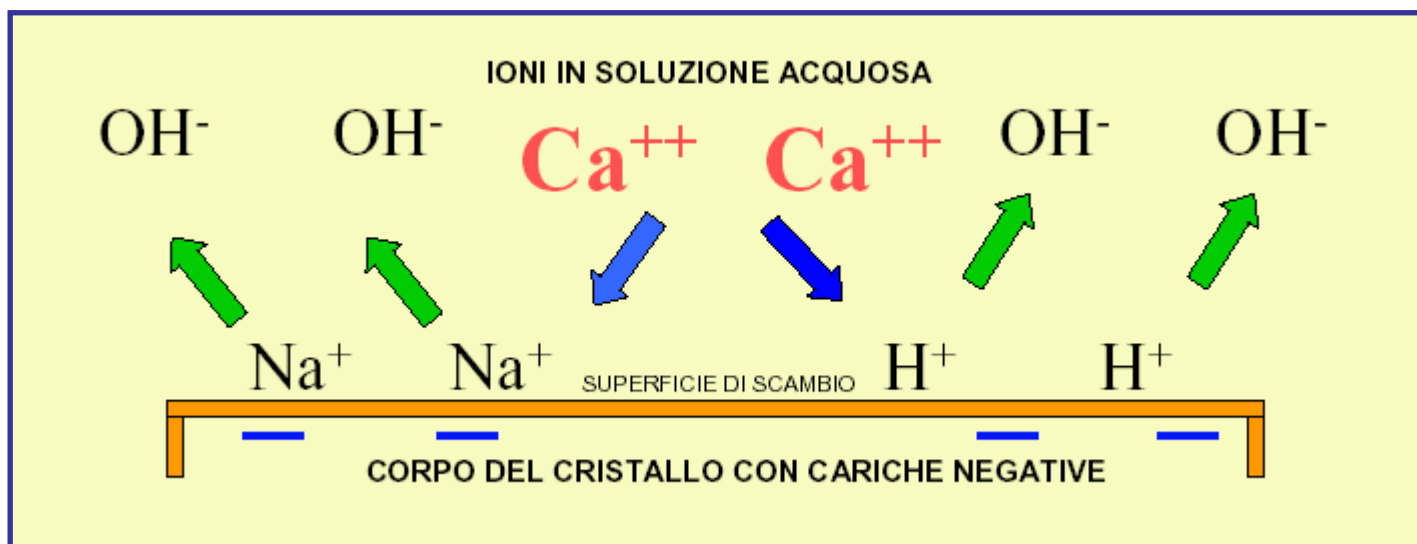
solubilità della calce idrata: 1,65g/l a 20°C

pH della soluzione satura: 12,4

# STABILIZZAZIONE A CALCE



# SCAMBIO IONICO

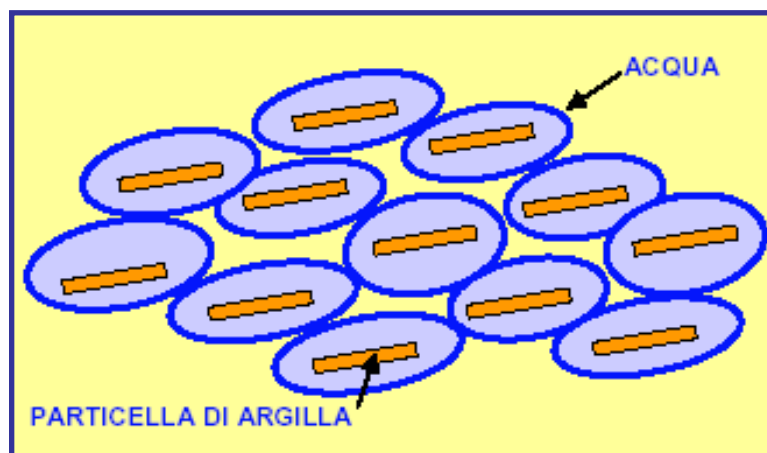


Gli ioni calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) in soluzione acquosa sostituiscono gli ioni ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) presenti sulla superficie del minerale argilloso

La concentrazione di ioni  $\text{H}^+$  rende la soluzione fortemente alcalina: il pH tende al valore che caratterizza la soluzione satura (pH = 12,4)



# SCAMBIO IONICO



struttura dispersa

calce



struttura flocculata



# REAZIONI POZZOLANICHE

---

L'ambiente fortemente alcalino favorisce la dissoluzione di silicio ed alluminio presente nei minerali argillosi

La reazione con gli ioni  $\text{Ca}^{++}$  causa la formazione dei calcio-alluminati idrati (CAH) e i calcio-silicati idrati (CSH) responsabili dei **legami di cementazione** fra gli aggregati

L' "attività pozzolanica" dipende da:

- contenuto di  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

per le pozzolane naturali  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$

- percentuale di composti allo stato amorfo

nelle pozzolane naturali i composti sono allo stato amorfo

nelle argille silice ed allumina si rinvencono in forma di cristalli

- percentuale di frazione fina





# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

---

I terreni destinati alla stabilizzazione non devono contenere agenti che limitino lo sviluppo delle reazioni pozzolaniche

- ridotta percentuale di frazione fina
- sostanza organica
- solfati

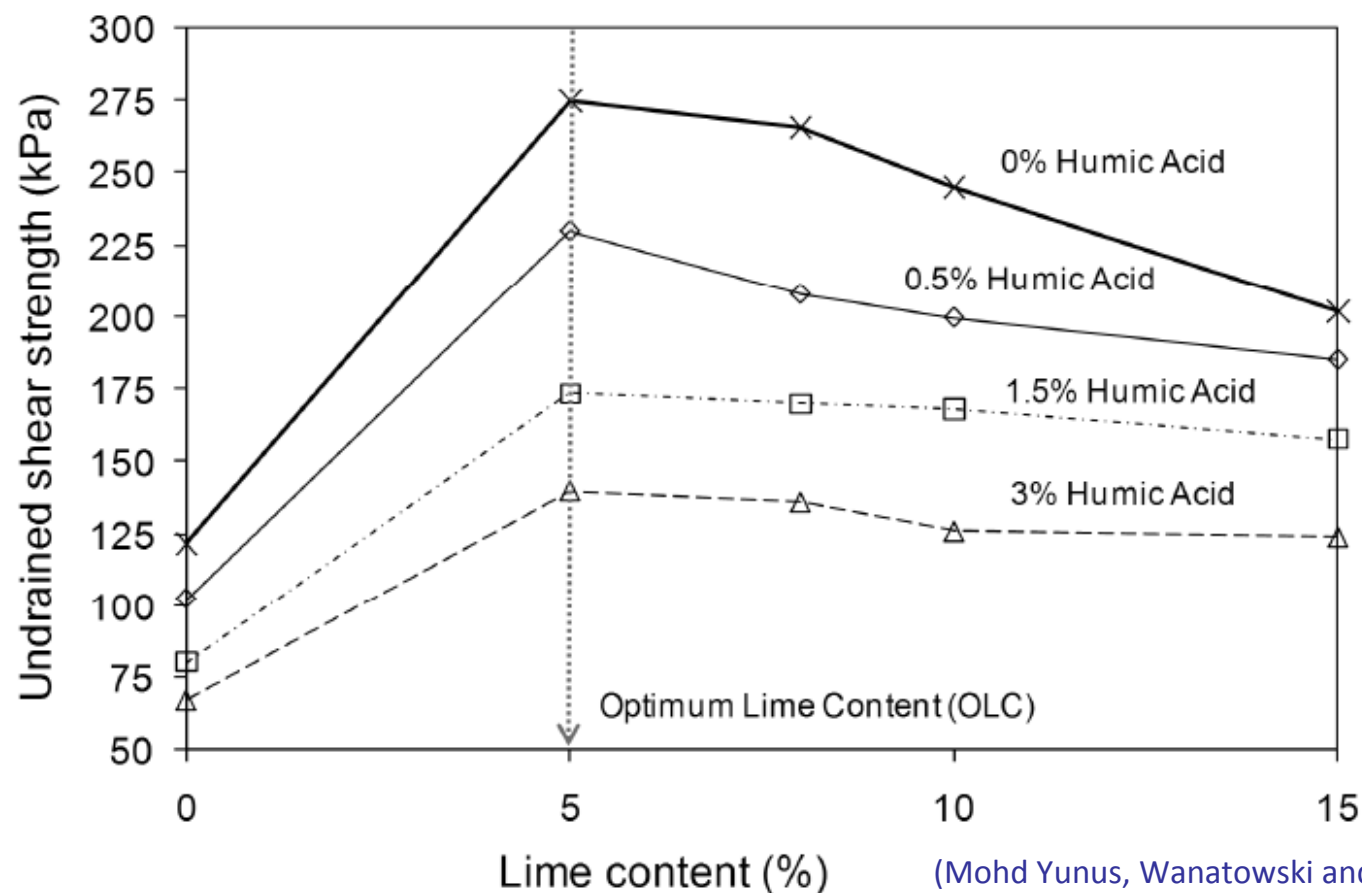
In base a tali considerazioni discende la valutazione relativa alla

**idoneità dei terreni alla stabilizzazione con calce**



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

Effetti della sostanza organica

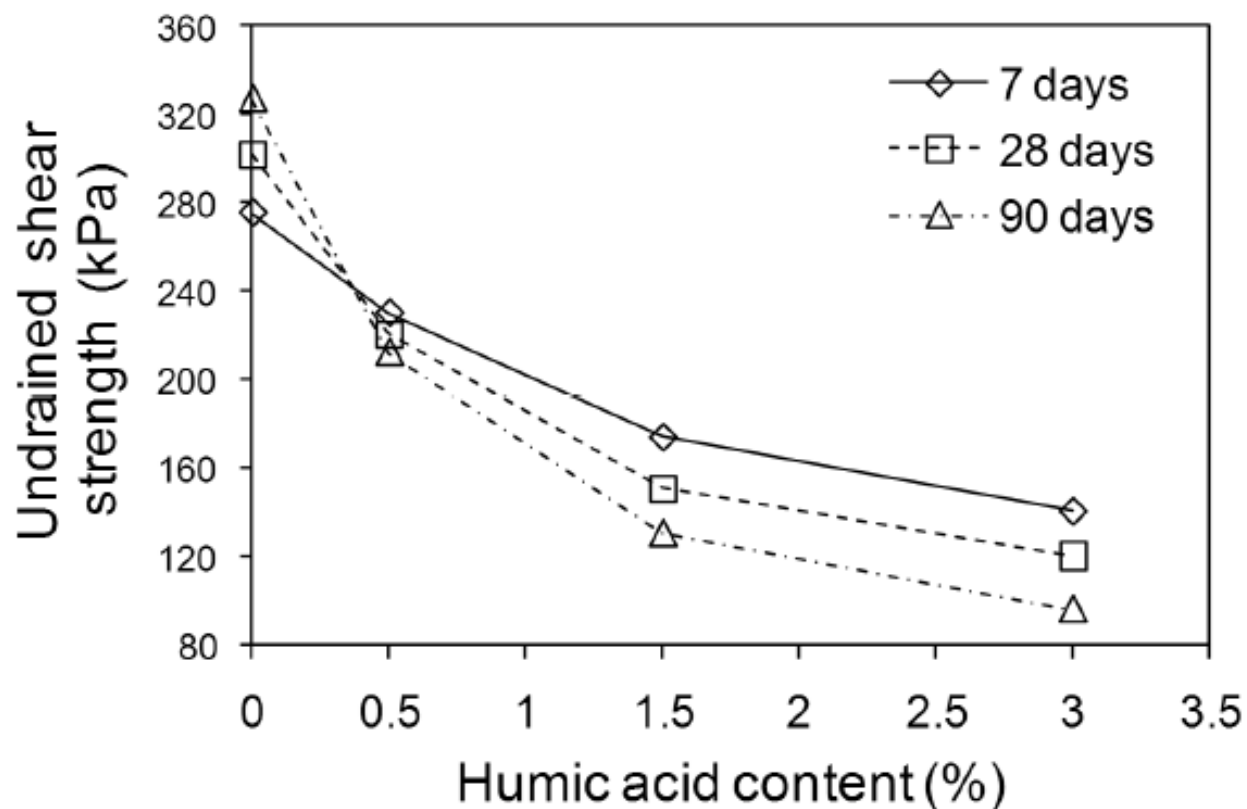


Prove di compressione ELL su provini di caolino stabilizzati  
in presenza di acido umico (  $t = 7$  gg)



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

Effetti della sostanza organica



(Mohd Yunus, Wanatowski and Stace, 2011)

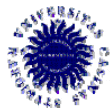
Effetto del tempo di maturazione sulla resistenza al taglio  
di provini stabilizzati (5% calce idrata) in presenza di acido umico



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

---

## Effetti dei solfati





# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

---

Effetti della presenza di solfati



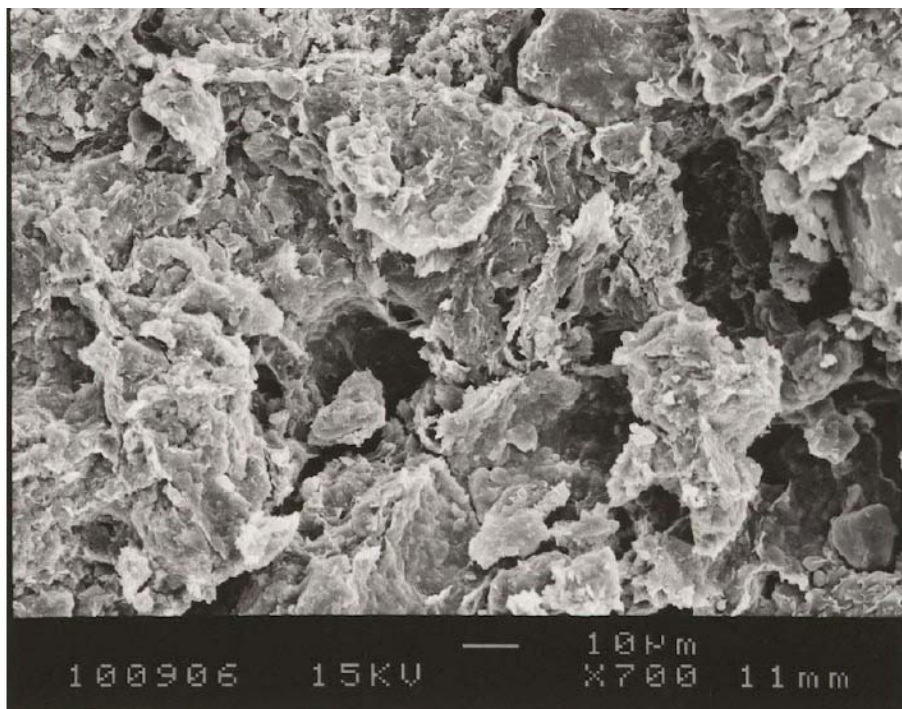
(Harris, 2006)



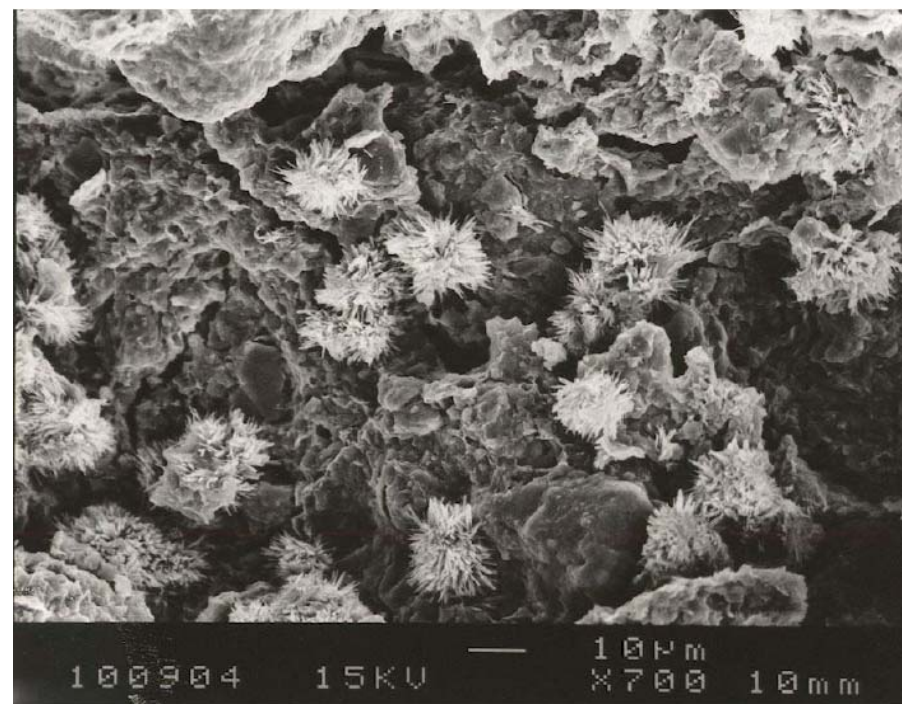
# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

## Effetti della presenza di solfati

In presenza di solfati, l'aggiunta di calce favorisce la formazione di composti espandenti  
(**taumasite, ettringite**)

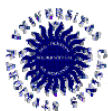


terreno non trattato



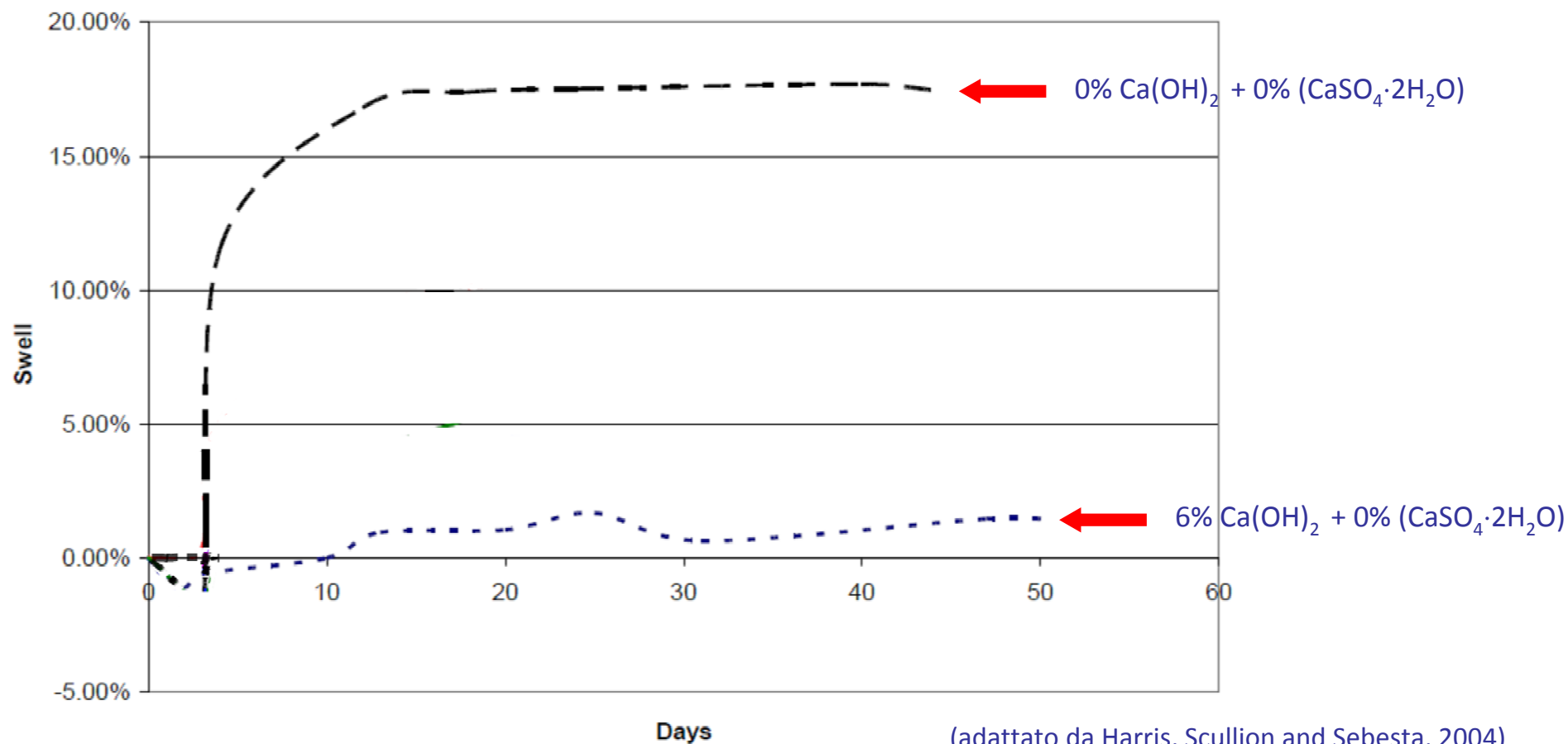
terreno stabilizzato

(Harris, 2006)



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

Effetti della presenza di solfati

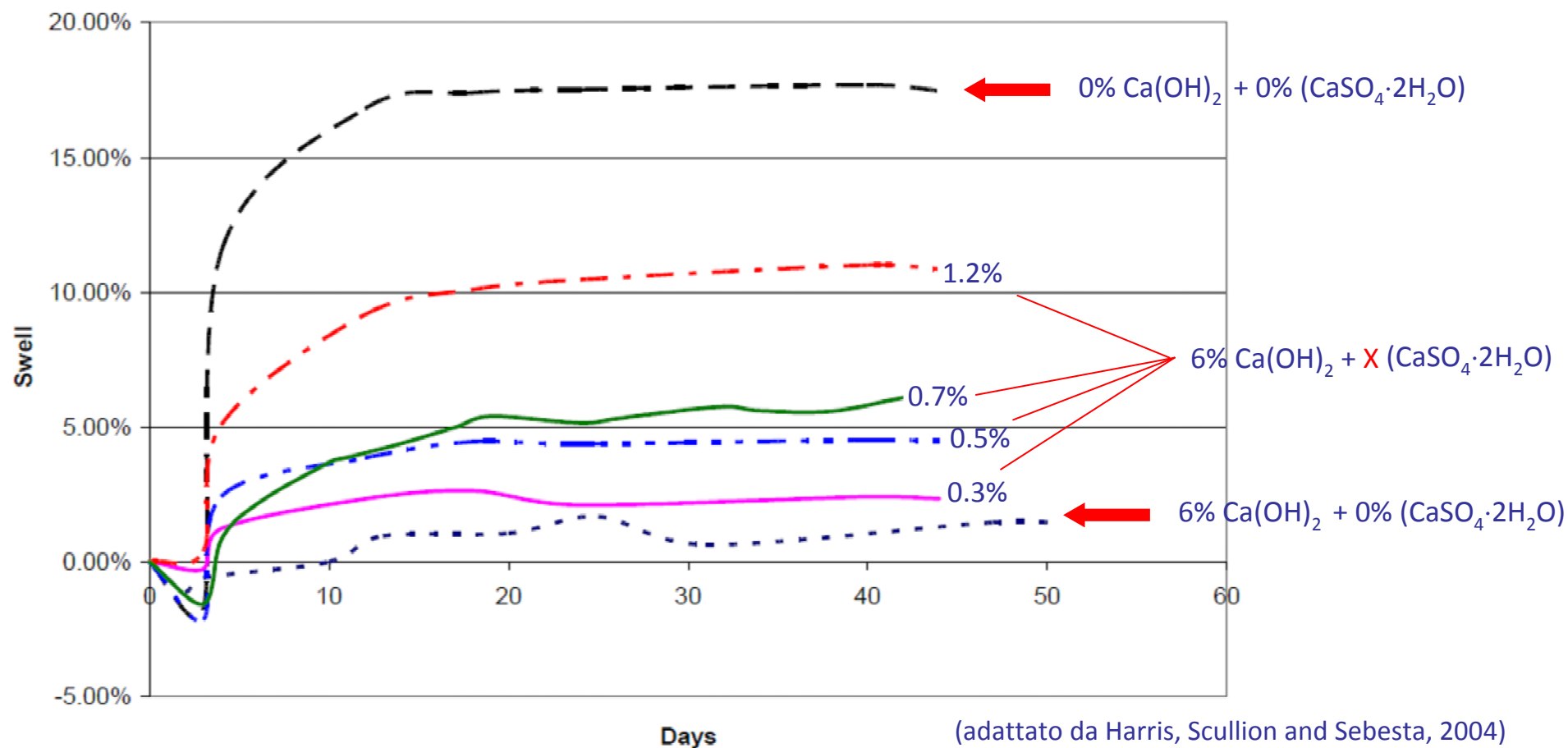


Provini non trattati e stabilizzati con 6% di calce idrata



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

## Effetti della presenza di solfati



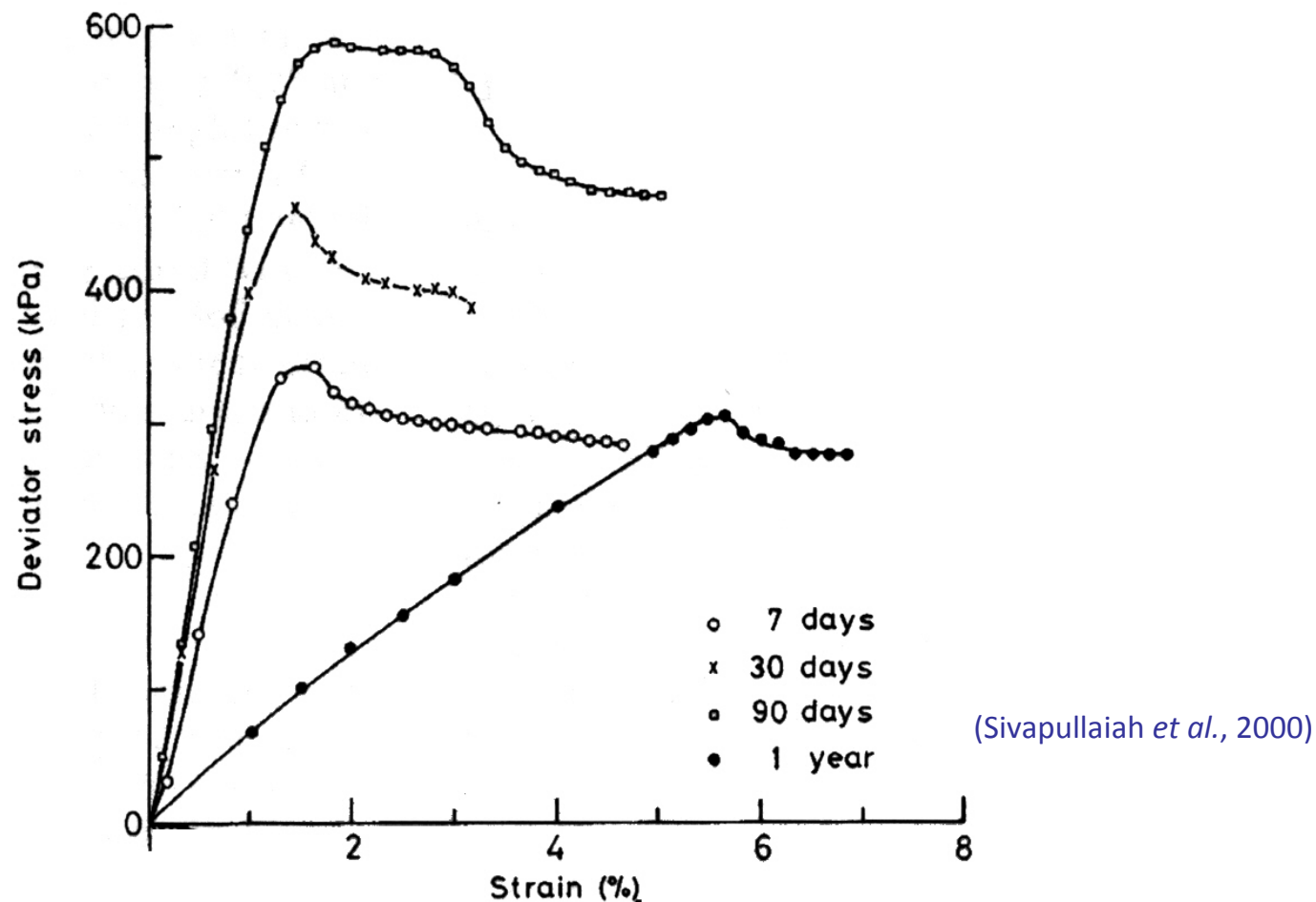
Provini stabilizzati (6% calce idrata) in presenza di varie percentuali di solfati





# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

Effetti della presenza di solfati



Resistenza al taglio di provini stabilizzati (6% calce idrata ) in presenza del 3.0%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$



# IDONEITA' DEI TERRENI ALLA STABILIZZAZIONE

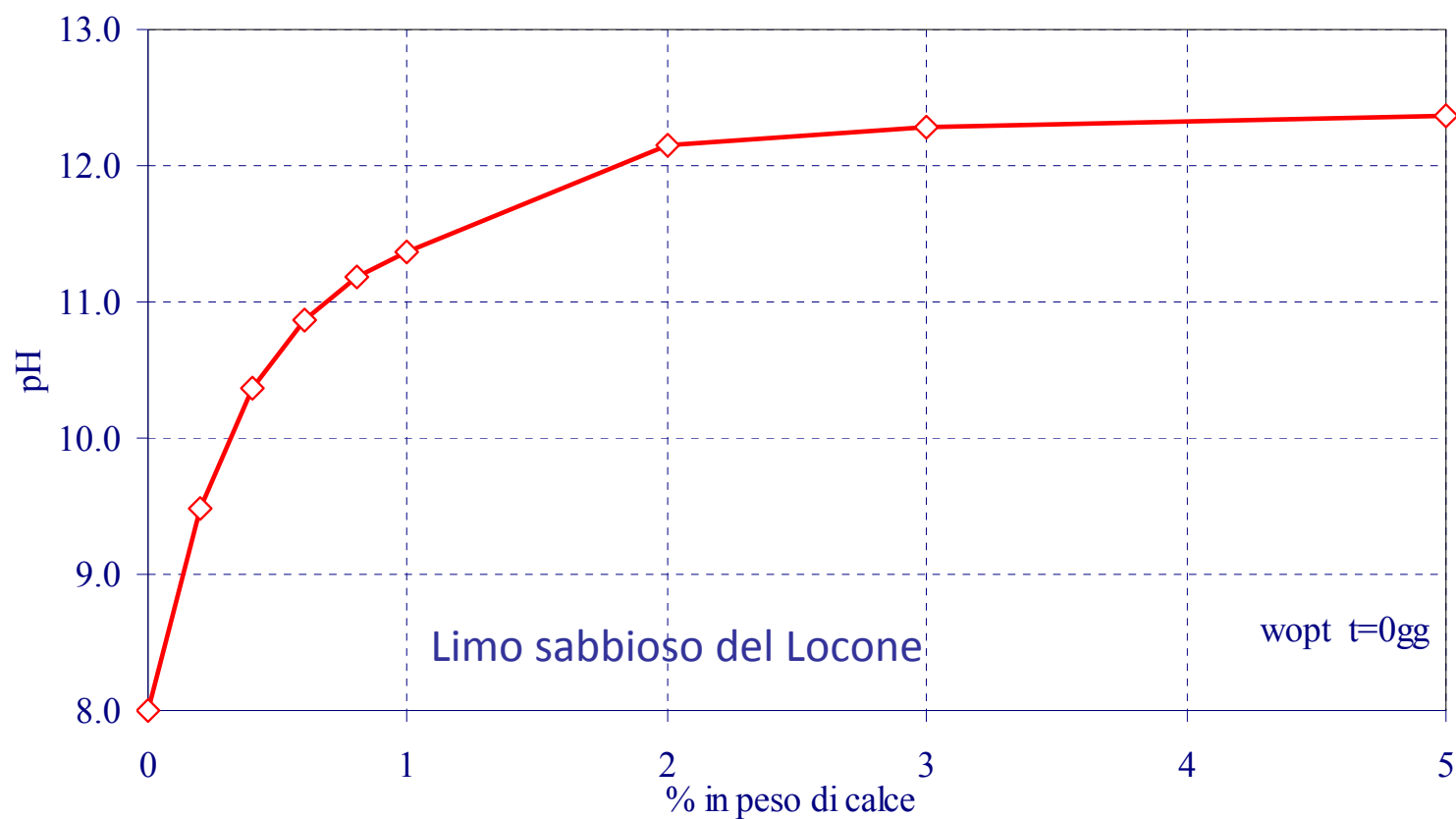
LIMITI DI ACCETTAZIONE DEL TERRENO NATURALE			
Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Requisito	Limiti di accettabilità
Curva granulometrica	UNI EN 933-2	Passante al setaccio 0,075 mm	$\geq 35\%$
		Passante al setaccio 0,063 mm	$\geq 12\%^{(1)}$
Limiti di atterberg	CNR 10014 – UNI CEN ISO/TS 17892-12	Indice di plasticità IP	$>5$
Contenuto in sostanze organiche	STMD 2974	Sostanze organiche	$< 2\%^{(2)}$
Contenuto in solfati e nitrati	Metodo in Gazzetta Chimica IT-36, 492	Solfati totali (solfati e solfuri)	$< 0,25\%^{(3)}$
		Nitrati	$< 0,1\%$
Classificazione HRB-AASHTO	Tabella HRB-AASHTO	Argille e limi argillosi, limi	A4, A6, A7-5, A7-6,

(da ITALFERR, 2009)



# PERCENTUALE DI CALCE PER LA STABILIZZAZIONE

Valutazione della percentuale minima in peso di calce (Consumo Iniziale di Calce, C.I.C.)




# EFFETTI DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

**Natura e stato fisico del terreno non trattato**


**Scambio ionico + reazioni pozzolaniche**

  
**EFFICACIA**

- 
- Modifica della distribuzione granulometrica
  - Riduzione della plasticità
  - Modifica delle caratteristiche di compattamento
  - Riduzione della compressibilità
  - Aumento della resistenza al taglio

**Parametri di trattamento**

  
**EFFICIENZA**

- 
- Tipo di calce
  - Percentuale in peso di calce
  - Energia di compattamento
  - Contenuto d'acqua al compattamento
  - Tempo di maturazione

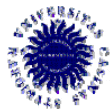
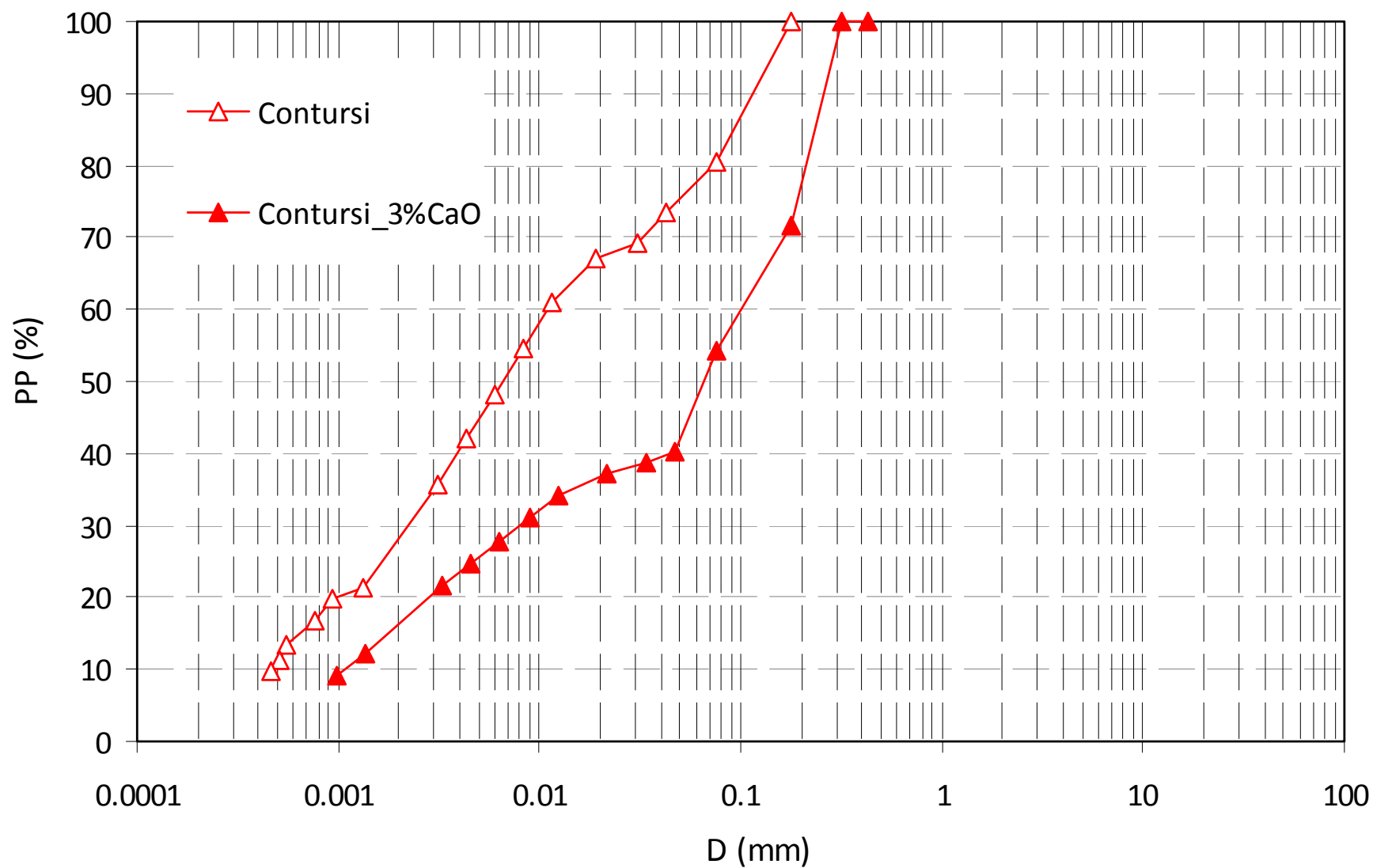


# TERRENI OGGETTO DI SPERIMENTAZIONE

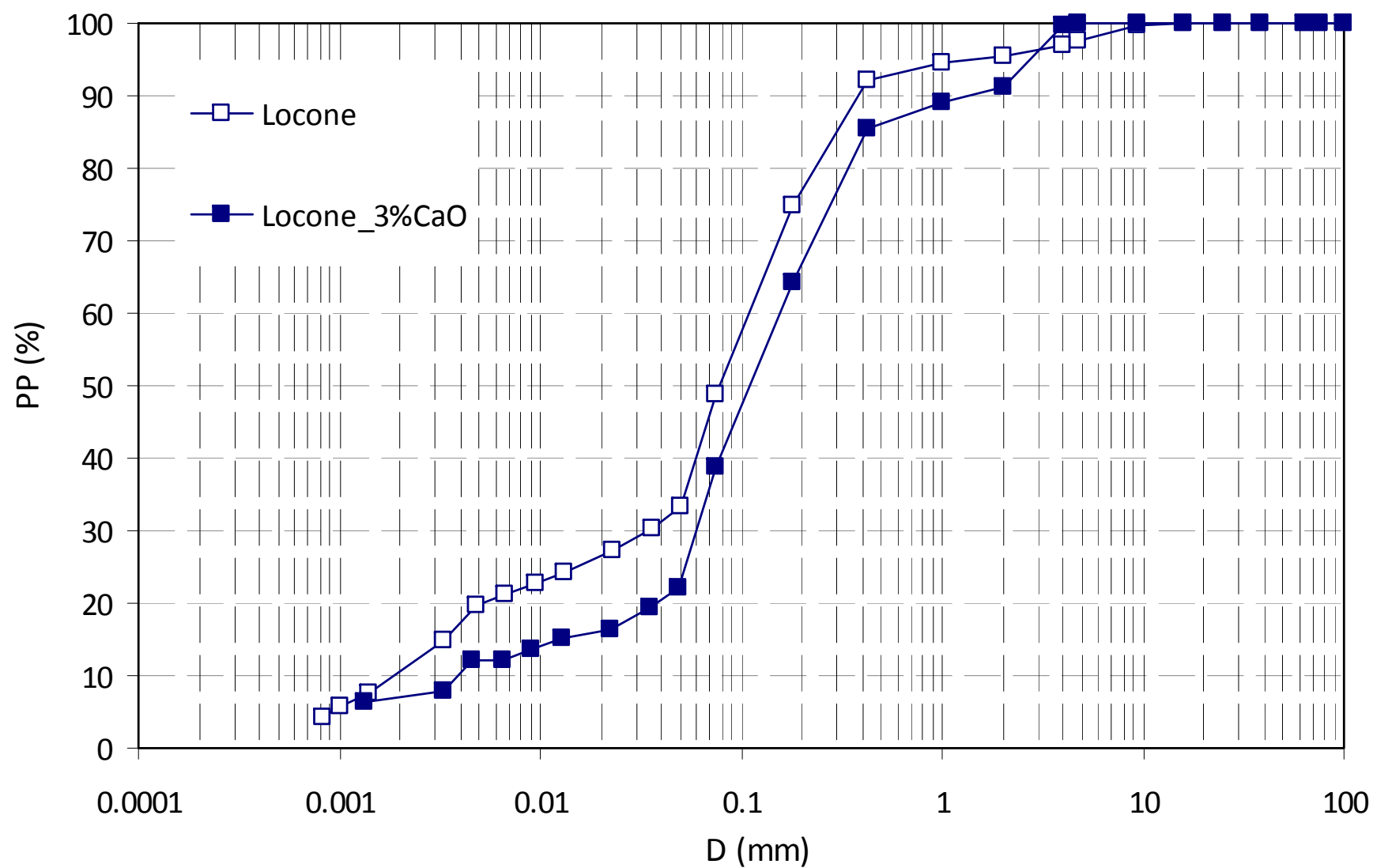
Poggiolino	argilla a struttura complessa
Contursi	argilla a struttura complessa
Benevento	argilla natura alluvionale
Locone	limo sabbioso natura alluvionale
Monteforte	piroclastite
Roma	piroclastite



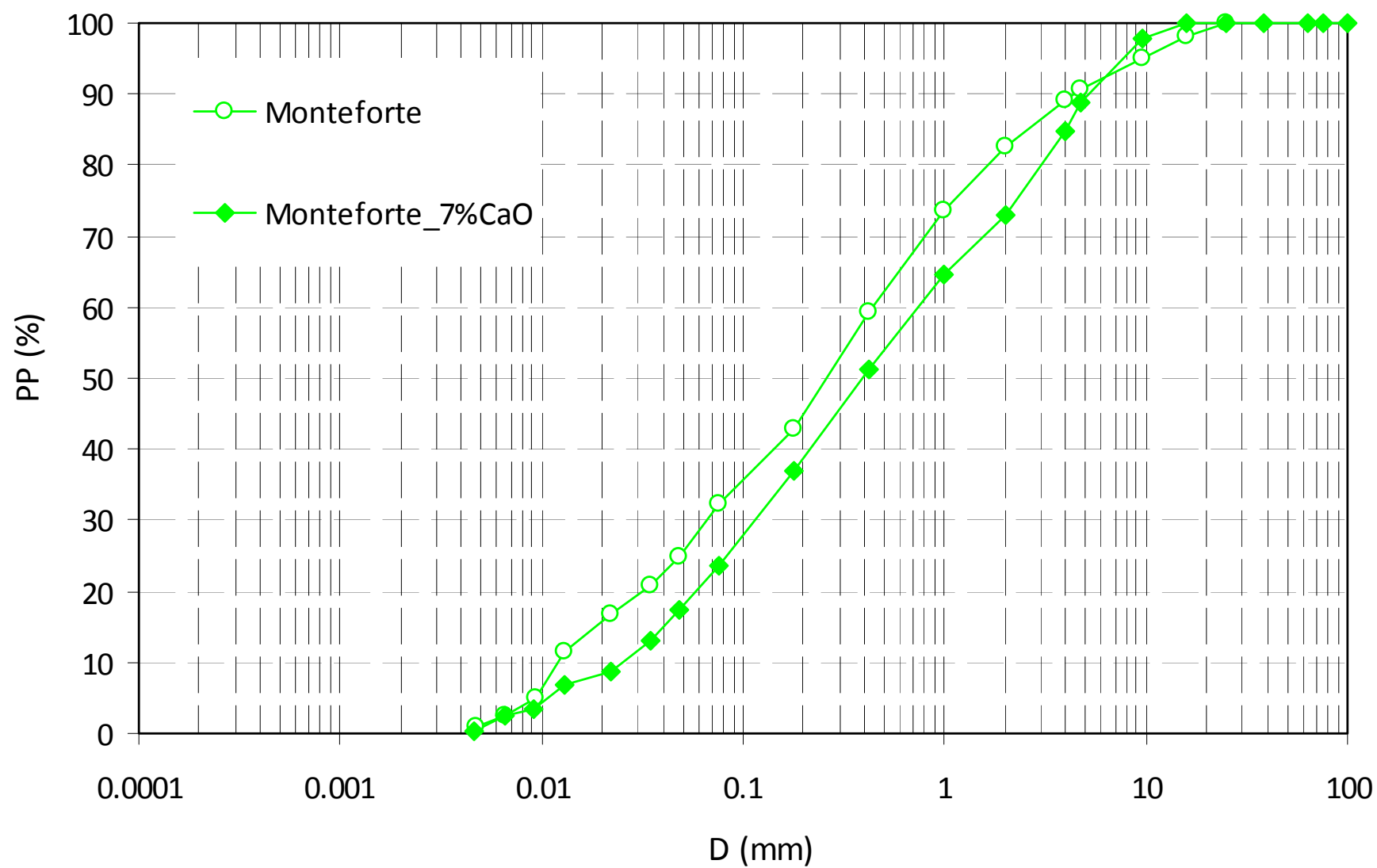
# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

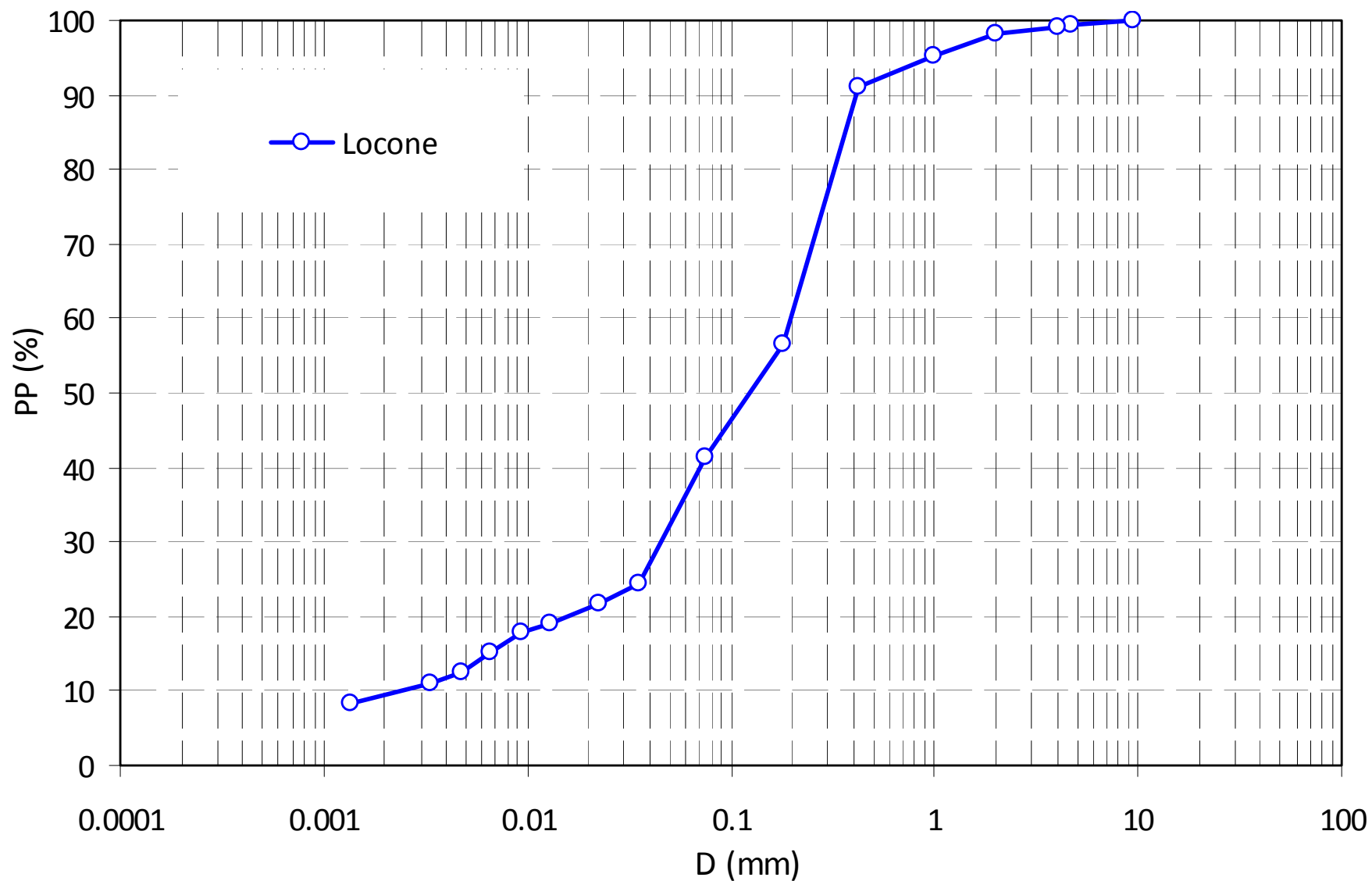


# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

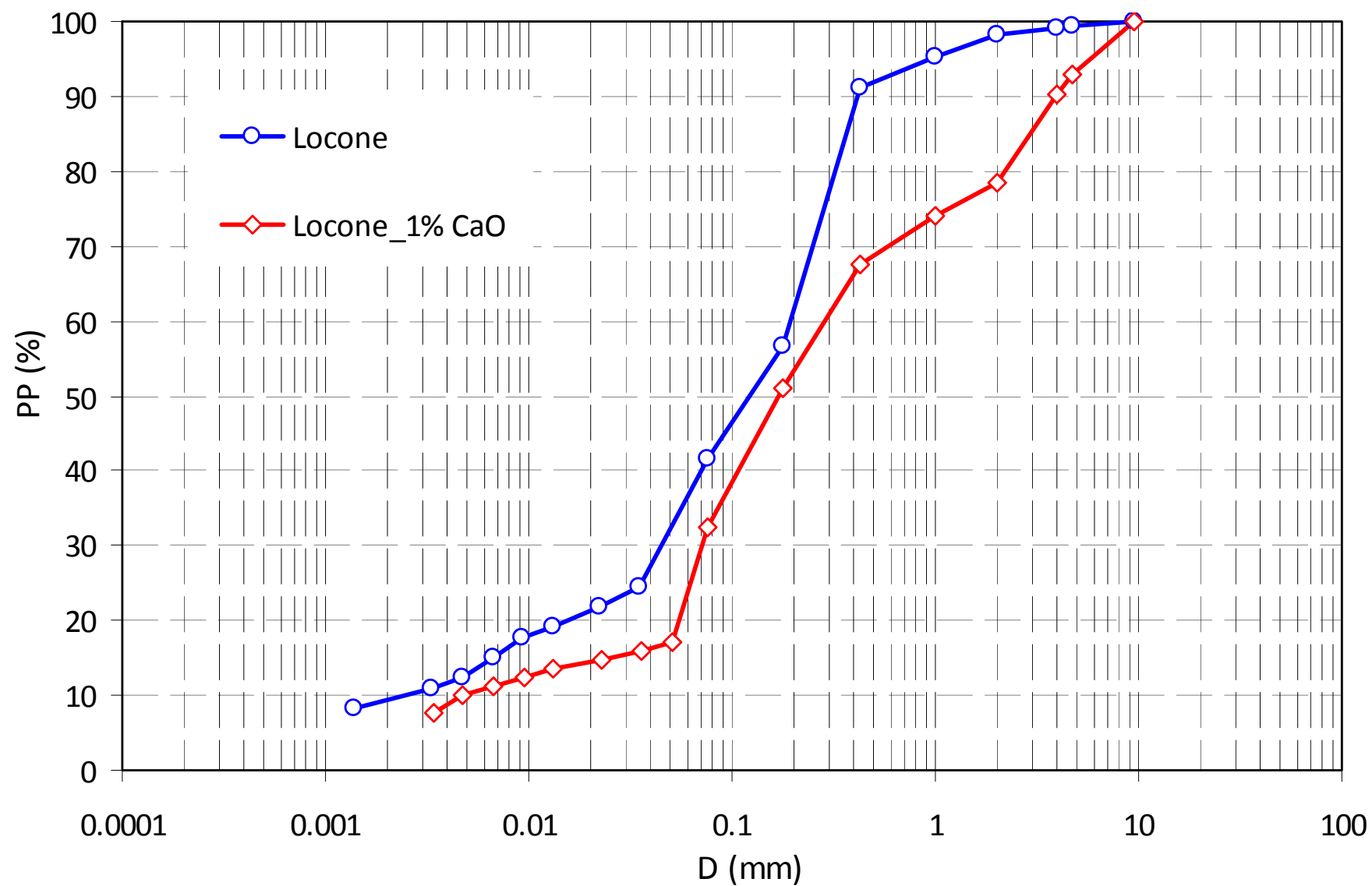




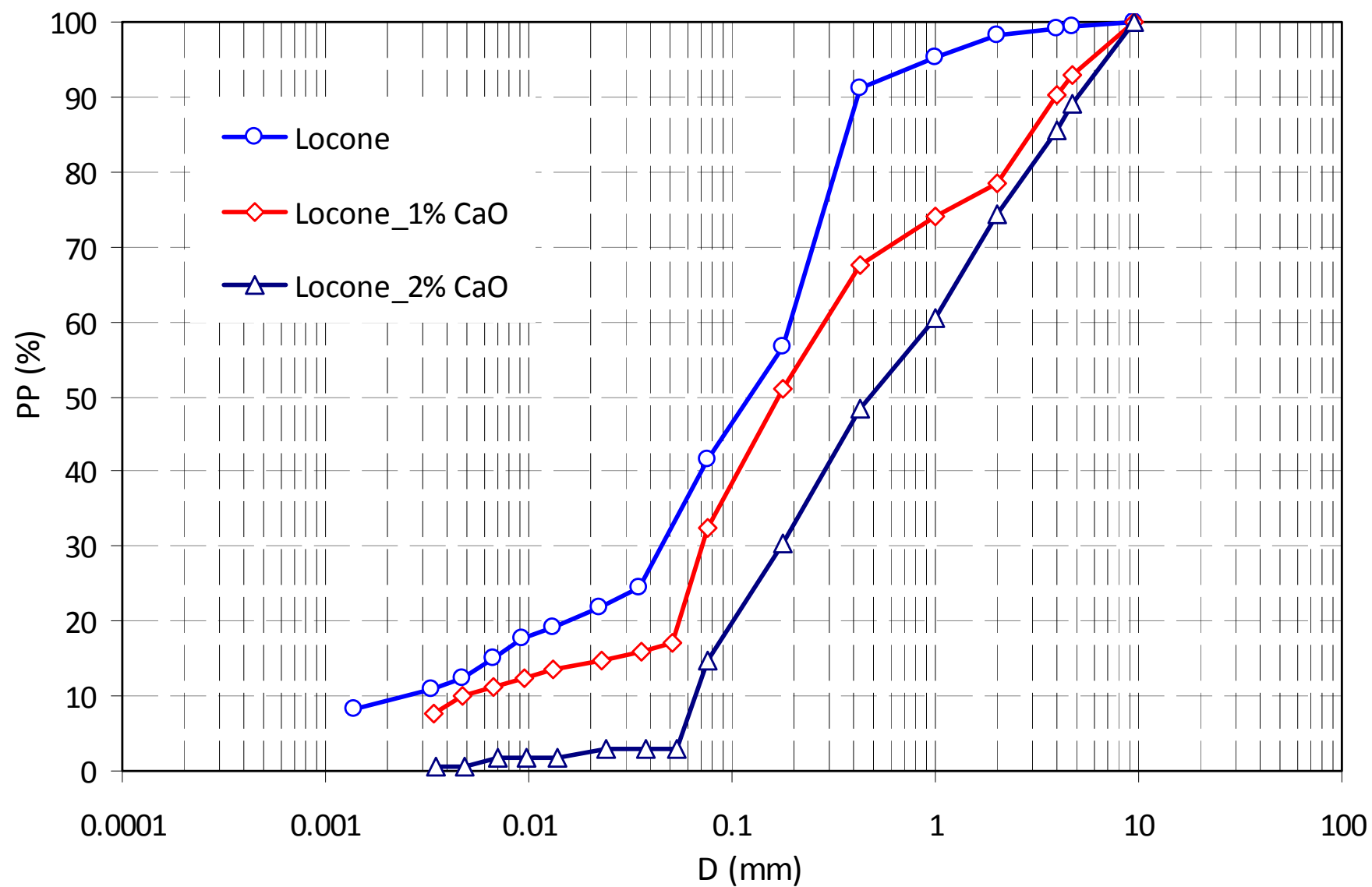
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



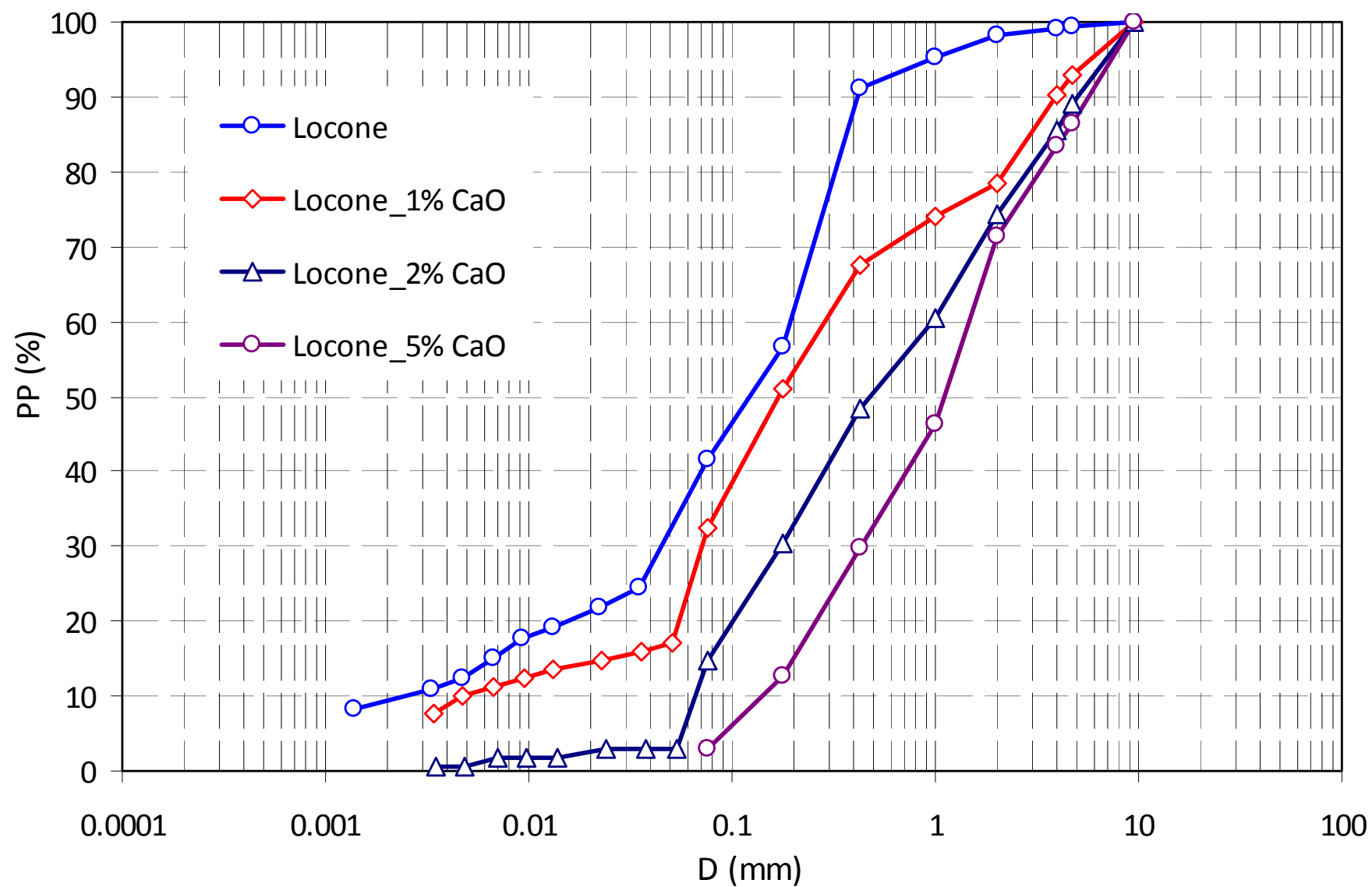
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



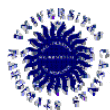
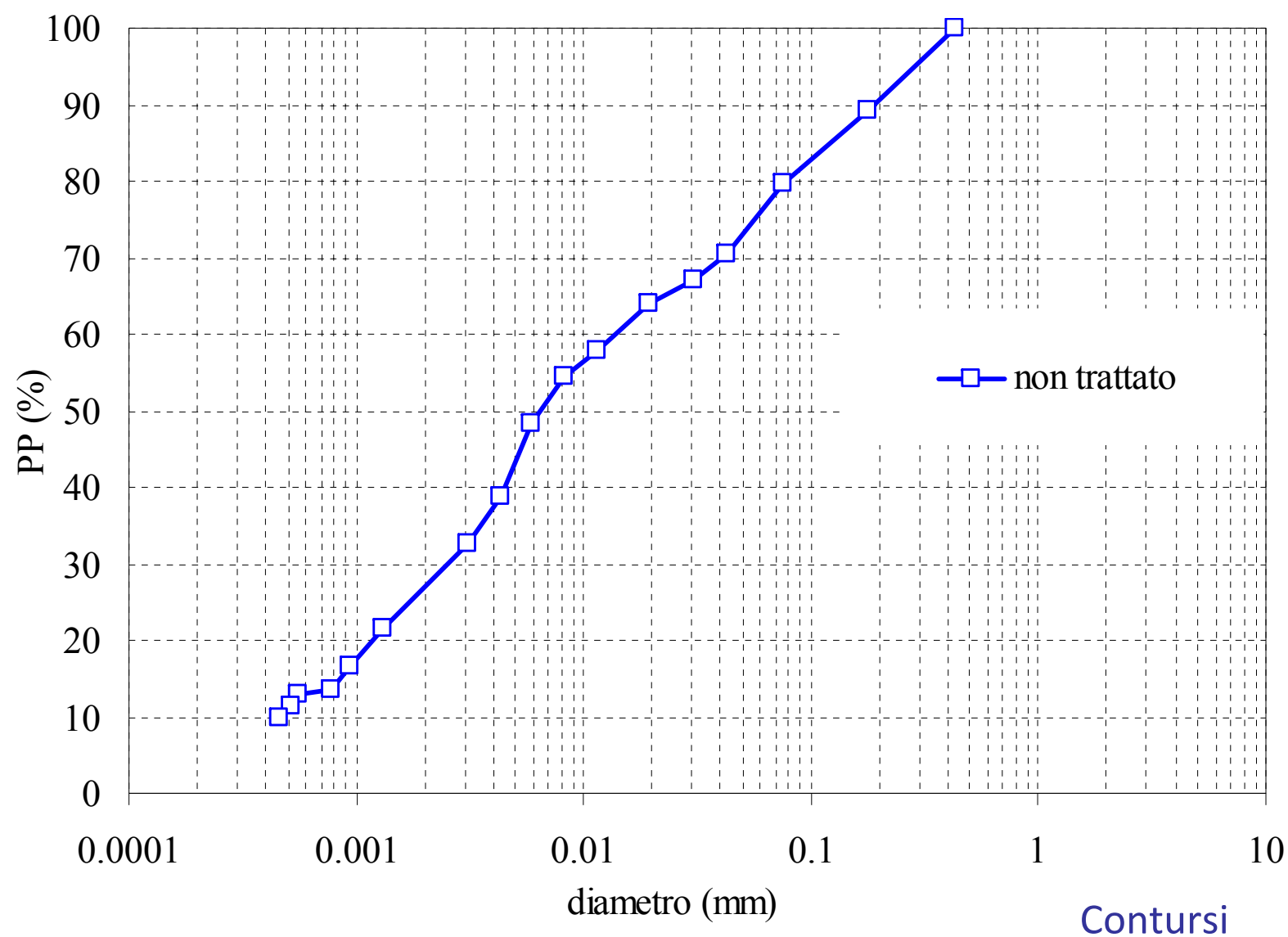
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



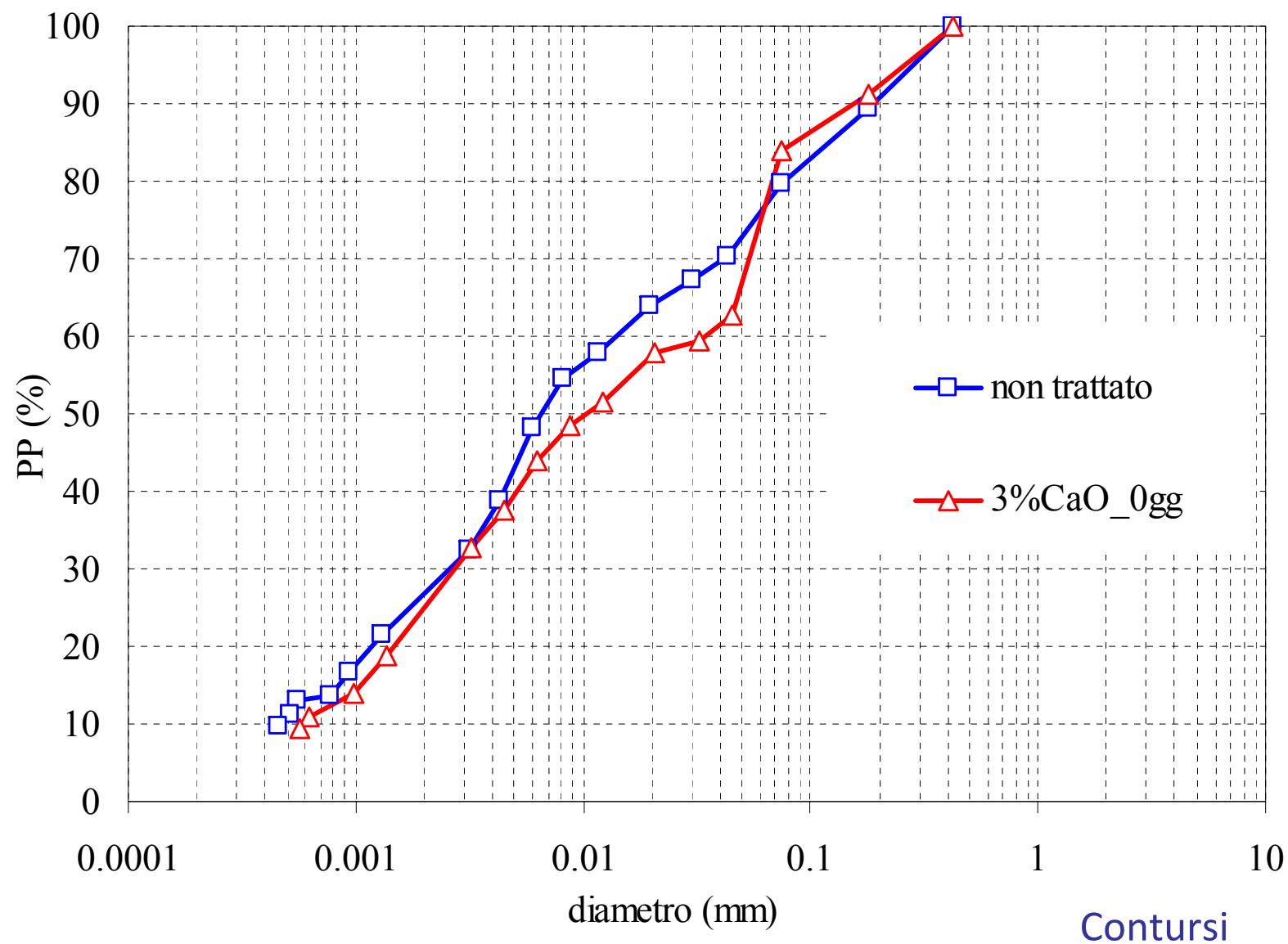
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



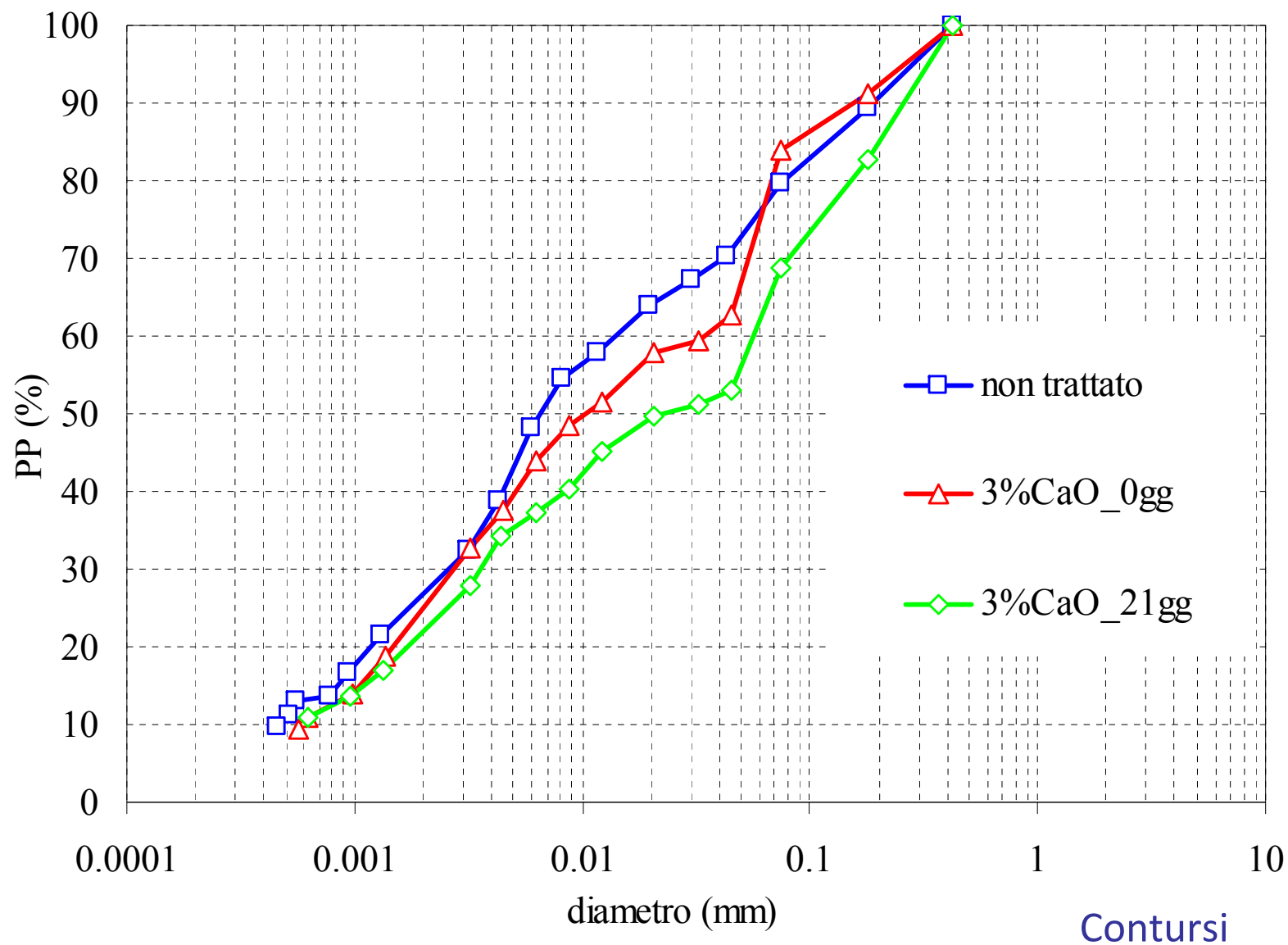
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



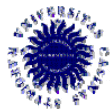
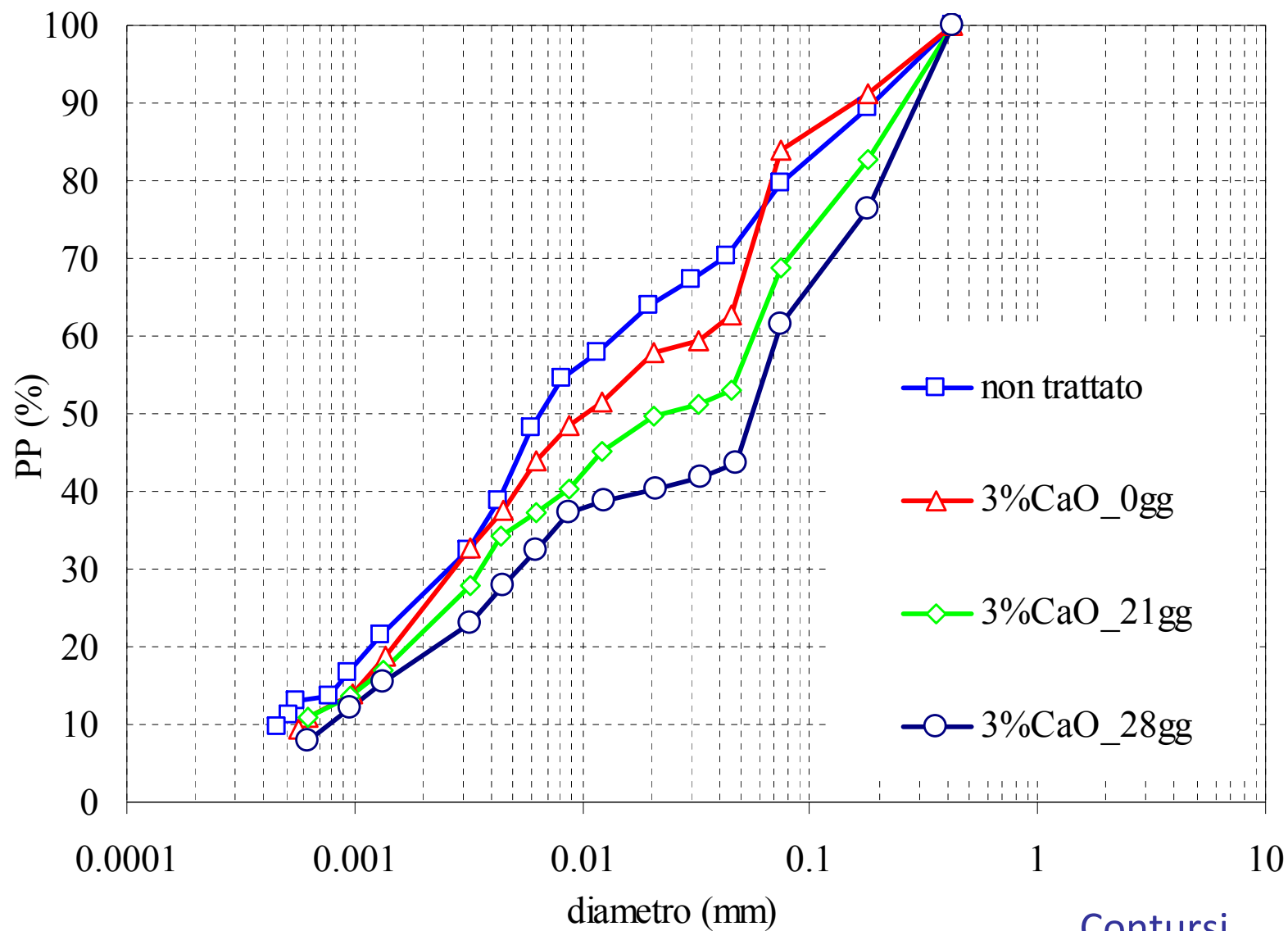
Contursi



# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

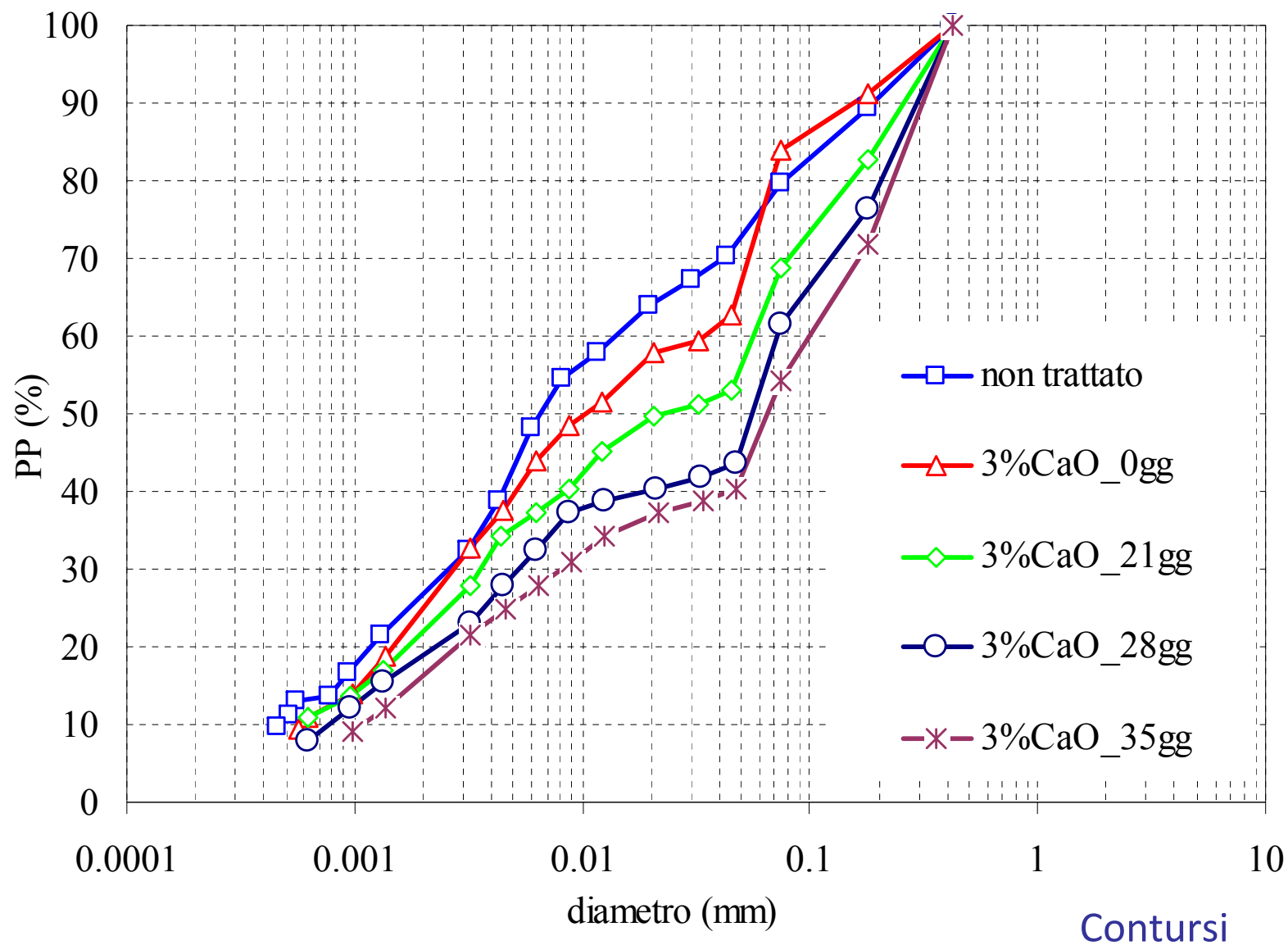


# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

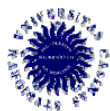
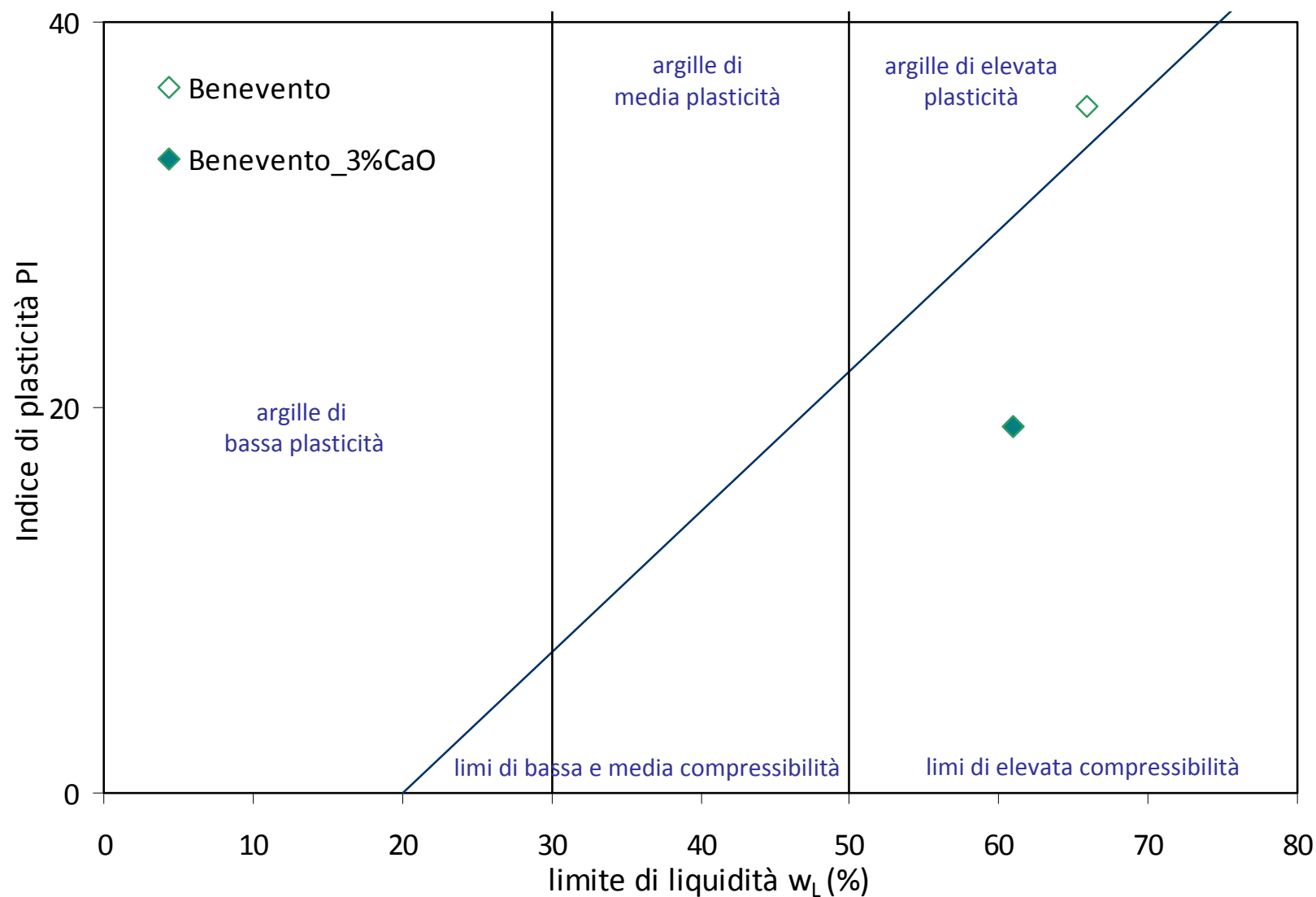




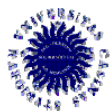
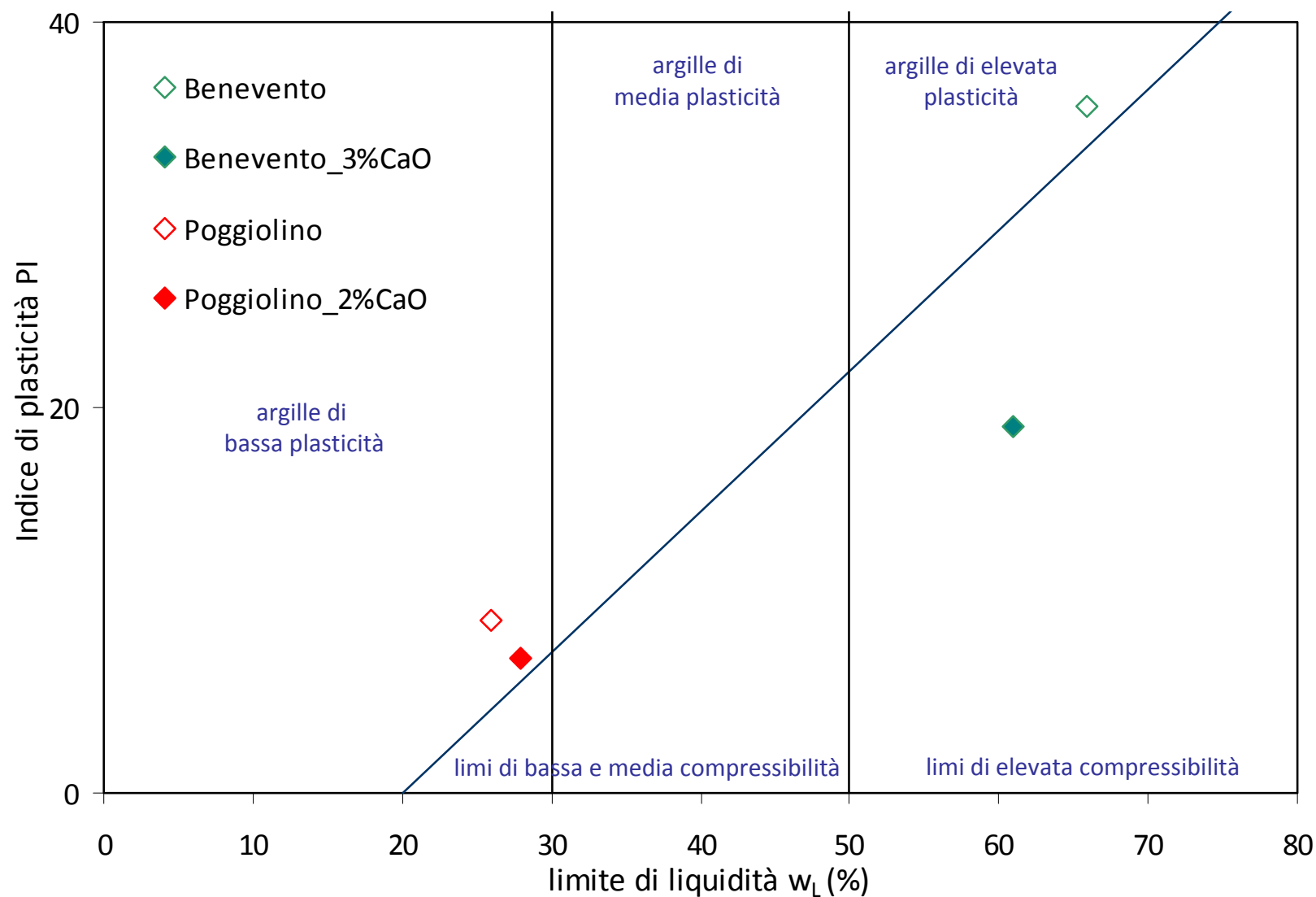
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



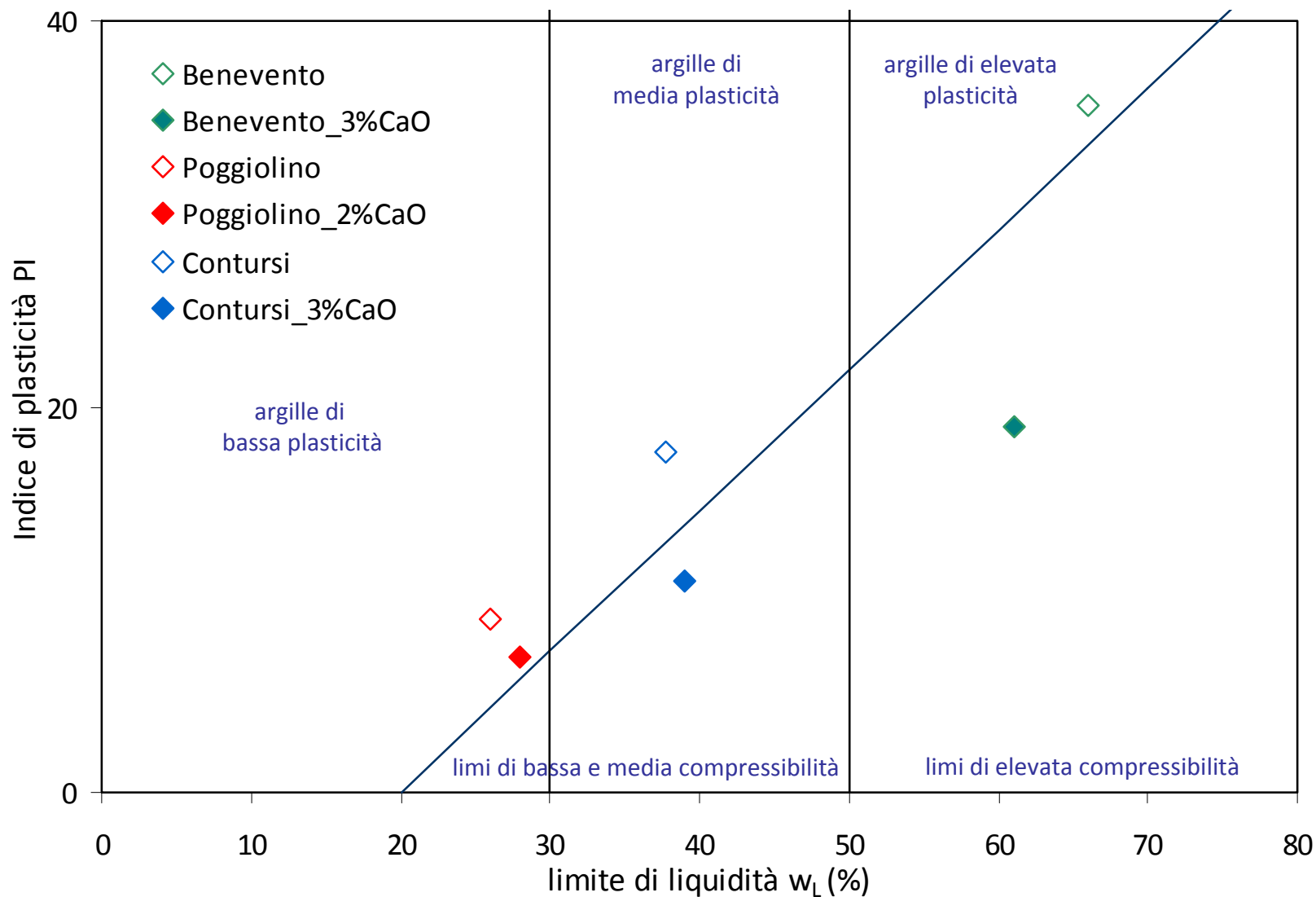
# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



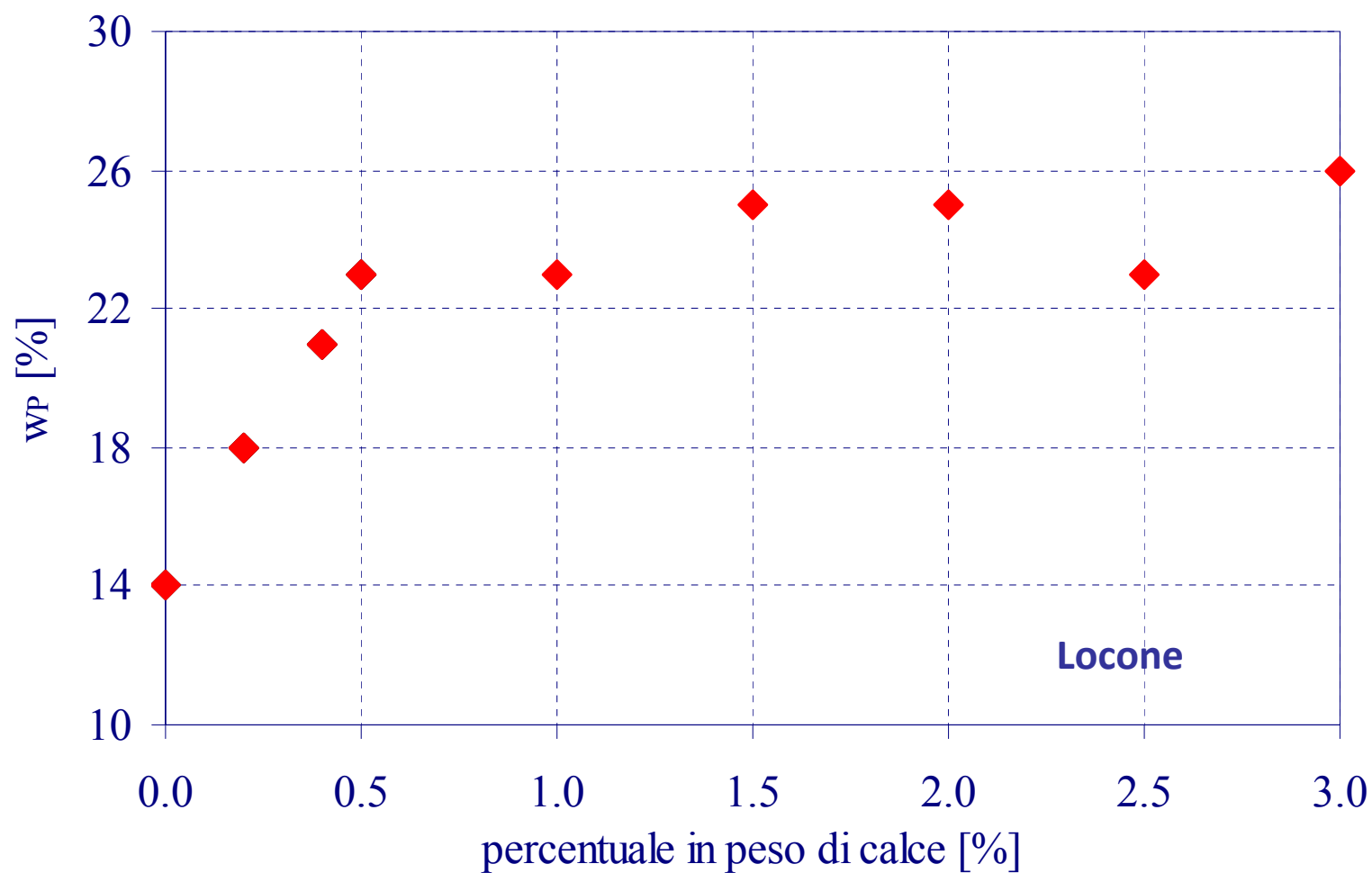
# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



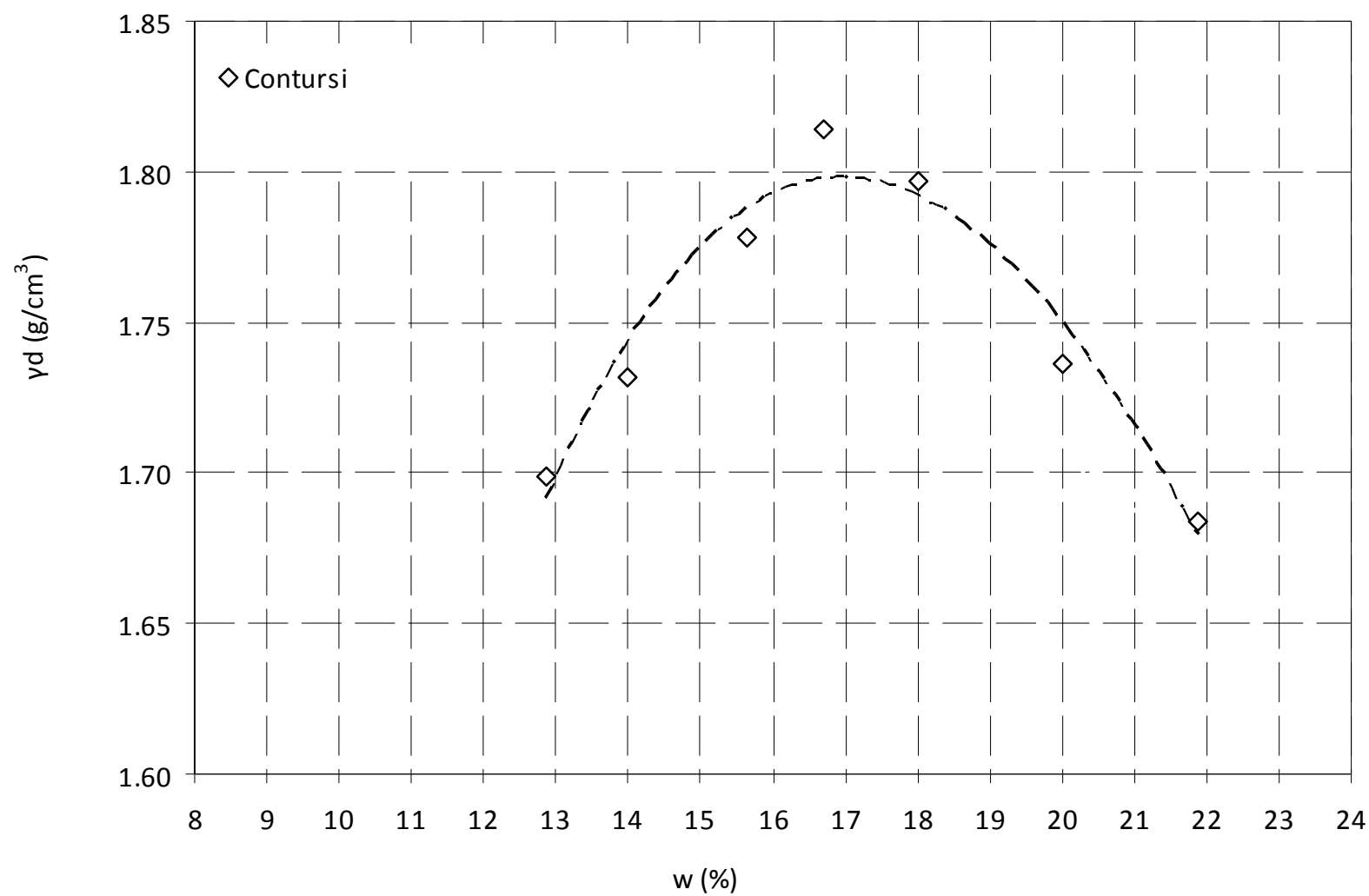
# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



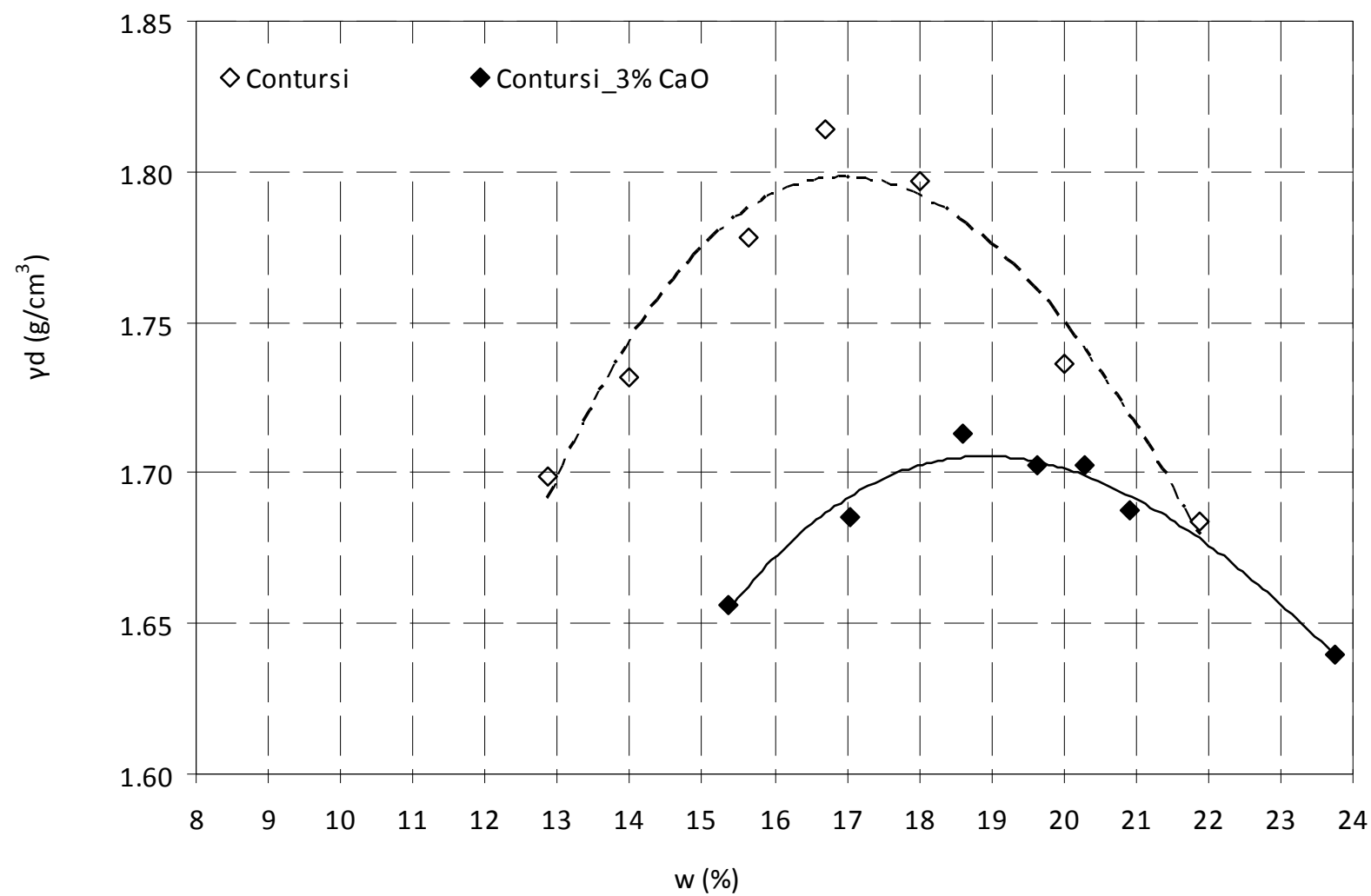
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



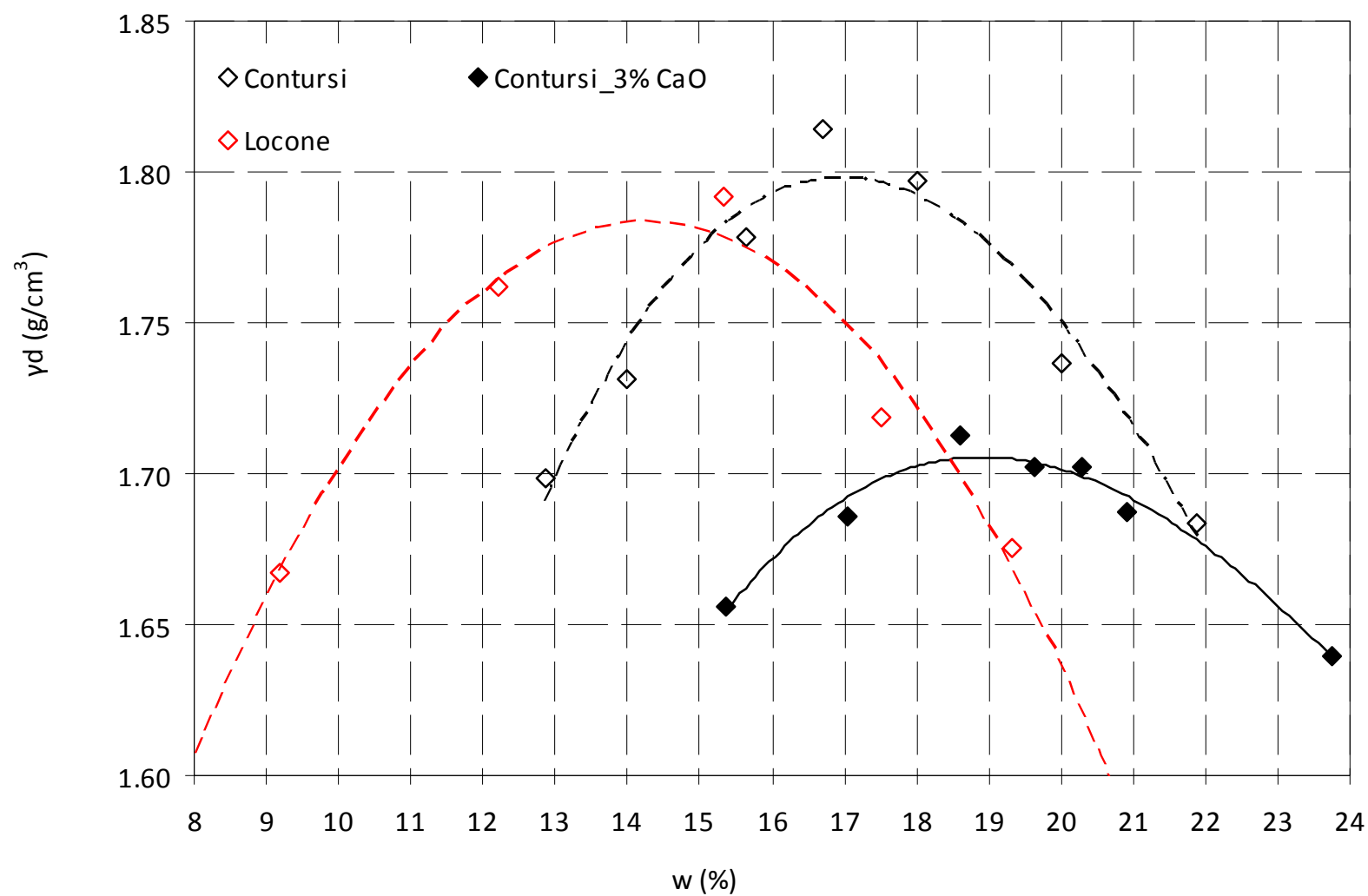
# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

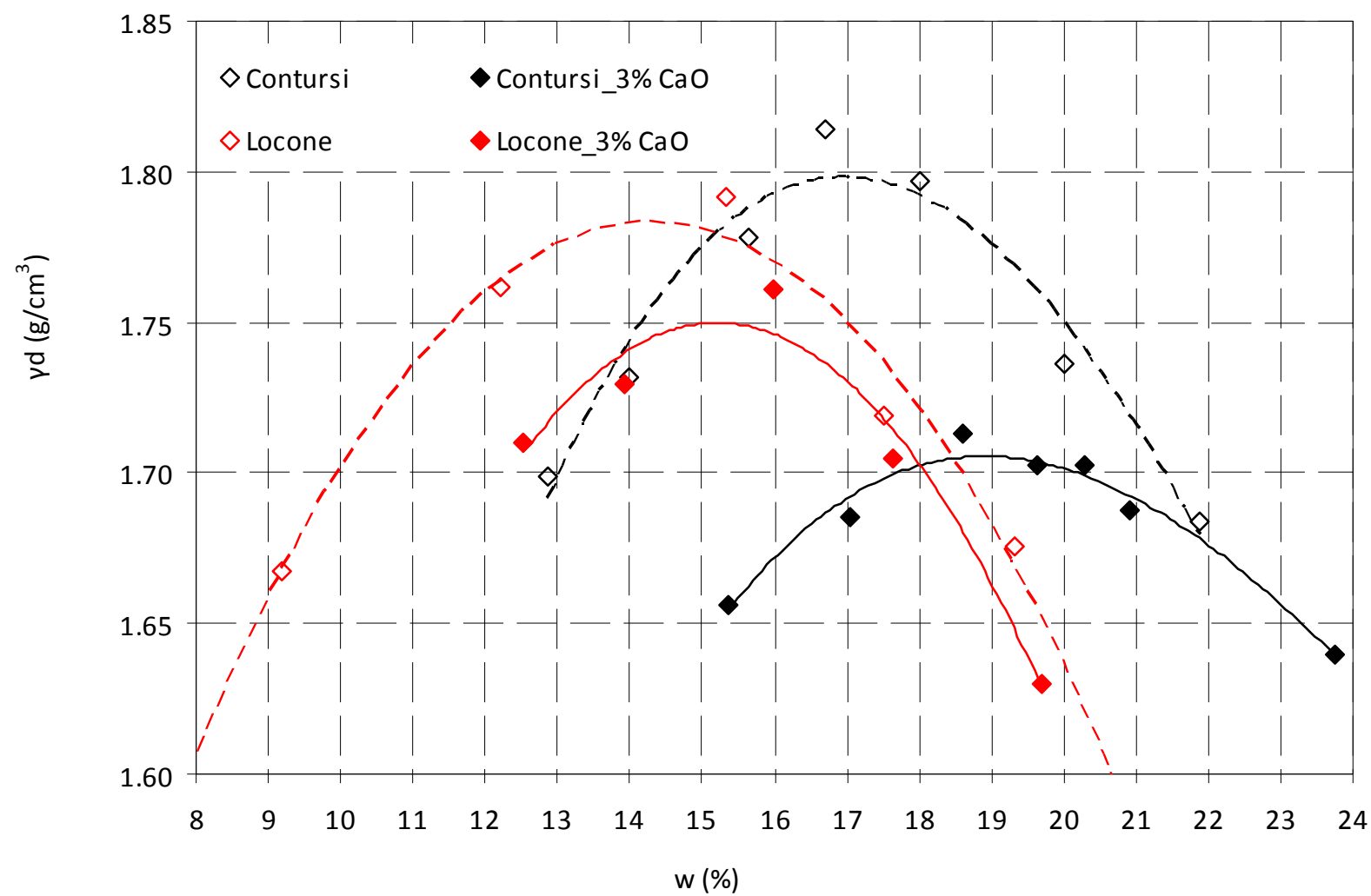


# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE

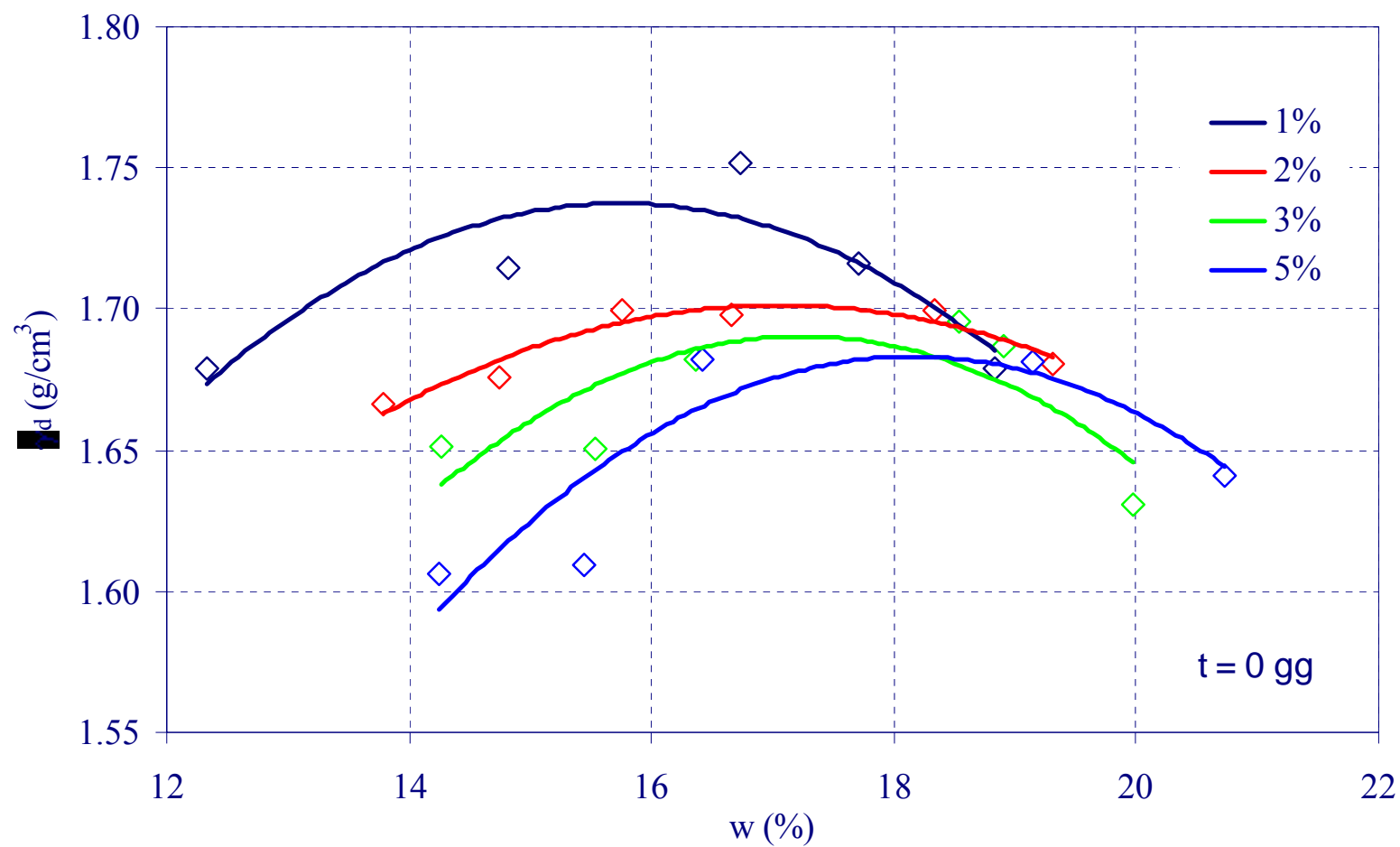




# EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



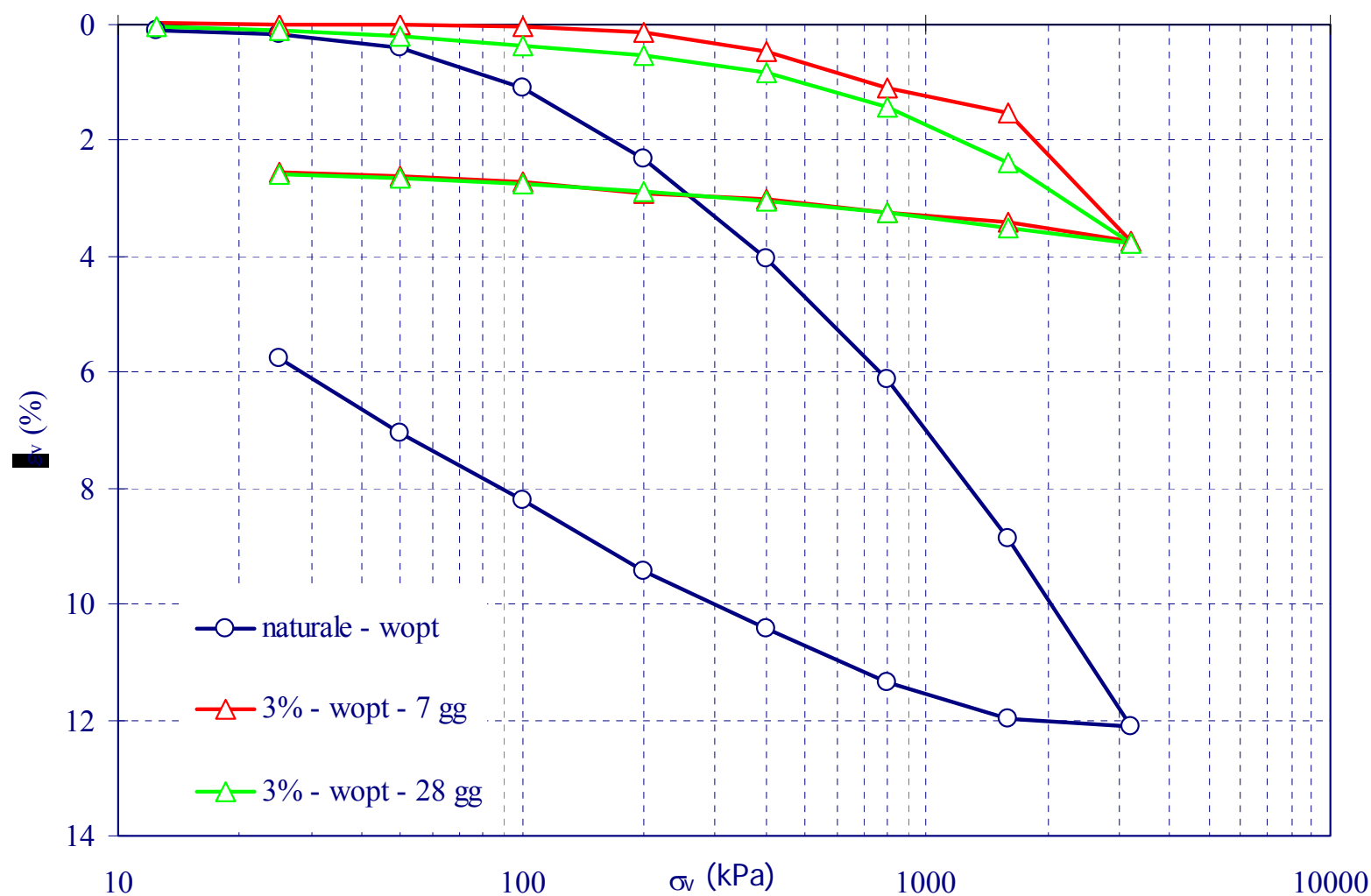
# EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



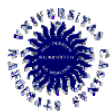
Locone



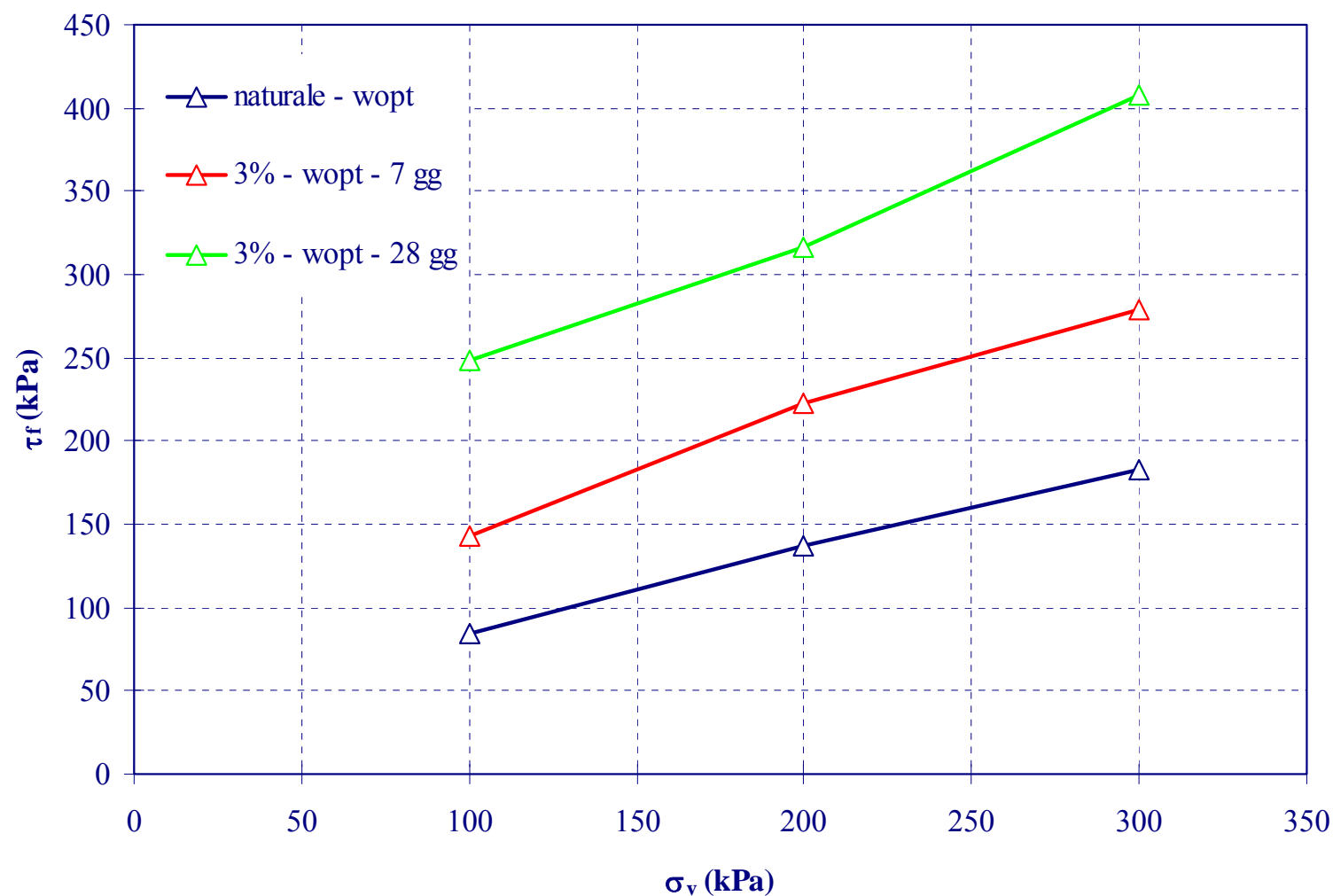
# EFFICACIA ED EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



Poggiolino – 3% in peso di calce viva



# EFFICACIA ED EFFICIENZA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



Poggiolino – 3% in peso di calce viva





## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Università di Napoli “Parthenope”

Napoli, 18 aprile 2012



## PARAMETRI DI TRATTAMENTO ED EFFICACIA DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE



GIACOMO RUSSO

Università di Cassino

Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica



## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Università di Napoli “Parthenope”

Napoli, 18 aprile 2012



## DURABILITA' DI UN INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE A CALCE



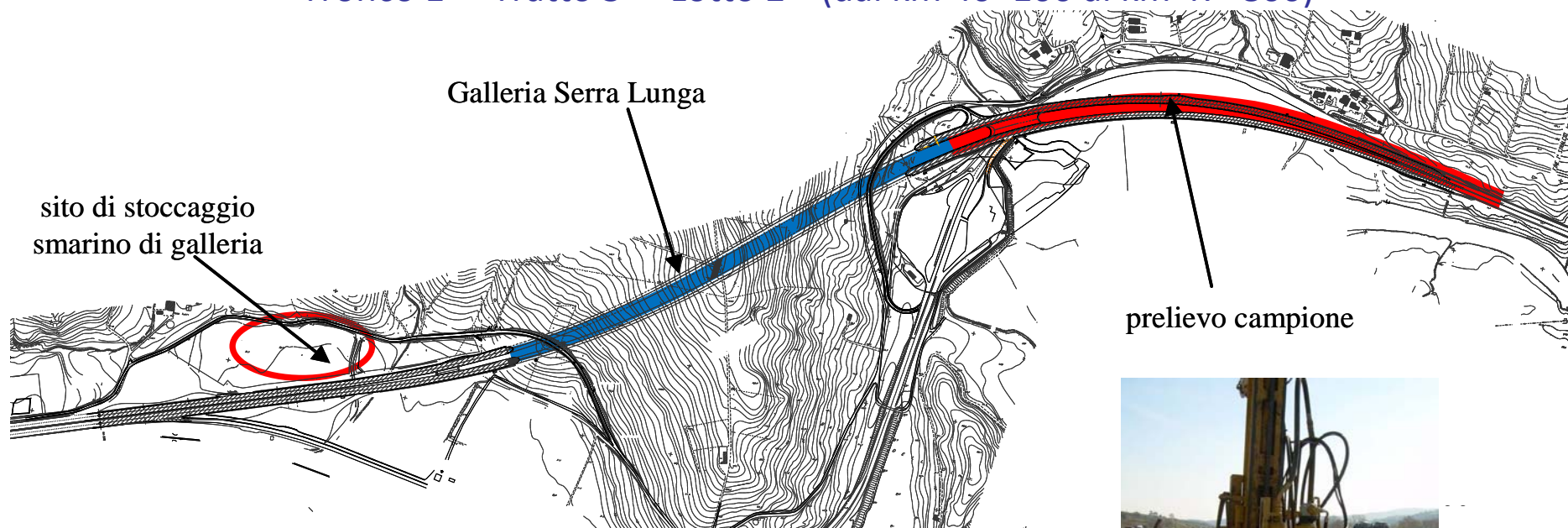
GIACOMO RUSSO

Università di Cassino

Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

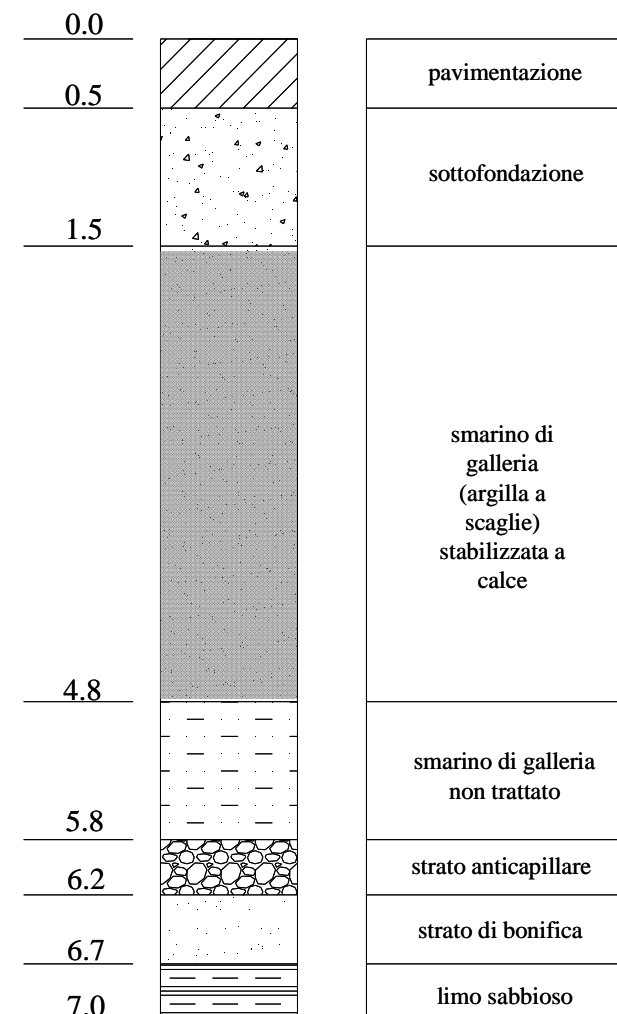
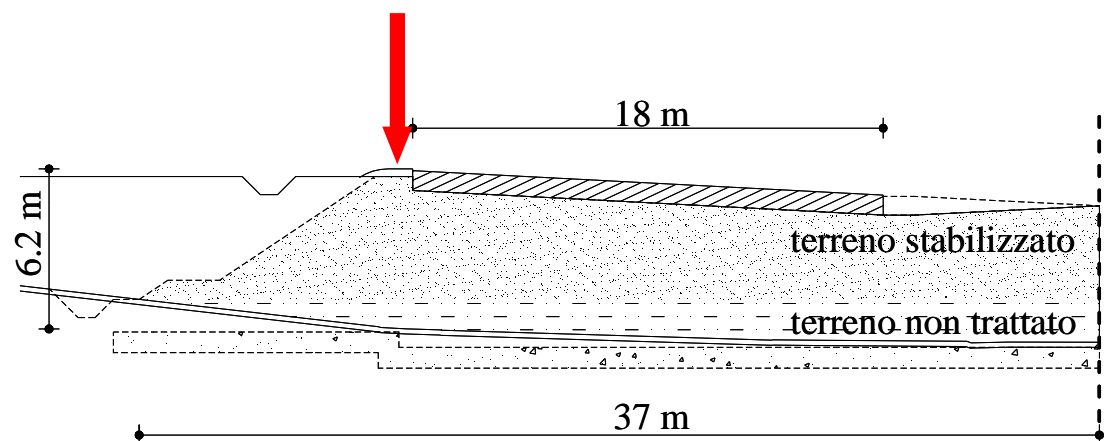
# CASO DI STUDIO

ANAS - Autostrada Salerno-Reggio Calabria  
Lavori di ammodernamento ed adeguamento al tipo 1°b delle norme CNR/80  
Tronco 1° - Tratto 5° - Lotto 2° (dal km 40+100 al km 47+800)





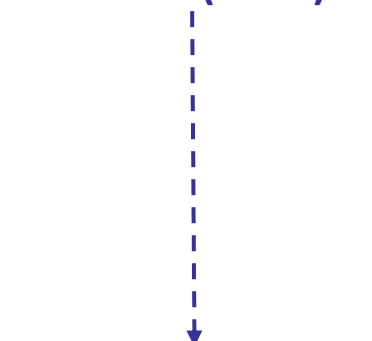
# CASO DI STUDIO



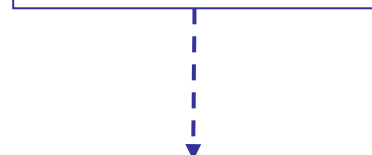


# INDAGINE SPERIMENTALE

Campione stabilizzato  
in situ (2001)



CARATTERISTICHE  
FISICHE



COMPORTAMENTO  
MECCANICO

VERIFICA DELLA DURABILITA'

STABILIZZATO  
IN SITU  
VS.  
STABILIZZATO IN  
LABORATORIO

STABILIZZATO  
IN SITU  
VS.  
NON TRATTATO

Campione non trattato



VERIFICA  
DELL'IDONEITA'  
ALLA  
STABILIZZAZIONE



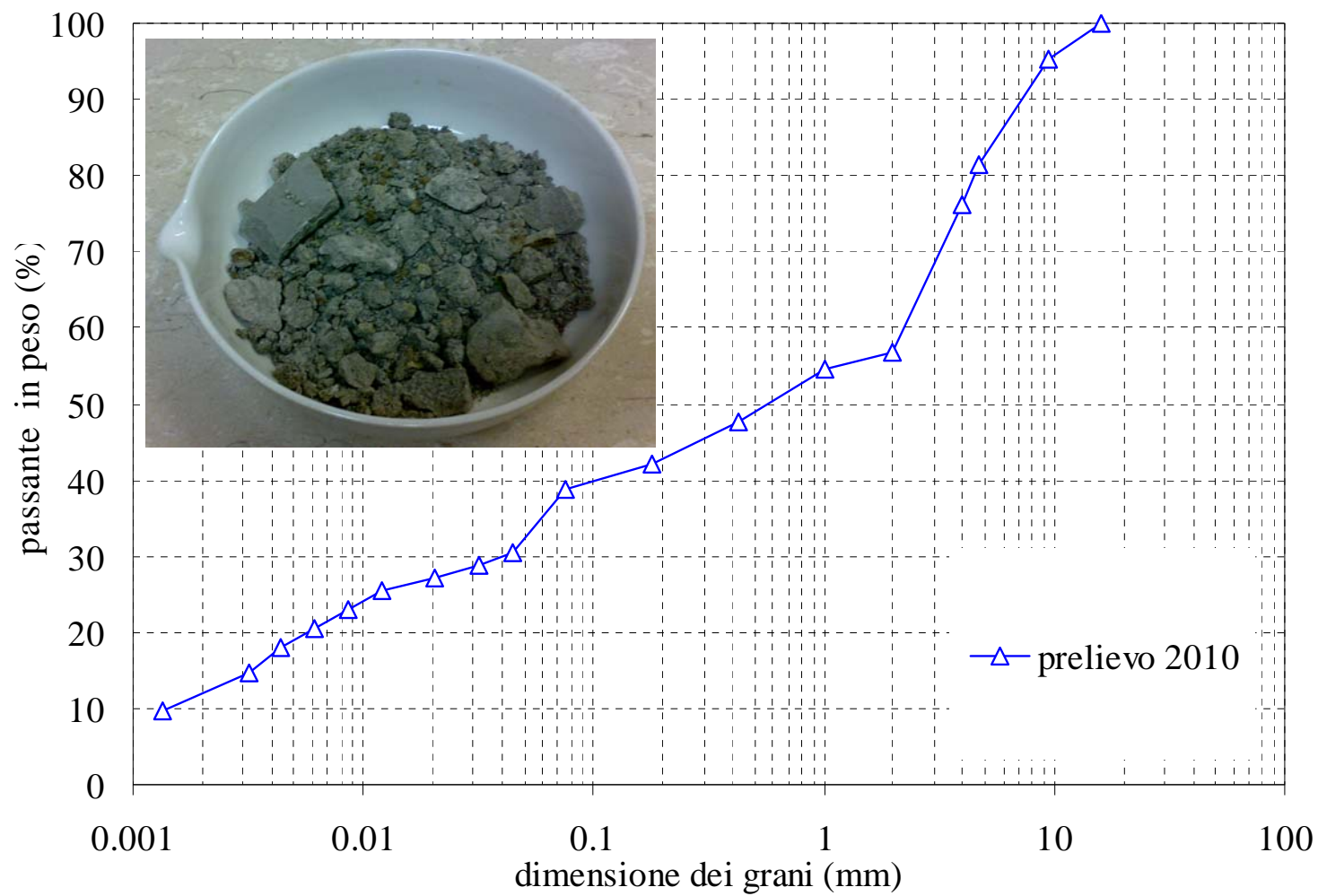
CARATTERISTICHE  
FISICHE  
(non trattato,  
stabilizzato)



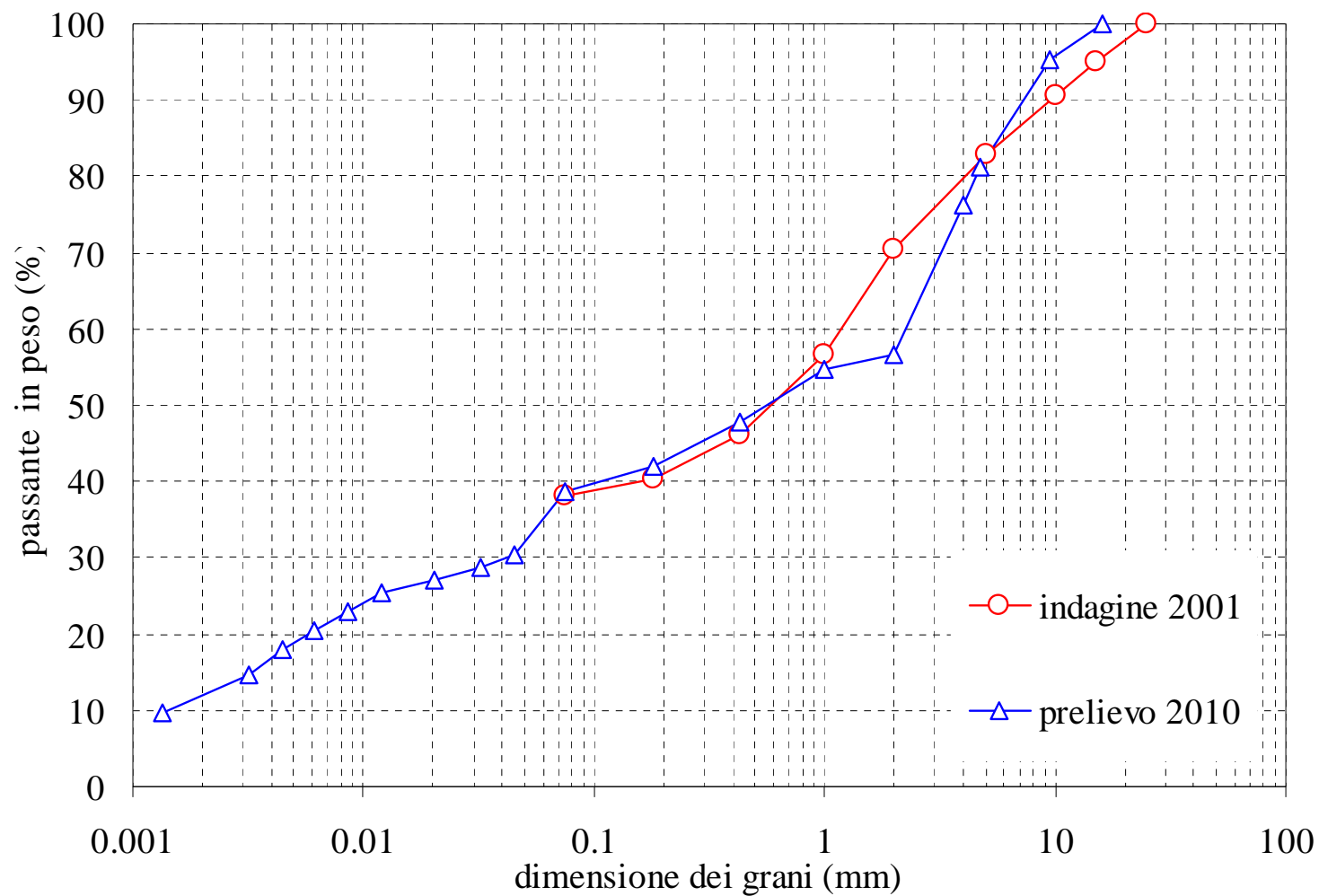
COMPORTAMENTO  
MECCANICO  
(non trattato)



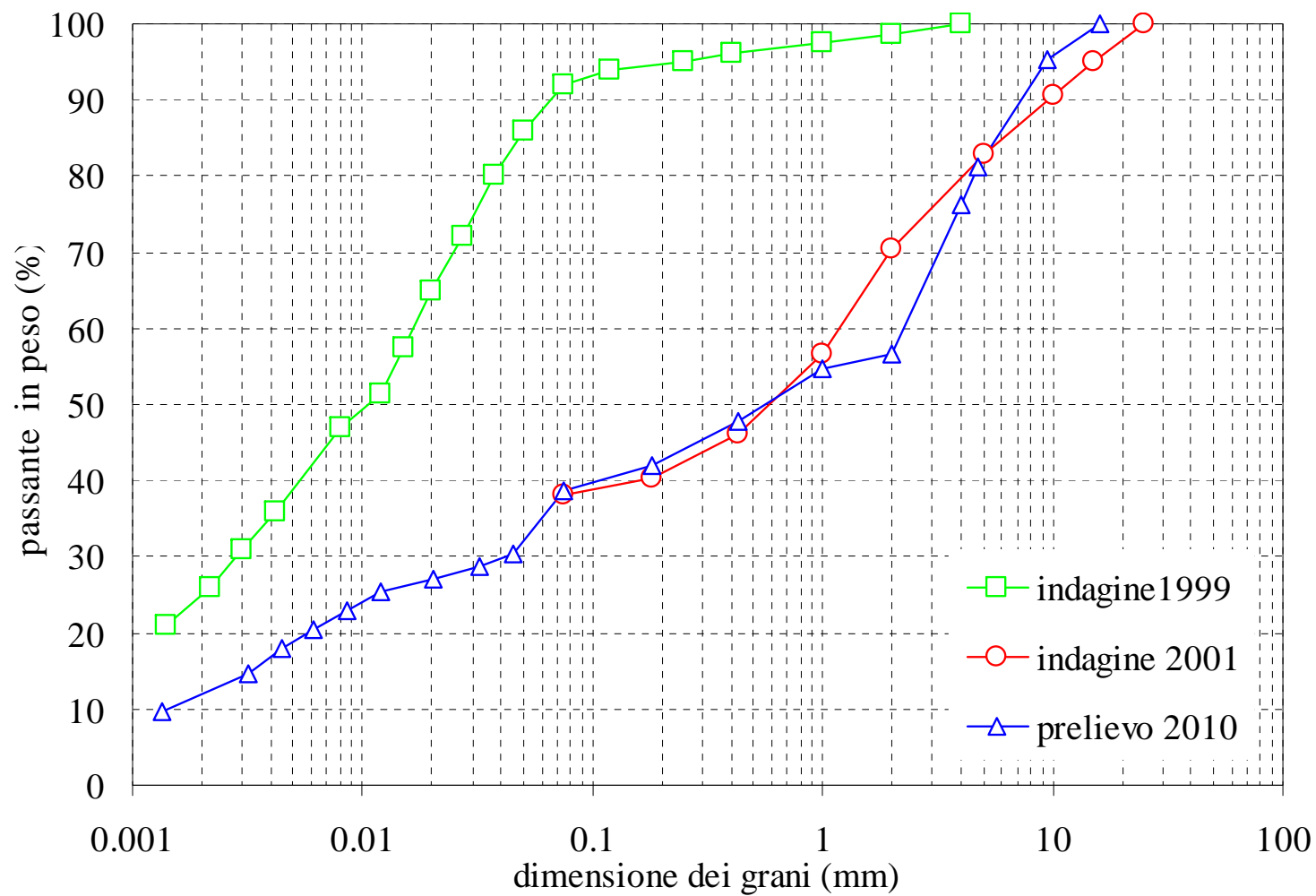
# SMARINO DI GALLERIA



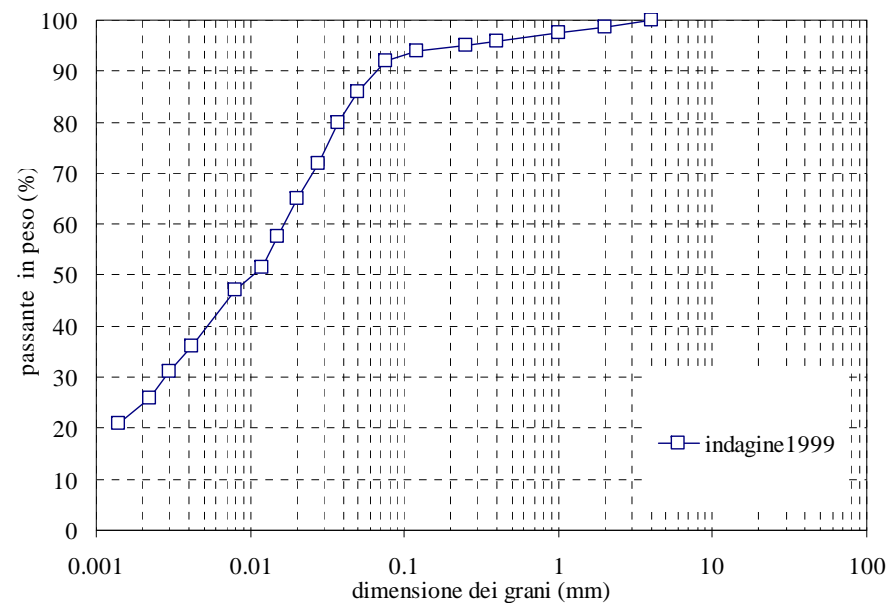
# SMARINO DI GALLERIA



# SMARINO DI GALLERIA



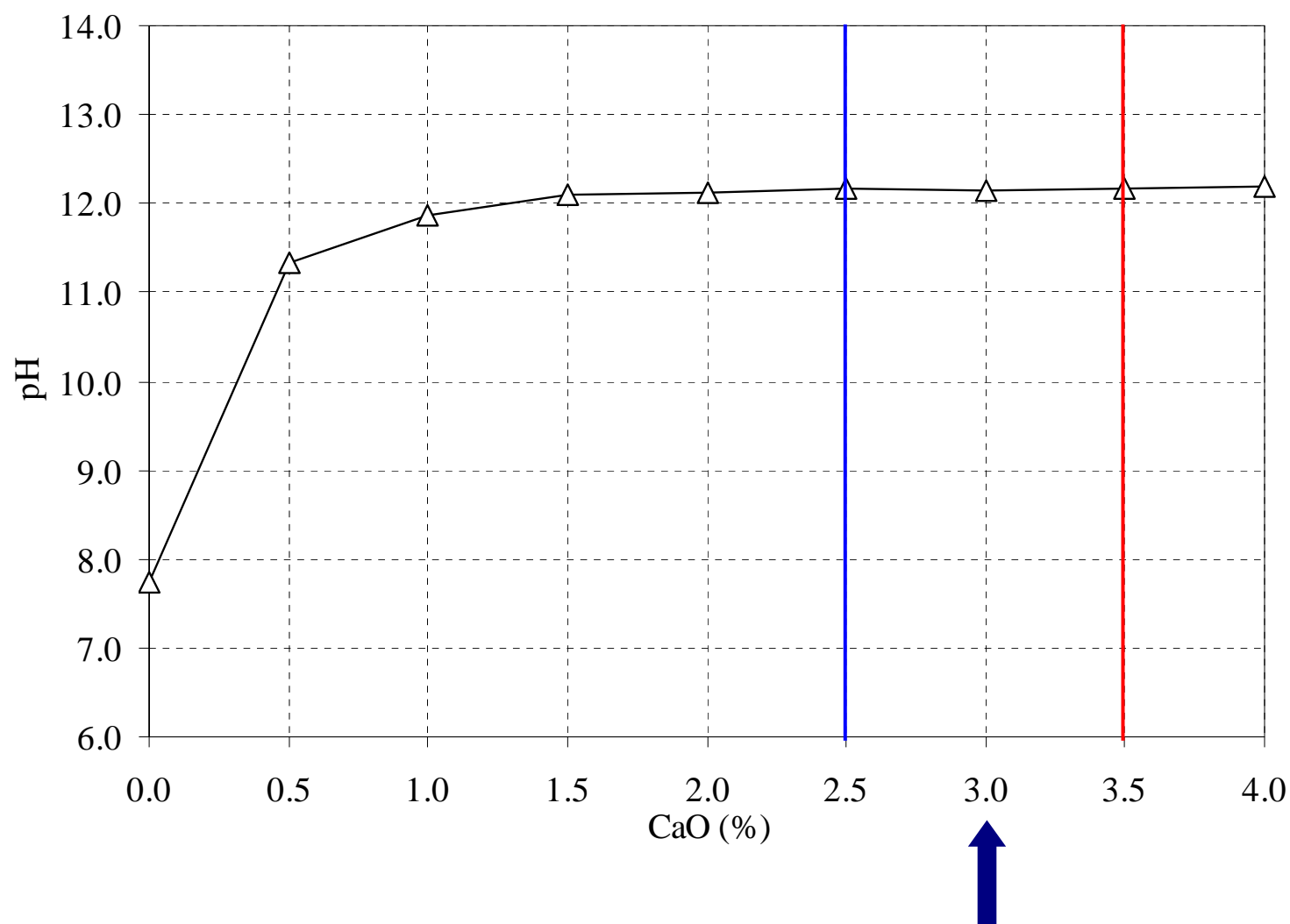
# CARATTERISTICHE FISICHE



$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	n	w <sub>L</sub> (%)	w <sub>P</sub> (%)	IP
27.7	20.2	14.5	0.36	37.7	19.2	18.5

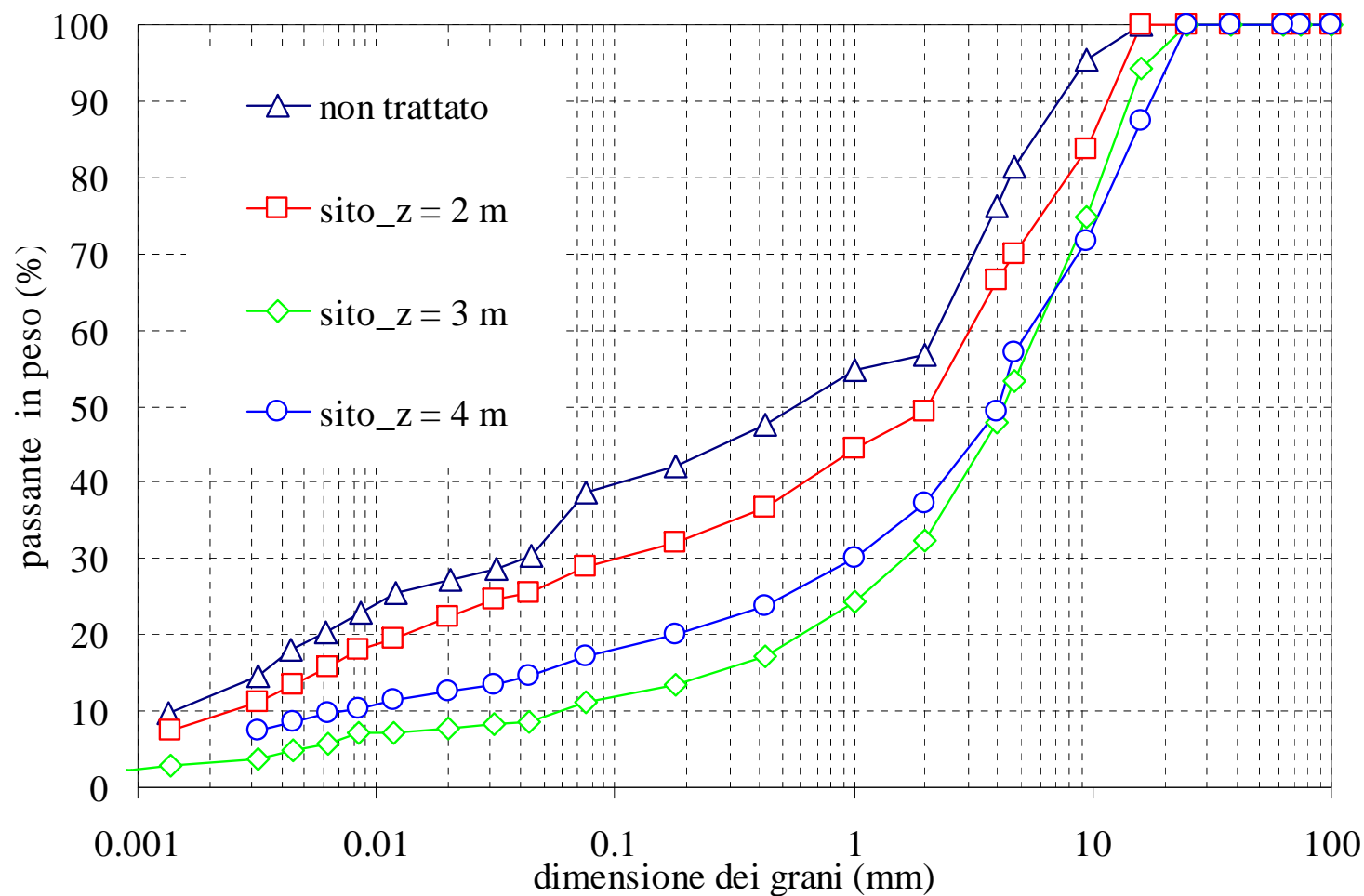


# PERCENTUALE DI CALCE PER LA STABILIZZAZIONE



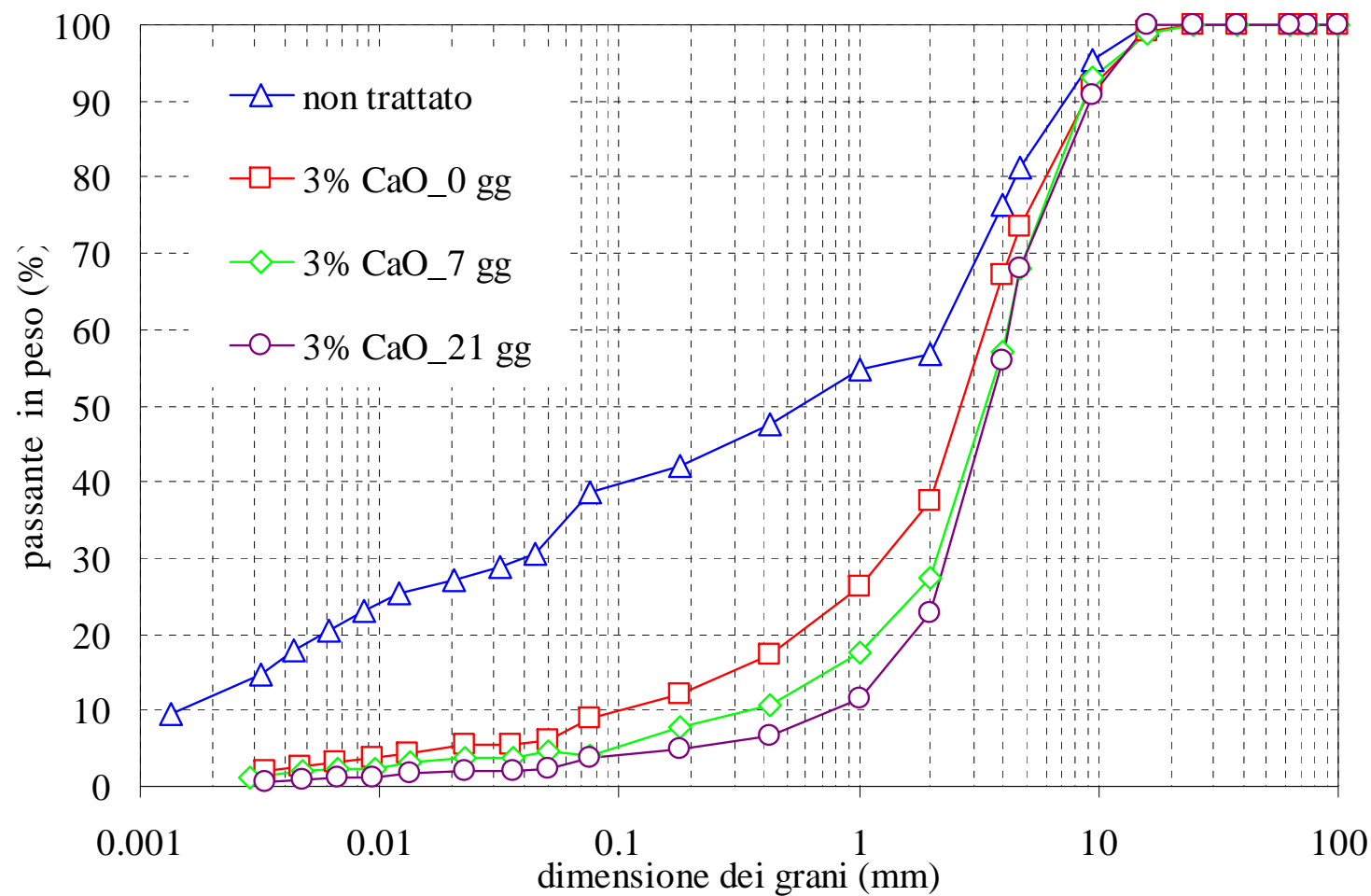
# CARATTERISTICHE FISICHE

Campione stabilizzato in situ (2001)



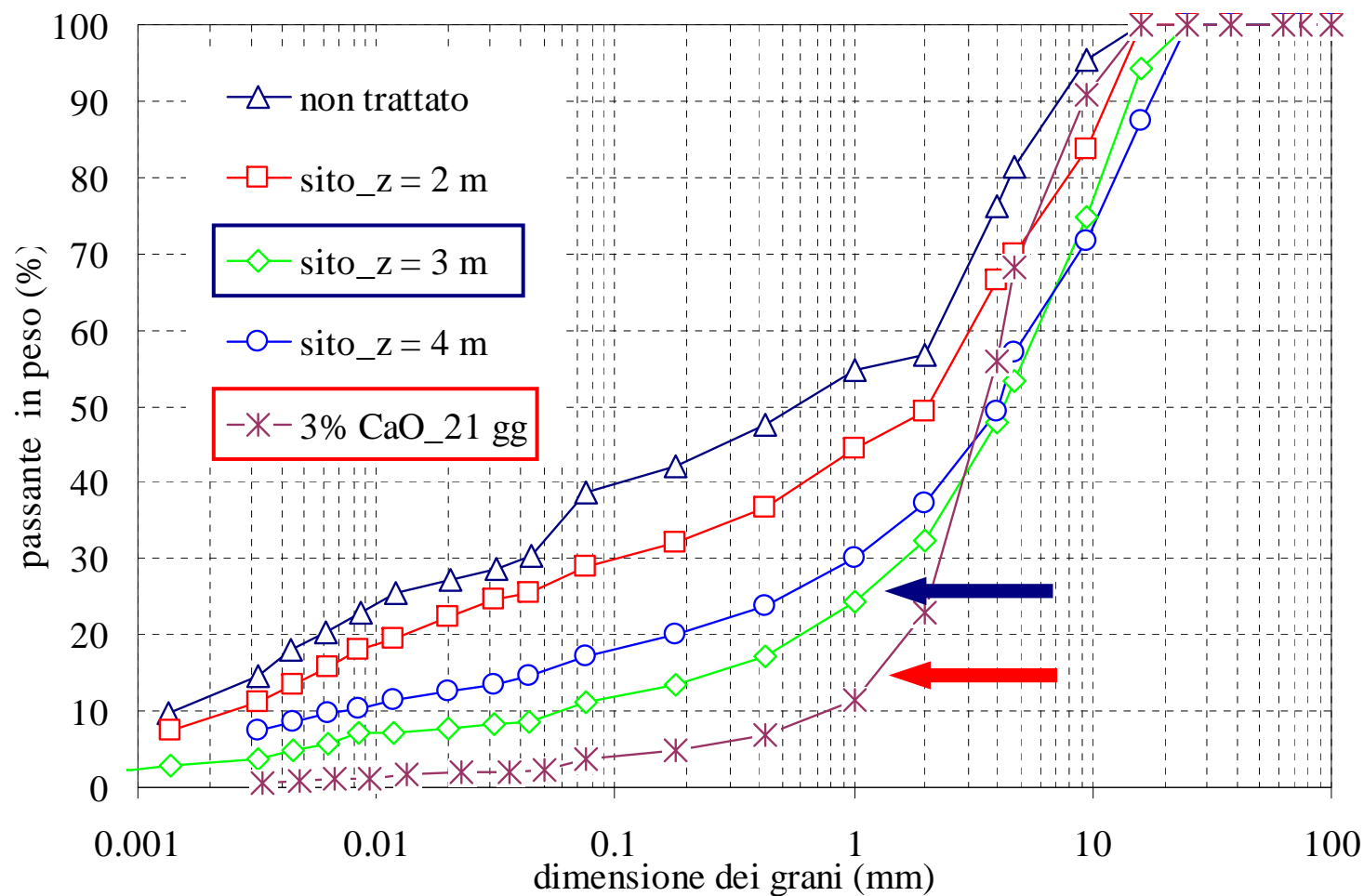
# CARATTERISTICHE FISICHE

Campione stabilizzato in laboratorio (2010)

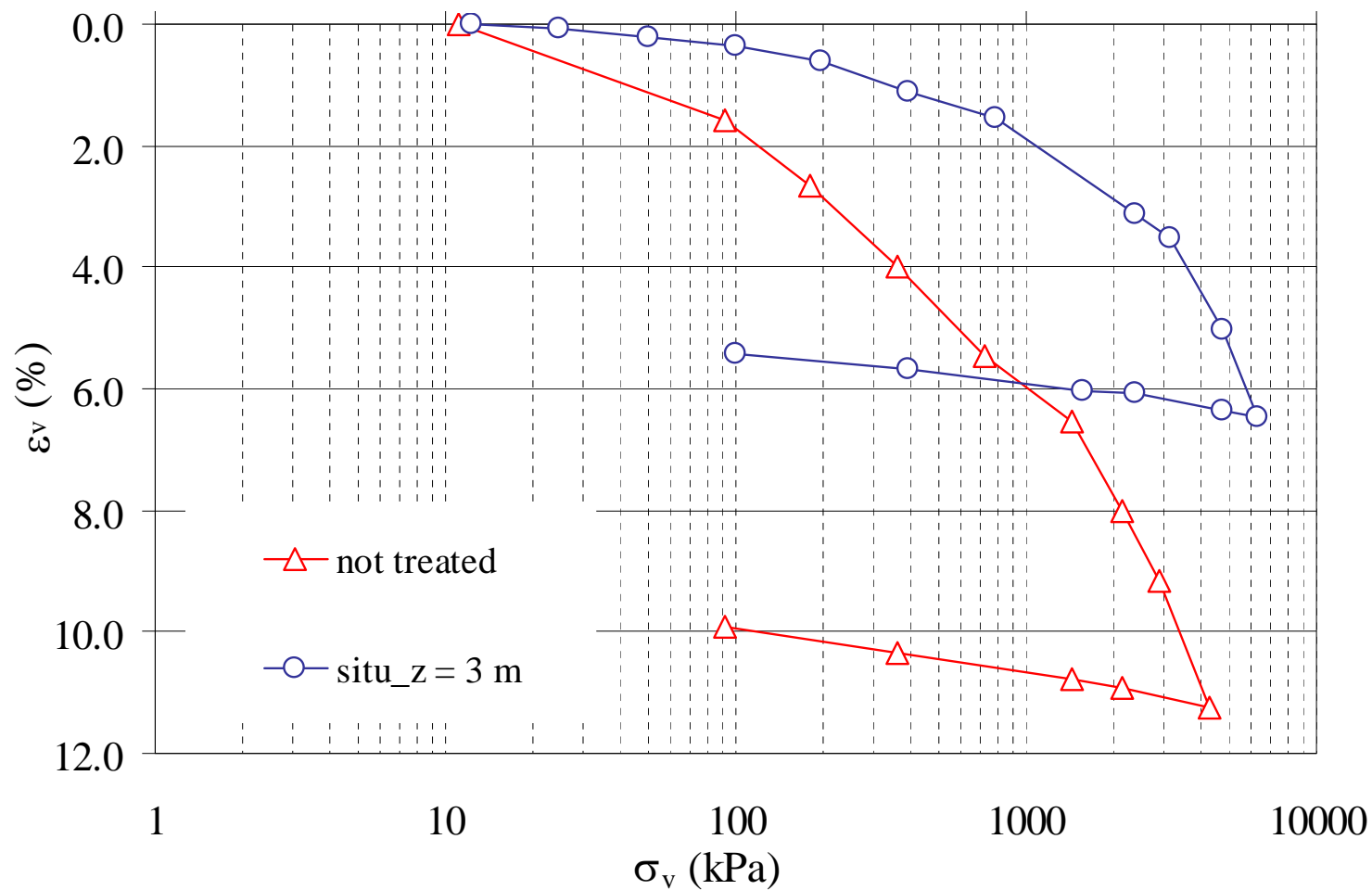




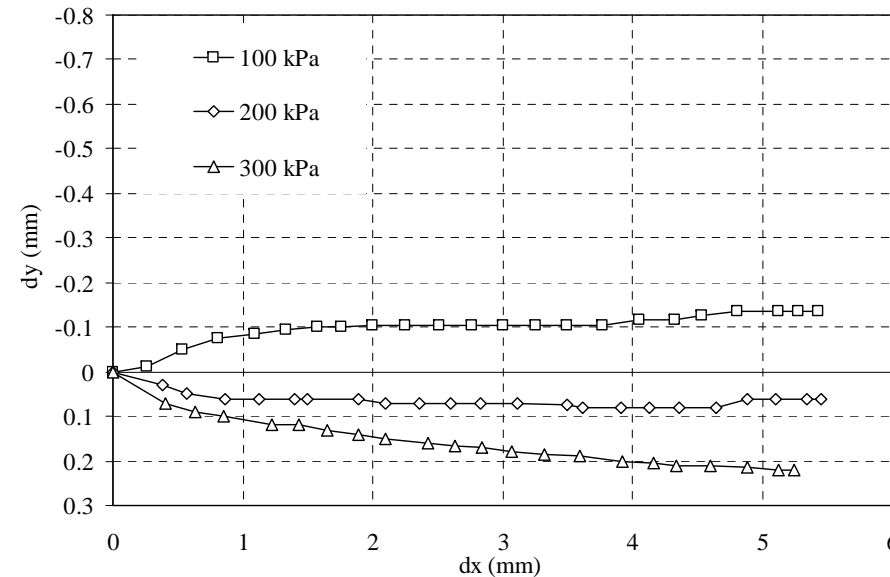
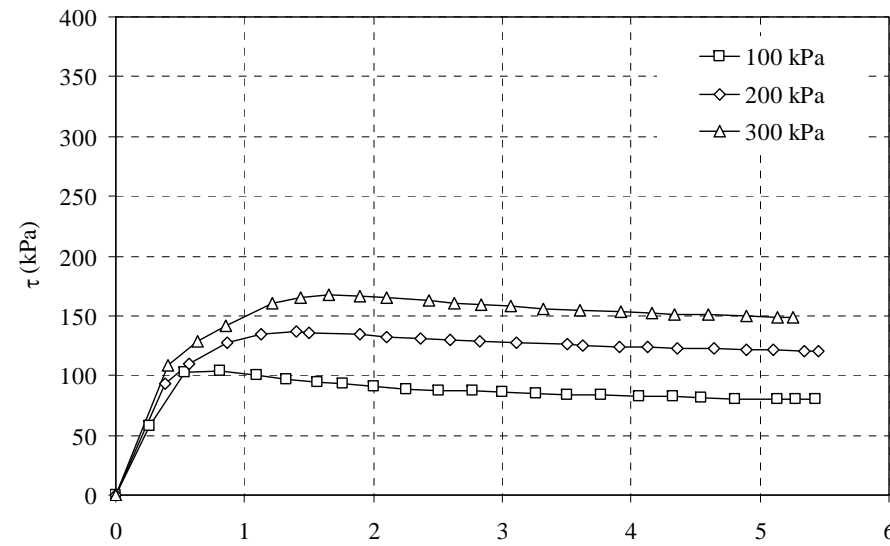
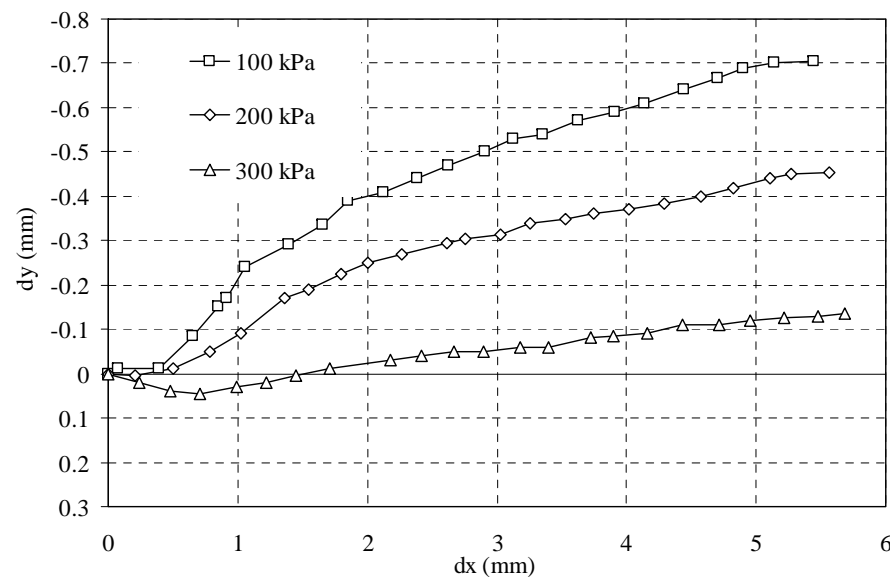
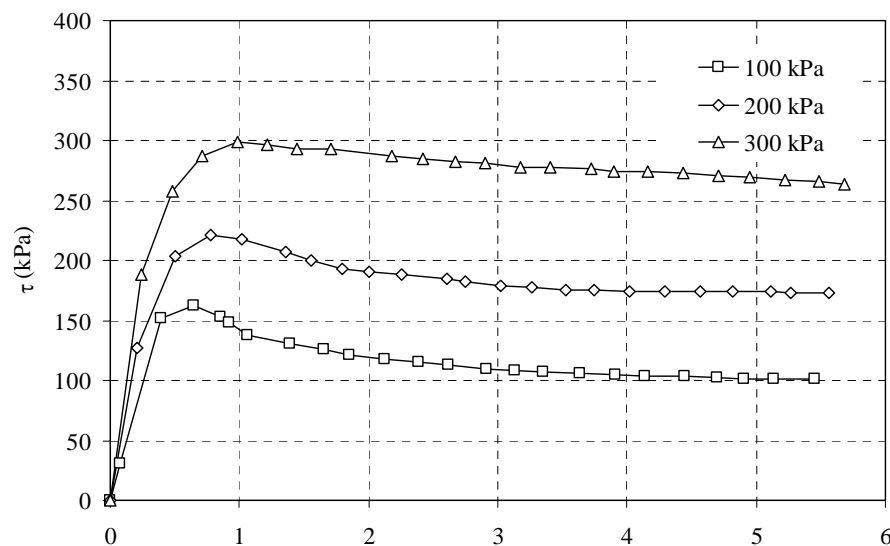
# STABILIZZATO IN SITO (2001) VS. STABILIZZATO IN LABORATORIO (2010)



## STABILIZZATO IN SITO (2001) VS. NON TRATTATO (2010)



# STABILIZZATO IN SITU (2001) VS. NON TRATTATO



terreno stabilizzato in situ (prof. -3.0 m)

terreno non trattato



G. RUSSO – DURABILITA' DI UN INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE A CALCE

# STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Hanno partecipato alla sperimentazione :



Università di Cassino

Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

Laboratorio di Geotecnica e Strade (LaGS)

Anastasia Capotosto  
Valerio Tedesco

Arcadio Capotosto  
Guerrino Ciavaglia  
Francesco Cervone  
Erika Cox

Maria Teresa De Blasio  
Francesca Fassiotti  
Giovanni Francione  
Valentina Lanni  
Sabrina Longo  
Antonio Lo Sordo  
Fabiana Macioce  
Antonella Misto  
Stefano Zicca





## LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI

Università di Napoli "Parthenope"

Napoli, 18 aprile 2012



## DURABILITA' DI UN INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE A CALCE



GIACOMO RUSSO

Università di Cassino

Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

CONVEGNO ALIG - AGI

18 Aprile 2012 ore 8<sup>30</sup>-18<sup>00</sup>



*sede del convegno*

**AULA MAGNA**

Facoltà di Ingegneria  
UNIVERSITA' DI NAPOLI PARTHENOPE  
Centro Direzionale di Napoli  
Isola C/4 - Napoli

# **LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI**

## **PROPRIETÀ GEOTECNICHE DI TERRENI STABILIZZATI**

**Manuela CECCONI**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE **DICA** 

UNIVERSITÀ DI PERUGIA





## OGGETTO:

Analisi delle proprietà geotecniche di terreni stabilizzati a calce, con particolare riferimento ai **terreni piroclastici**

## INDICE

### 1. motivazioni e applicazioni geotecniche

### 2. comportamento meccanico di terreni stabilizzati a calce

#### 2.1 prove geotecniche

preparazione dei provini,  
tempi di stagionatura,  
tipologie di prova

#### 2.2 evidenza sperimentale

collasso strutturale per variazioni del grado di saturazione,  
compressibilità,  
resistenza a taglio




*dalle specifiche tecniche di RFI (giu 2009)*

**estratto:**

### I.3 DEFINIZIONI

Nella presente specifica si applicano le seguenti definizioni.

**Terra trattata con calce:** Miscela composta da terra, calce viva o idrata ed acqua, in quantità e rapporti tali da modificare le caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche della terra, al fine di ottenere una miscela idonea per la formazione di strati di terreno che, dopo il costipamento, risultino di adeguata resistenza meccanica, nonché stabili all'azione dell'acqua e del gelo.



**Miglioramento/Stabilizzazione del terreno con calce:** Processo di formazione di una miscela di terra e calce, al fine di conseguire il miglioramento immediato delle caratteristiche geotecniche della terra stessa, mediante riduzione del contenuto naturale d'acqua, tale da consentire un incremento della capacità portante e della resistenza a taglio, una riduzione della plasticità ed un consolidamento permanente del terreno, rispetto al medesimo non trattato, valutabile, a medio e/o a lungo termine, attraverso un miglioramento significativo delle proprietà fisico-meccaniche e della stabilità alle azioni dell'acqua e del gelo.



*e ancora:*

*estratto dalle specifiche tecniche di RFI :*

### **I.1.2 Campo di applicazione**

La presente specifica tecnica è applicabile al trattamento dei terreni argillosi, più o meno limosi, purché rispondenti ai requisiti indicati nei successivi paragrafi.



L'utilizzo di terre stabilizzate a calce è consentito per le seguenti realizzazioni:

- corpo del rilevato ferroviario e di quello stradale;
- bonifica del piano di posa dei rilevati stradali e ferroviari;
- opere in terra (es. dune, colline artificiali, ritombamenti, sistemazioni ambientali etc.).



## Miglioramento delle proprietà geotecniche:

- riduzione della compressibilità → riduzione dei cedimenti
- minore suscettibilità alle variazioni del grado di saturazione e limitazione dei fenomeni di collasso strutturale
- aumento della resistenza al taglio del terreno, generalmente riferibile all'incremento della coesione



*estratto dalle specifiche tecniche di RFI:*

Tabella II.2.4.1.1

**LIMITI DI ACCETTAZIONE DEL TERRENO NATURALE**

Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Requisito	Limiti di accettabilità
Curva granulometrica continua	UNI EN 933-2	Passante al setaccio 0,075 mm	$\geq 35\%$
Limiti di Atterberg (LL-LP-LR)	CNR 10014	Indice di plasticità IP	$>5$
Contenuto in sostanze organiche	STMD 2974	Sostanze organiche	$< 2\%^{(1)}$
Contenuto in solfati e nitrati	Metodo in Gazzetta Chimica IT-36, 492	Solfati totali (solfati e solfuri)	$< 0,25\%^{(2)}$
		Nitrati	$< 0,1\%$
Classificazione HRB-AASHTO	Tabella HRB-AASHTO	Argille e limi argillosi, limi	A4, A6, A7-5, A7-6,

<sup>(1)</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 paragrafo II.2.5.

<sup>(2)</sup> Questo valore può essere aumentato fino a raggiungere l'1%, qualora lo studio di laboratorio della miscela sia stato ritenuto idoneo da Ferrovie.



## classificazione ASSHTO

**TABLE A**  
**CLASSIFICATION OF SOILS AND SOIL-AGGREGATE MIXTURES**

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 75µm) [No. 200]							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 75µm) [No. 200]				
Group Classification	A-1		A-3*	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	✓	✓	✓	A-7-5 A-7-6 ✓	
Sieve Analysis:												
Percent passing:												
2mm (No. 10)	50 max.	---	---	---	---		---	---	---	---	---	
425µm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	---	---	---	---	---	---	---	---	
75µm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
Characteristics of fraction passing No. 425µm (No. 40):												
Liquid Limit	---		---	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	
Plasticity Index	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min**	
Usual Types of Significant Constituent Materials	Stone Fragments Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils		
General Rating as Subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor				





## Idoneità dei terreni alla stabilizzazione → terreni vulcanici ?

I **terreni piroclastici** sono considerati terreni **problematici** a causa della loro natura, delle **caratteristiche microstrutturali** e per il complesso comportamento **idro-meccanico**.

In particolare, aspetti quali il **collasso strutturale in fase di saturazione** (Pellegrino A., 1967, Nicotera M.V., 2000, Cattoni E. et al., 2007, Cecconi et al., 2012) rappresentano un serio limite al loro impiego in opere di terra, poiché possono comprometterne la funzionalità nel corso della vita utile.

Pertanto tali terreni potrebbero **non** essere utilizzati come materiali per la formazione di rilevati e, nell'ambito della costruzione di grandi infrastrutture, potrebbero rientrare nella categoria di terreni destinati alla discarica.

La prospettiva di un loro **riuso** appare dunque interessante dal punto di vista tecnico.

In tal senso, le tecniche di miglioramento dei terreni che permettono il reimpiego di tali materiali, ed in particolare **la stabilizzazione a calce** (Croce P. e Russo G., 2002), possono rappresentare una valida prospettiva.





La stabilizzazione a calce può essere impiegata, ad esempio,  
per il miglioramento di terreni di natura piroclastica (**plasticità < 5%**)  
per la formazione di rilevati  
o per il rinterro in calotta di tratti di gallerie artificiali.

Allo stato attuale **non** sono tuttavia presenti in letteratura studi sistematici sulla stabilizzazione a calce di terreni di natura piroclastica.

➡ Recente ricerca sperimentale finalizzata a:

- verificare l'efficacia della stabilizzazione a calce dei terreni piroclastici, considerando che – come è noto - tali terreni mostrano una particolare reattività in presenza di ossido di calcio (CaO).
- stabilire la dipendenza del miglioramento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dai parametri di trattamento e la sua efficacia nel tempo.

[ Russo et al., 2011; Cecconi et al. 2011; Cecconi et al., 2012]



## I terreni naturali

**terreno PN:** pozzolana nera del distretto vulcanico dei Colli Albani (Roma)

[Cecconi e Viggiani, 2001; Cattoni et al, 2007, Cecconi, Scarapazzi e Viggiani, 2010]

**terreno MF:** pozzolana distretto vulcanico Somma Vesuvio (Monteforte Irpino)

[Papa, 2007; Papa et al, 2007; Evangelista et al, 2008; Nicotera et al, 2008]

I TERRENI  
INVESTIGATI



**terreno PN:** pozzolana nera del distretto vulcanico dei Colli Albani (Roma)



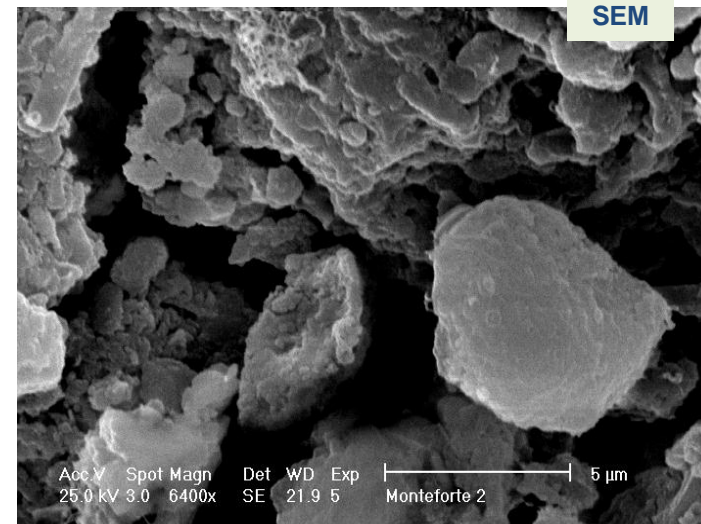
Cava di Fioranello, Roma Ardeatina

terreno PN  
Roma



**terreno MF:** pozzolana distretto vulcanico Somma Vesuvio (Monteforte Irpino)

1	Terreno pedogenizzato
2	Suolo bruno con resti carbonosi e pomici alterate
3	Pomici Avellino
4	Paleosuolo cineritico di Ottaviano
5	Pomici di Ottaviano
6	Paleosuolo cineritico con pomici alterate
7	Piroclastite cineritica
	Calcare fratturato



terreno MF  
Avellino

	2		
	min	max	med
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.252	14.238	12.688
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	7.190	9.693	8.461
w	0.429	1.542	0.745
n	0.636	0.730	0.680
Sr	0.557	0.715	0.623



## Sperimentazione sui terreni PN e MF

- analisi micro-strutturali terreni **non trattati/stabilizzati**
- valutazione della percentuale di calce idonea alla stabilizzazione  
- misure di pH
- caratteristiche fisiche terreni **non trattati/stabilizzati**
- proprietà meccaniche terreni **non trattati/stabilizzati**



*estratto dalle specifiche tecniche di RFI:*

#### II.2.4.1.1 Scelta delle percentuali di calce

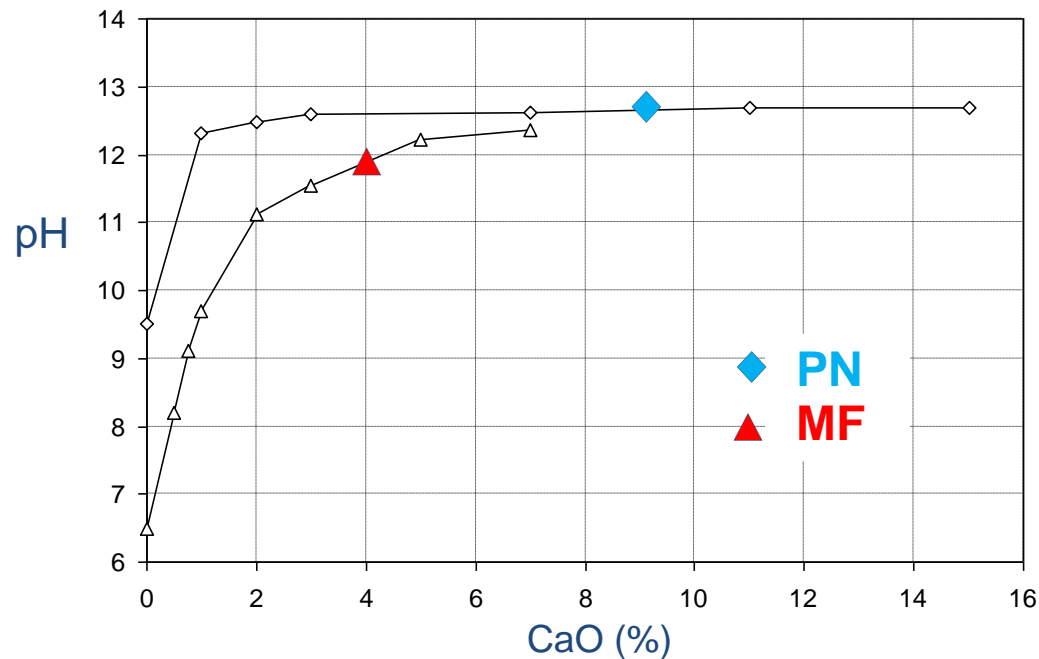
Per la successiva fase di studio in laboratorio, vengono individuate due miscele sperimentali, aventi diversa percentuale in calce.

La misura del consumo iniziale di calce (C.I.C.), inteso quale quantità di calce necessaria per innescare la reazione terra/calce, secondo norma ASTM C 977, fornisce il contenuto di calce da adottare per la prima miscela di prova, mentre per la seconda tale valore viene aumentato dello 0,5 %.

Il valore del C.I.C., viene stabilito determinando la percentuale di calce minima, in grado di elevare il PH della miscela terra/calce al valore di 12,4 e garantirne il mantenimento per un tempo di maturazione di almeno 28 giorni.

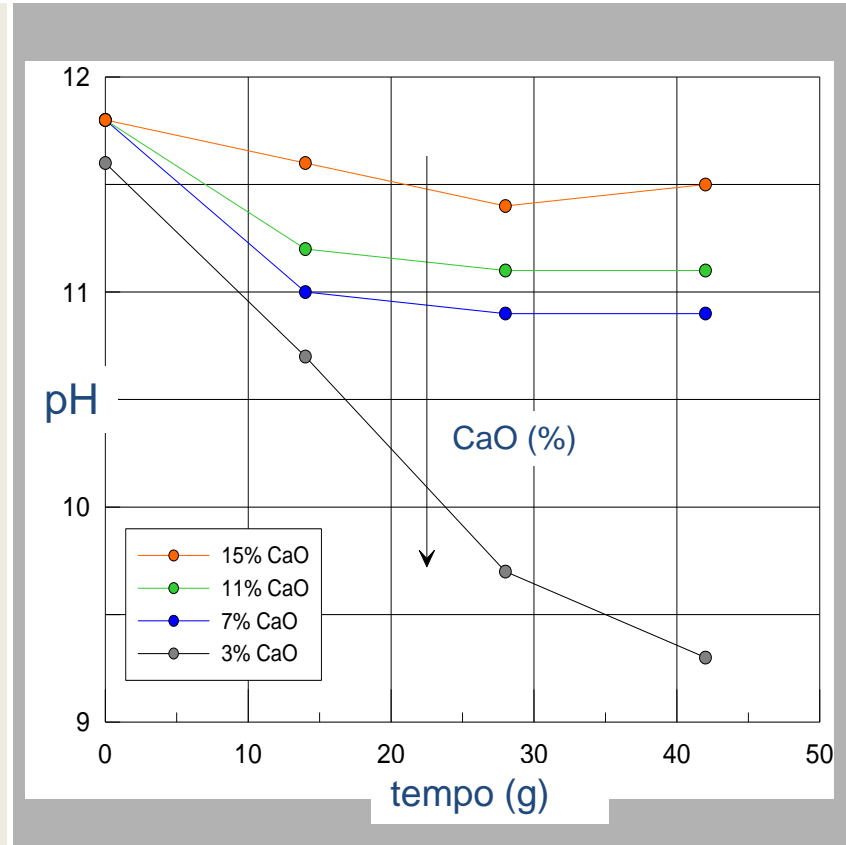
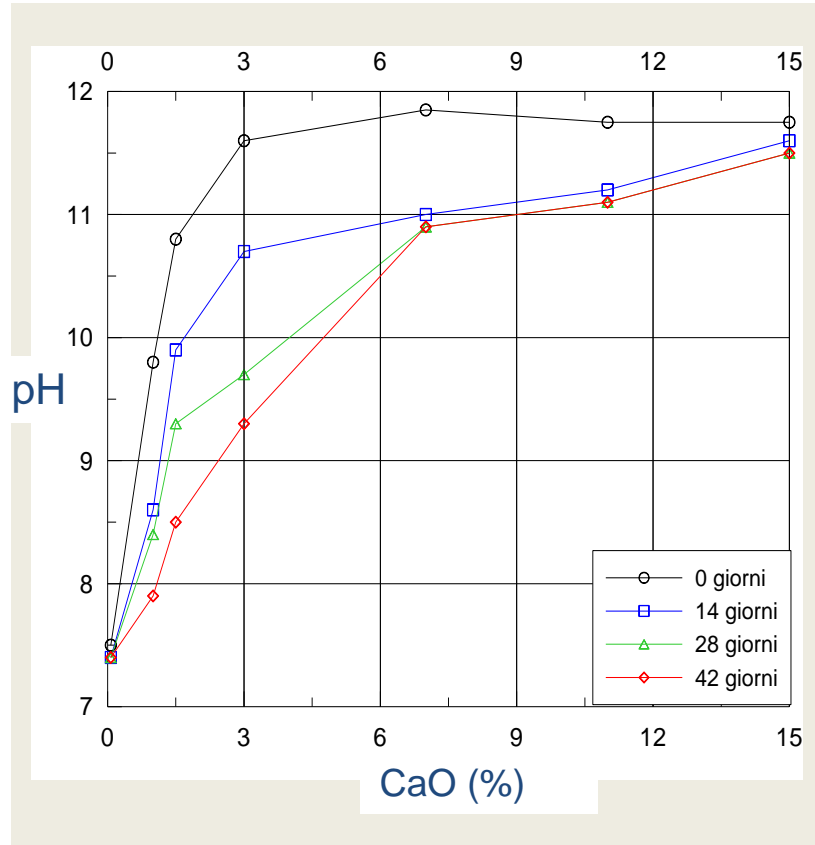
Tale valore, in ogni caso, deve risultare non inferiore al 2%, riferito al peso del secco del terreno.

quantitativo di calce  
(riferito al peso secco)  
necessario  
alla stabilizzazione



I TERRENI  
INVESTIGATI

## Mantenimento del pH





## Proprietà microstrutturali

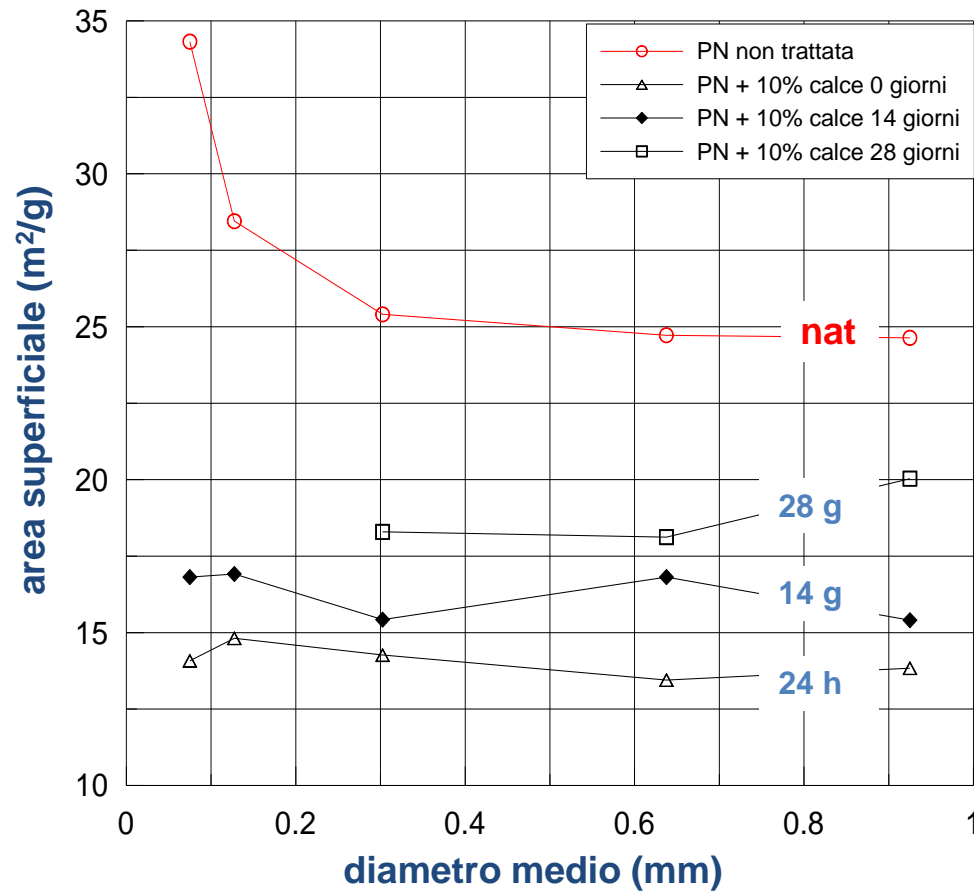
ordinarie nella tecnologia e chimica dei materiali,

- misure adsorbimento di azoto a 77K su diverse frazioni granulometriche (BET, area superficiale)
- diffrattometrie

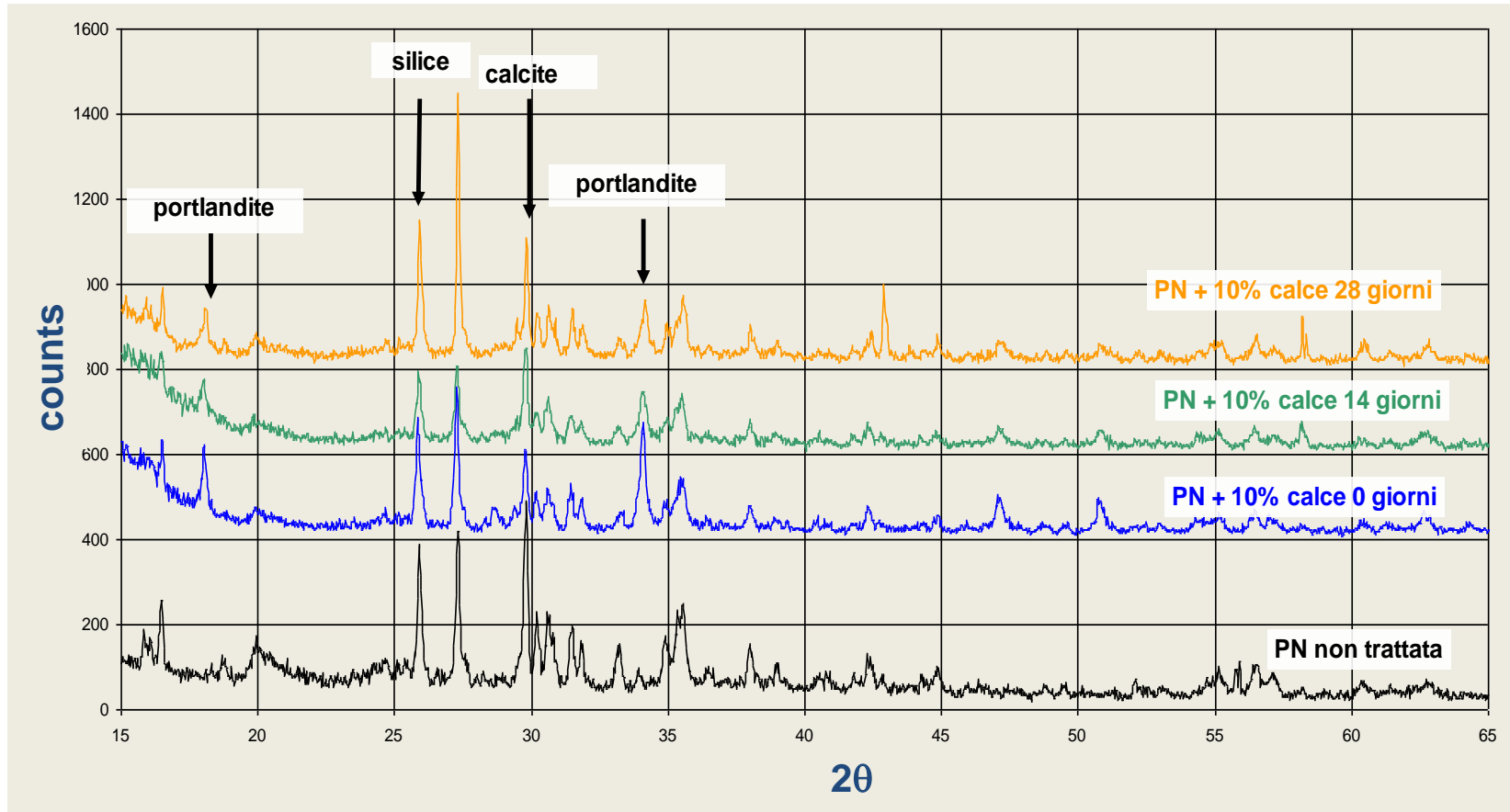
PROPRIETÀ  
MICRO -  
STRUTTURALI



## Area superficiale terreno PN

**CaO (%) = 10%**

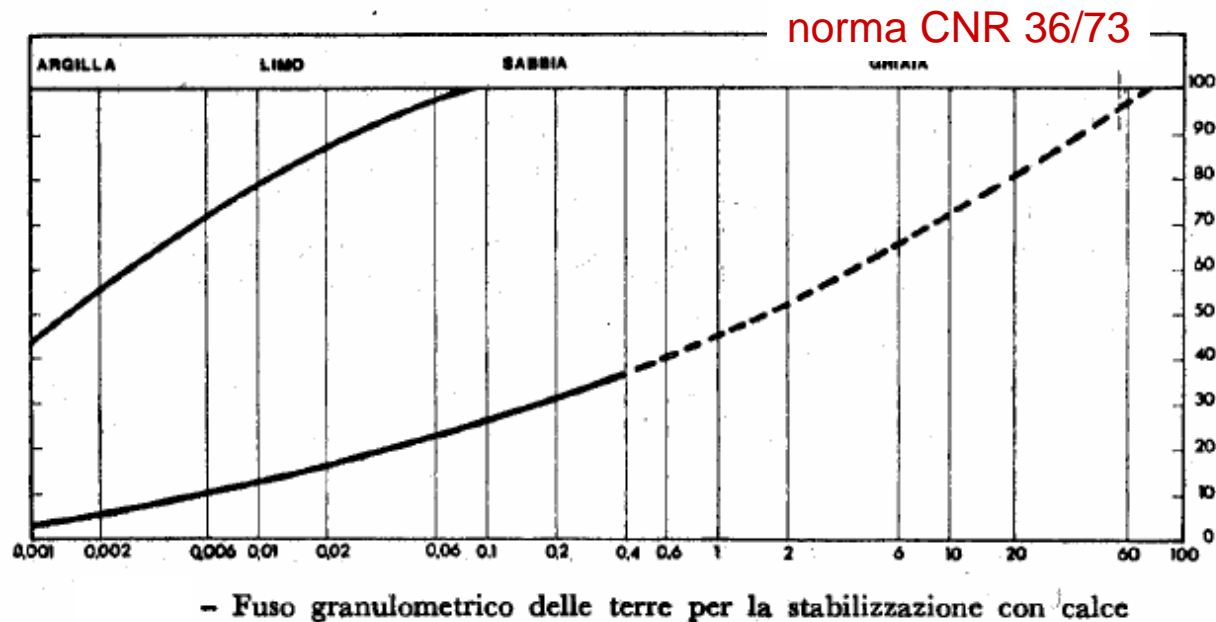
## Diffrazione a raggi X terreno PN, passante @ 1 mm



## Proprietà fisiche

- distribuzione **granulometrica**
- misure di  $\gamma_s$  (peso specifico dei granelli solidi)

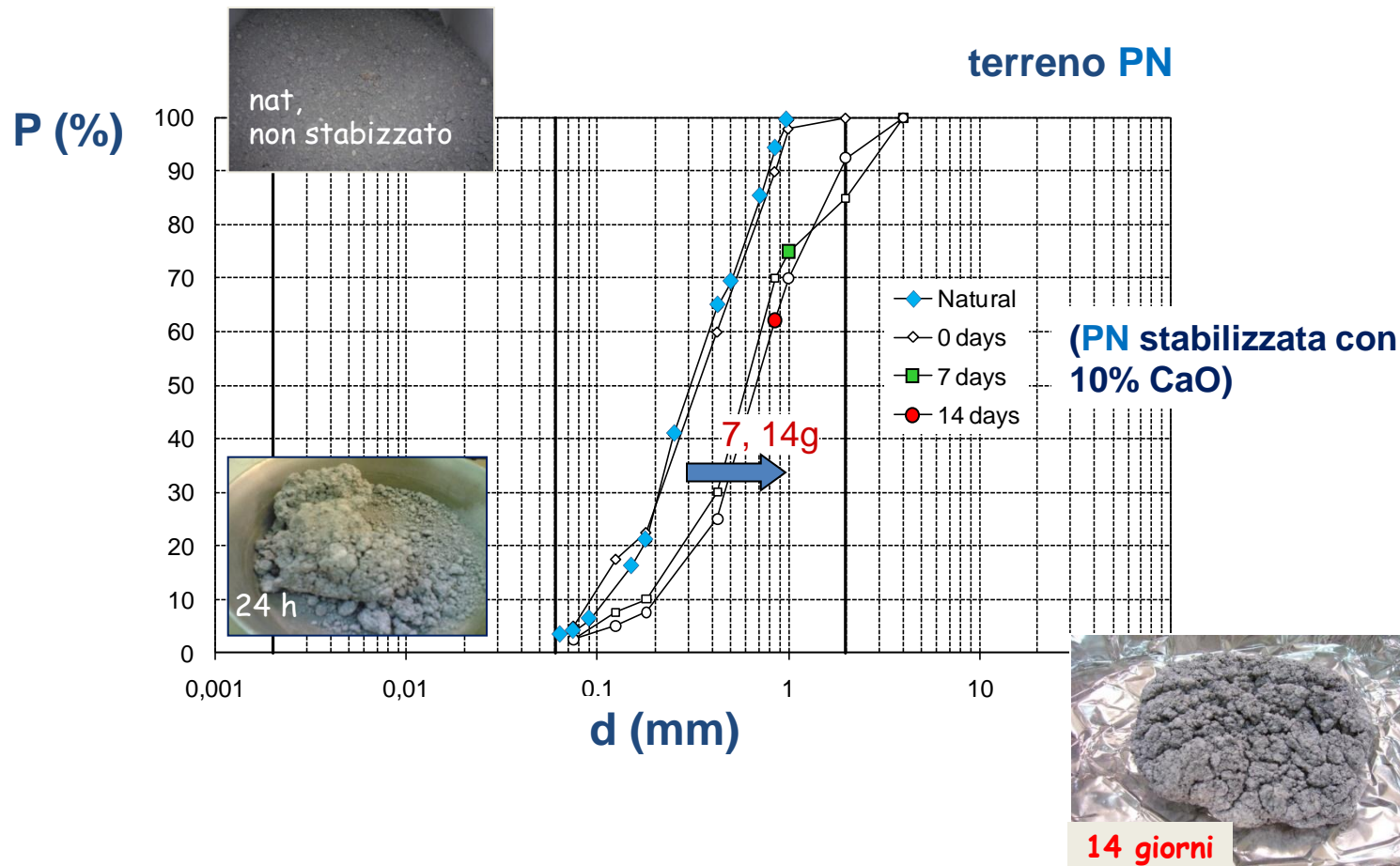
PROPRIETÀ  
FISICHE





se all'esterno del fuso di cui alla norma CNR 36/73, dimostrare l'idoneità della tecnica di stab. mediante lo studio delle miscele in laboratorio

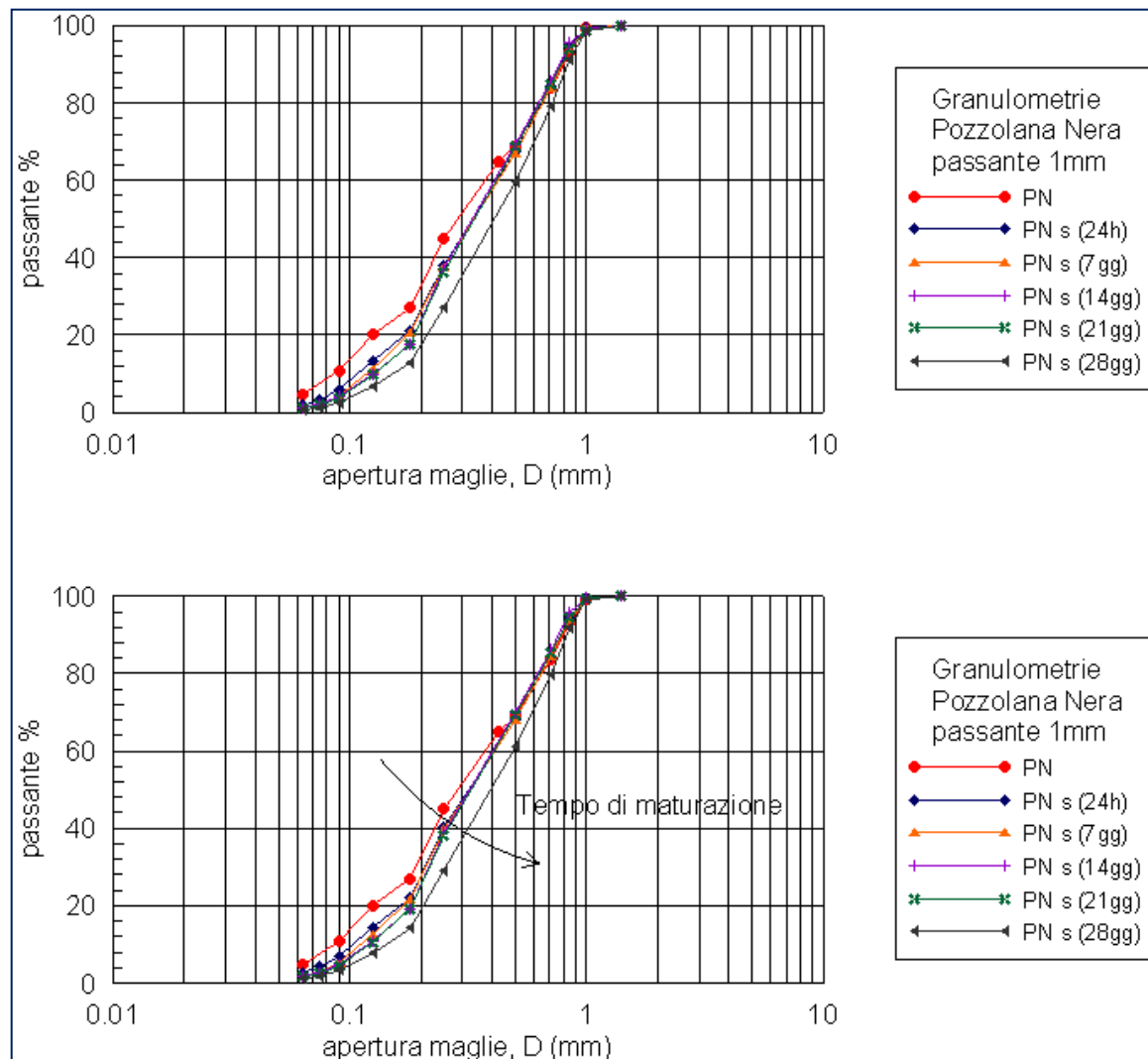
## Distribuzione granulometrica



DISTRIBUZIONE  
GRANULOMETRICA

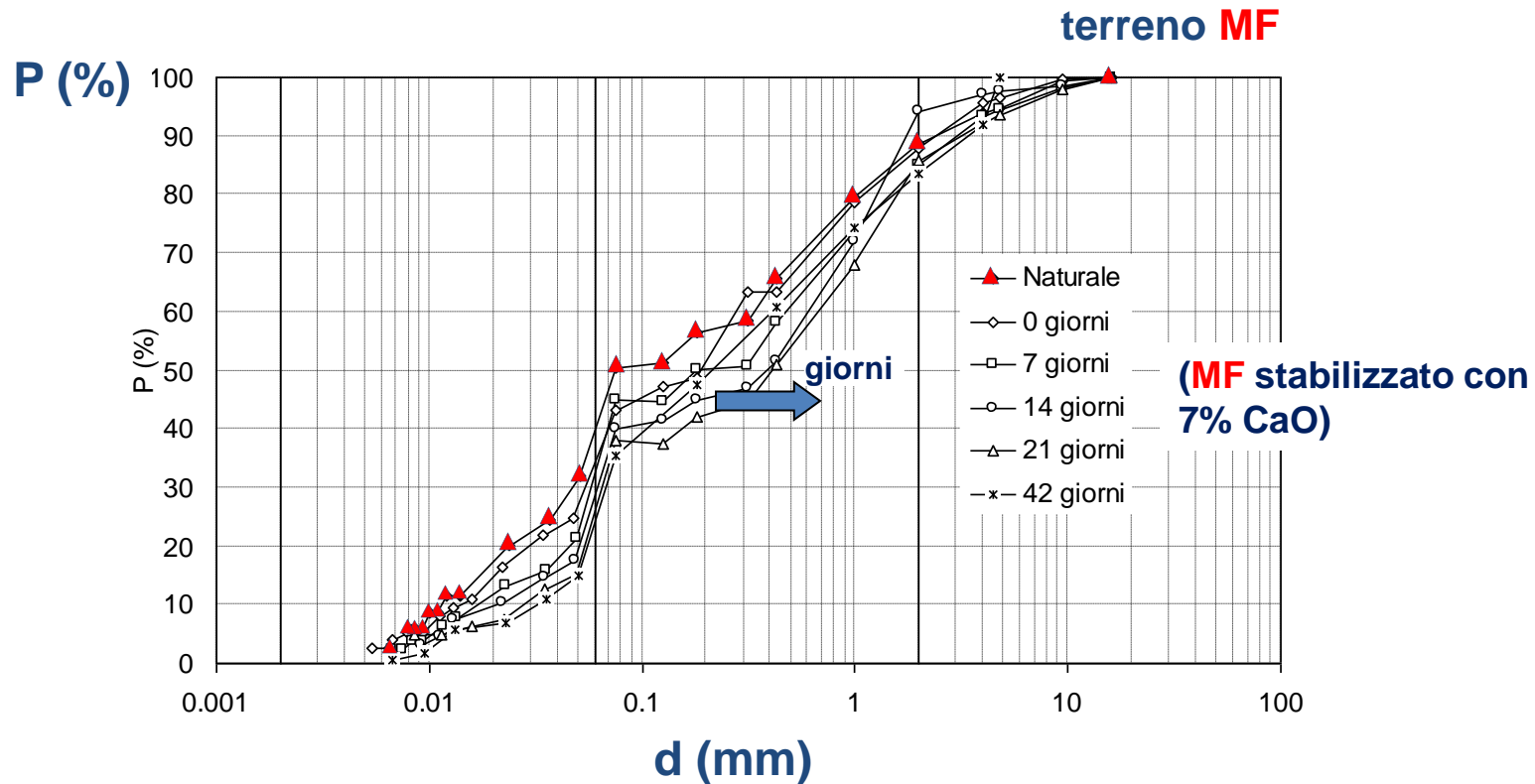
## Distribuzione granulometrica

terreno PN



DISTRIBUZIONE  
GRANULOMETRICA

## Distribuzione granulometrica

DISTRIBUZIONE  
GRANULOMETRICA

## Peso specifico dei granelli solidi

### terreno PN

Table 2. Main Physical properties of the materials under investigation

material	w/c (%)	$G_s$ (-)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$n$ (-)	$S_r$ (%)
<i>Pozzolana Nera</i>	13.0 ± 1.7	2.69	16.46 ± 0.06	14.64 ± 0.03	0.45 ± 0.01	43.5 ± 3.5
<i>Pozzolanelle</i>	16.3 ± 1.9	2.74	11.92 ± 0.06	9.93 ± 0.03	0.64 ± 0.01	25.0 ± 5.2
<i>Conglomerato Giallo</i>	26.8 ± 0.6	2.45	17.40 ± 0.06	17.40 ± 0.03	0.29 ± 0.01	88.0 ± 1.5

GAMMA\_S

### PN non trattata

misure con picnometro – acqua – sotto vuoto + picnometro ad elio:

$$G_s = 2.69$$

### PN stabilizzata a calce

misure con picnometro – acqua o CCl<sub>4</sub> – sotto vuoto

$$24 \text{ h: } G_s = 2.682$$

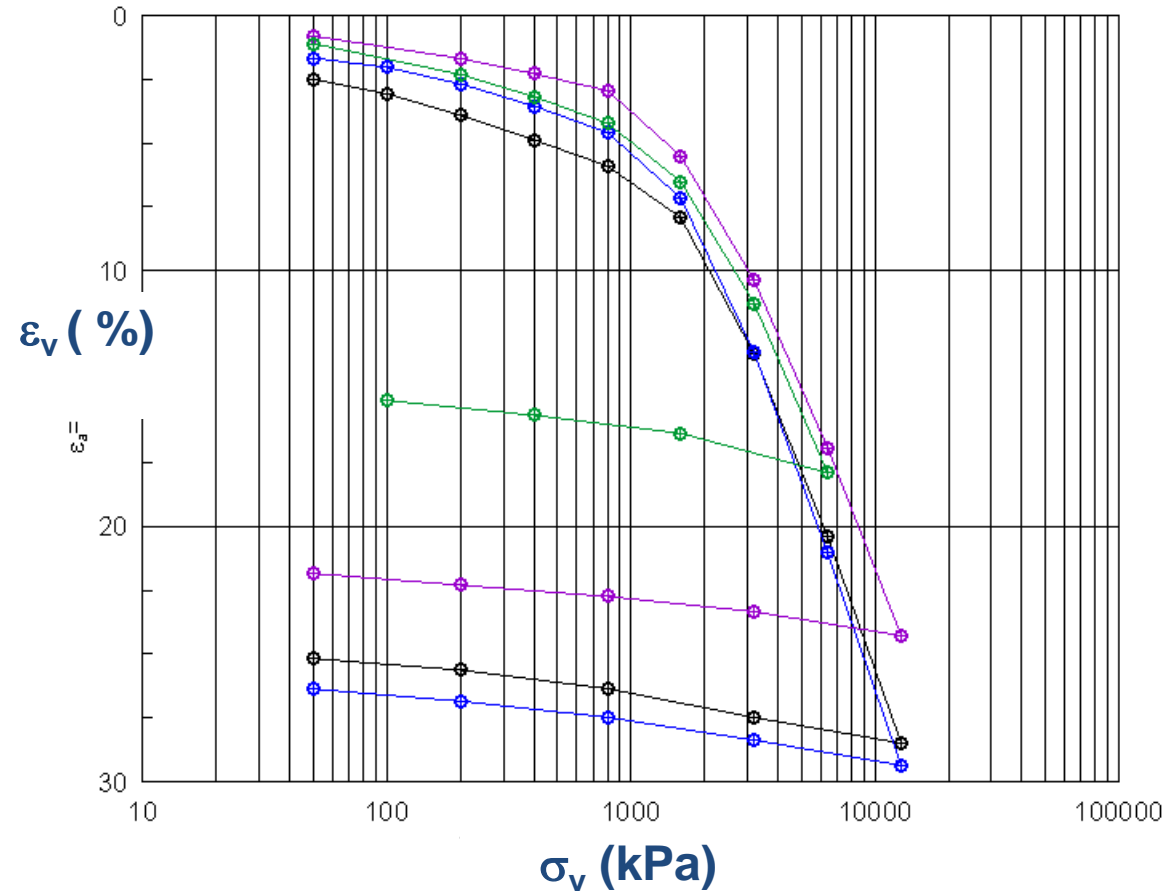
$$14 \text{ g: } G_s = 2.621$$

$$28 \text{ g: } G_s = 2.623$$



## Compressibilità da prove edometriche

terreno PN (nat., non trattato)



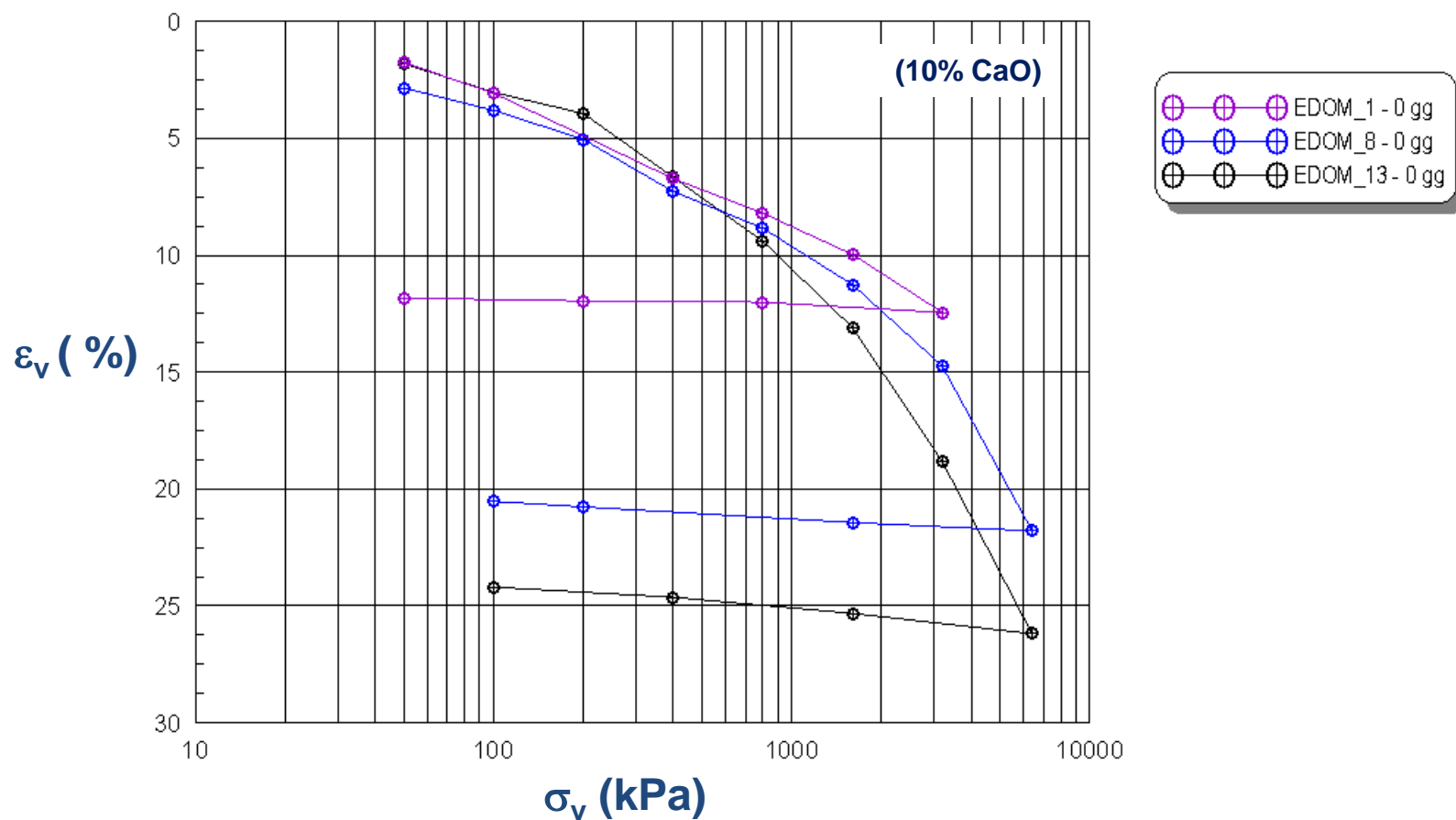
- ⊗ EDOM\_19 - NON STAB.
- ⊕ EDOM\_18 - NON STAB.
- ⊗ EDOM\_12 - NON STAB.
- ⊕ EDOM\_11 - NON STAB.

PROVE  
EDOMETRICHE



## Compressibilità da prove edometriche

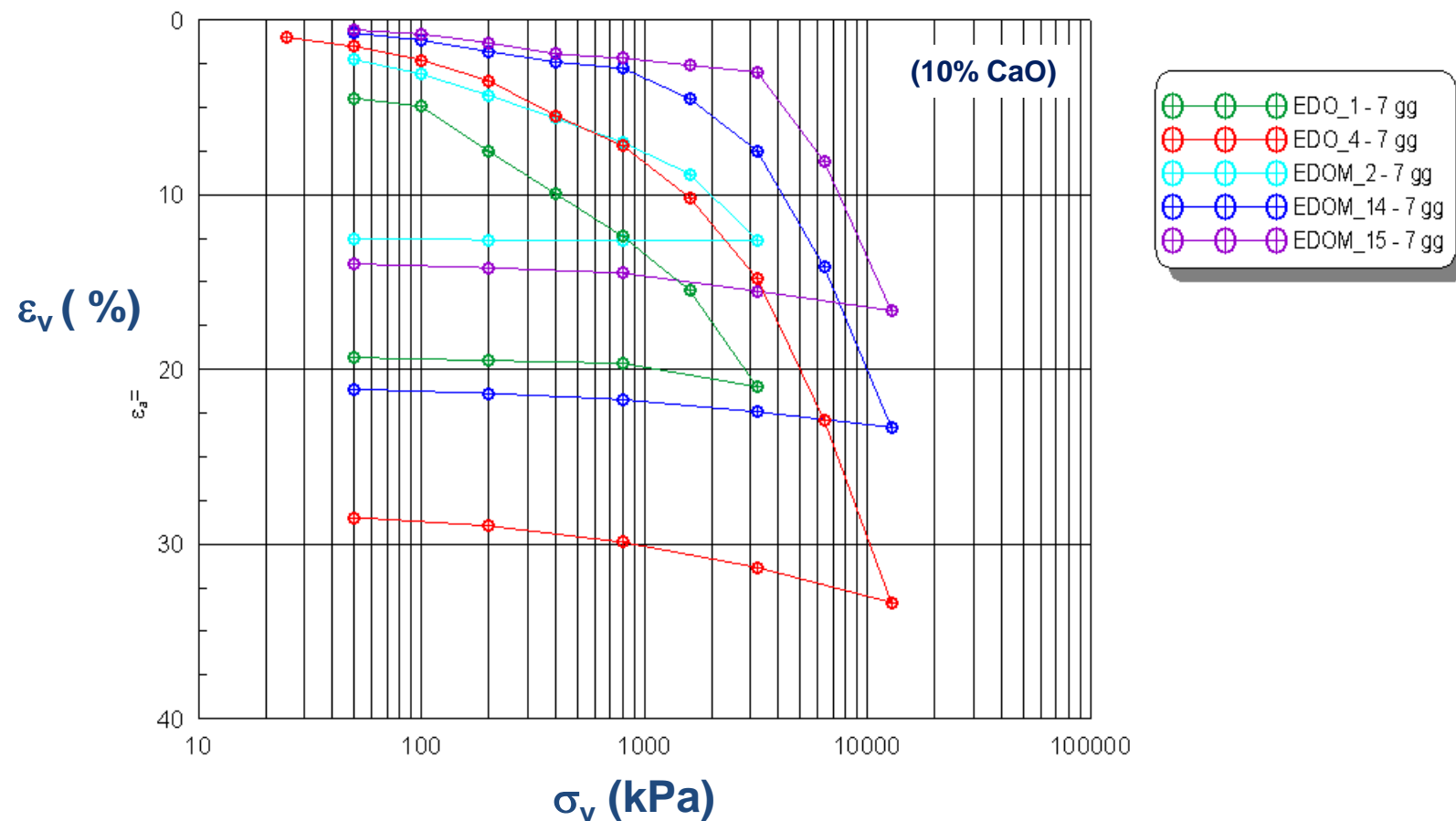
terreno PN (stabilizzato @ 24 h)



PROVE  
EDOMETRICHE

## Compressibilità da prove edometriche

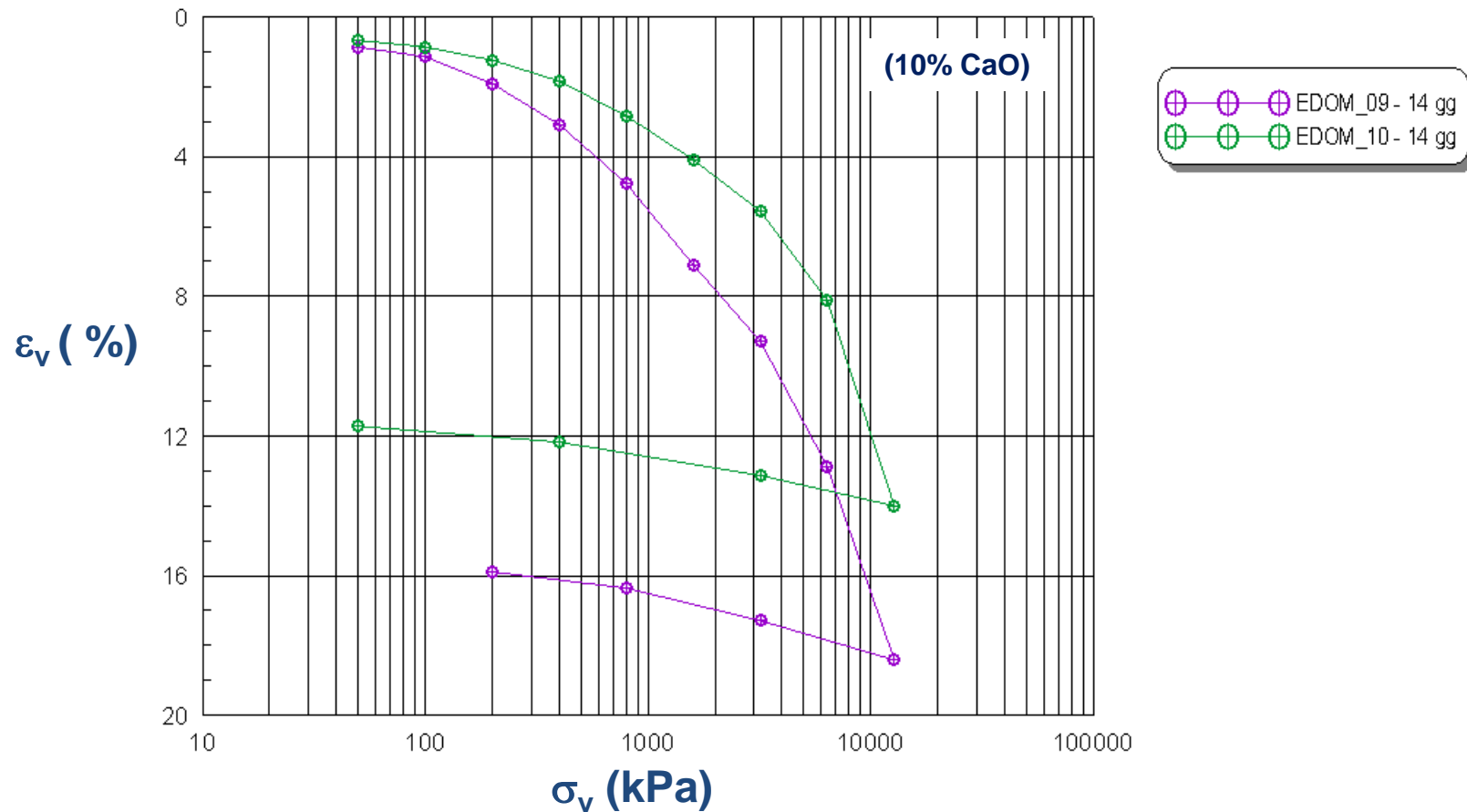
terreno PN (stabilizzato @ 7g)



PROVE  
EDOMETRICHE

## Compressibilità da prove edometriche

terreno PN (stabilizzato @ 14g)

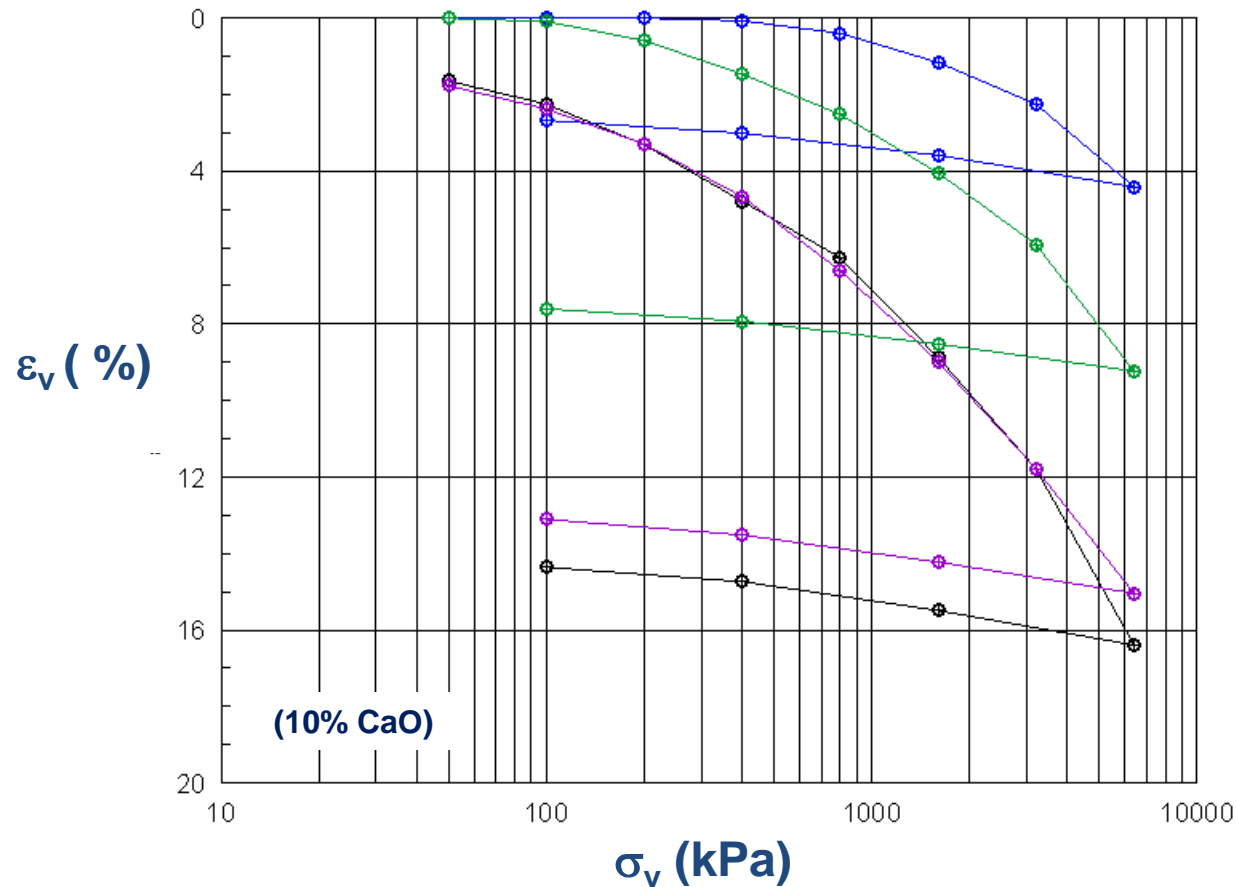


PROVE  
EDOMETRICHE



## Compressibilità da prove edometriche

terreno PN (stabilizzato @ 28g)

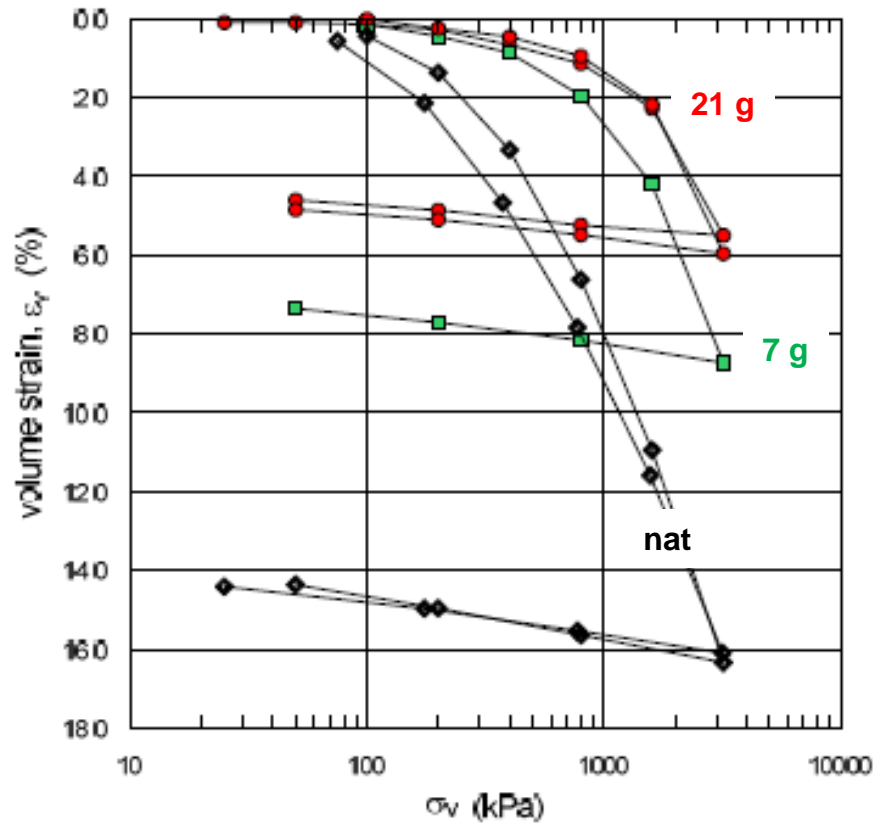


- EDOM\_5 - 28 gg
- EDOM\_6 - 28 gg
- EDOM\_7 - 28 gg
- EDOM\_20 - 28 gg

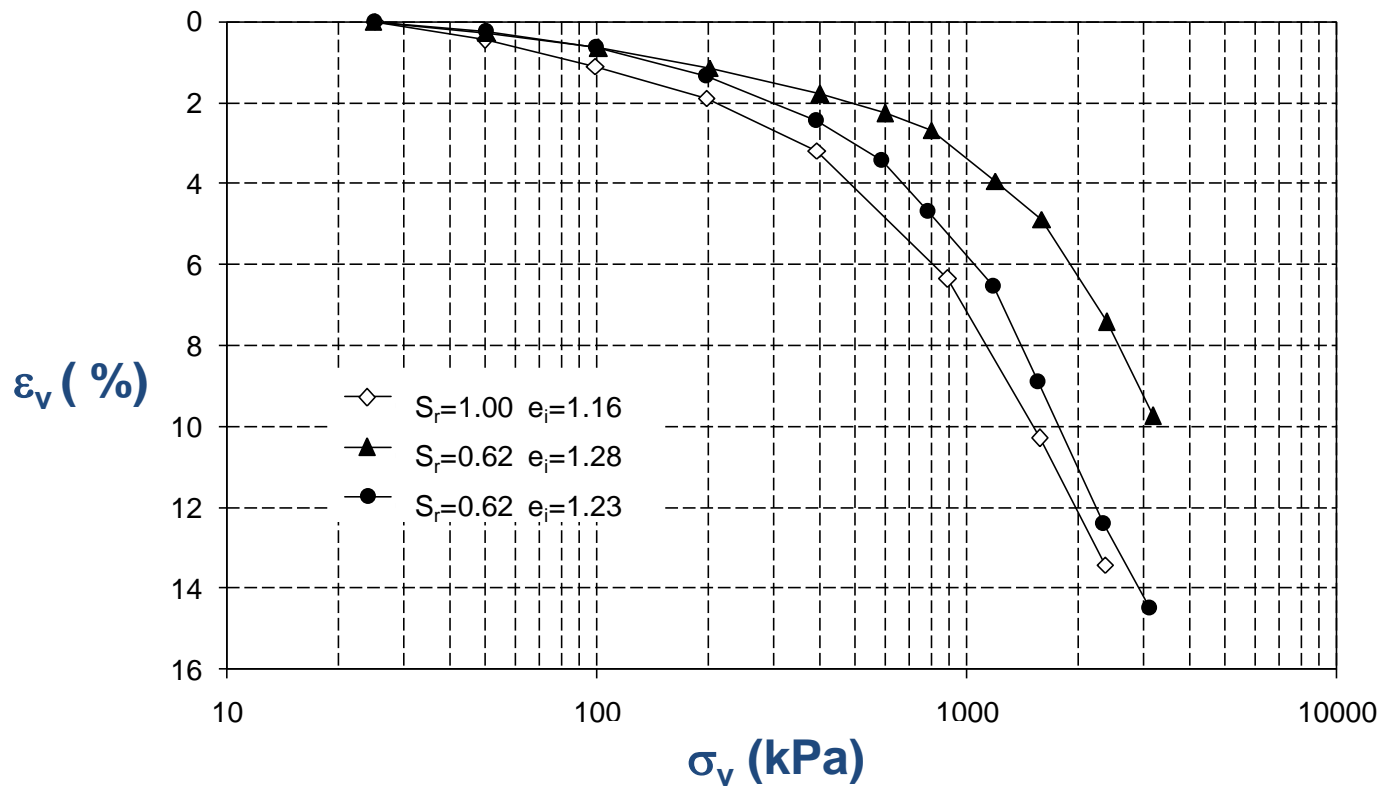
PROVE  
EDOMETRICHE

## Compressibilità da prove edometriche

terreno **PN** (stabilizzato 10% CaO)

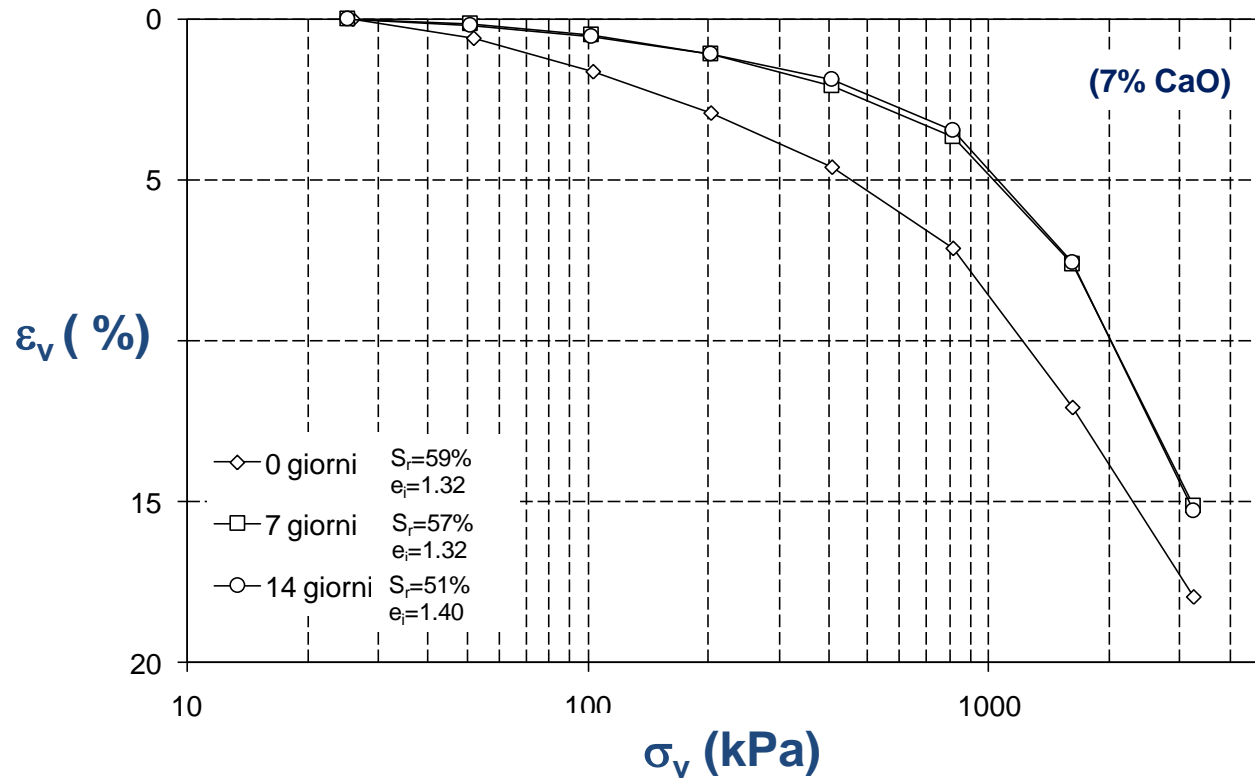


## Compressibilità da prove edometriche terreno **MF** (nat., non trattato)



PROVE  
EDOMETRICHE

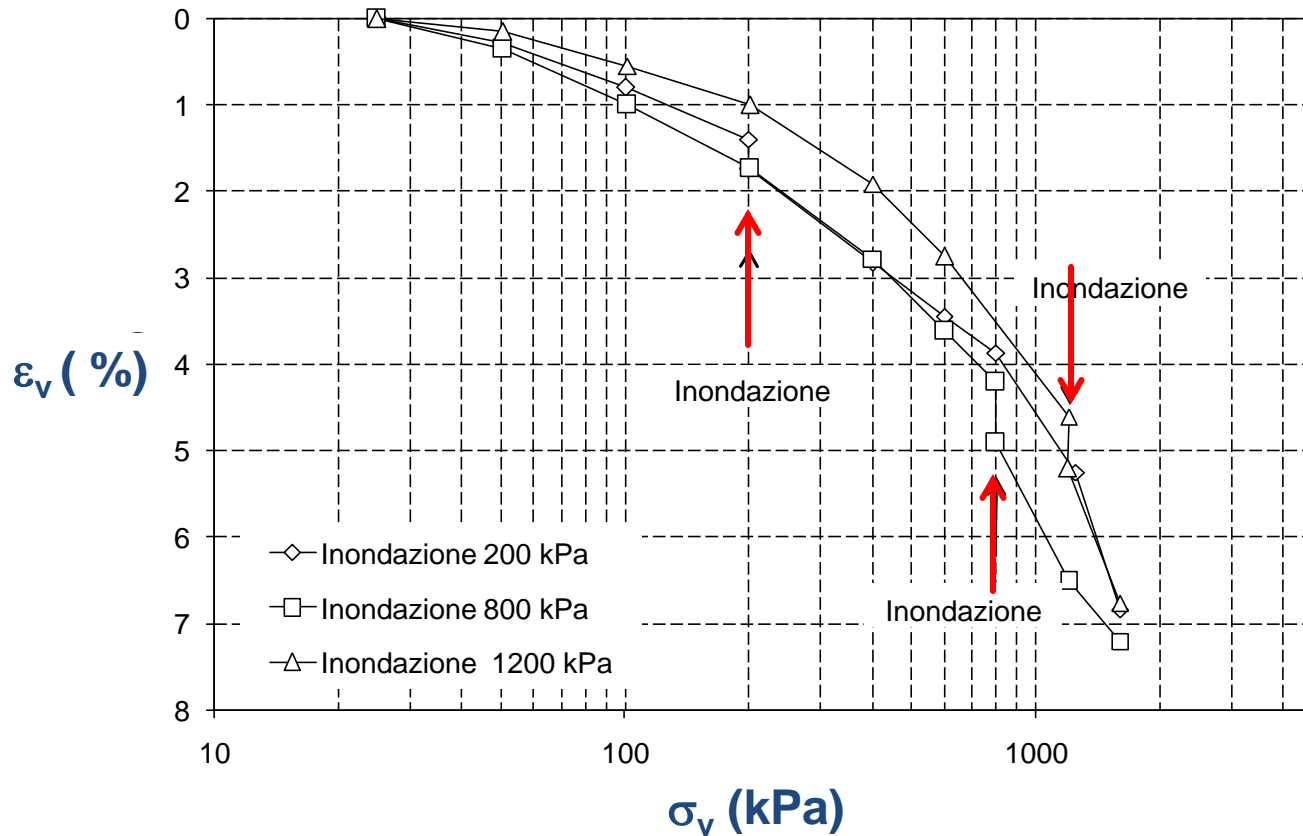
## Compressibilità da prove edometriche terreno **MF** (stabilizzato)



PROVE  
EDOMETRICHE

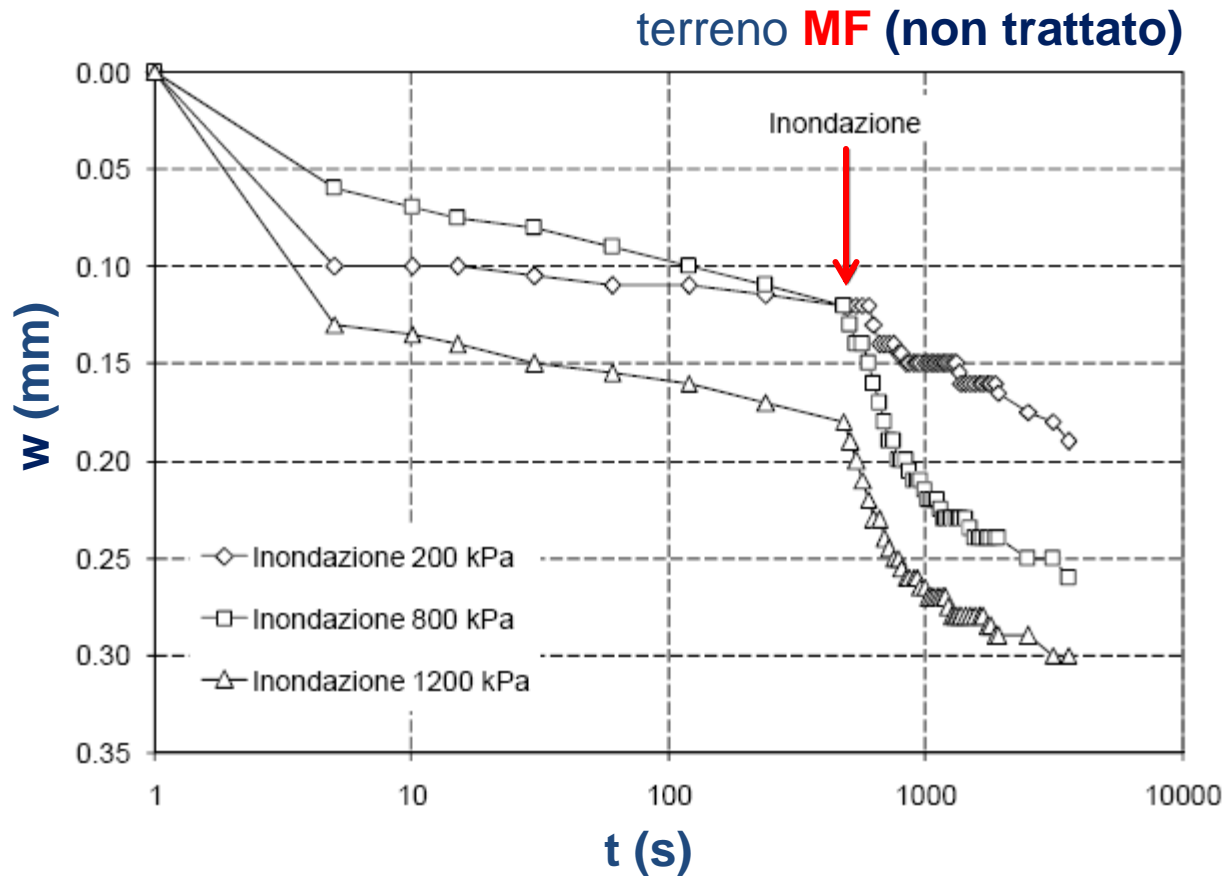
## Collasso strutturale in percorsi di wetting

terreno **MF** (non trattato)



**COLLASSO  
STRUTTURALE**

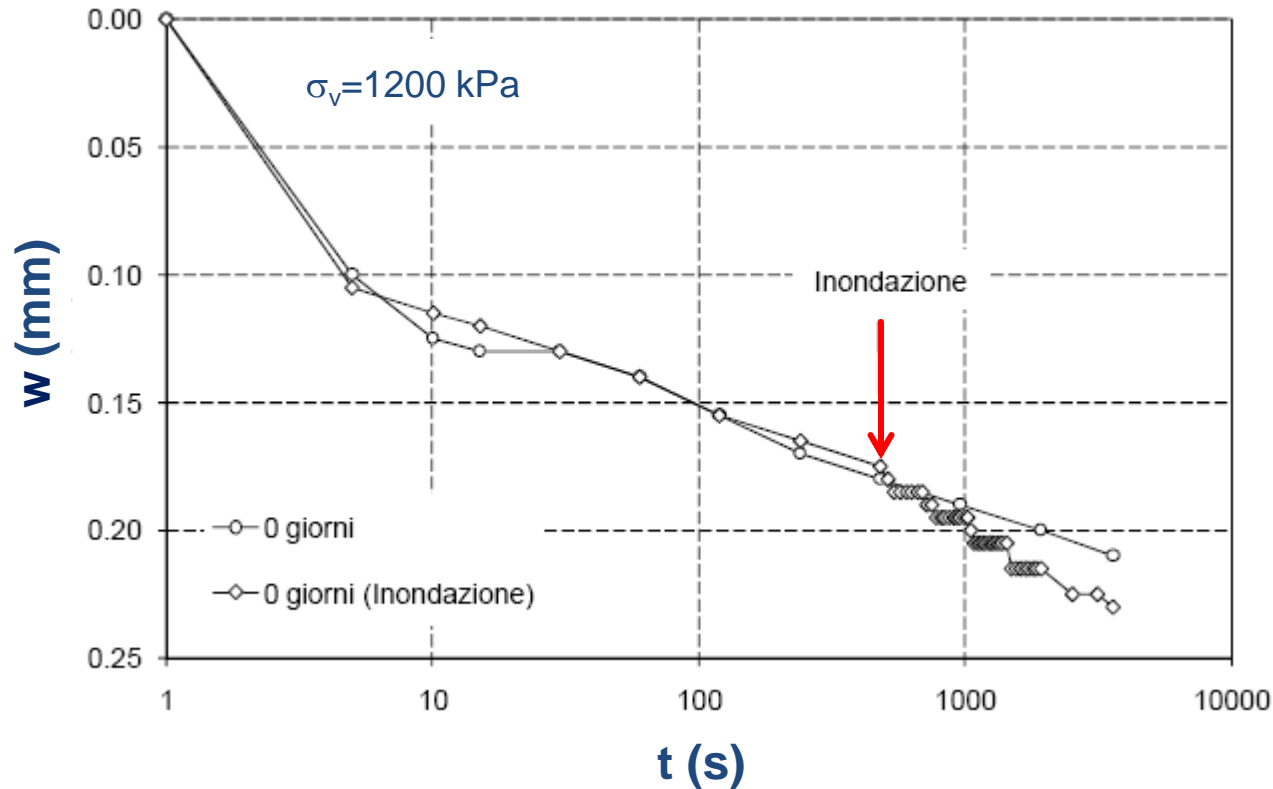
## Collasso strutturale in percorsi di wetting



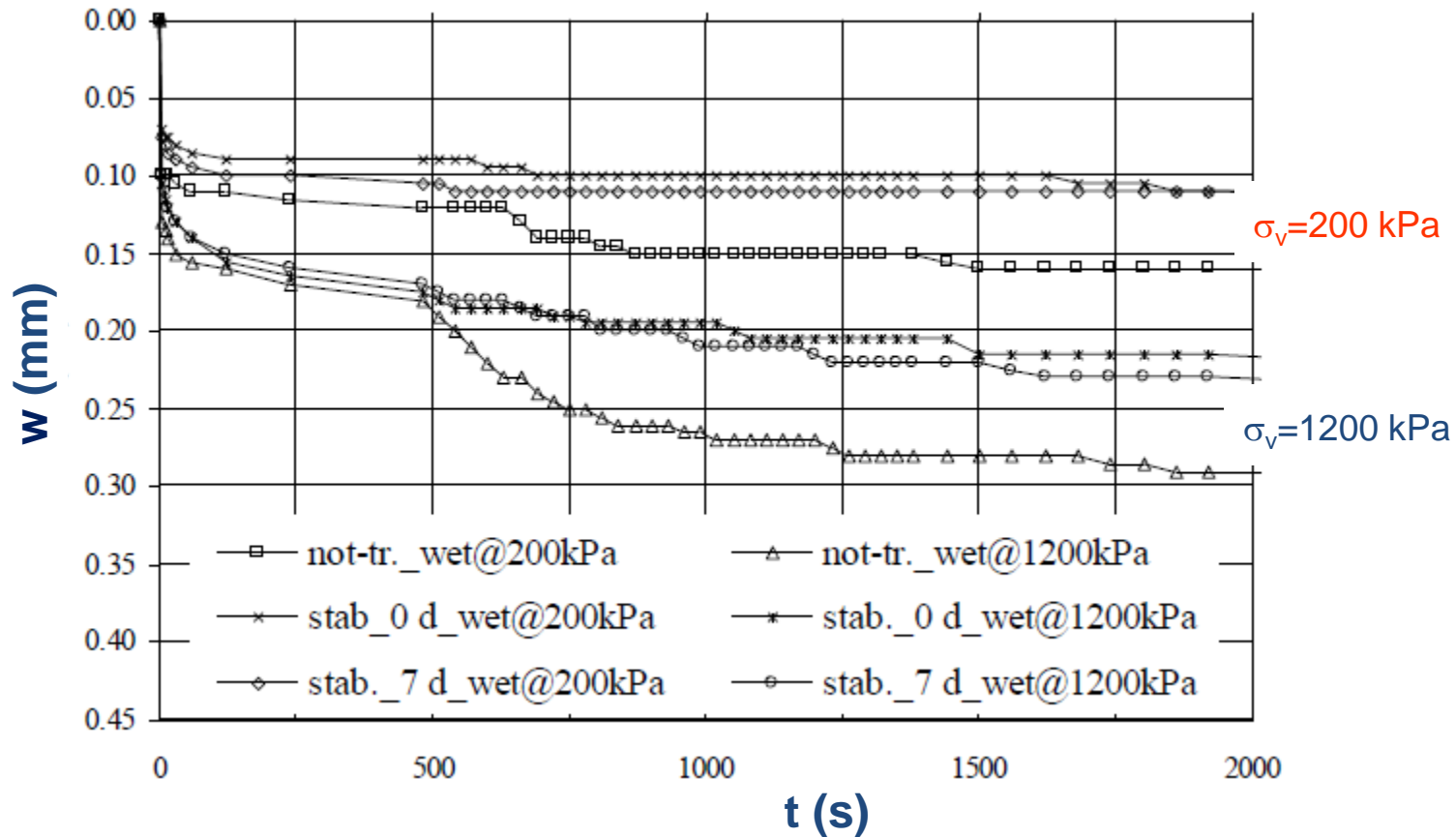
**COLLASSO  
STRUTTURALE**

## Collasso strutturale in percorsi di wetting

terreno **MF** stabilizzato

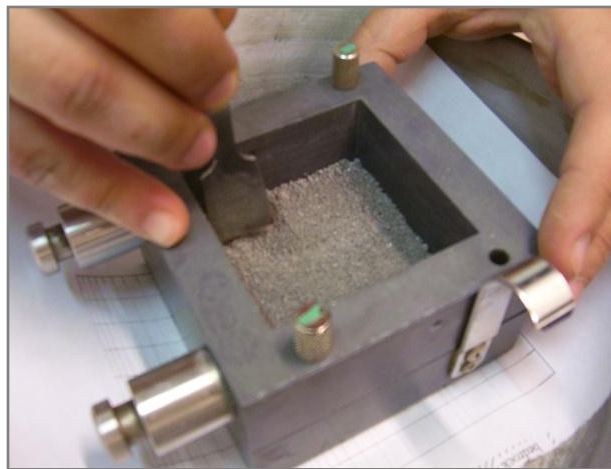


**COLLASSO  
STRUTTURALE**

Confronti terreno **MF nat/stabilizzato**COLLASSO  
STRUTTURALE



## Prove di taglio diretto - terreno PN



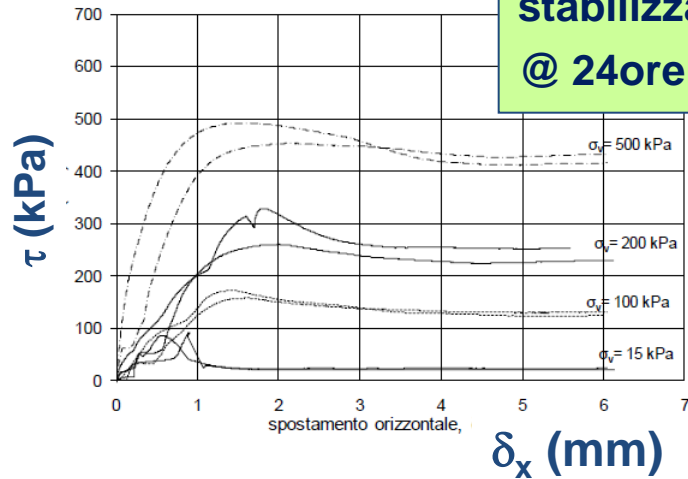
- preparazione della miscela:  $\text{PN} + \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
- compattamento dinamico, all'interno della scatola di taglio
- stagionatura del provino e conservazione in contenitori sigillati

RESISTENZA  
A TAGLIO

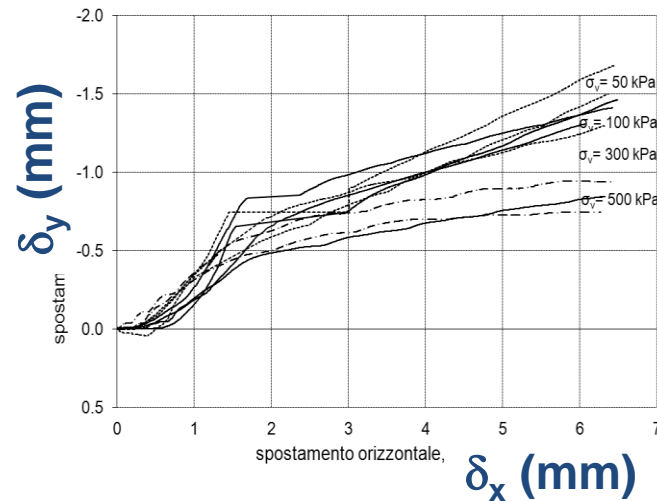
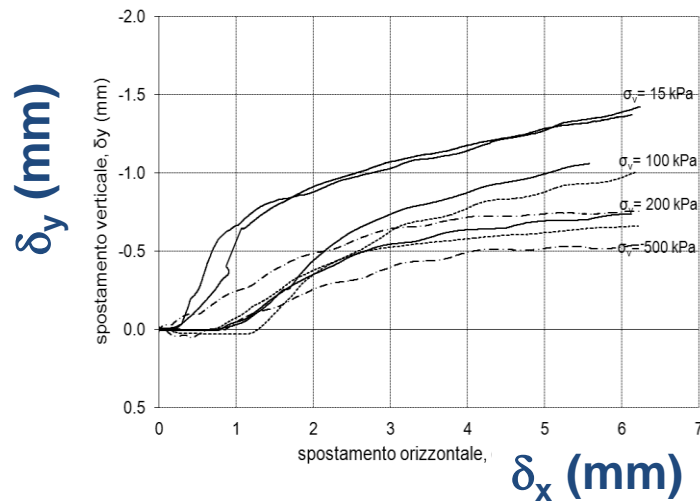
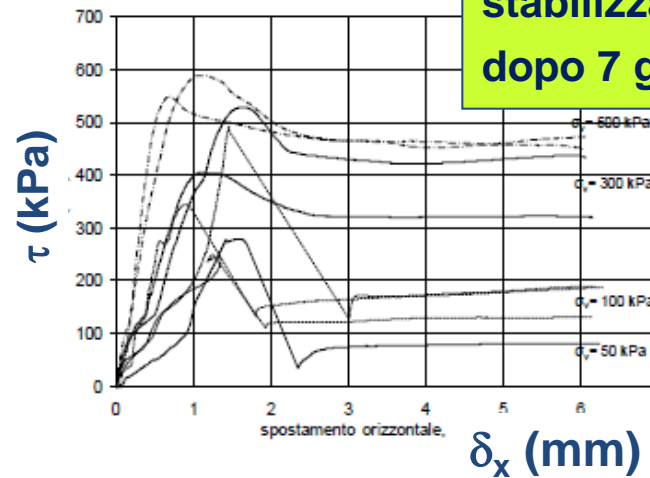
PROVE DI  
TAGLIO DIRETTO

# Prove di taglio diretto - terreno PN

stabilizzato,  
@ 24ore



stabilizzato,  
dopo 7 giorni



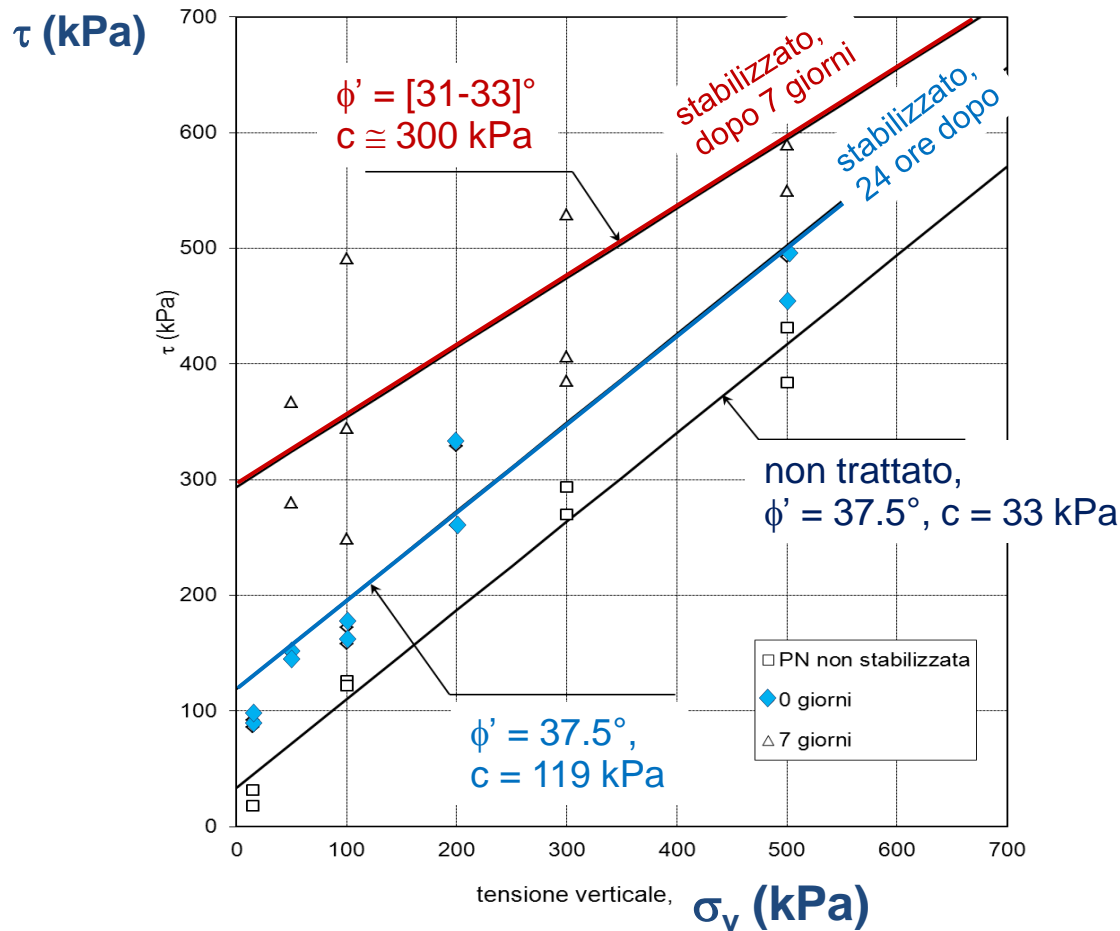
RESISTENZA  
A TAGLIO

PROVE DI  
TAGLIO DIRETTO

## Inviluppi di rottura

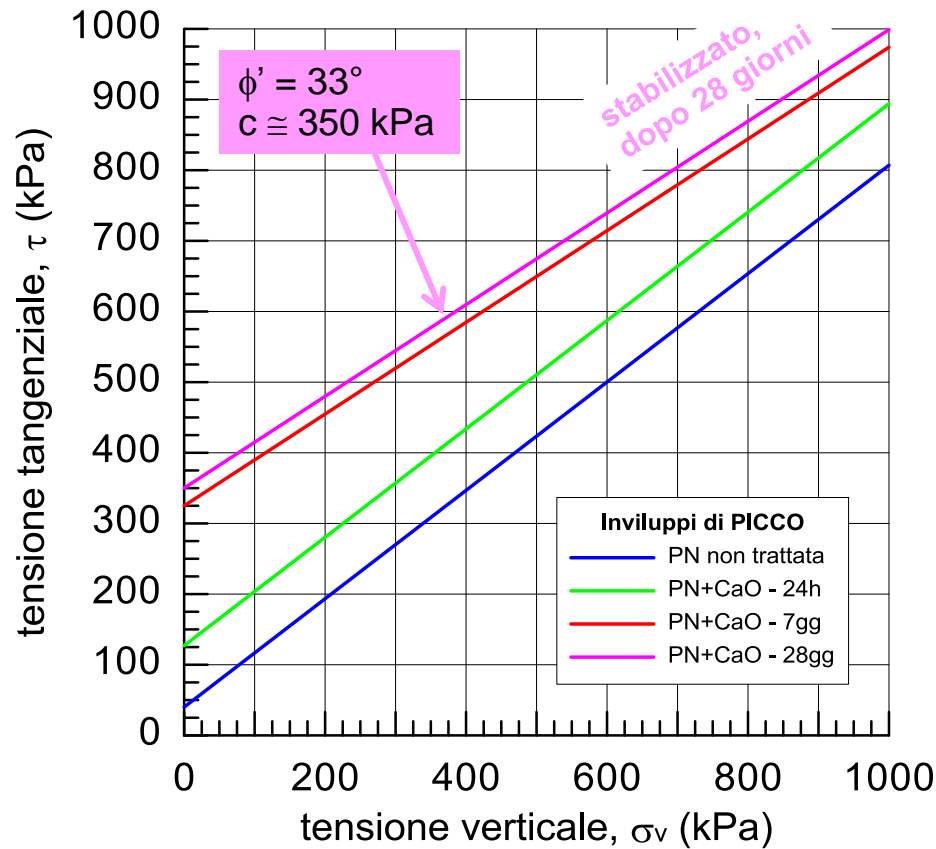
### Prove di taglio diretto

terreno PN

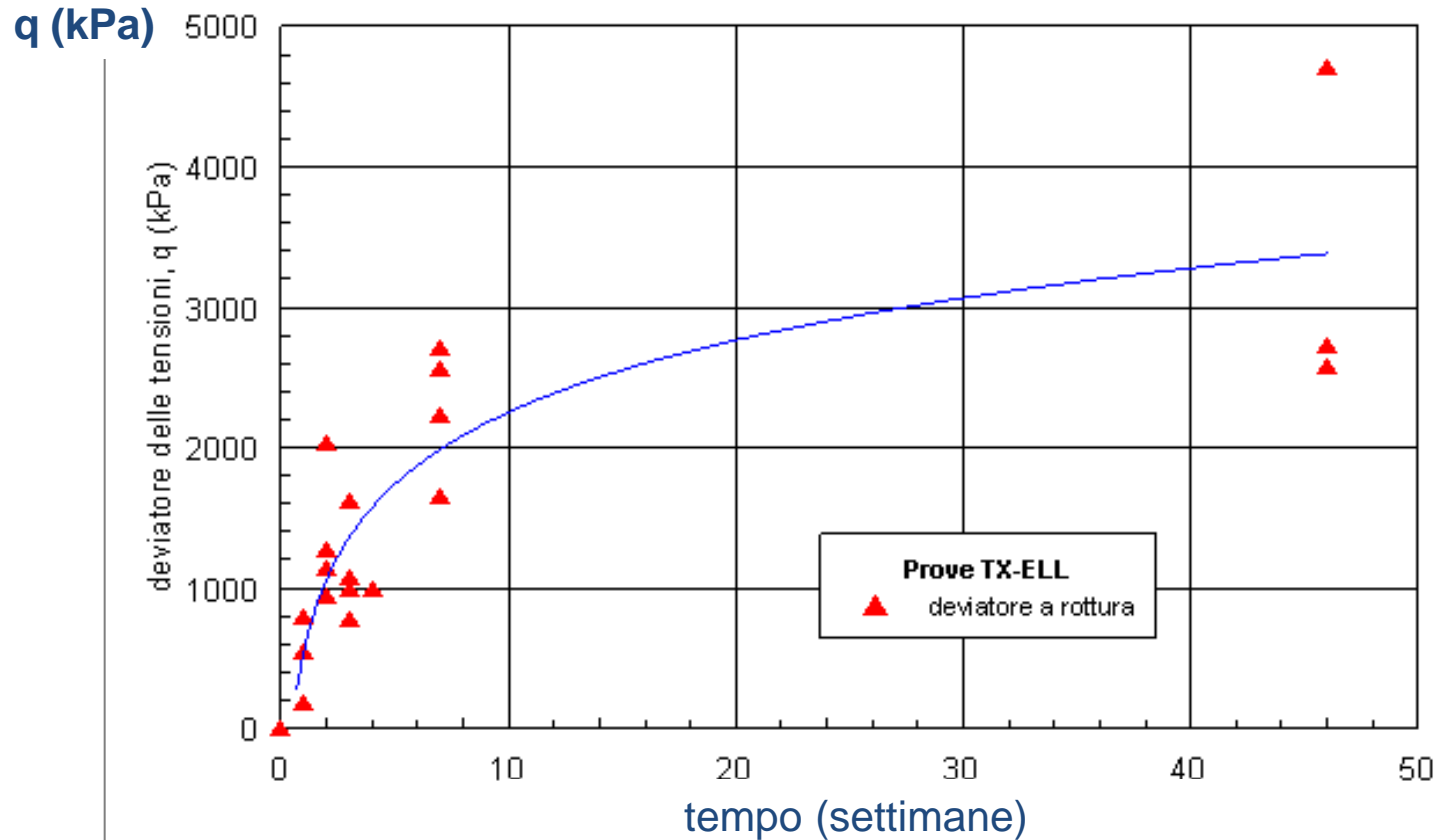


RESISTENZA  
A TAGLIO

INVILUPPI DI  
ROTTURA

Infine, dopo **28 g** di stagionatura**Prove di taglio diretto**terreno **PN****RESISTENZA  
A TAGLIO****INVILUPPI DI  
ROTTURA**

## Prove ELL su provini PN stabilizzati a calce



RESISTENZA  
UNIASSIALE

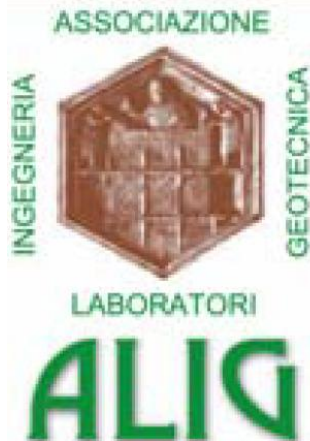


## Osservazioni

- definizione dei parametri di trattamento: le percentuali di calce addizionata al terreno sono legate alla elevata dimensione caratteristica dei grani ( $d_{50}$  \_MF= 0.15mm;  $d_{50}$  \_PN= 0.3mm).
- effetti della calce nei confronti del collasso strutturale: l'addizione di calce, riduce la potenziale collapsabilità del terreno.
- l'aggiunta di calce riduce la compressibilità ed incrementa notevolmente la resistenza a taglio del terreno trattato.
- ulteriori indagini sull'efficacia del trattamento (ricerca in corso):
  - analisi delle modifiche indotte dall'addizione di calce sulla micro-struttura
  - studio della risposta idro-meccanica dei terreni trattati in condizioni di parziale saturazione.



# LA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI



**CONVEGNO ALIG - AGI**

**Napoli 18 aprile 2012**



**Progettazione e Verifiche Geotecniche  
di Costruzioni di Terra Stabilizzata a Calce**

**Paolo Croce  
Università di Cassino**



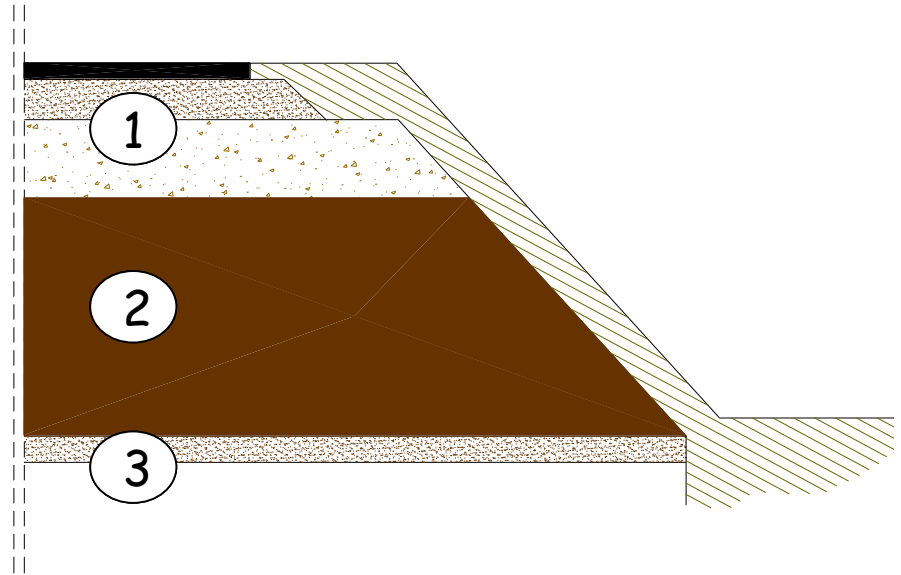


# IMPIEGO DELLA STABILIZZAZIONE A CALCE NEI RILEVATI STRADALI E FERROVIARI

1. base e fondazione stradale (misti granulari cementati)

2. corpo del rilevato (terreni compattati e stabilizzati)

3. bonifica del sottofondo (terreni stabilizzati)



## SOMMARIO

1. NORMATIVA

2. ANALISI DI STABILITA'

3. UN CASO PROGETTUALE



## Cap. 6 - Progettazione Geotecnica

6.2 Articolazione del Progetto

6.8 Opere di Materiali Sciolti e Fronti di Scavo

6.9 Miglioramento e Rinforzo dei Terreni e delle Rocce

## Cap. 7 - Progettazione per Azioni Sismiche

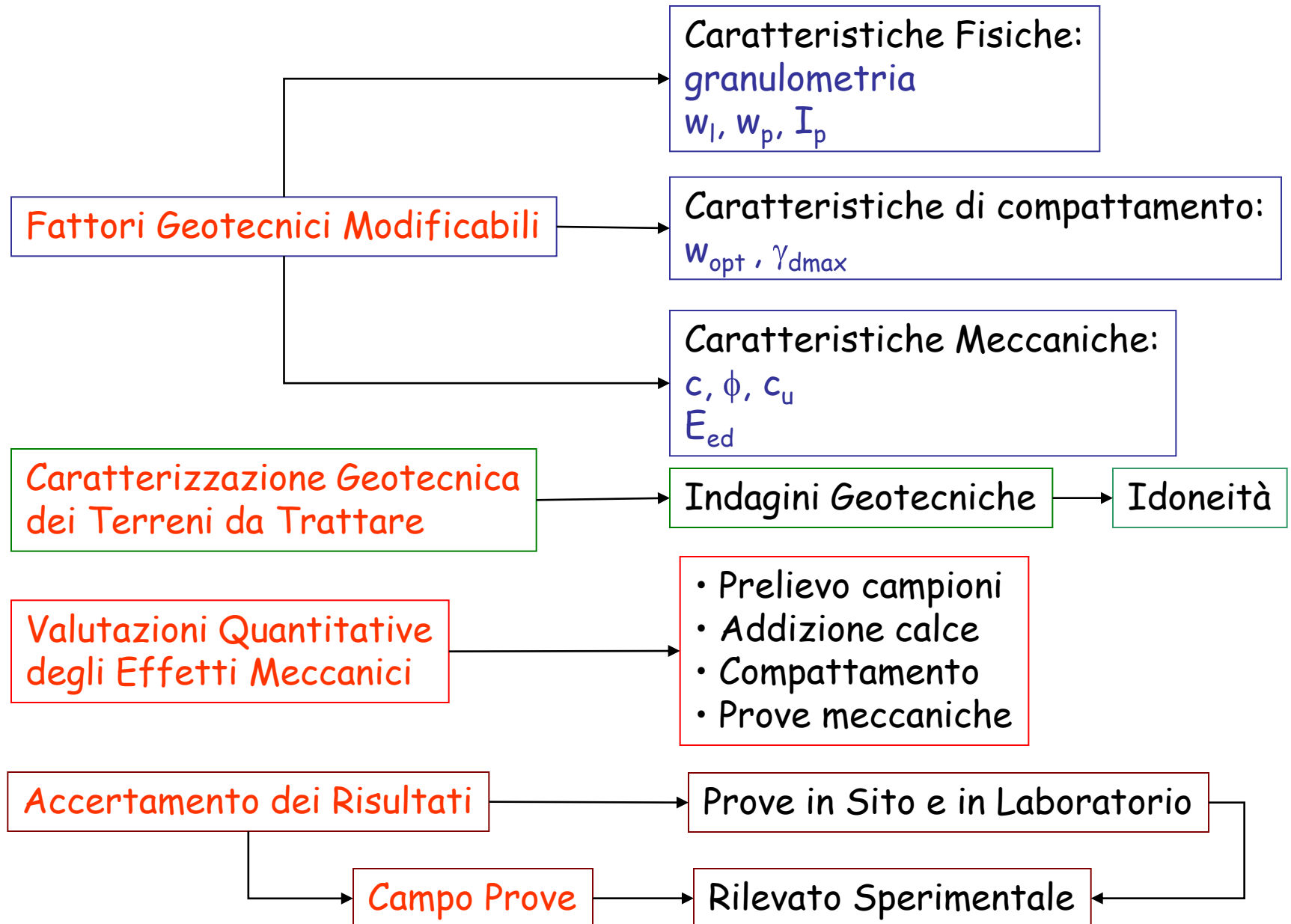
### 6.9 Miglioramento e Rinforzo dei Terreni e delle Rocce

La scelta del tipo di intervento deve derivare da una **caratterizzazione geotecnica dei terreni da trattare** e da un'analisi dei fattori tecnici, organizzativi e ambientali.

Gli interventi devono essere giustificati, indicando i **fattori geotecnici modificabili** e fornendo **valutazioni quantitative degli effetti meccanici** connessi con tali modificazioni.

Le indagini geotecniche devono riguardare anche **l'accertamento dei risultati conseguiti**, avvalendosi di misure ed eventualmente di appositi campi prova.

# STABILIZZAZIONE A CALCE



## 6.8 OPERE DI MATERIALI SCIOLTI (E FRONTI DI SCAVO)

Si applicano ai manufatti di materiali sciolti, quali:

- a) **rilevati**
- b) argini
- c) rinfianchi
- d) rinterri
- e) terrapieni
- f) colmate

6.8.1 Criteri generali di progetto

6.8.2 Verifiche di sicurezza (S.L.U.)

6.8.3 Verifiche in condizioni di esercizio (S.L.E.)

6.8.4 Aspetti costruttivi

6.8.5 Controlli e monitoraggio

## 6.8.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTO

Il progetto di un manufatto di materiali sciolti deve tenere conto dei **requisiti prestazionali** richiesti e delle **caratteristiche dei terreni di fondazione**.

Esso deve comprendere la **scelta dei materiali** da costruzione e la loro **modalità di posa in opera**.

I criteri per la scelta dei materiali da costruzione devono essere definiti ... tenendo presenti i problemi di selezione, coltivazione delle cave, trasporto, **trattamento** e posa in opera....

Nel progetto devono essere indicate le **prescrizioni relative alla qualificazione dei materiali e alla posa in opera** precisando tempi e modalità di costruzione...

Sono altresì da precisare i **controlli da eseguire durante la costruzione** e i **limiti di accettabilità dei materiali**, del grado di compattazione da raggiungere e della deformabilità degli strati.

## 6.8.2 VERIFICHE DI SICUREZZA (S.L.U.)

La **stabilità globale** dell'insieme manufatto - terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti:

- alle diverse fasi costruttive
- al termine della costruzione
- in esercizio

## 6.8.3 VERIFICHE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO (S.L.E.)

Si deve verificare che i **cedimenti** del manufatto, dovuti alla deformazione dei terreni di fondazione e dell'opera, siano compatibili con la sua funzionalità.

#### 6.8.4 ASPETTI COSTRUTTIVI

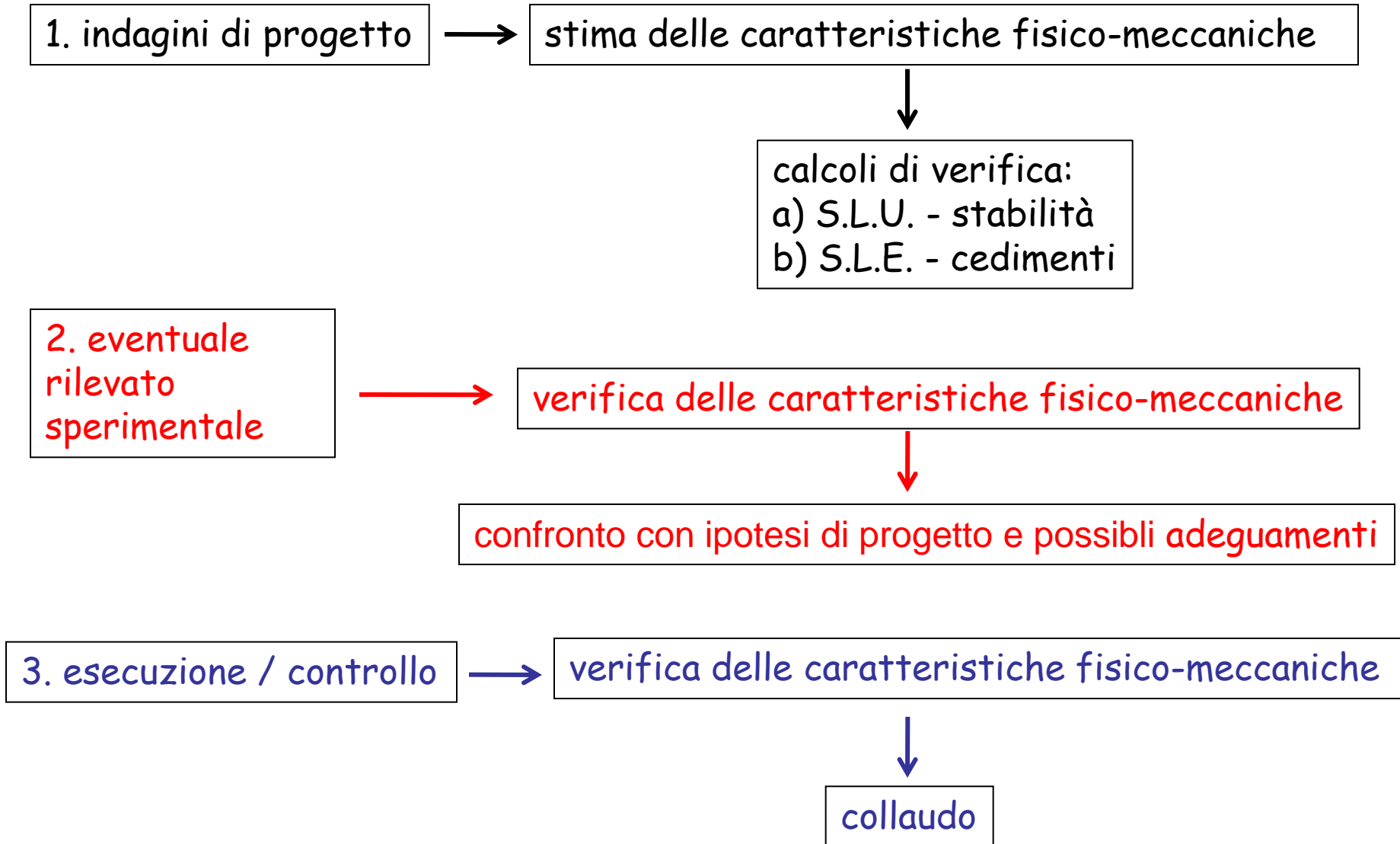
I **materiali costituenti il manufatto** devono essere posti in opera in strati con metodologie idonee a garantire il **raggiungimento delle proprietà fisiche e meccaniche richieste in progetto.**

#### 6.8.5 CONTROLLI E MONITORAGGIO

Durante la costruzione devono essere eseguite **prove di controllo** del grado di addensamento, dell'umidità e della deformabilità degli strati posti in opera.

Il **tipo ed il numero di controlli** devono essere fissati in relazione all'importanza dell'opera ed alle caratteristiche geotecniche dell'area, in modo da assicurare un congruo numero di misure significative.

# PROGETTO - ESECUZIONE - CONTROLLO



## 6.2 N.T.C. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

### 6.2.3.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U.)

1. Stima dei parametri caratteristici  $X_k$

I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche **prove di laboratorio su campioni indisturbati** e attraverso l'interpretazione dei risultati di **prove e misure in sito**.

2. Calcolo dei parametri di progetto  $X_D = X_k / \gamma_M$   
( $\gamma_M$  = coeff. di sicurezza parziali)

3. Calcolo dell'**Effetto** delle azioni di progetto  $E_D$

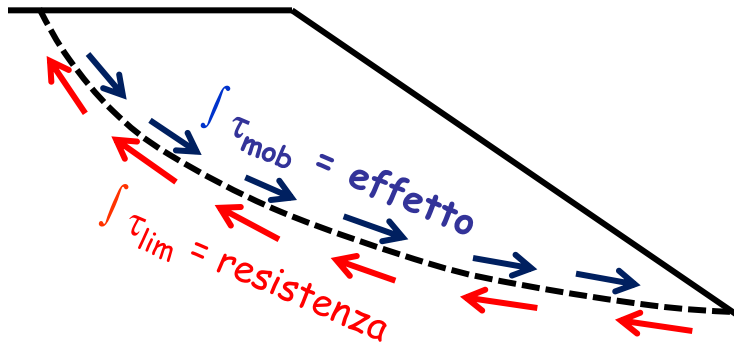
4. Calcolo della **Resistenza** di progetto  $R_D = R / \gamma_R$   
( $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema geotecnico.)

5. Verifica  $E_D \leq R_D$



# VERIFICHE DI STABILITA' (S.L.U.)

$$E_D \leq R_D \quad (\text{Effetto delle Azioni} \leq \text{Resistenza del Sistema})$$



Verifiche di Stabilità

$$F = (\int \tau_{lim} / \int \tau_{mob})$$

$$\gamma_D = \gamma_k$$

$$c'_D = c'_k / 1,25$$

$$\tan(\phi')_D = \tan(\phi'_k) / 1,25$$

$$c_{uD} = c_{uk} / 1,4$$

$$R = \int \tau_{lim}(\gamma_D; c'_D, \phi'_D; c_{uD})$$

$$\gamma_R = 1,1$$

$$R_D = (\int \tau_{lim}) / 1,1$$

$$E_D = \int \tau_{mob}(\gamma_D)$$

$$R_D \geq E_D$$

$$(R_D / E_D) \geq 1$$

$$F = \int \tau_{lim} / \int \tau_{mob} \geq 1,1$$

# AZIONI SISMICHE

## 7.11.3.5.2 Metodi di analisi

- **metodi pseudostatici**
- metodi degli spostamenti
- metodi di analisi dinamica

Nei **metodi pseudostatici** l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente  $F$ , costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile.

$$F_h = k_h \cdot W \quad (k_h = \text{coefficiente sismico orizzontale})$$

$$F_v = k_v \cdot W \quad (k_v = \text{coefficiente sismico verticale})$$

## SCELTA DI $k_h$ e $k_v$

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa, in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale

$S_T$  = Coefficiente di Amplificazione Topografica

$S_S$  = Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica

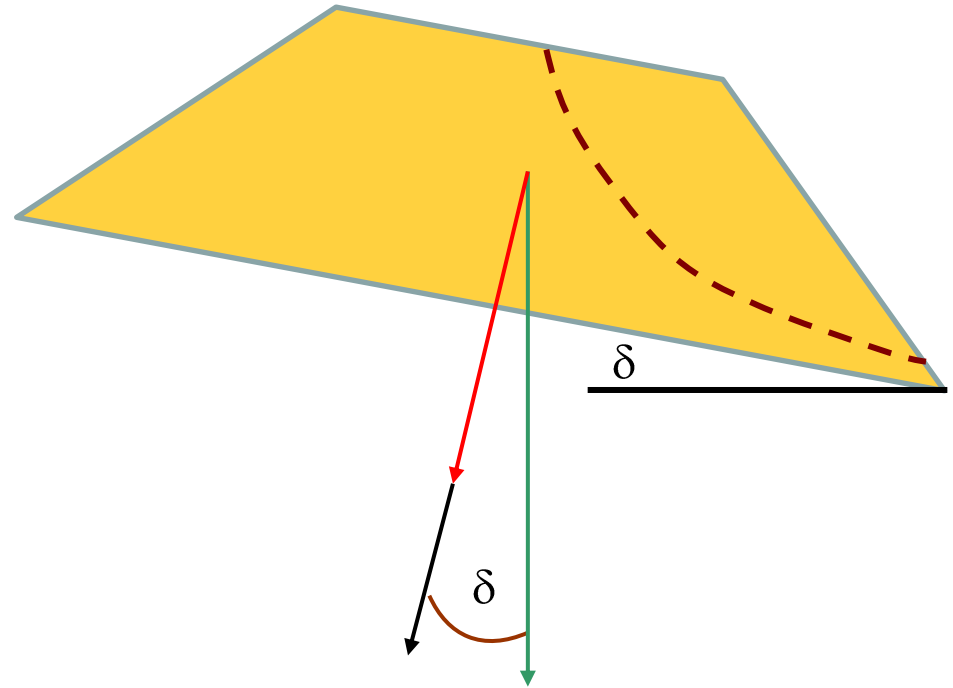
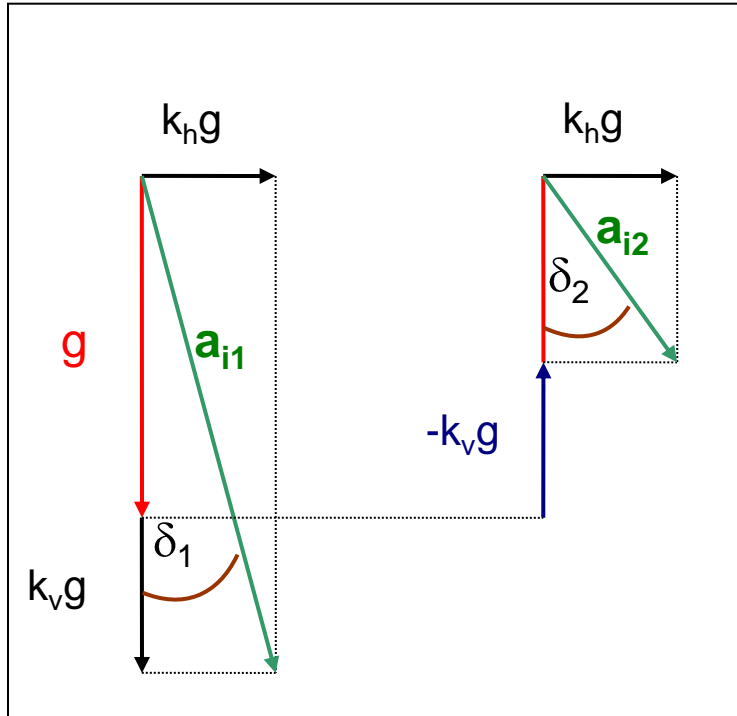
$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

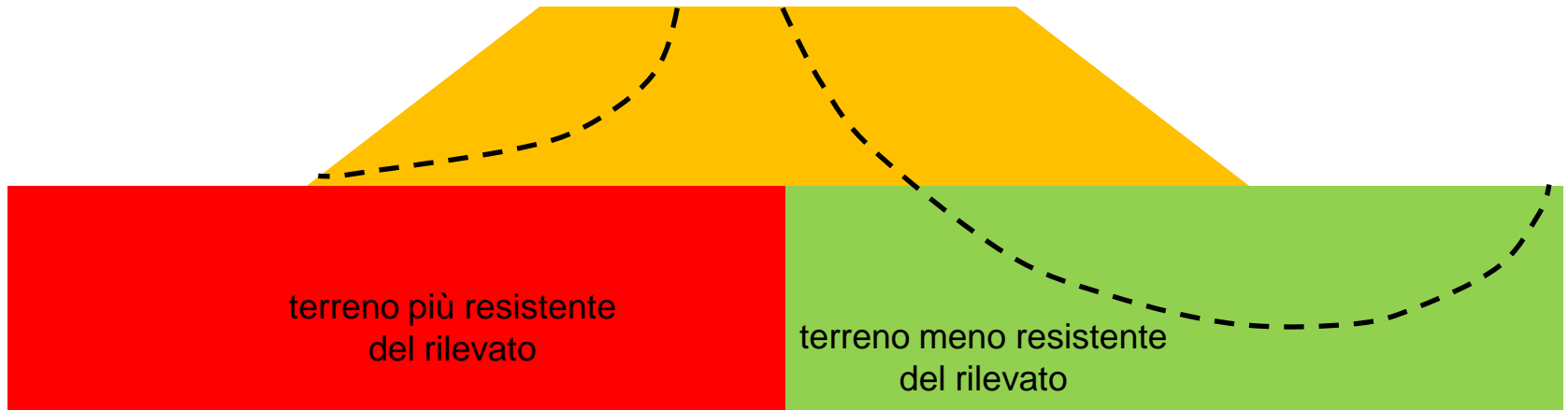
# VERIFICHE PSEUDO-STATICHE



$$\gamma_s = \gamma \sqrt{(1 \pm k_v)^2 + k_h^2}$$

# RILEVATO - TERRENO DI FONDAZIONE

stabilità



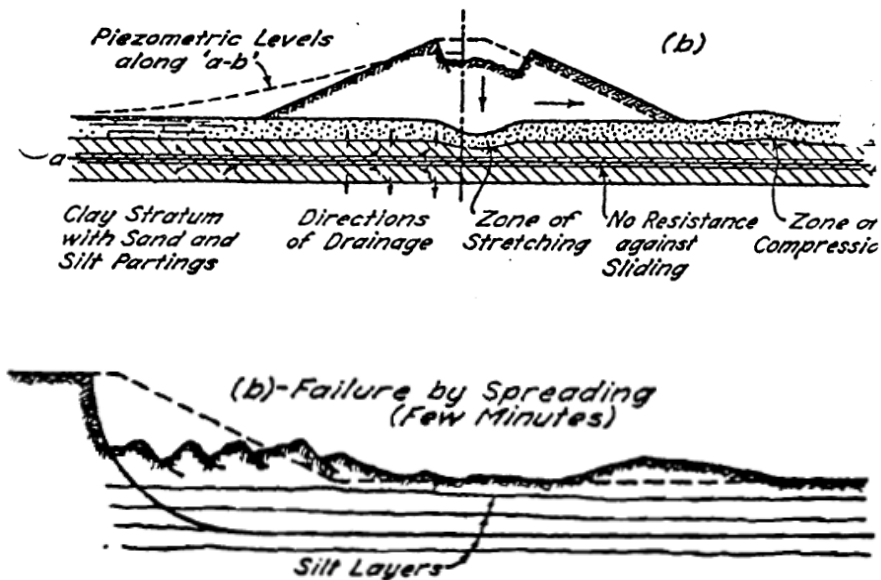
cedimenti



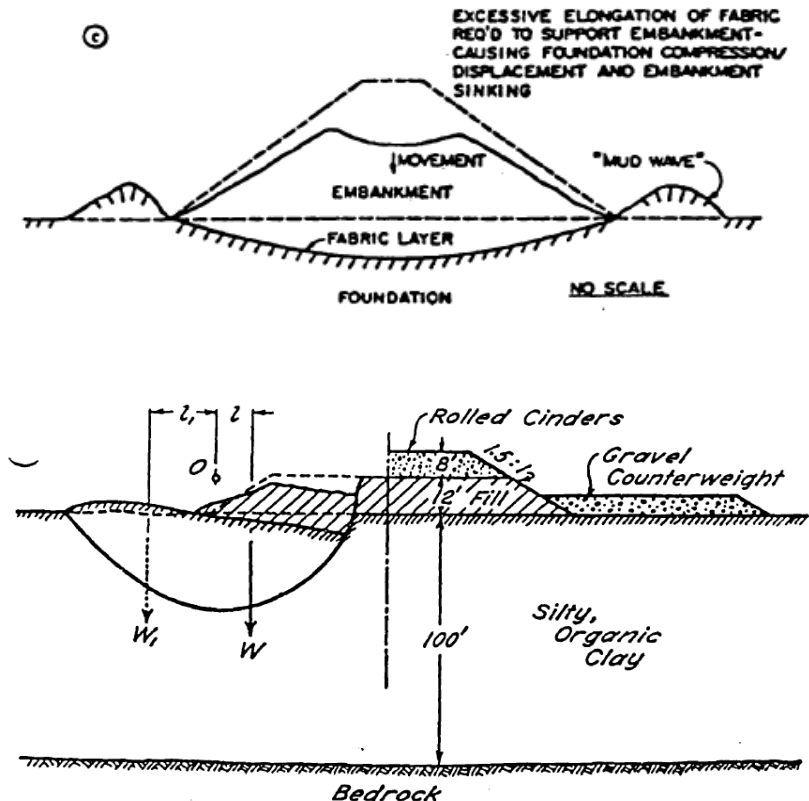
# RILEVATI SU TERRENI DI FONDAZIONE MOLTO COMPRIMIBILI E POCO RESISTENTI

a) Cedimenti Elevati e Protratti nel Tempo

b) Possibile Instabilità Generale



Terzaghi e Peck (1967)

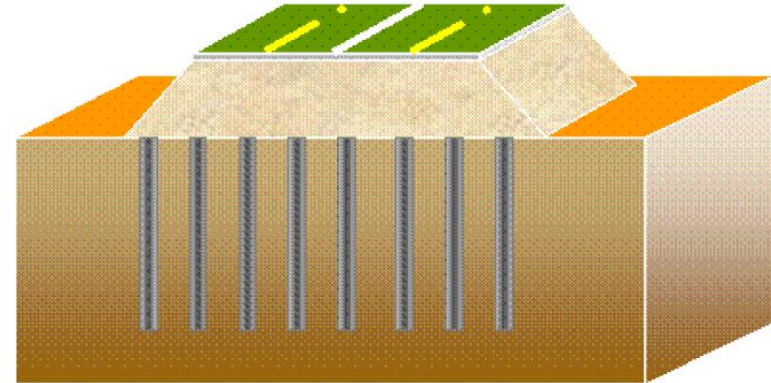
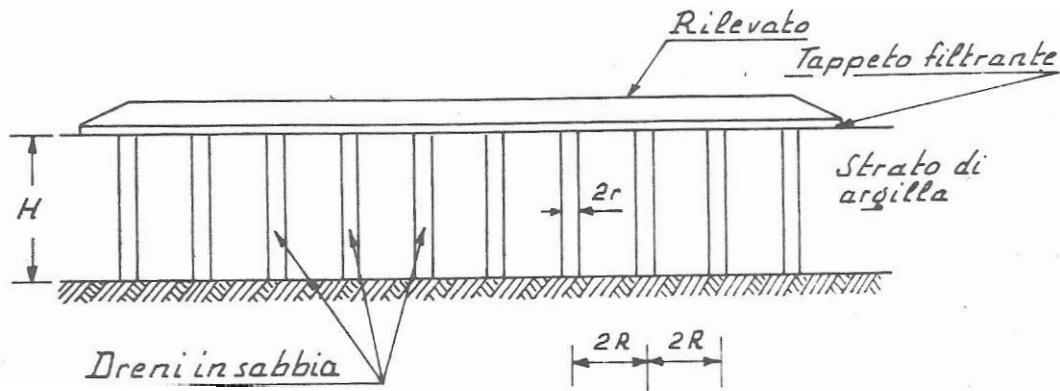


Halibarton et al. (1978)

# SOLUZIONI PER TERRENI DI FONDAZIONE SCADENTI

## B) Consolidamento Terreni di Fondazione

### A) Dreni Verticali

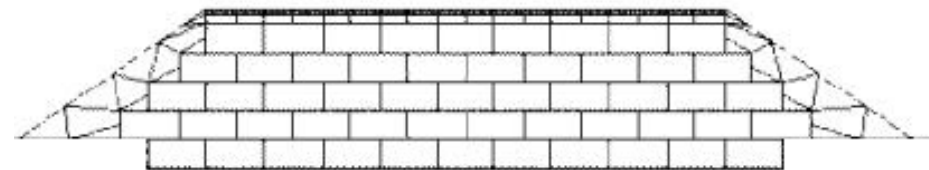


- pali battuti
- pali ad elica continua
- jet grouting
- deep mixing
- colonne di ghiaia-sabbia

### C) Rilevati Alleggeriti



Argilla Espansa



Polistirene

# STABILITA' DEL RILEVATO *SENSU STRICTO*

## *esercizio*



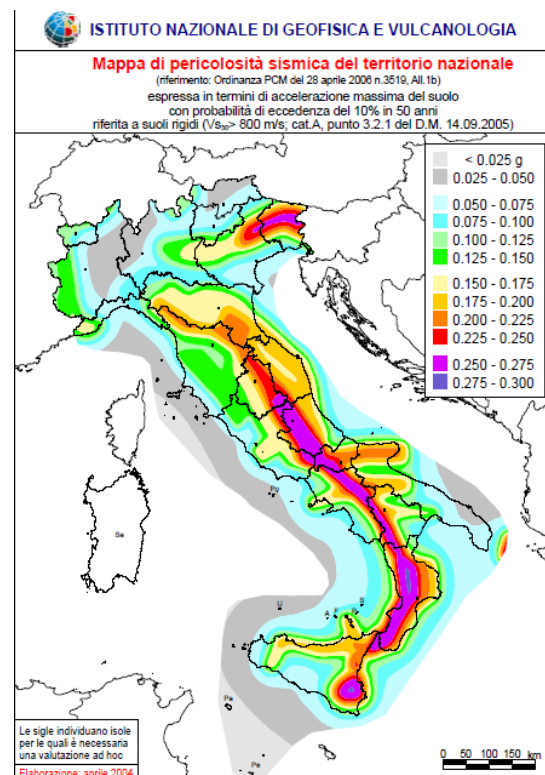
	A2		A6		A6 - Stabilizzato	
	k	D	k	D	k	D
$\gamma$ [kN/ m <sup>3</sup> ]	18,00	18,00	20,40	20,40	20,20	20,20
c [kPa]	20,00	14,40	10,00	8,00	50,00	40,00
$\varphi$ [ ]	38,00	32,00	30,00	24,80	40,00	33,87

$$0 \leq k_h \leq 0.3$$

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

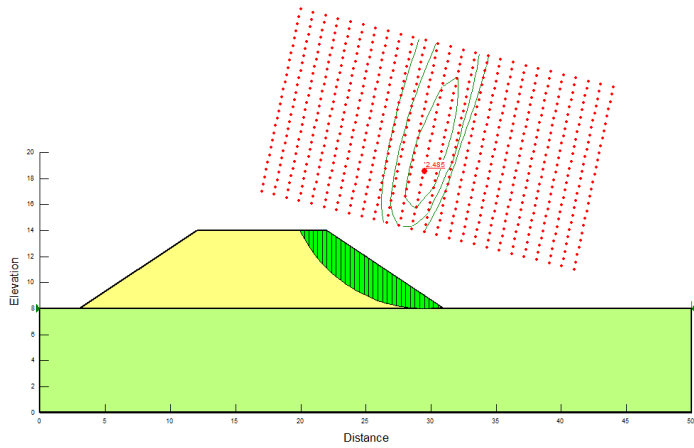
$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$



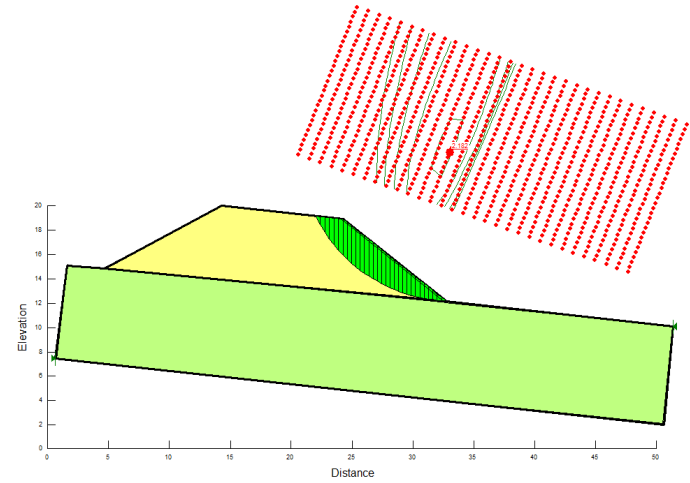


# $H = 6 \text{ m}$ (METODO DI BISHOP)

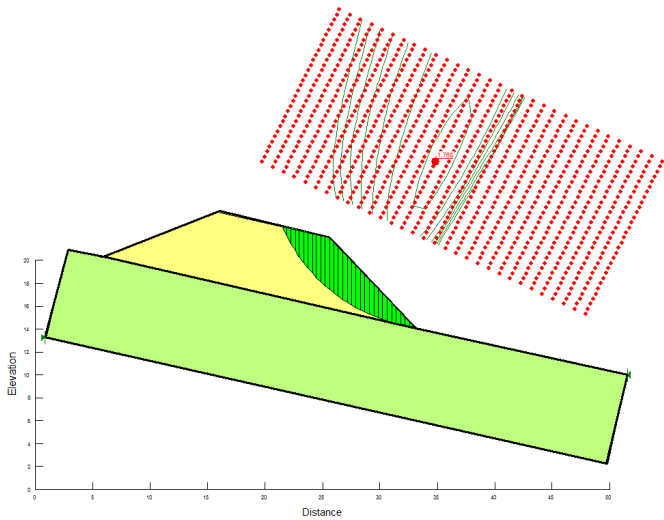
$K_h = 0$



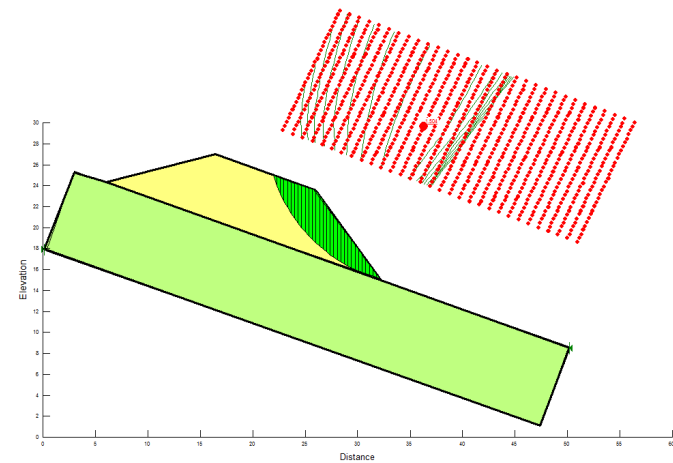
$K_h = 0.1$



$K_h = 0.2$

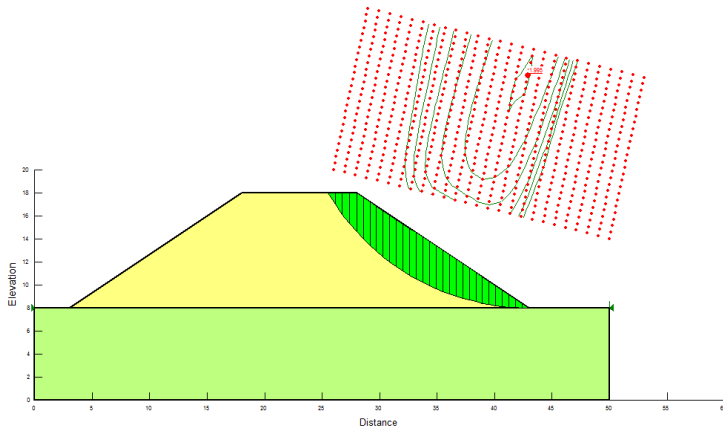


$K_h = 0.3$

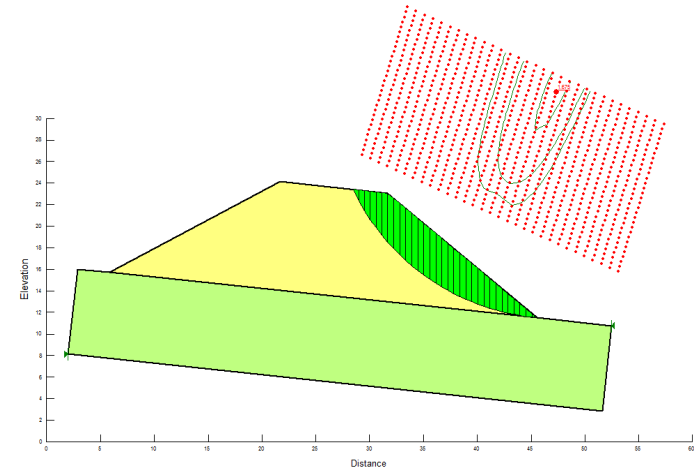


# $H = 10 \text{ m}$ (METODO DI BISHOP)

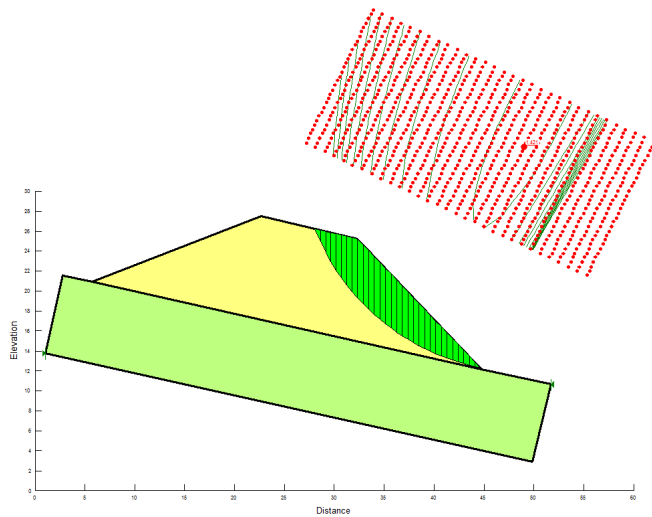
$K_h=0$



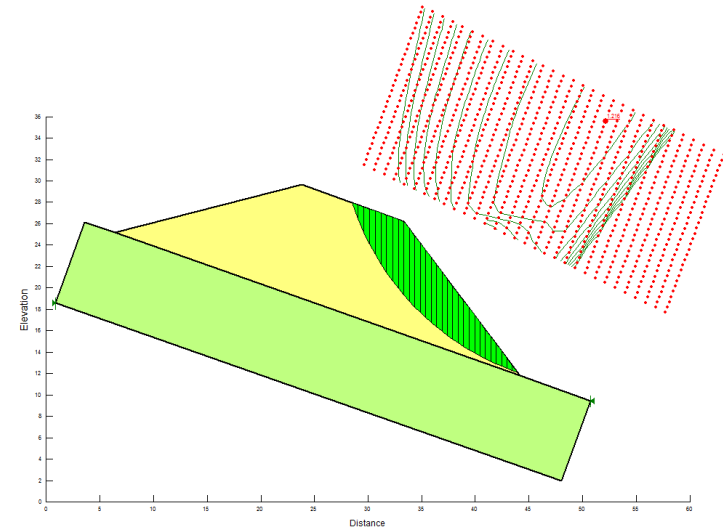
$K_h=0.1$



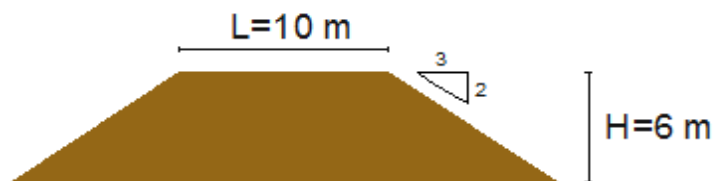
$K_h=0.2$



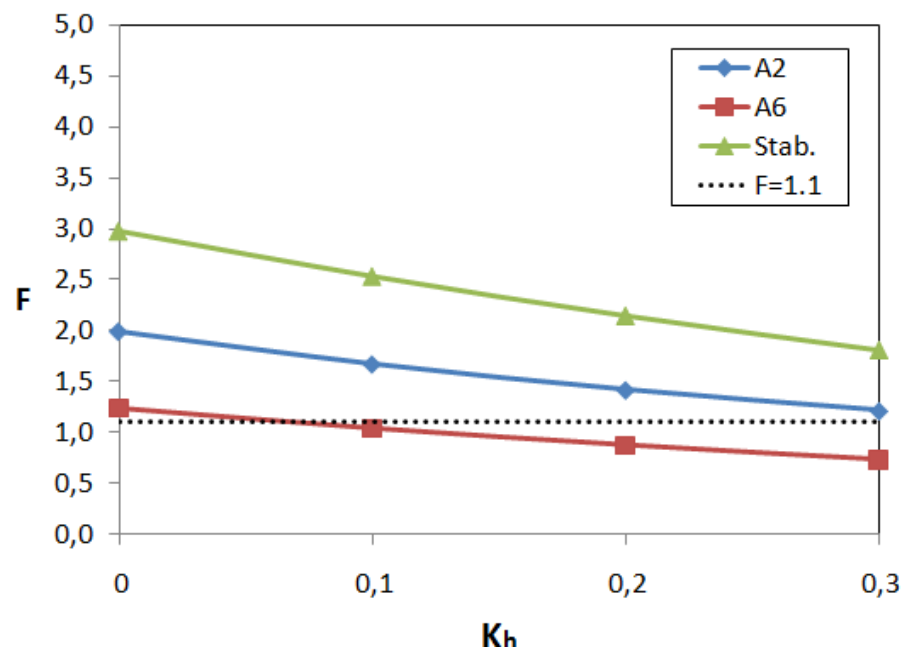
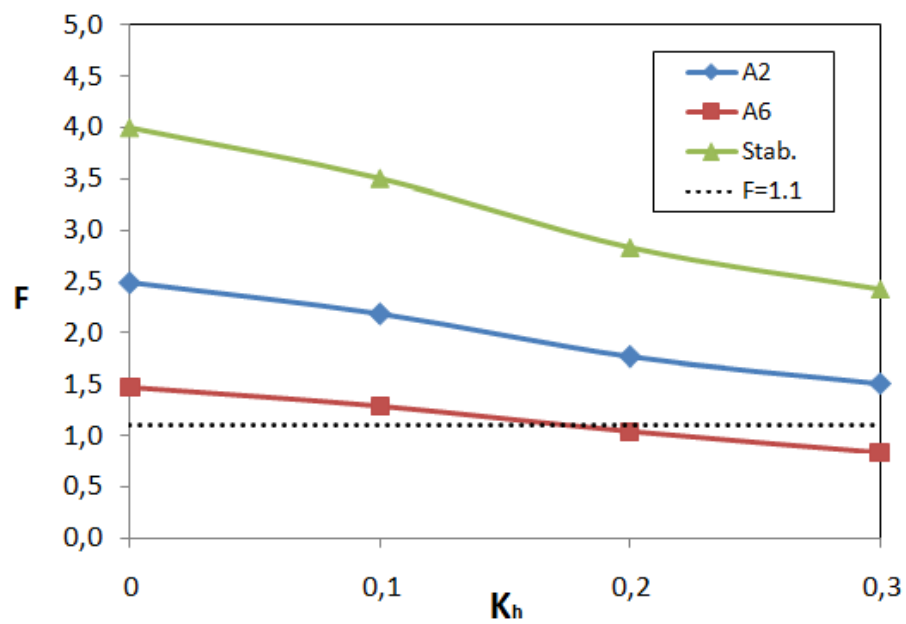
$K_h=0.3$



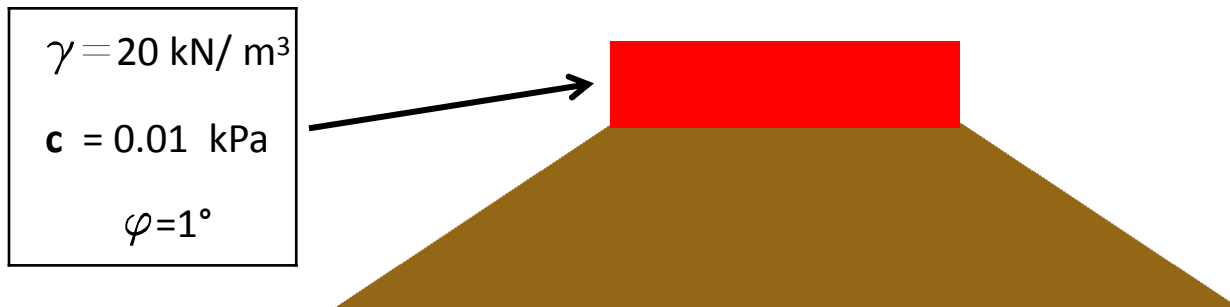
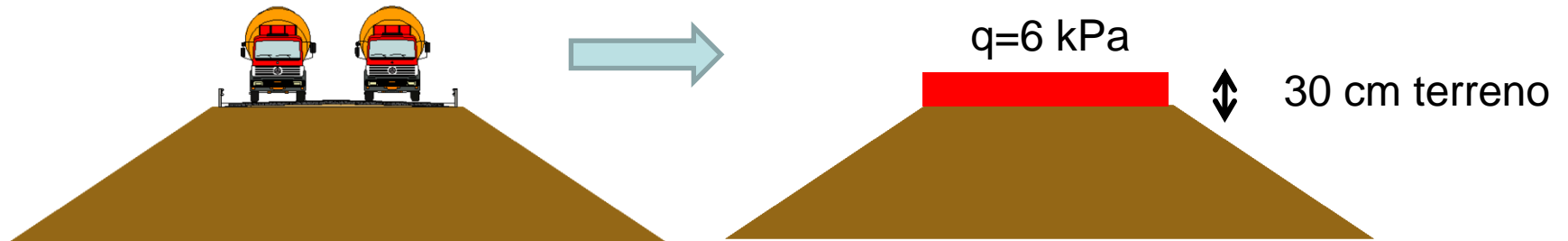
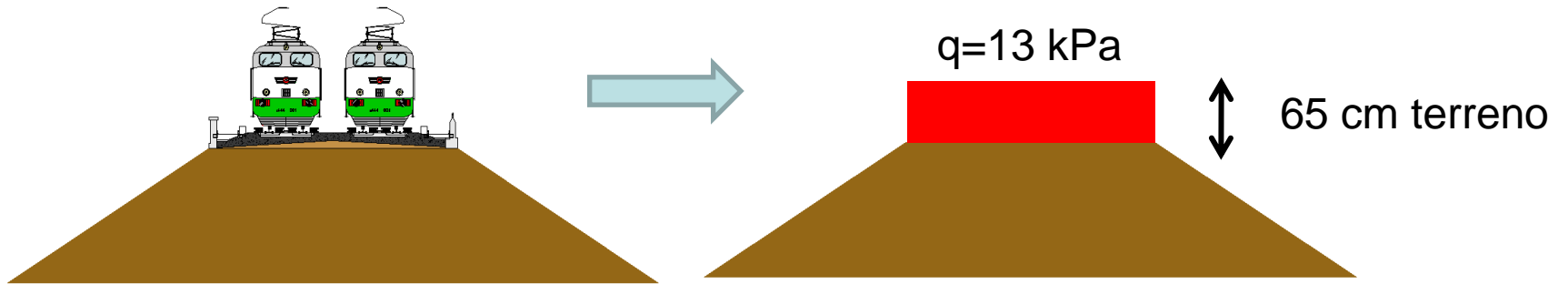
# RISULTATI



da normativa:  $F_{\min} = 1.1$

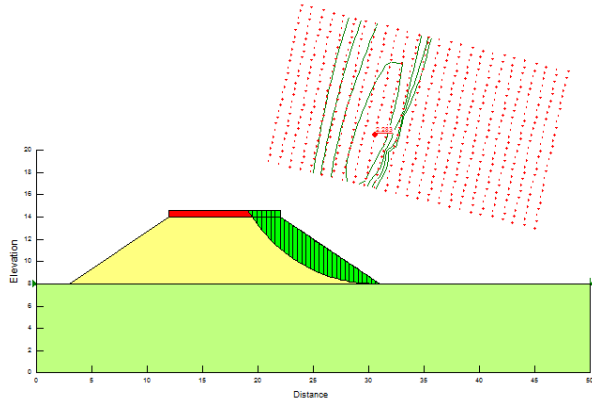


# SOVRACCARICHI STRADALI - FERROVIARI

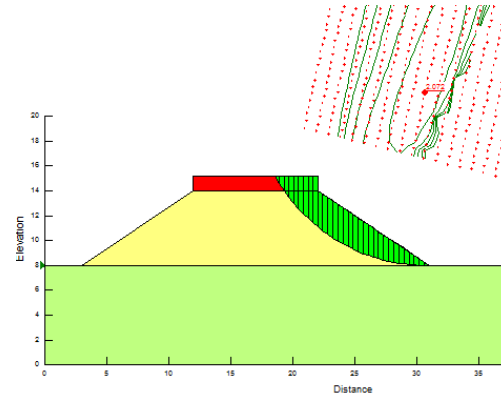


## ALTEZZA RILEVATO 6 m $Kh=0$

Sovraccarico  $H=0,3\text{m}$

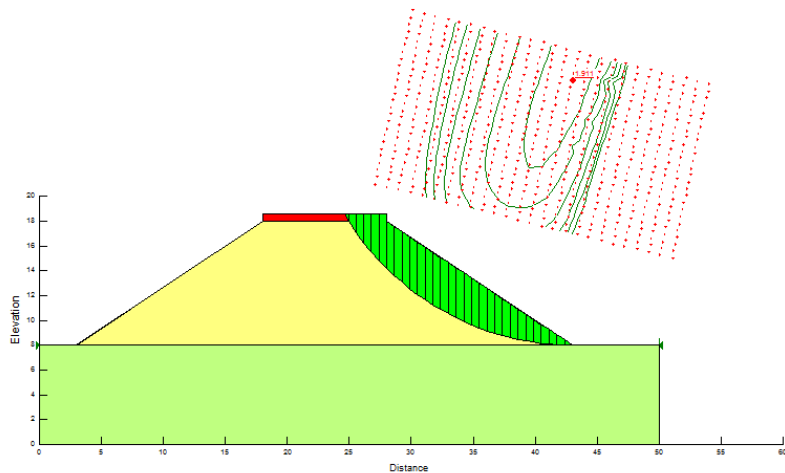


Sovraccarico  $H=0,65\text{m}$

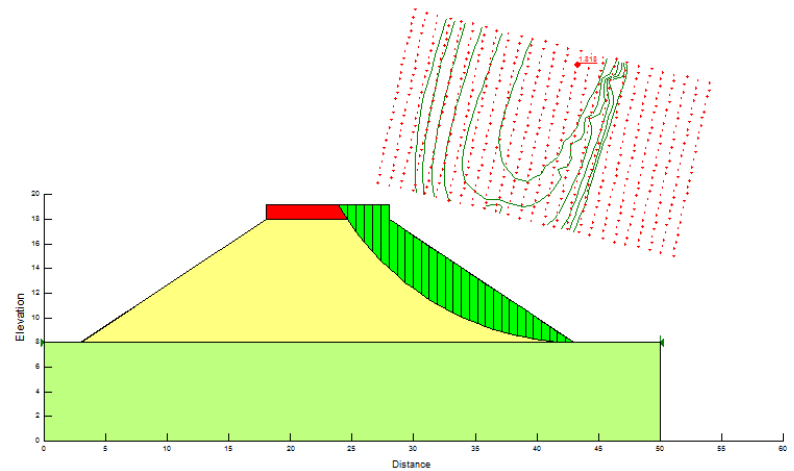


## ALTEZZA RILEVATO 10 m $Kh=0$

Sovraccarico  $H=0,3\text{m}$



Sovraccarico  $H=0,65\text{m}$



# VARIAZIONI DEL COEFFICIENTE DI SICUREZZA ( $K_h=0$ )

**H= 6 m**

materiale	Senza Sovr.	Sovr. Stradale	Sovr. Ferroviario	$\Delta F/F$ Strad. [%]	$\Delta F/F$ Ferr. [%]
<b>A2</b>	2,48	2,28	2,07	- 8,13	- 16,62
<b>A6</b>	1,47	1,38	1,27	- 6,06	- 13,48
<b>Stab.</b>	3,99	3,63	3,29	- 9,19	- 17,56

**H= 10 m**

materiale	Senza Sovr.	Sovr. Stradale	Sovr. Ferroviario	$\Delta F/F$ Strad. [%]	$\Delta F/F$ Ferr. [%]
<b>A2</b>	1,99	1,91	1,82	- 4,2	- 8,9
<b>A6</b>	1,23	1,20	1,15	- 3,2	- 7,2
<b>Stab.</b>	2,97	2,84	2,70	- 4,6	- 9,3

# IL CASO DI GINESTRA FIORENTINA

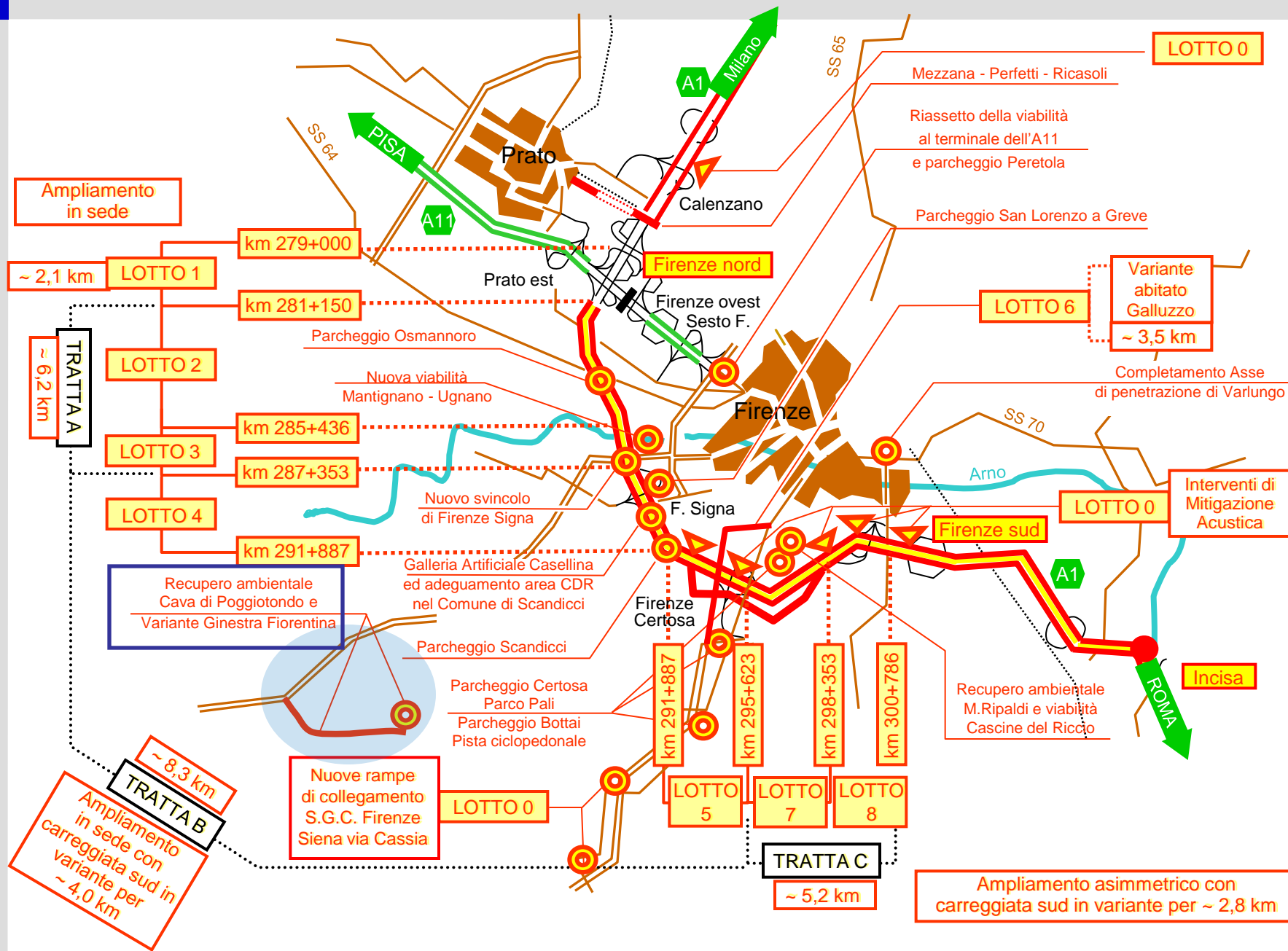


**Variante via Chiantigiana (SP 12)**



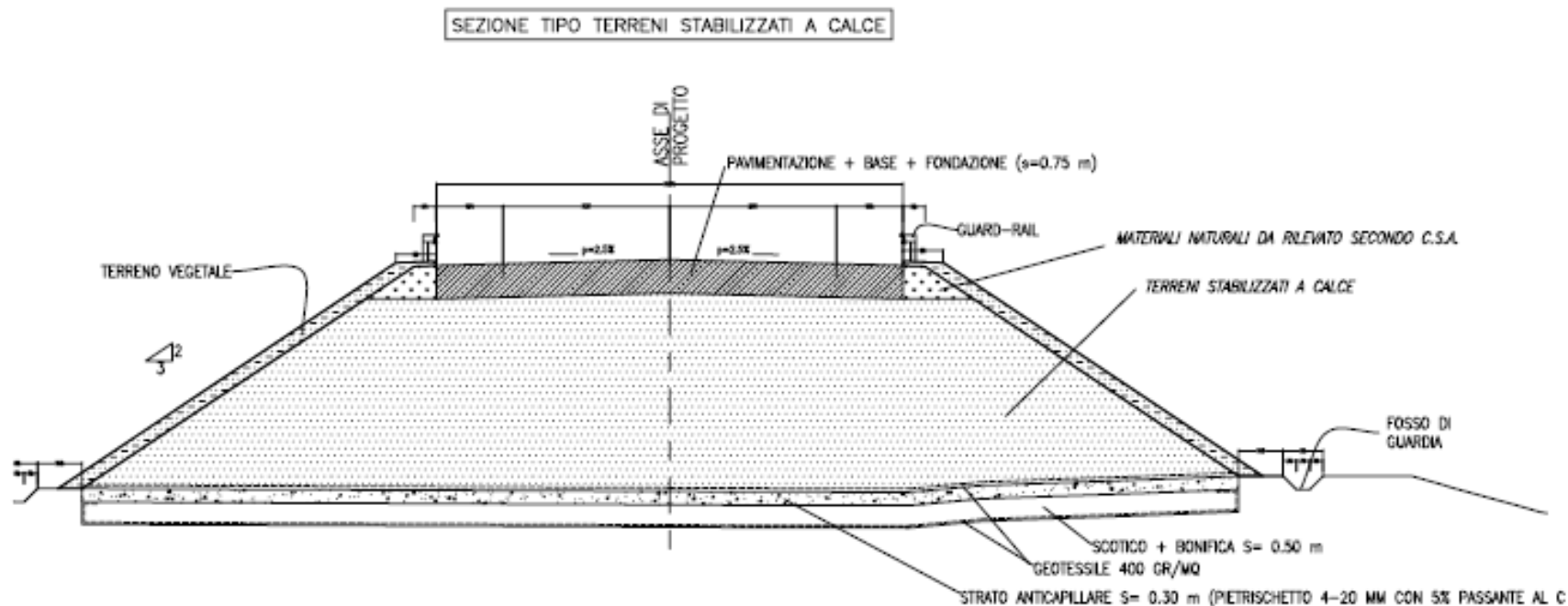
# TRATTO FIRENZE NORD – FIRENZE SUD IL PROGETTO

**AUTOSTRADA A1 – MILANO – NAPOLI**  
Tratto Firenze nord / Firenze sud – Ampliamento a 3 corsie





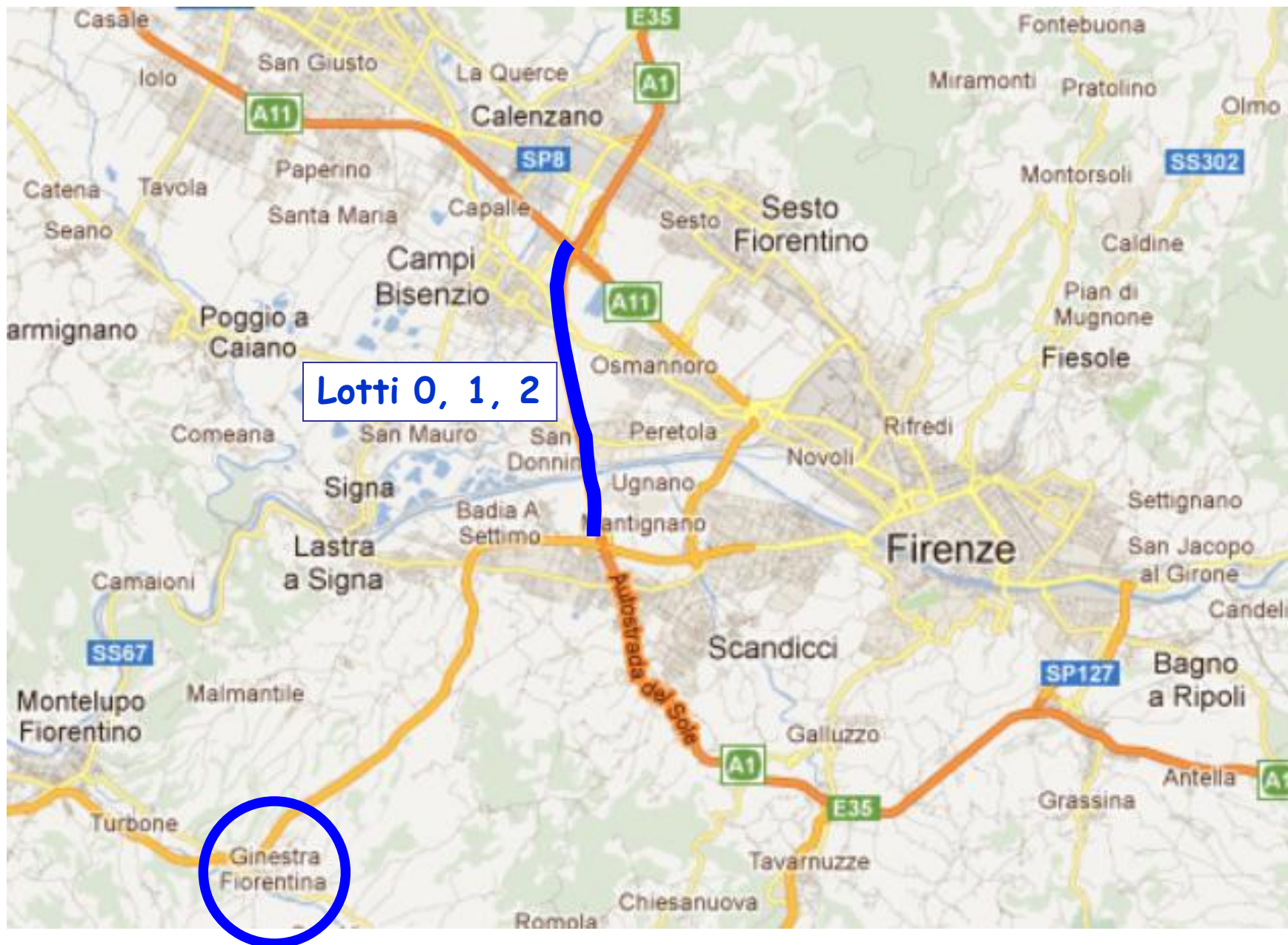
# VARIANTE DI GINESTRA FIORENTINA



- Lunghezza Variante: 2.5 km
- Terreno Stabilizzato: 130.000 m<sup>3</sup>
- Terreno Naturale: 40.000 m<sup>3</sup>

## Provenienza dei terreni da stabilizzare:

- Scavi dei lotti di ampliamento 0-1-2 (L = 6 km)
- Terreni alluvionali della piana dell'Arno
- Profondità comprese tra 2 e 4 m dal p.c.

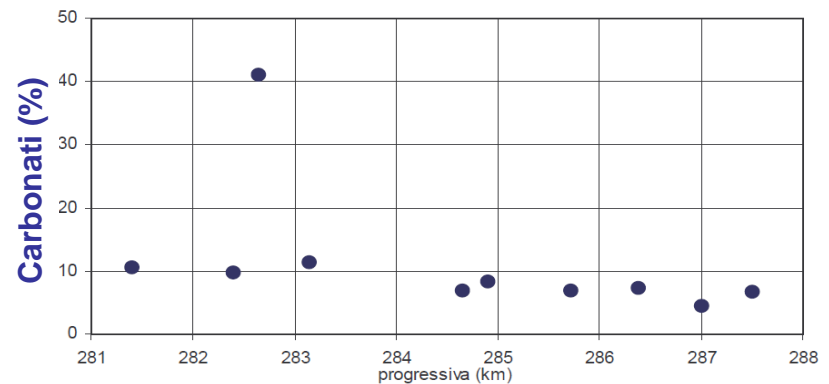
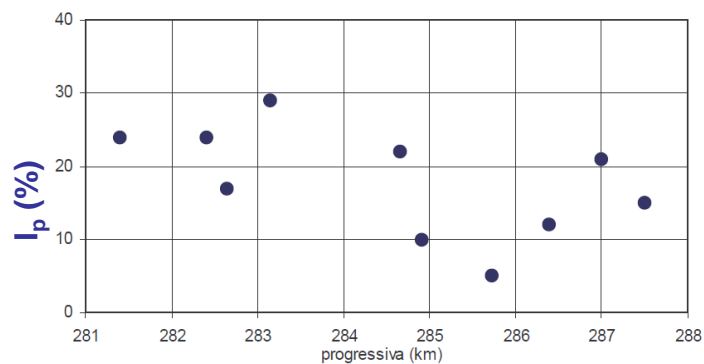
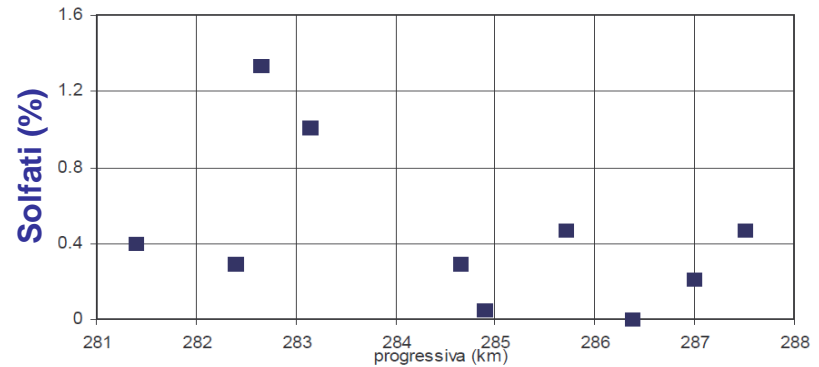
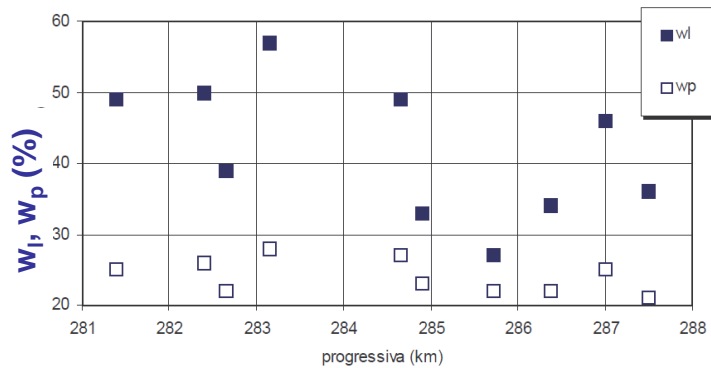
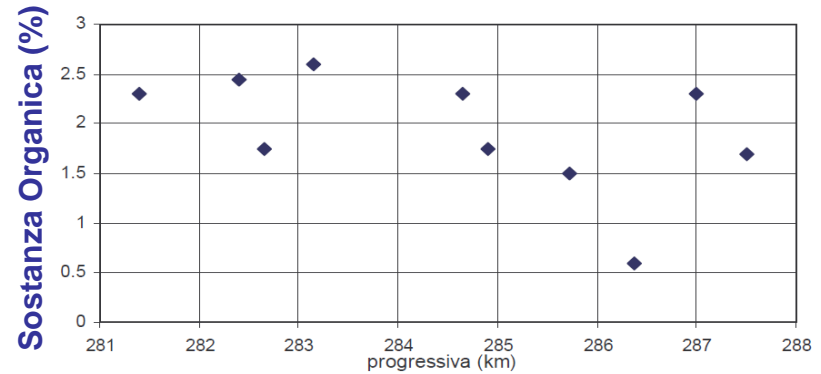
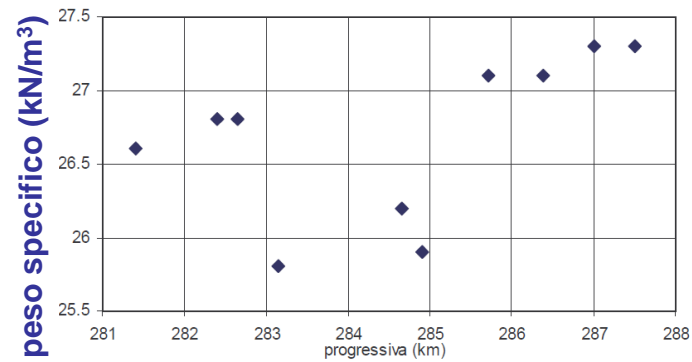


## PROVE DI IDENTIFICAZIONE

Pozzetto	Progressiva (km)	Ip (%)	S.O. (%)	Solfati (%)
1	281.4	24	2.3	0.4
2	282.4	24	2.45	0.29
3	282.65	17	1.75	1.33
4	283.15	29	2.6	1.005
6	284.65	22	2.3	0.29
5	284.9	10	1.75	0.004
7	285.72	5	1.5	0.46
12	286.38	12	0.6	0
11	287	21	2.3	0.21
9	287.5	15	1.7	0.37

**Tabella 4.2 – Caratteristiche fisiche e chimiche dei terreni prelevati**

# VARIABILITA' LUNGO IL TRACCIATO



**Caratteristiche Fisiche**

**Caratteristiche Chimiche**

# SELEZIONE CAMPIONI PER PROVE MECCANICHE

Pozzetto	Ip (%)	S.O. (%)	Solfati (%)	Classe
1	24	2.3	0.4	A
2	24	2.45	0.29	A
6	22	2.3	0.29	A
11	21	2.3	0.21	A
3	17	1.75	1.33	B
9	15	1.7	0.37	B
4	29	2.6	1.005	C
5	10	1.75	0.004	D
7	5	1.5	0.46	D
12	12	0.6	0	D

Quartatura:  
campione A  
campione B  
campione D

**Tabella 4.3 – Classificazione dei campioni prelevati dai pozzetti**

# CAMPIONI DI TERRENO NATURALE E STABILIZZATO

## caratteristiche chimico-fisiche

### terreni naturali

Campioni	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	S.O. (%)	Solfati (%)
A	26.8	50	26	24	2.37	0.257
B	27.1	38	21	17	1.84	0.39
D	27	31	22	9	1.42	0.29

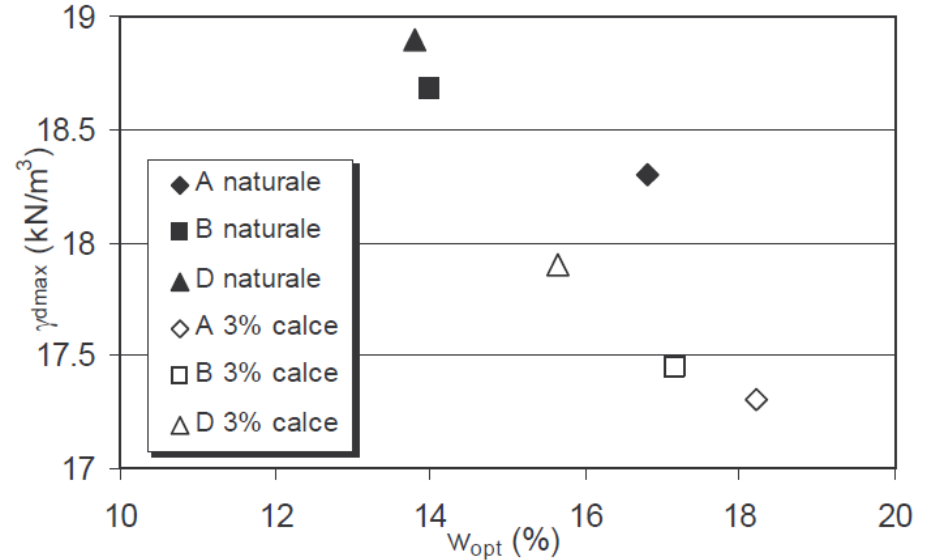
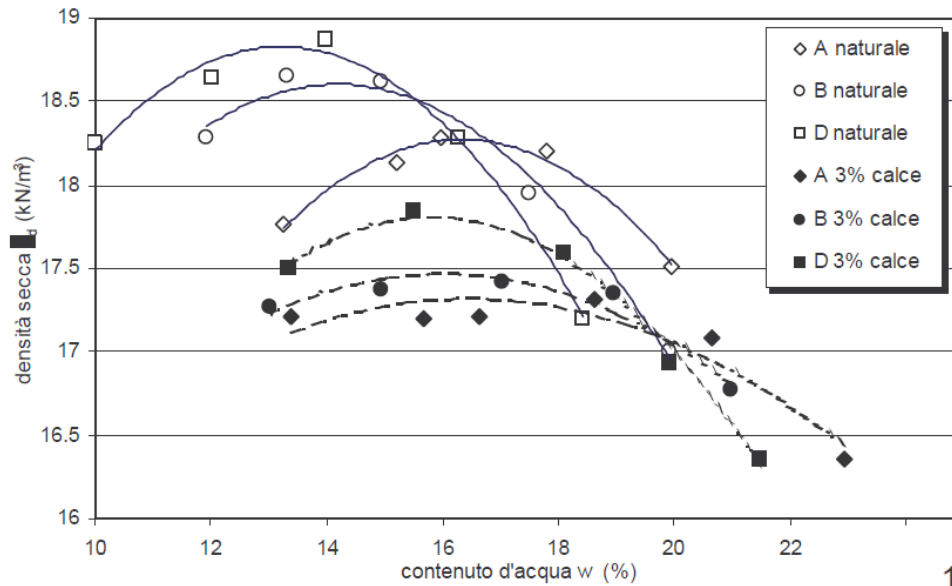
**Tabella 4.4 – Caratteristiche dei campioni sottoposti alle prove meccaniche**

### terreni stabilizzati

Classe	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	w <sub>opt</sub> (%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )
A	25.5	48	34	14	18.2	17.3
B	26.9	37	26	11	17.15	17.45
D	26.7	34	26	17	15.65	17.9

**Tabella 4.8 – Caratteristiche dei terreni stabilizzati al 3% di calce**

# PROVE DI COMPATTAMENTO PROCTOR MODIFICATO



# VARIAZIONI DI PLASTICITA'

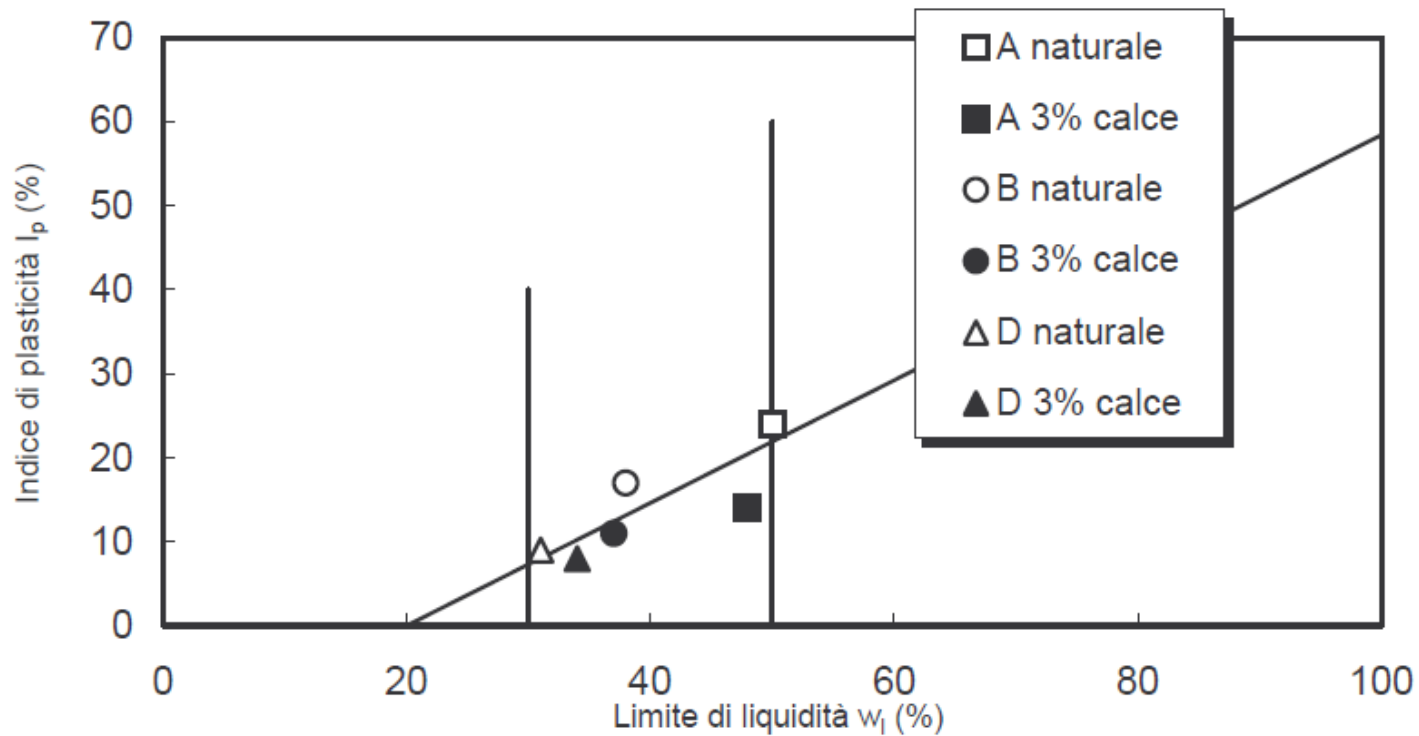


Figura 4.3 – Carta di plasticità di Casagrande



# PROVE MECCANICHE SUI TERRENI STABILIZZATI

Campioni	w <sub>opt</sub> (%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	CBR con imbibizione (%)	c (kPa)	$\phi$ (°)	$\phi_r$ (°)
A	18.2	17.3	53	45	21	43	40
B	17.15	17.45	55	54	12	43	34
D	15.65	17.9	71	73	14	44	36

Intervallo di carico (kPa)	Campione A E <sub>ed</sub> (kPa)	Campione B E <sub>ed</sub> (kPa)	Campione D E <sub>ed</sub> (kPa)
100 ÷ 200	/	/	18000
200 ÷ 400	65000	58500	29000
400 ÷ 800	68000	56000	46000

# CALCOLI DI VERIFICA

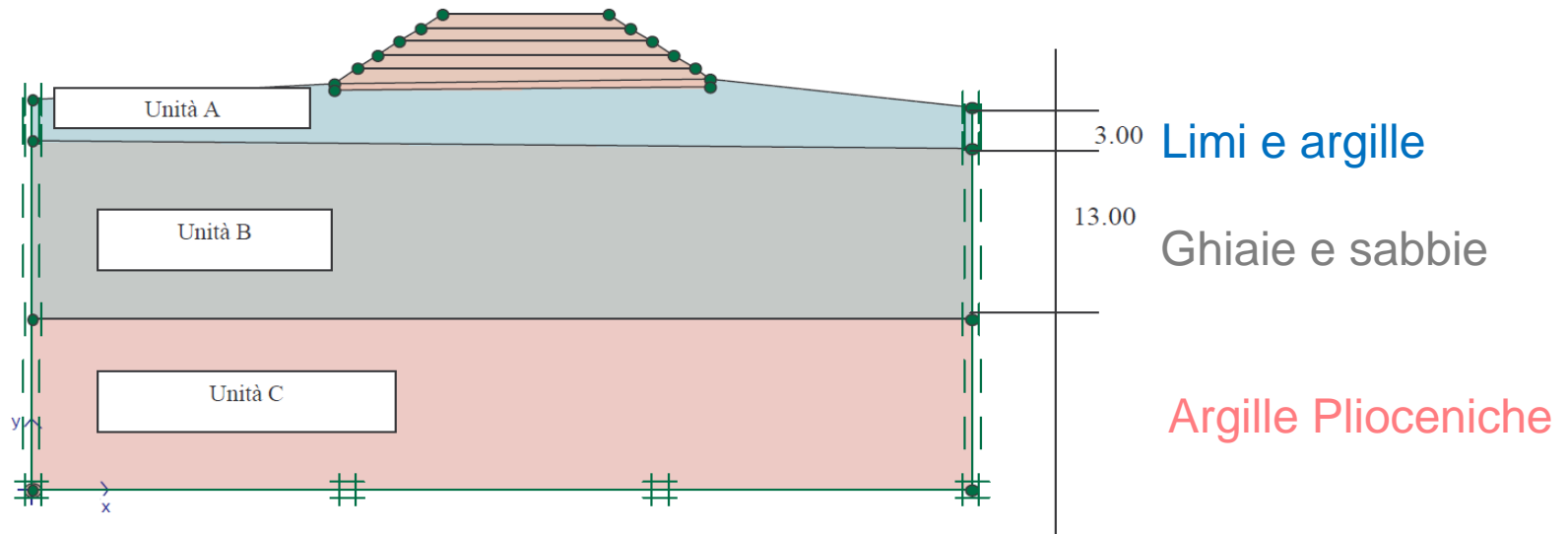


Fig. 1. Schema della stratigrafia adottata nel calcolo di verifica

Terreno Stabilizzato:  $\gamma = 20.5 \text{ kN/m}^3$  ;  $c' = 12 \text{ kPa}$  ;  $\phi' = 43^\circ$

# NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Condizioni Statiche

D.M. LL.PP. 11 marzo '88

Verifiche di stabilità:  $F_{\min} = 1.3$

Condizioni Sismiche:

D.M. 24 marzo '82 (regolamento dighe)

$K_h = 0.07 = K_v$

$F_{\min} = 1.2$

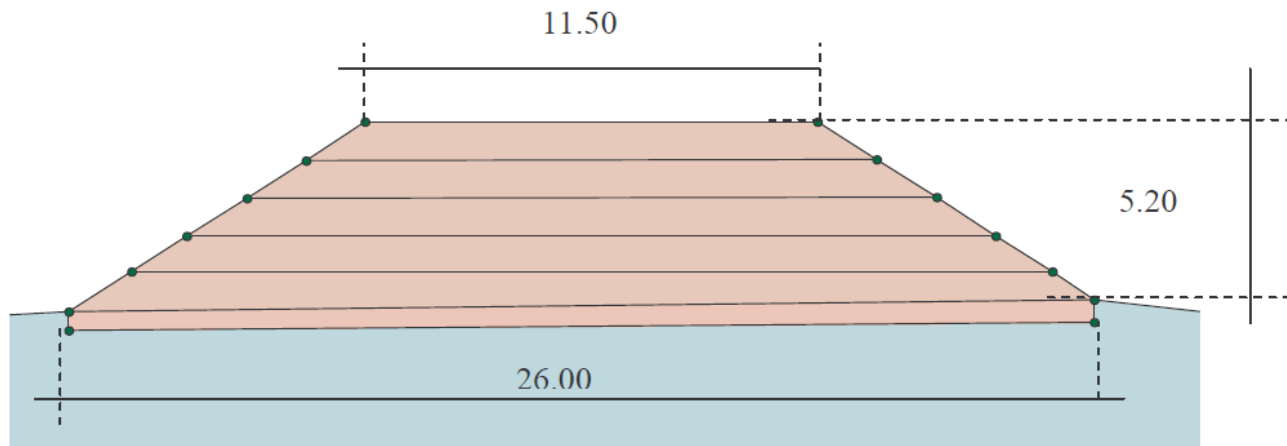
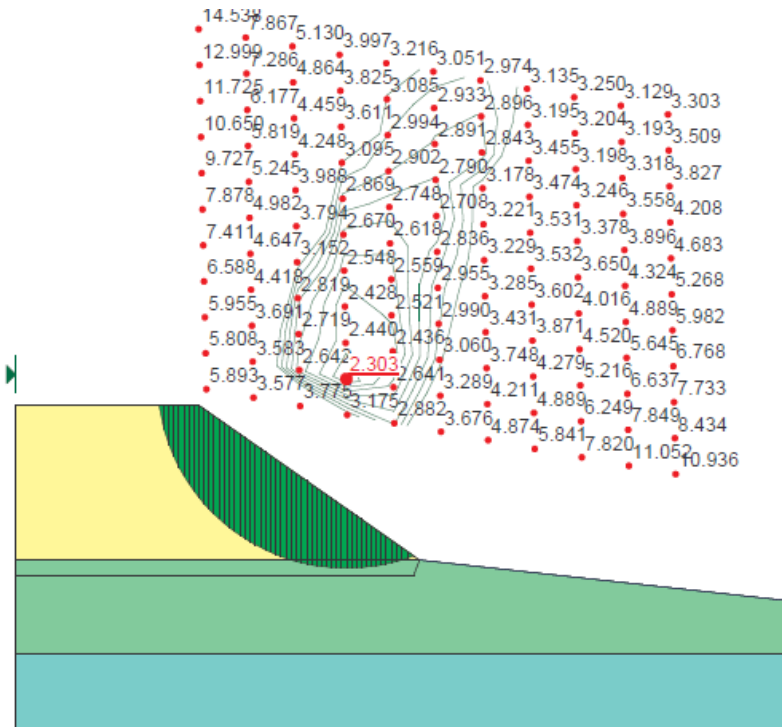


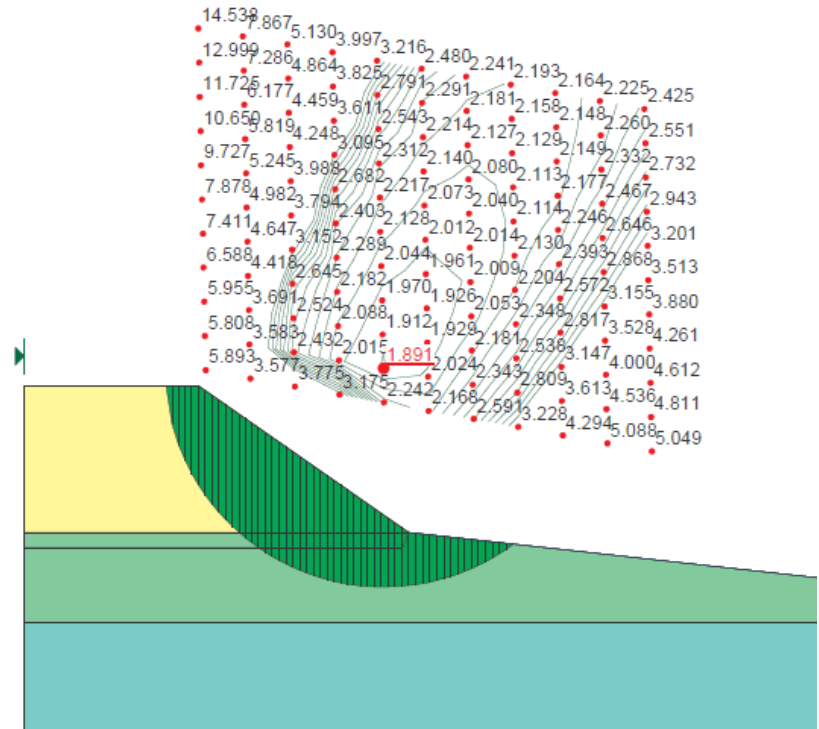
Fig.2. Schema del rilevato

# VERIFICHE DI STABILITA' - CONDIZIONI STATICHE



Condizioni non drenate:

$$F_{\text{Bishop}} = 2.52$$

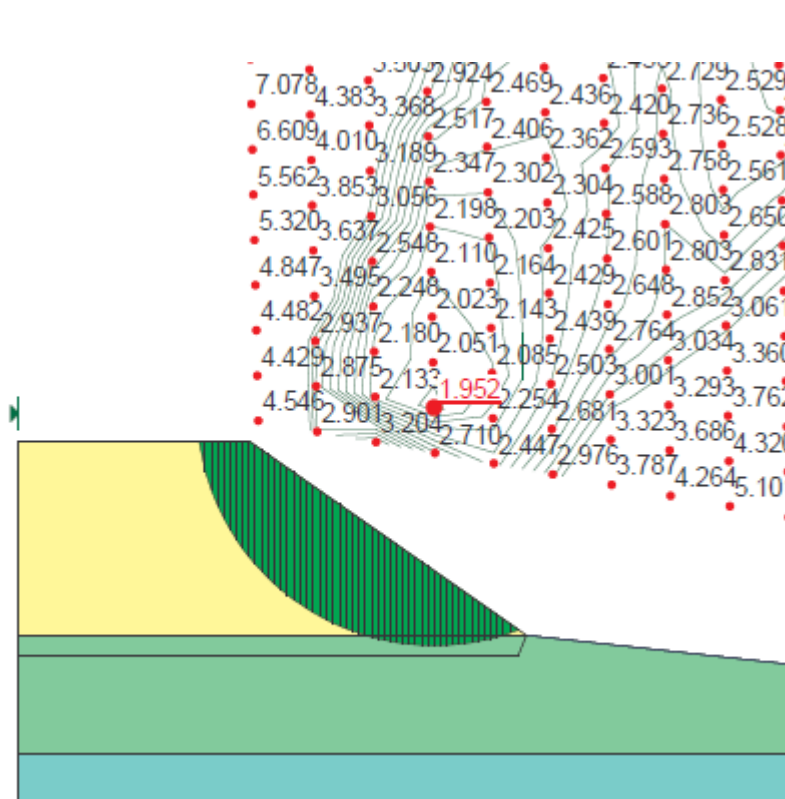


Condizioni drenate:

$$F_{\text{Bishop}} = 2.08$$

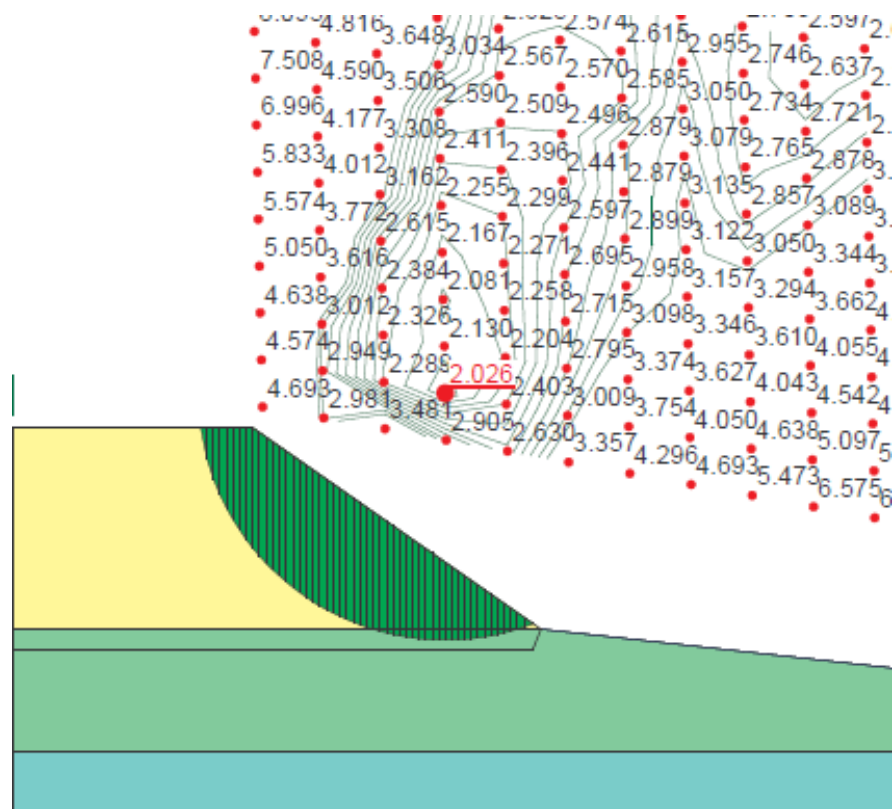
# VERIFICHE DI STABILITA' - CONDIZIONI SISMICHE

Condizioni Non Drenate



Accelerazione sismica verso il basso:

$$F_{\text{Bishop}} = 2.19$$



Accelerazione sismica verso l'alto:

$$F_{\text{Bishop}} = 2.25$$

# CARATTERISTICHE MINIME DI RESISTENZA ACCETTABILI IN CORSO D'OPERA

Autostrada A1 Milano – Napoli  
Ampliamento alla terza corsia  
Firenze nord – Firenze Sud  
Tratta A (Lotti 0,2,3)

Rilevati di Terra Stabilizzata a Calce  
Verifiche Geotecniche

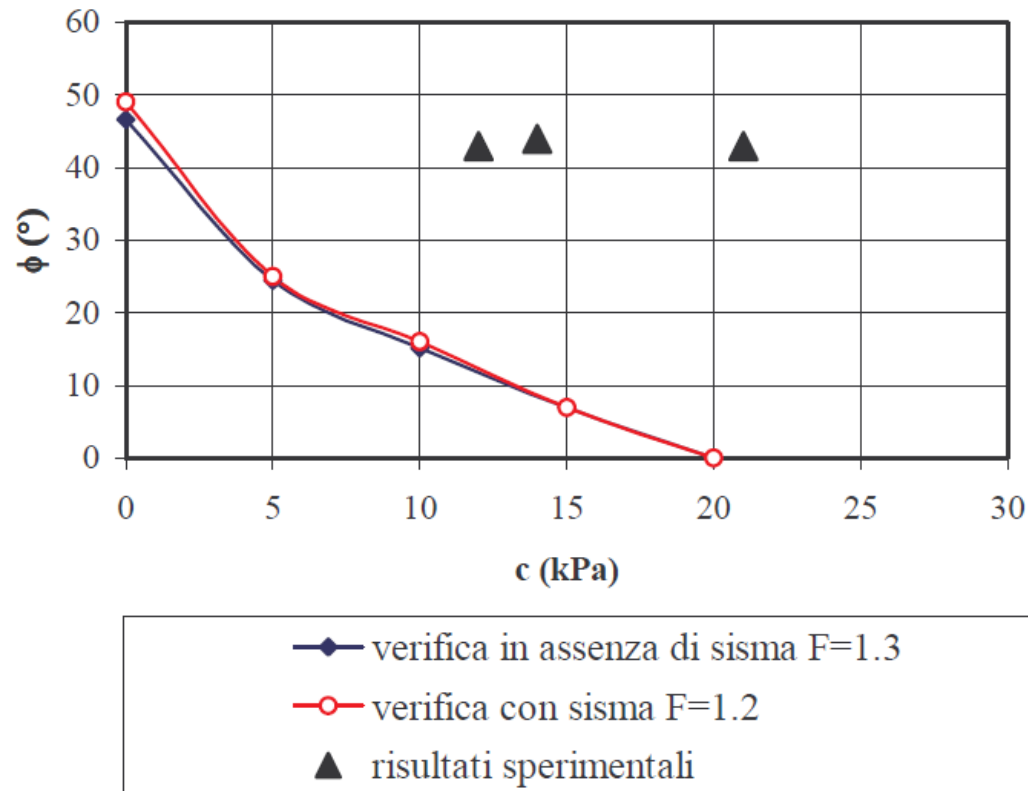


Fig.5. Caratteristiche minime di resistenza accettabili per il terreno stabilizzato a calce.

# CALCOLO DEI CEDIMENTI

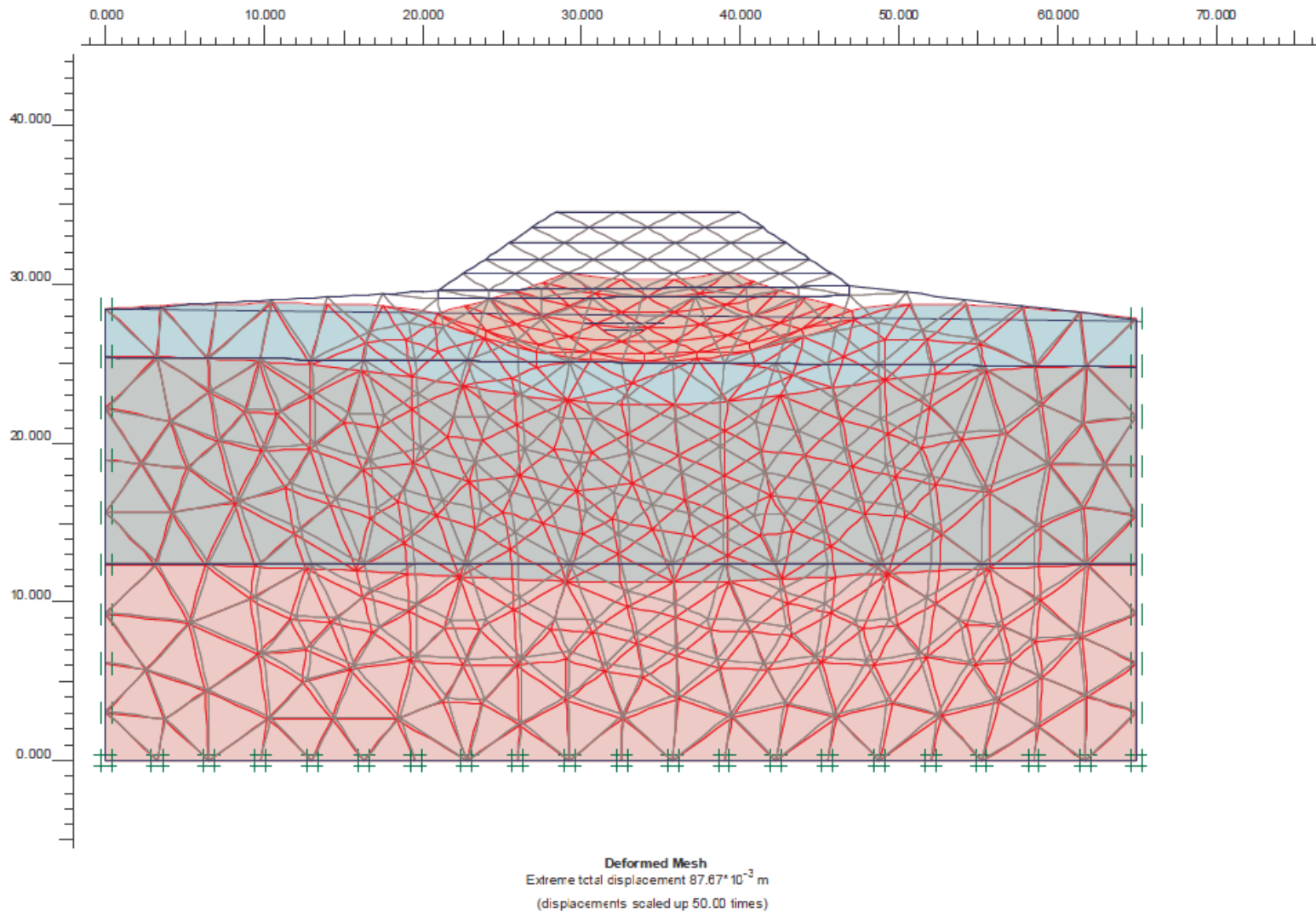


Fig.9. Quadro deformato in seguito alla costruzione del rilevato in condizioni drenate.

# CEDIMENTI A BREVE TERMINE ED A LUNGO TERMINE

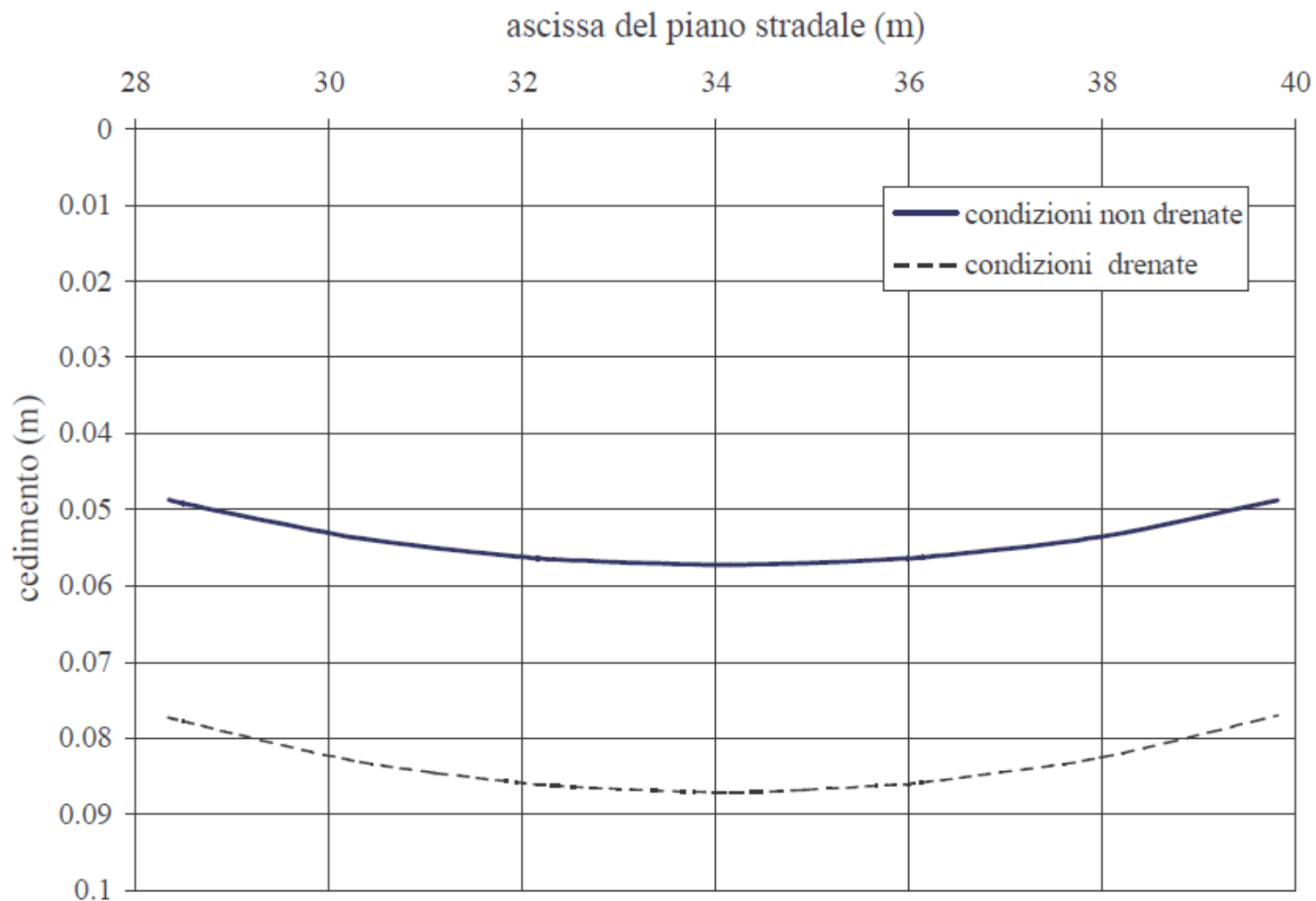


Fig.10. Spostamenti verticali in corrispondenza del piano stradale



# ANDAMENTO DEI CEDIMENTI

**Tab.I: Valori dei cedimenti calcolati in asse alla sezione**

	$W_{undr}$ (cm)	$W_{dren}$ (cm)
Piano stradale	5.7	8.7
Piano di fondazione	5.2	7.3
Tetto strato B	4.3	5.4
Tetto strato C	1.0	2.3

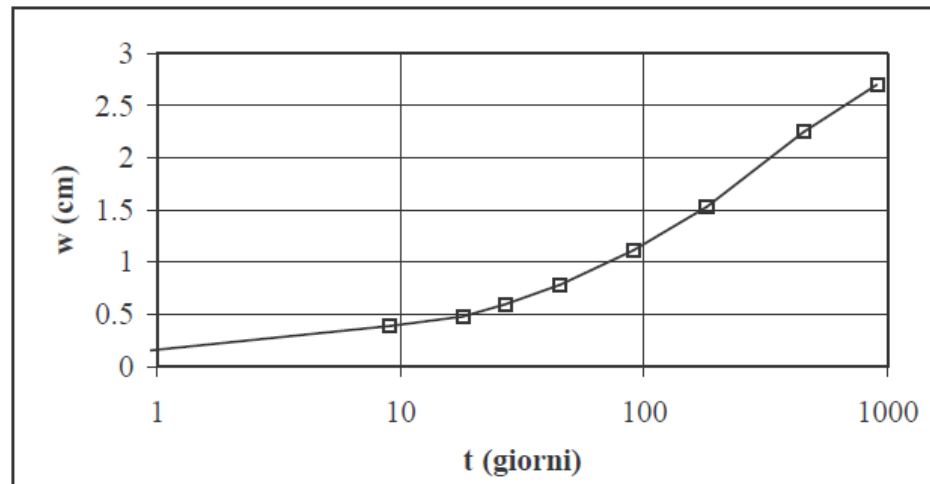


Fig.11. Andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione

grazie per l'attenzione

## La stabilizzazione dei terreni con calce

NAPOLI 18 aprile 2012

La nuova specifica tecnica di RFI  
per il trattamento a calce dei terreni  
Applicazioni ferroviarie

Vittorio MISANO

Istituto Sperimentale

# La specifica tecnica di RFI

- Terra trattata con calce
- DEFINIZIONE
- Miscela composta da terra, calce viva o idrata ed acqua, in quantità e rapporti tali da modificare le caratteristiche fisico-meccaniche della terra, al fine di ottenere una miscela idonea per la formazione di strati di terreno che, dopo il costipamento, risultino di adeguata resistenza meccanica, nonchè stabili all'azione dell'acqua e del gelo

# La specifica tecnica di RFI

## Miglioramento della terra trattata con calce

### DEFINIZIONE

- Trattamento con contenuto di calce pari al CIC (consumo iniziale di calce) per il miglioramento immediato delle caratteristiche geotecniche della terra stessa, quali la riduzione del contenuto d'acqua, l'incremento della capacità portante, l'aumento dell'umidità ottima di costipamento e la riduzione dell'indice di plasticità. Il miglioramento delle caratteristiche fisiche della miscela non è garantito come durevole nel tempo

# La specifica tecnica di RFI

## Stabilizzazione della terra trattata con calce

### DEFINIZIONE

- Trattamento con contenuto di calce superiore al CIC (consumo iniziale di calce) tale da conferire alla terra oltre alle caratteristiche indicate nel miglioramento anche una stabilità ed irreversibilità alle azioni dell'acqua e del gelo e quindi una durabilità nel tempo.

# La specifica tecnica di RFI

## Miglioramento della terra

### a breve termine si ottiene :

- Riduzione del contenuto d'acqua
- Incremento della capacità portante
- Riduzione della plasticità

## Stabilizzazione delle terre

### a medio e lungo termine si ottiene :

- Modifica delle caratteristiche fisico-meccaniche
- Riduzione della sensibilità all'acqua ed al gelo

# La specifica tecnica di RFI

## Caratteristiche delle terre

Il trattamento dei terreni con calce è possibile per tutti i terreni argillosi, più o meno limosi, non dotati all'origine delle caratteristiche meccaniche e prestazionali richieste per la realizzazione di opere in terra.

### Limite di accettabilità:

- Granulometria contenuta nel fuso (CNR B.U. n.36)
- Indice di plasticità:  $> 10\%$
- Contenuto di sostanze organiche  $< 2\%$
- Contenuto di solfati e solfuri  $< 0,25 \%$



# La specifica tecnica di RFI

## Caratteristiche della calce

I tipi di calce impiegabili nella stabilizzazione dei terreni sono le calce da costruzione :

- CL 90
- CL 80

I requisiti fisici, granulometrici e chimici sono indicati nella norma UNI EN 459-1

# La specifica tecnica di RFI

## Caratteristiche chimiche della calce (es. Calce viva CL 90)

- $\text{CO}_2$  <4%
- $\text{CaO} + \text{MgO}$  >90 %
- $\text{MgO}$  < 5%
- $\text{SO}_3$  <2%
- Reattività all'acqua > 60° entro 25'

# La specifica tecnica di RFI

## Progetto del trattamento delle terre con calce

Il progetto della stabilizzazione a calce di una terra viene sviluppato secondo le seguenti tre fasi:

- Definizione dei volumi e delle caratteristiche del terreno da trattare e le % di calce da utilizzare per il trattamento
- Determinazione dei parametri di riferimento del terreno e scelta delle miscele
- Realizzazione del campo prova

# La specifica tecnica di RFI

## Identificazione della terra da trattare

- Composizione granulometrica
- Indici di plasticità
- Contenuto d'acqua naturale
- Contenuto in solfati e solfuri
- Contenuto in sostanze organiche
- Caratteristiche di costipamento
- Indice CBR
- Indice CBR immediato (IPI)

# La specifica tecnica di RFI

## Studio delle miscele sperimentali

Scopo dello studio delle miscele sperimentali è quello di determinare il quantitativo minimo di calce necessario ad ottenere il miglioramento prefissato delle caratteristiche del terreno tale da assicurare nel tempo i requisiti richiesti.

Nel caso della stabilizzazione vengono eseguite 3 miscele preparate aumentando dello 0,5 % ciascuna il contenuto di calce partendo dal valore del CIC (% di calce minima in grado di elevare il Ph della miscela al valore di 12,4).

Il valore % della calce da impiegare non dovrà mai essere inferiore al 2% del peso del secco del terreno.

# La specifica tecnica di RFI

## Studio delle miscele sperimentali

- Composizione granulometrica
- Indici di plasticità
- Contenuto d'acqua
- Caratteristiche di costipamento
- Indice CBR imbibito
- Indice CBR immediato (IPI)

## Limiti di accettazione delle miscele terra calce

CBR a 7 gg (3+4 imb.)      >20 per strati piano di posa

> 50 per strati corpo rilevato

< 1 % rigonfiamento lineare

Indice portanza immediato > 10 (IPI)

# La specifica tecnica di RFI

## Studio delle miscele sperimentali

Prove di laboratorio su miscele terra /calce

- CBR dopo 28 gg di maturazione con imbibizione ultimi 4 gg
- Costipamento proctor modificato determinazione di  $W_{opt}$  e  $\gamma$
- Compressione semplice a 7 gg di maturazione  $d/h = 1/2$  su provini con diverso grado di  $W\%$  :  $W_{opt}$  -  $W_{opt+2\%}$  -  $W_{opt-2\%}$
- Compressione semplice a 28 gg di maturazione  $d/h = 1/2$  su provini con diverso grado di  $W\%$  :  $W_{opt}$  -  $W_{opt+2\%}$  -  $W_{opt-2\%}$

# La specifica tecnica di RFI

## Realizzazione del 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

Si esegue il campo prova per volumi di terre da trattare > di 30.000 mc o piani di posa > di 15.000 mq.

I mezzi utilizzati dovranno essere i medesimi di quelli destinati alla realizzazione dell'opera.

Il pulvimixer dovrà avere una capacità di trattare spessori di 50 cm

Sugli strati finiti devono essere eseguiti i seguenti controlli :

- Md con piastra da 30 cm ai tempi: T=0 – T= 24 h – T= 7 gg – T= 28 gg solo sull'ultimo strato
- Densità in sito e W% al tempo T=0



# La specifica tecnica di RFI

## Controlli in corso d'opera

CONTROLLI IN CORSO D'OPERA		
Tipo di controllo	Frequenza	Requisito
Controlli sui materiali		
Requisiti della calce	ogni 1000 tonnellate	
Verifica delle caratteristiche del terreno in cumulo, per realizzazione del corpo del rilevato	Ogni 4.000 mc	
Misura del contenuto d'acqua della terra prima dell'aggiunta di calce	Giornaliera	
Verifica della quantità di calce in fase di stesa	Giornaliera	quantità (%) scelta dopo sperimentazione sul campo prova
<b>Controllo omogeneità granulometrica dei terreni dopo l'aggiunta di calce e la miscelazione</b>	<b>Ogni 1.000 mq</b>	<b>100 % pass al setaccio da 31,5 mm 70 % passante al setaccio 5,6 mm</b>
<b>Verifica del contenuto d'acqua della miscela prima della compattazione</b>	<b>Giornaliera</b>	<b>compreso tra +2 ÷ -2% Wopt</b>

# La specifica tecnica di RFI

## Controlli Finali

**Ogni 2000 mq dovrà essere verificato che:**

- **Il modulo di deformazione misurato con piastra da 30 cm sia  $> 20$  Mpa per il piano di posa del rilevato (intervallo dicarico  $(0,02-0,15$  MPa) e**
- **$>40$  Mpa per il corpo del rilevato (intervallo di carico  $0,15-0,25$  MPa)**
- **Il grado di costipamento  $>95$  % della densità AASHTO modificato**
- **Lo spessore dello strato sia di 30 cm**

# Bologna – Milano

---

Il trattamento a calce  
dei terreni della linea  
AV Bologna - Milano

# Bologna – Milano

## Caratteristiche dei terreni

• Limite liquido	44
• Indice plastico	23.5
• USCS	CL
• CIC (contenuto iniziale calce)	2
• $W_{opt}$ %	17.3
<input type="checkbox"/> $\gamma_{d,max}$	16.64
• IBI (indice di portanza iniziale)	10
• CBR	3
• Rigonfiamento %	2,3

# Miscele preparate

---

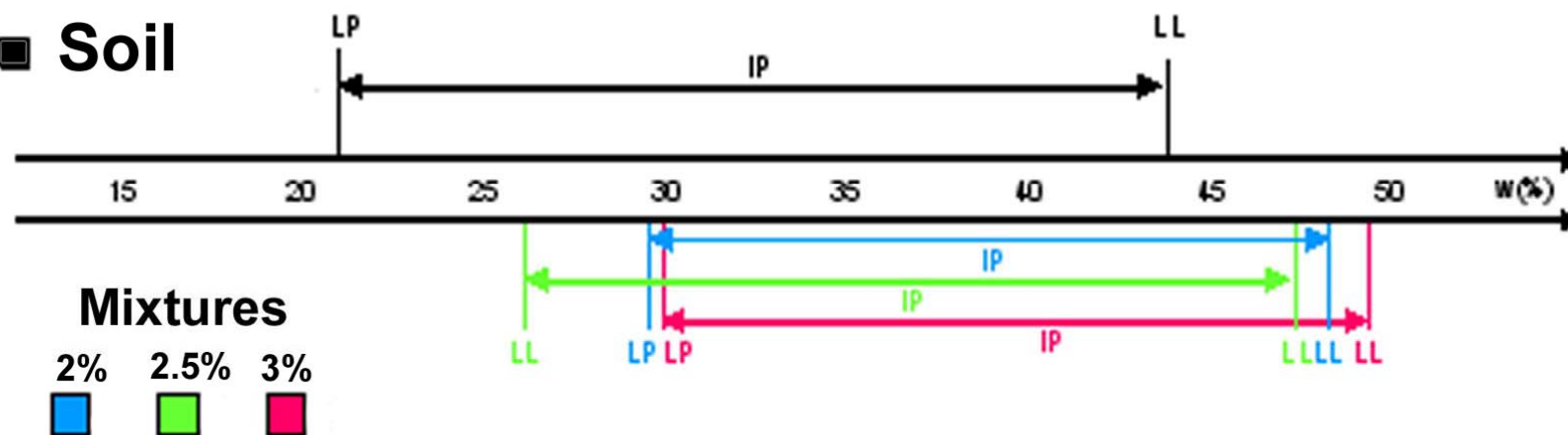
**Miscela "A" = terreno + calce 2 % (CIC)**

**Miscela "B" = terreno + calce 2,5 % (CIC+ 0,5)**

**Miscela "C" = terreno + calce 3 % (CIC+ 1)**

In accordo con la Specifica tecnica di RFI, le tre miscele avevano  
IPI>10 ed un rigonfiamento <1%

## ■ Soil



Variazione dei limiti di atterberg e del campo plastico per effetto del trattamento con calce

# Limiti di Atterberg

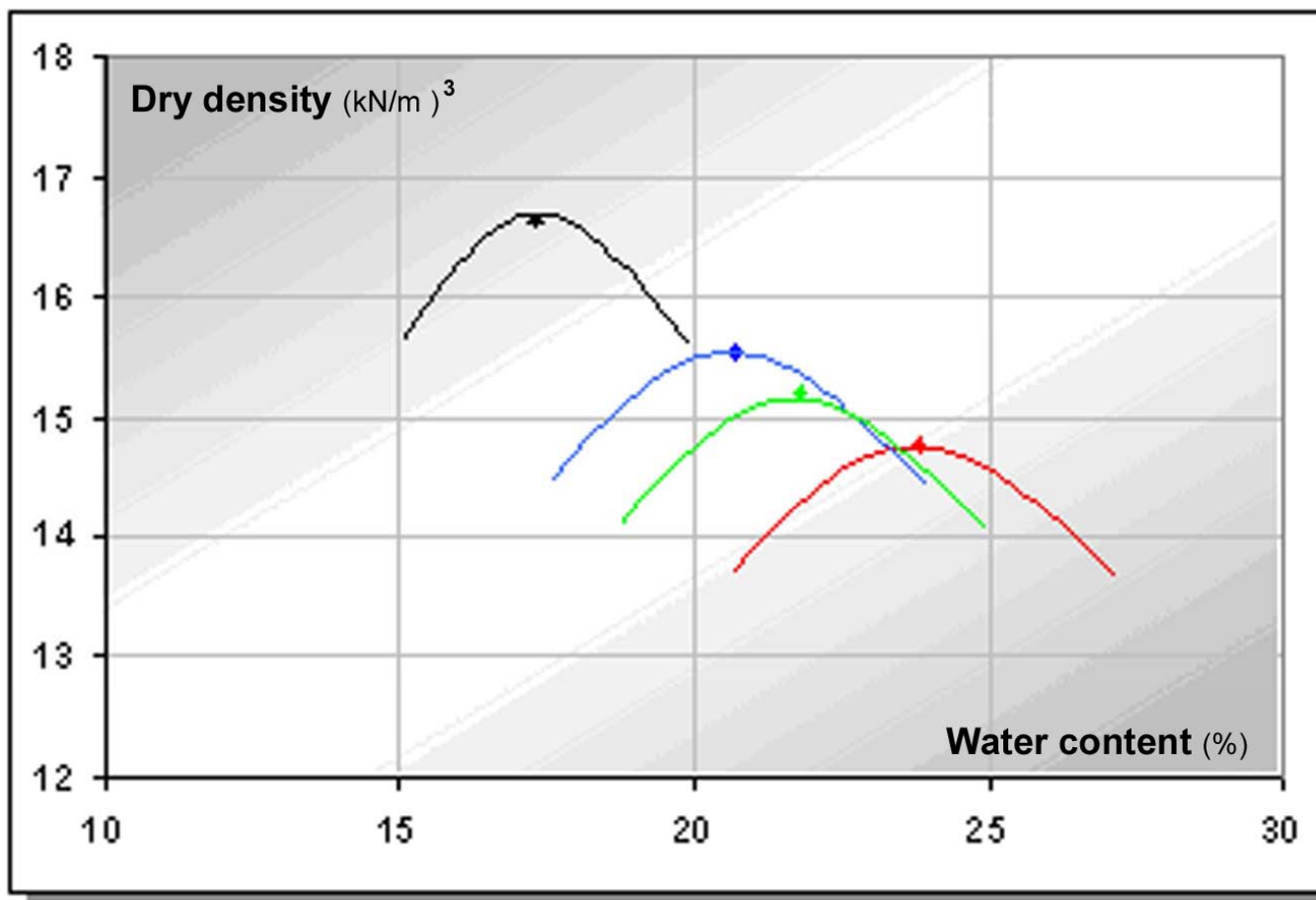
	Miscele con calce			
	0	2	2,5	3
LL	44	48,1	47,3	49,4
LP	21	29,9	26,1	30
IP	23	18,2	21,2	19,4

# Proctor Test

	Calce %			
	0	2	2,5	3
<b><math>W_{ott}</math></b>	17,3	20,7	21,8	23,8
<b><math>\gamma_{d\ max}</math></b>	16,64	15,54	15,21	14,78



## Curve di compattazione del terreno tal quale e delle tre miscele



■ soil

■ 2,0%

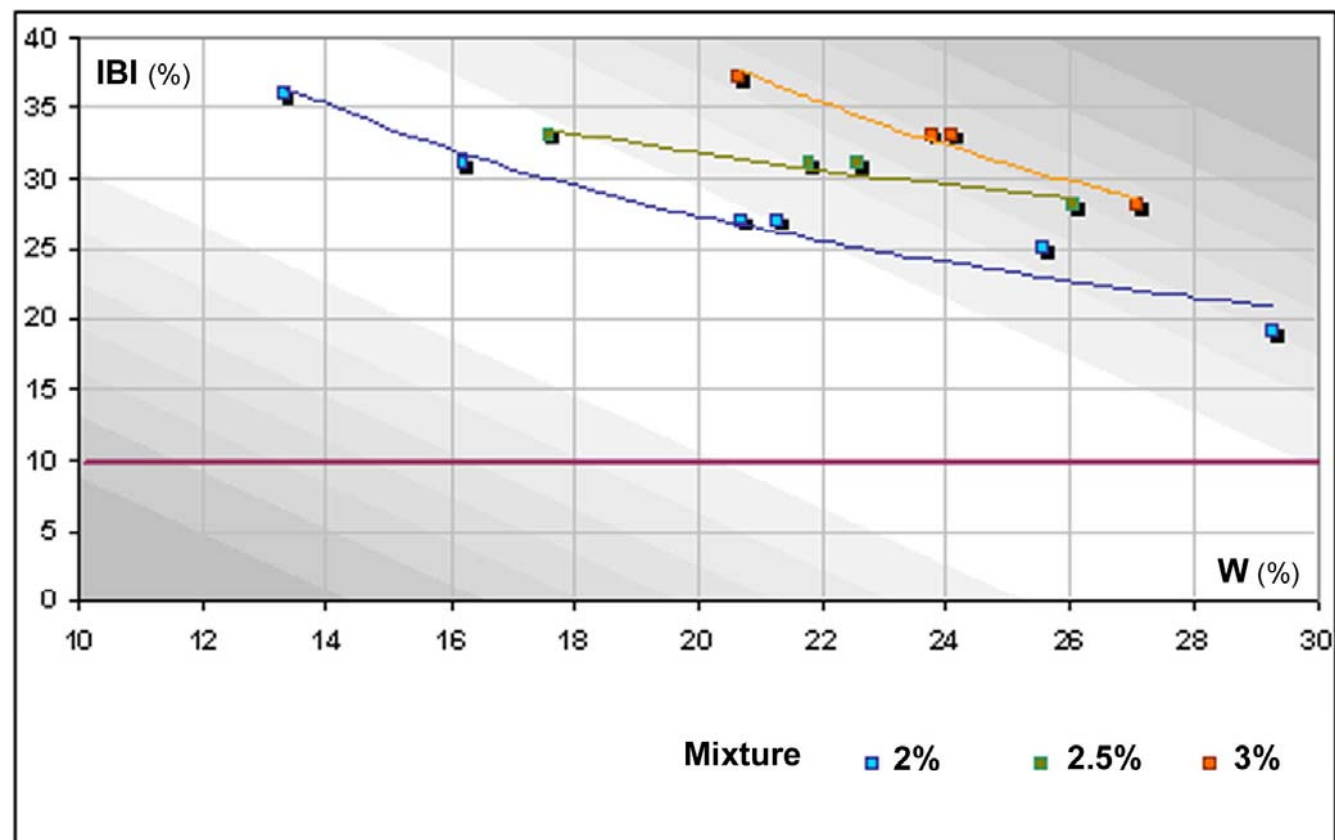
■ 2,5%

■ 3,0%

## Variazione del contenuto d'acqua e della densità al variare del dosaggio di calce

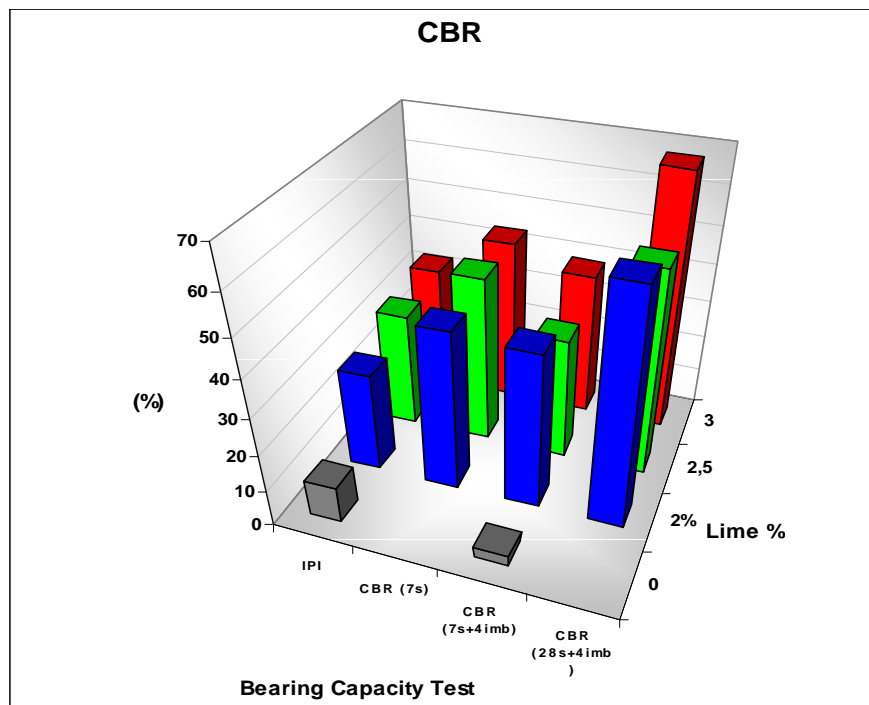
Calce %	0	2	2,5	3
$W_{opt}$ %	17.3	20.7	21.8	23.8
$\gamma_d$ max	16.64	15.54	15.21	14.78

## Trend dell'indice di portanza iniziale al variare del contenuto d'acqua per le tre miscele



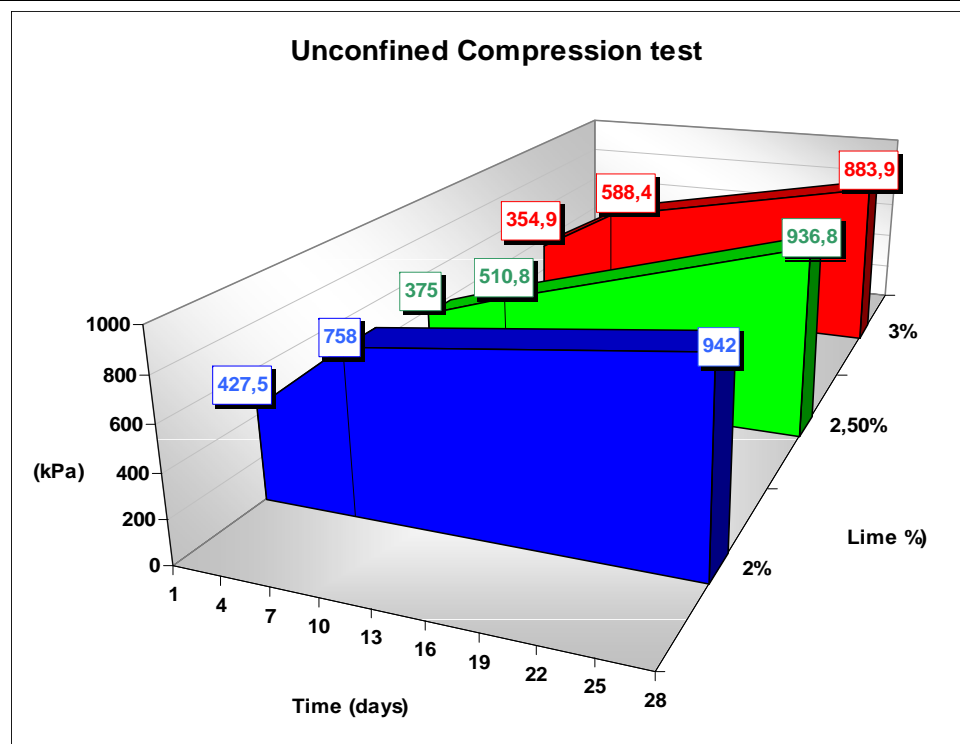
## CBR in varie condizioni di maturazione ed imbibizione

Tempo (giorni)	% calce			
	0	2	2,5	3
0	10	27	31	33
7		43	45	44
11 (7 maturazione.+4 imbibizione.)	3	42	33	39
32 (28 maturazione +4 imbibizione)		62	55	68



## Evoluzione nel tempo della resistenza a compressione semplice per le tre miscele trattate a calce

Tempo (giorni)	Dosaggio di calce		
	2%	2,50%	3%
1	427,5	375	354,9
7	758	510,8	588,4
28	942	936,8	883,9



# Conclusioni

- I risultati delle prove in sito hanno dato esito migliore di quelli evidenziati nello studio preliminare di laboratorio;
- Sono stati trattati oltre 6.000.000 di metri cubi di terreno utilizzando 300.000 tonnellate di calce ;
- La necessita di trattare il terreno con calce in grande scala è stata una innovazione tecnologica per le ferrovie italiane;

# Conclusioni

- Dal punto di vista ambientale, il trattamento dei terreni con calce ha permesso di ridurre al minimo il consumo di materiali naturali pregiati attraverso il riutilizzo di terreni che altrimenti sarebbero andati in discarica perché dotati di scadenti caratteristiche meccaniche;
- Per un efficace trattamento è necessario eseguire un attento controllo delle caratteristiche dei materiali prima e dopo la stabilizzazione; lo studio preliminare di laboratorio ed i campi prova delle miscele hanno garantito le caratteristiche richieste.
- La specifica tecnica di RFI adottata per il trattamento dei terreni con calce, ha costituito una guida fondamentale per la Direzione lavori e per la stazione appaltante;



Miscelazione in sito terreno-calce





## Compattazione dei terreni dopo miscelazione



Veduta aerea della linea AC Bologna-Milano in costruzione







# ***Macchine per la stabilizzazione delle terre***

***Napoli – 18 aprile 2012***



# LE MACCHINE NECESSARIE

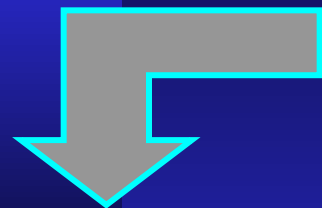
- Spandilegante
- Stabilizzatrice
- Rulli
- Grader



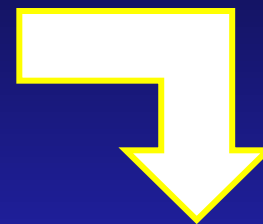
# Scegliere la stabilizzatrice adeguata per ogni situazione



# STABILIZZAZIONE DELLE TERRE



*CON CEMENTO*



*CON CALCE*



diversi materiali diverse problematiche  
anche dal punto di vista macchina

# LO SPANDIMENTO DELLA CALCE/CEMENTO



- Lo spandimento della calce o di altri leganti si attua con macchine a traino o semoventi che assicurino un dosaggio costante per unità di superficie ( $\text{kg/m}^2$ ) in funzione della velocità di avanzamento.
- I moderni spandicalce sono anche dotati di sistema di controllo del dosaggio che può essere elettronico.
- La capacità di carico degli spandicalce varia da un minimo di  $10 \text{ m}^3$  per il tipo a traino a  $16-18 \text{ m}^3$  per il tipo semovente; la striscia posata è larga  $2,2-2,4 \text{ m}$
- Il dosaggio al suolo è variabile secondo necessità tra  $3$  e  $30 \text{ kg}$  di calce



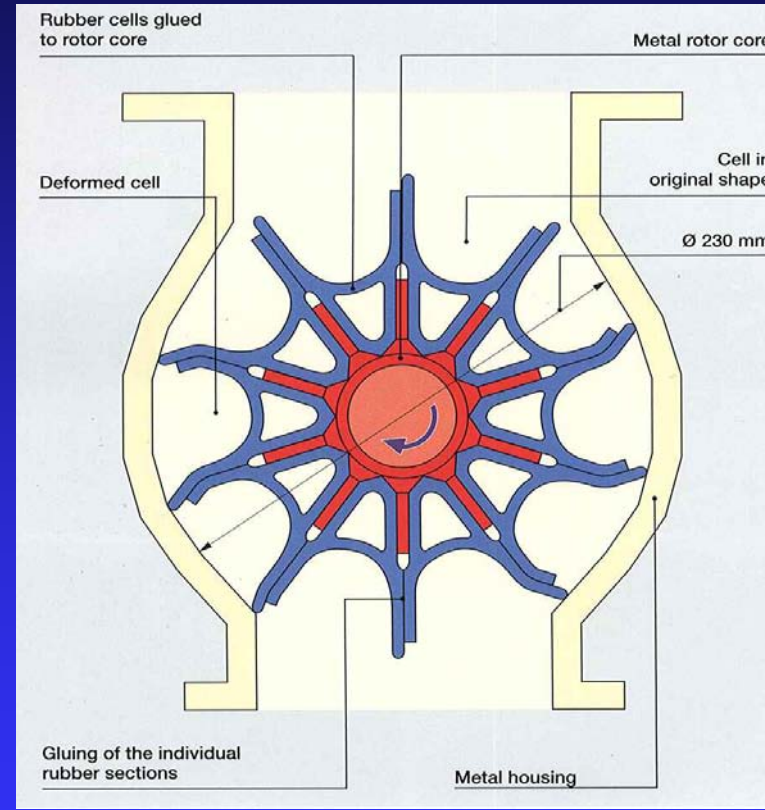
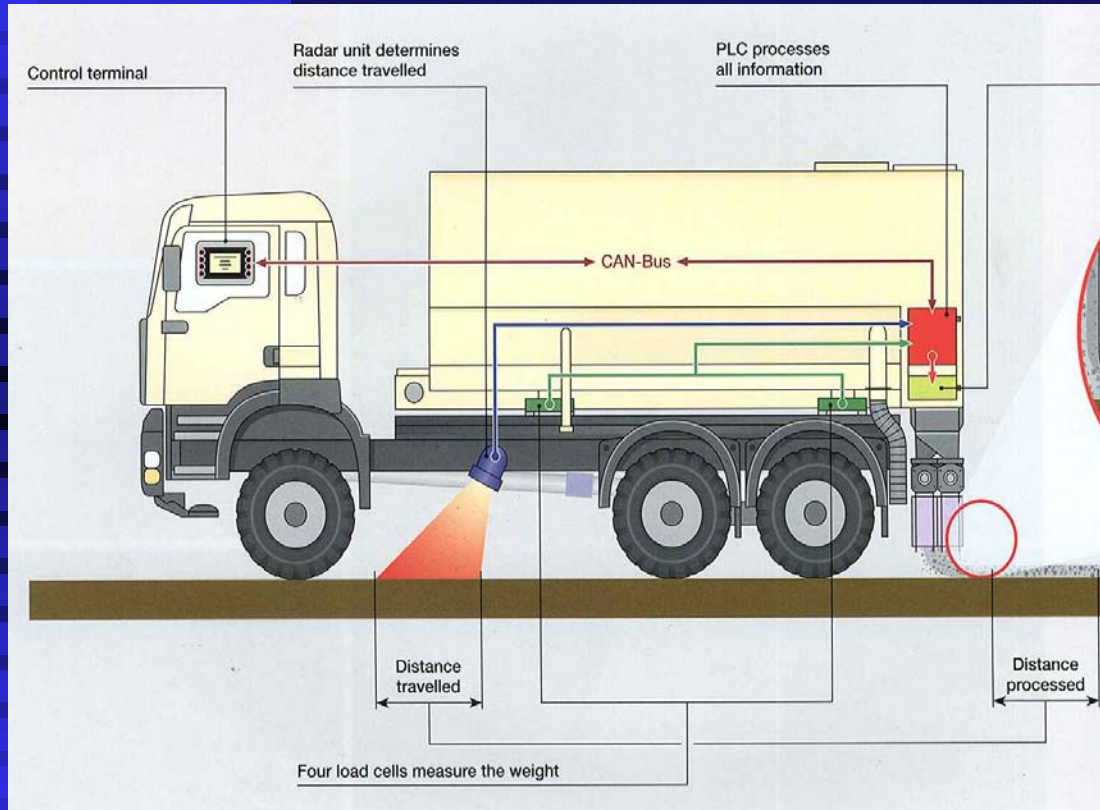
## A controllo manuale



## A controllo elettronico



# COME FUNZIONA UNO SPANDICALCE MODERNO



# Come evitare la dispersione di legante nell'ambiente





# SPANDILEGANTE INCORPORATO NELLA MACCHINA



# LA MISCELAZIONE PER STRATI



- La macchina per miscelare la terra con la calce è chiamata stabilizzatrice ; è dotata di un rotore, che gira in senso opposto all'avanzamento equipaggiato con utensili.



- La posizione del rotore è regolabile automaticamente in altezza; la profondità di miscelazione normalmente varia tra 20 e 50 cm a seconda delle caratteristiche delle terre e delle indicazioni di progetto.



- A parità di potenza disponibile, la velocità di avanzamento e il numero di passate dipendono dal tipo di terreno e dal grado di plasticità.

# SPESSORI

- Gli spessori lavorati sono in funzione del progetto
- Le macchine Wirtgen hanno profondità di lavoro di 50 cm
- Il limite di profondità è dettato dalla compattazione non dalla macchina
- Sconsigliato lavorare oltre 35-40 cm salvo miscelazione fuori opera



# IL CONTROLLO DELLA MISCELAZIONE E LA REGOLARITA' DELLO STRATO



■ Dopo la miscelazione della terra con la calce si devono controllare la granulometria, l'omogeneità di miscelazione e la profondità dello strato lavorato.

■ La miscela si ritiene idonea quando appare di colore omogeneo e la componente limo-argillosa è interamente passante a 25 mm.

■ La miscelazione deve interessare anche alcuni centimetri dello strato precedentemente realizzato, in modo da assicurare omogeneità nel materiale



# L'importanza della miscelazione





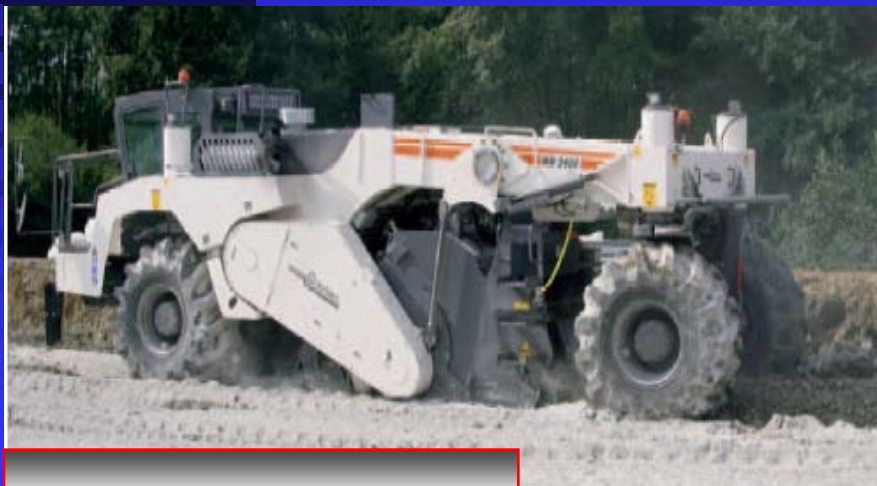
# Varie tipologie di stabilizzatrici



**WS 2200 – WS 2500**



**WR 2500 S**

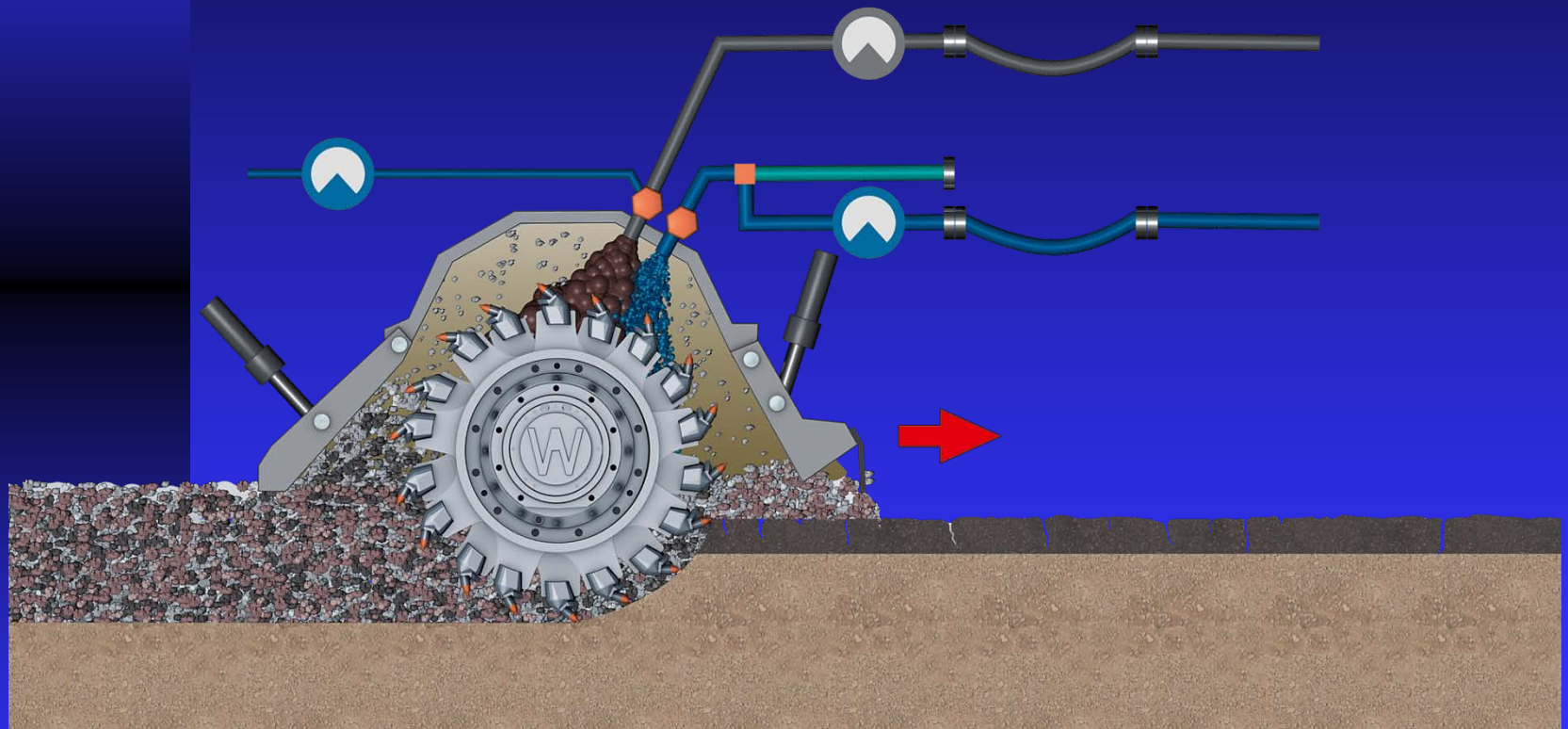


**WR 2400**

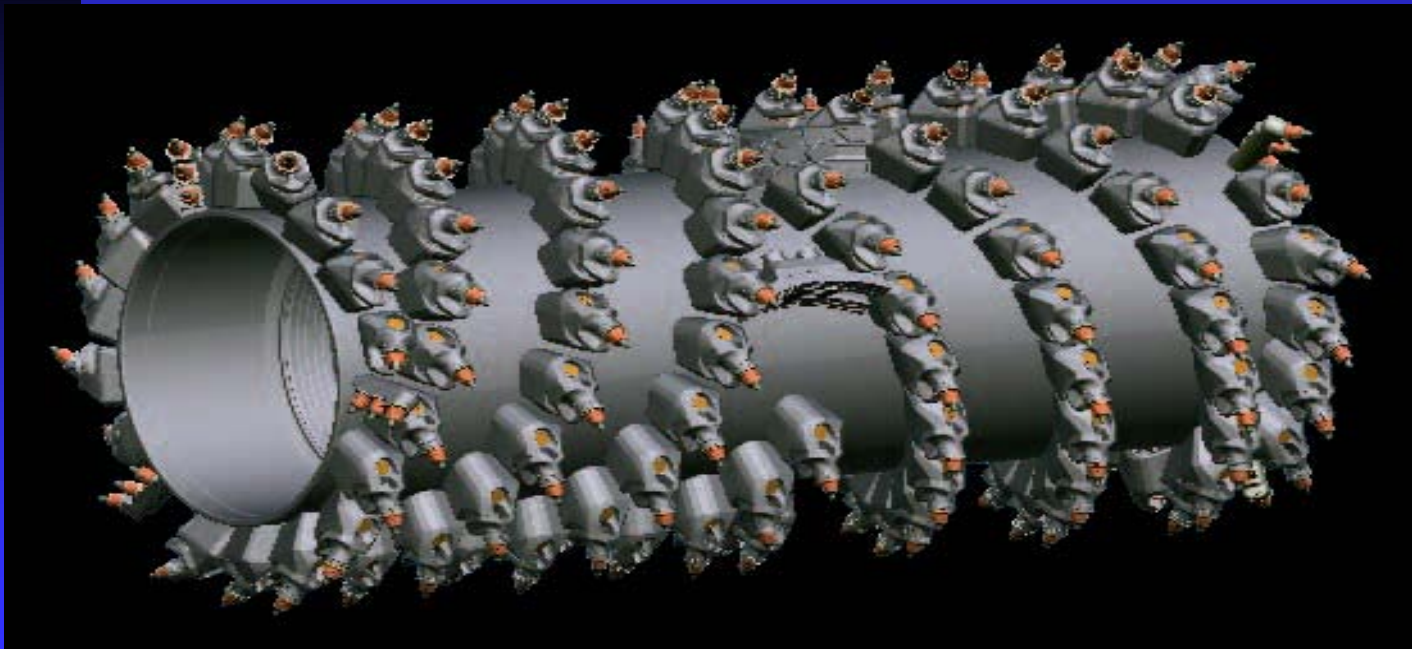


**WR 2000**

# IL ROTORE: cuore del sistema







# Gli utensili: i veri attori della miscelazione





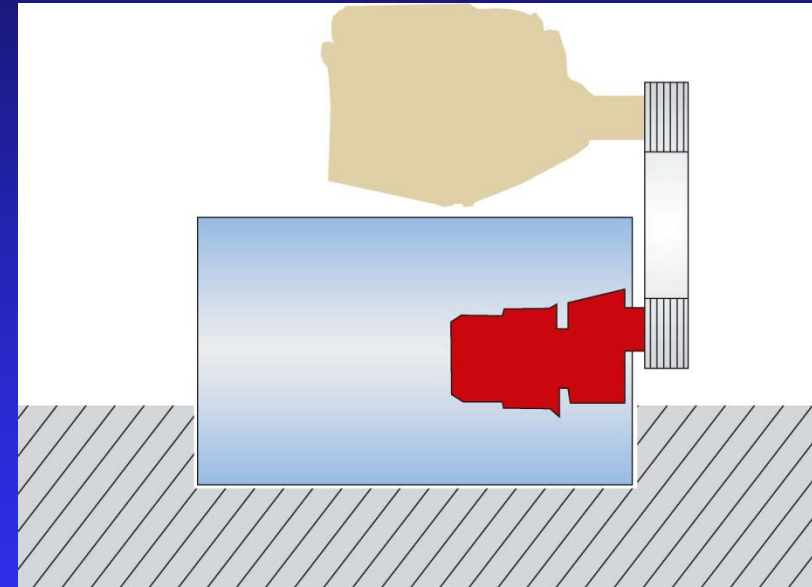
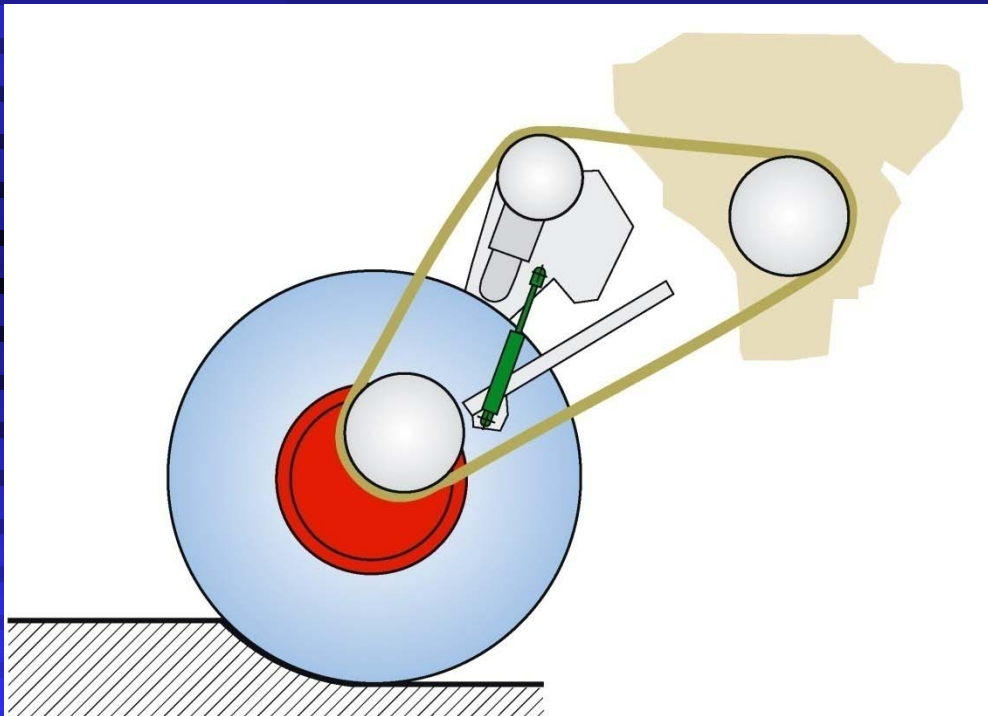
Il sistema di cambio rapido  
del portadente  
con comportamento  
rotazionale  
ottimizzato del dente:  
il Sistema Rotazione per  
ridurre l'usura del  
dente e agevolarne la  
sostituzione



- 1 Il sistema 45 allunga la durata utile della parte superiore anche del 20 per cento
- 2 Indicatori d'usura distanziati fra loro di 5 mm
- 3 Migliore protezione della parte inferiore grazie alla totale sovrapposizione da parte di quella superiore
- 4 Le particelle fini di fresato vengono dilavate dal foro del dente
- 5 Rompitruciolo per un ulteriore sminuzzamento del materiale fresato
- 6 Geometria ottimizzata degli angoli del gambo per una maggiore resistenza del componente
- 7 Guarnizione di tenuta interposta fra parte superiore e inferiore per agevolare e velocizzare le operazioni di smontaggio e rimontaggio della parte superiore
- 8 Superficie di contatto fra parte superiore e inferiore aumentata del 75 per cento per allungare la vita utile della parte inferiore
- 9 Perno conico di spinta per una trasmissione sicura della forza di serraggio
- 10 Vite di fissaggio robusta con filettatura M30x2 ed esagono cavo da 17 mm
- 11 Tappi di chiusura di protezione

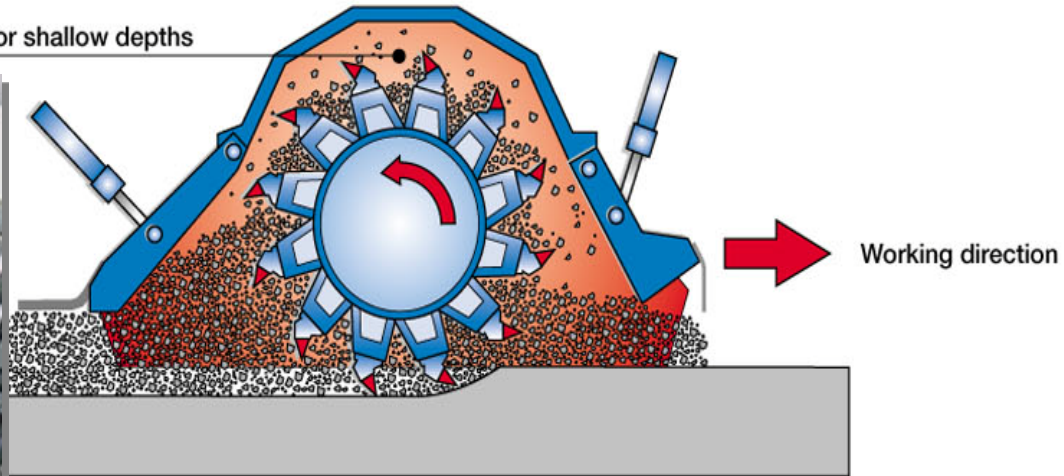


# Azionamento del tamburo

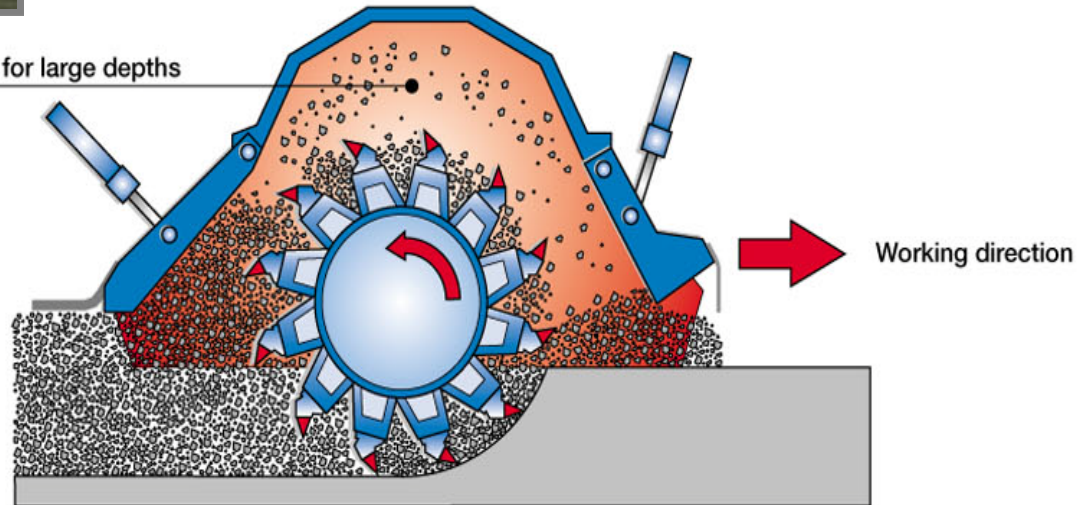


# La miscelazione a camera variabile

Small mixing space for shallow depths

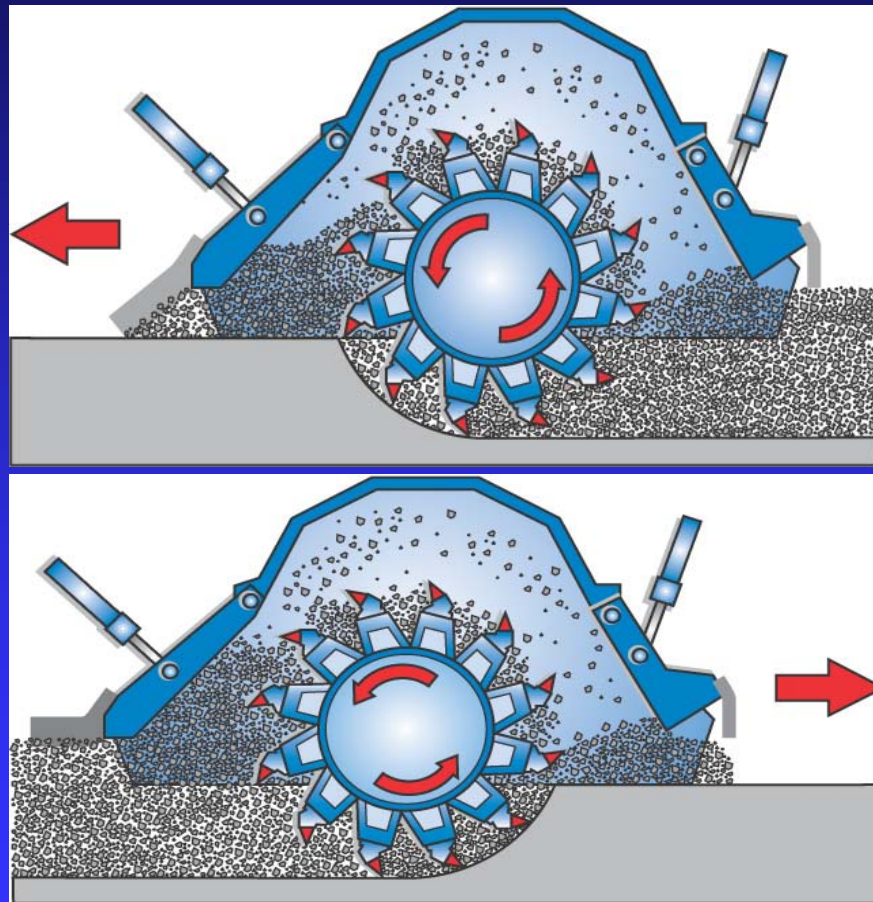


for large depths





## Lavorazione concorde e discorde





# Riciclatrice Stabilizzatrice WR 2500 S

**Larg. Di lavoro 2,438 m**

**Prof. di lavoro 0 – 500 mm**

**Potenza motore 500 kW / 680 PS**

**Peso operativo 32.000 kg**





**WR 2000**

**Larg. Di lavoro 2,000 m**

**Prof. di lavoro 0 – 500 mm**

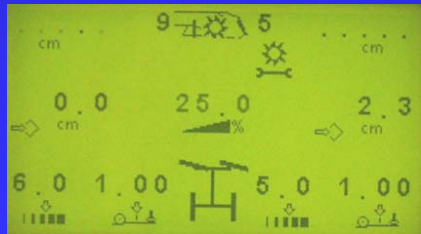
**Potenza motore 315 kW/428 PS**

**Peso operativo kg 23.000**

# Riciclatrice Stabilizzatrice WR 2500 S



	0m	Job
	0m <sup>2</sup>	
	0m <sup>3</sup>	0t
I	0.000t	0.00%
II	0.000t	0.00%
II+	0.000m <sup>3</sup>	0.00%
III	0.000m <sup>3</sup>	0.00%
IV	0.000t	0.00%



Dati di produzione/livellazione e gestione  
macchina visualizzati su Display CGC



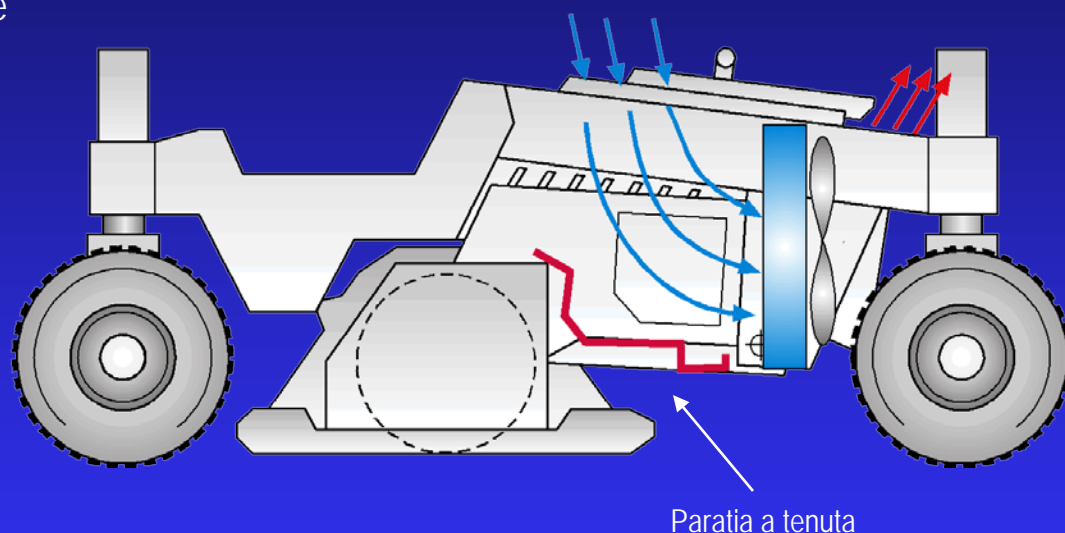
# Riciclitrice Stabilizzatrice WR 2500 S

## Sistema di aspirazione

aspirazione di aria fresca  
direttamente sui filtri a ciclone  
posti sopra il motore



Filtri a ciclone già installati di serie  
sulla macchina base



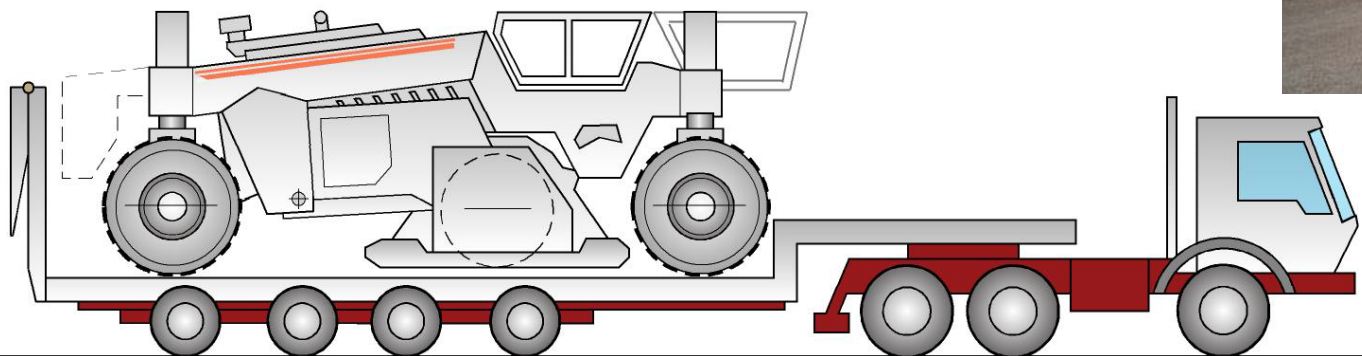
# Riciclatrice Stabilizzatrice WR 2500 S

Trasportabile su autocarro a pianale  
ribassato a 4 assi con motrice a 3 assi

Larghezza macchina : 3,00 m

Altezza di trasporto : 3,00 m

Lunghezza macchina: 8.420 mm



## PESI:

- 9.000 kg peso motrice (circa)
- 13.300 kg peso pianale (circa)
- 30.500 kg peso macchina
- 52.000 kg Totale

# LA REGOLARIZZAZIONE E IL COSTIPAMENTO



- Utilizzando un grader, si livella lo strato lavorato preparandolo per il successivo costipamento

- Il rullo a piede di montone (in realtà padfoot) è la macchina ideale per costipare le terre limo-argillose trattate con calce, poiché esso è in grado di addensare la miscela anche in profondità, favorendo la fuoriuscita dell'aria intrappolata.



- Il peso del rullo e le modalità di costipamento si scelgono in funzione:
  - spessore dello strato da costipare;
  - caratteristiche delle terre lavorate;
  - grado di addensamento desiderato;
  - posizione dello strato lavorato nella sezione stradale.







# LA REGOLARIZZAZIONE E IL COSTIPAMENTO FINALE



- Il grado di addensamento delle miscele trattate è stabilito dal progetto.
- In relazione all'energia di costipamento necessaria (spessore e densità degli strati) si utilizzano anche i rulli compattatori con tamburi lisci; i rulli gommati si usano per le operazioni di finitura della superiore dello strato.
- I rulli compattatori con tamburi lisci e quelli gommati sono tipicamente utilizzati con le terre meno plastiche e con scheletro litico.

# Rulli compattatori da rilevato



## **3518 - 3518 HT**

17.820 kg L. 2.200 mm

## **3520 - 3520 HT**

19.800 kg L. 2.200 mm

## **3625 HT**

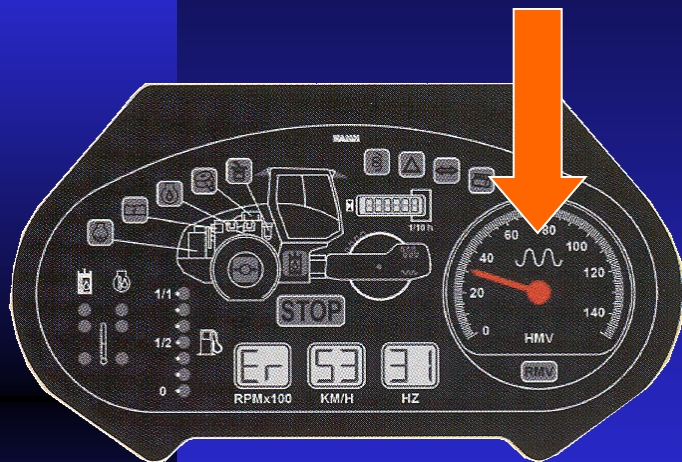
24.960 kg L. 2.200 mm





# Rulli compattatori da rilevato

## Compattometro HCM



**Hamm** serie 3000

GRAZIE





18 aprile 2012

# **Stabilizzazione a calce per la costruzione della linea ferroviaria Bologna - Verona e Parma – La Spezia**

**Stefano Ciufegni  
Francesco Sacchi**

# **La stabilizzazione a calce**

---

**La stabilizzazione con calce dei terreni plastici è un'ottima alternativa all'impiego dei materiali pregiati tradizionali, specie nelle opere in cui ne sono richieste notevoli quantità**

**Le prime applicazioni del mondo ferroviario risalgono alla fine degli anni 80.**

**Risalgono infatti a quegli anni i rilevati del quadruplicamento tra la Stazione di Firenze Campo di Marte e la Linea Direttissima, così come la stabilizzazione in sito del piano di imposta del rilevato su cui è stato costruito l'impianto polifunzionale dinamico di Osmannoro sempre nell'area Fiorentina.**

# La stabilizzazione a calce

---

***Linea Bologna – Verona  
Rilevati tra Crevalcore e Nogara***

***Linea Parma – La Spezia “Pontremolese”  
Raddoppio tratta Solignano - Osteriazza***



# Linea ferroviaria **Bologna - Verona**

---

**Il tratto tra Crevalcore e Nogara, della nuova linea ferroviaria ha una lunghezza di circa 50 Km, la cui gran parte realizzata su rilevato.**

**Il volume di terreno necessario tra bonifica del piano di posa e corpo rilevato supera il **milione di m<sup>3</sup>**, mentre il terreno da portare a discarica sarebbe stato di circa **600.000 m<sup>3</sup>****

**Per le quantità mancanti sono state recuperate terre provenienti dalla vecchia sede ferroviaria e da scavi eseguiti per la costruzione di altre nuove opere nei pressi del cantiere della linea ferroviaria, compresi quelli provenienti dalle opere di fondazione dei manufatti e quindi con la presenza di fanghi bentonitici**

## Gli studi preliminari

---

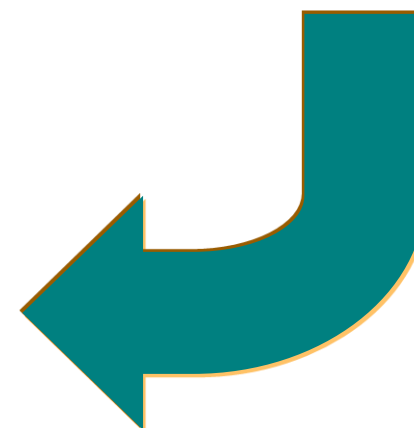
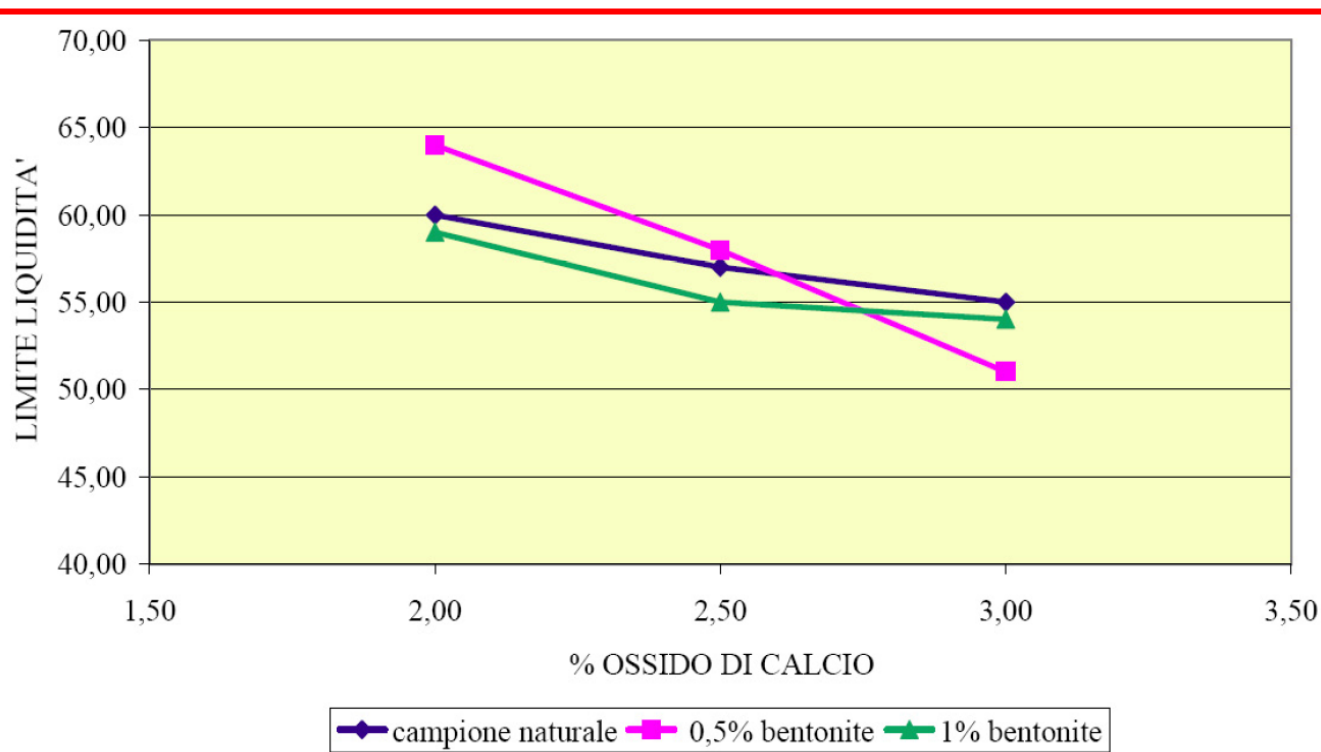
**Lo studio del riuso dei materiali provenienti dagli scavi è stato eseguito in fase di progettazione**

Lo studio di laboratorio, preliminare, è stato eseguito miscelando con **diverse percentuali** di ossido di calcio sia i terreni tali e quali, simulando i materiali di risulta degli scavi superficiali come plinti di fondazione, sia quelli **“inquinati”** dalla presenza di varie percentuali di bentonite utilizzata per la perforazione dei pali di fondazione, verificando con prove successive il loro comportamento.

# Gli studi preliminari – i risultati

## Variazione limite di liquidità

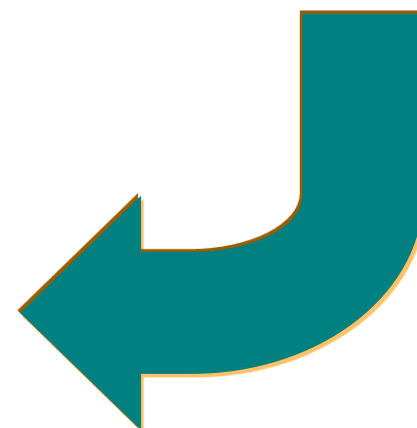
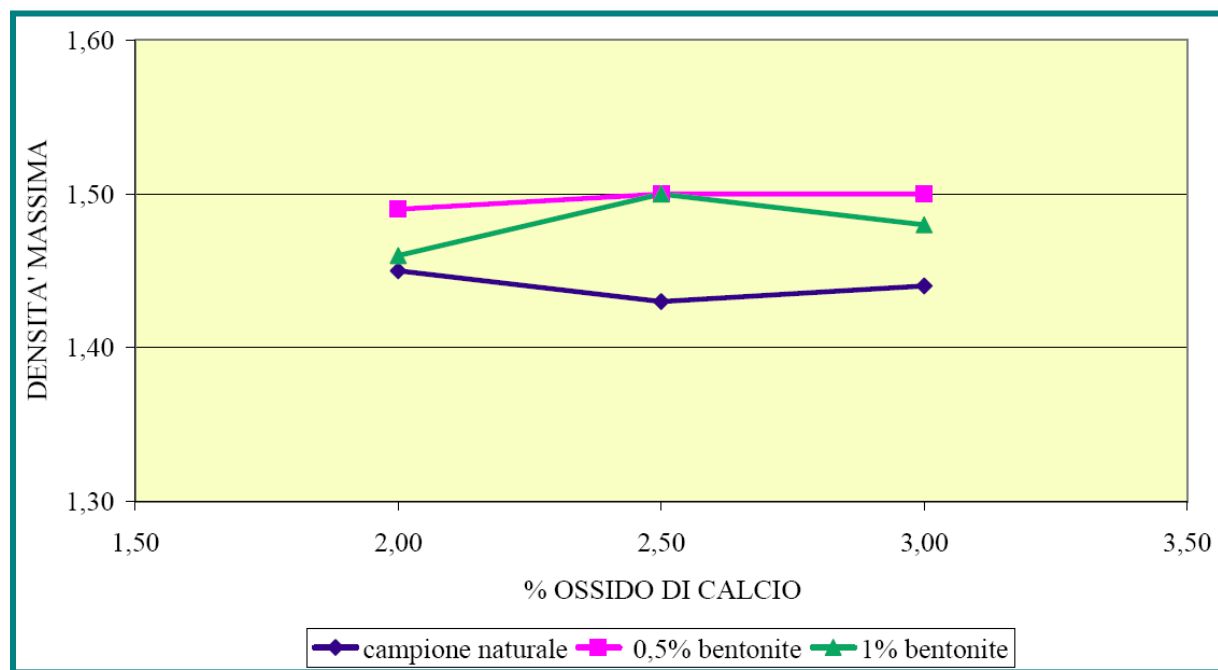
CaO(%)	campione naturale	0,5% bentonite	1% bentonite
2,00	60,00	64,00	59,00
2,50	57,00	58,00	55,00
3,00	55,00	51,00	54,00



# Gli studi preliminari – i risultati

## Variazione densità (t/m<sup>3</sup>)

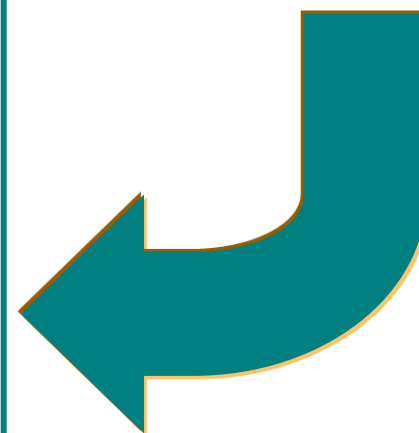
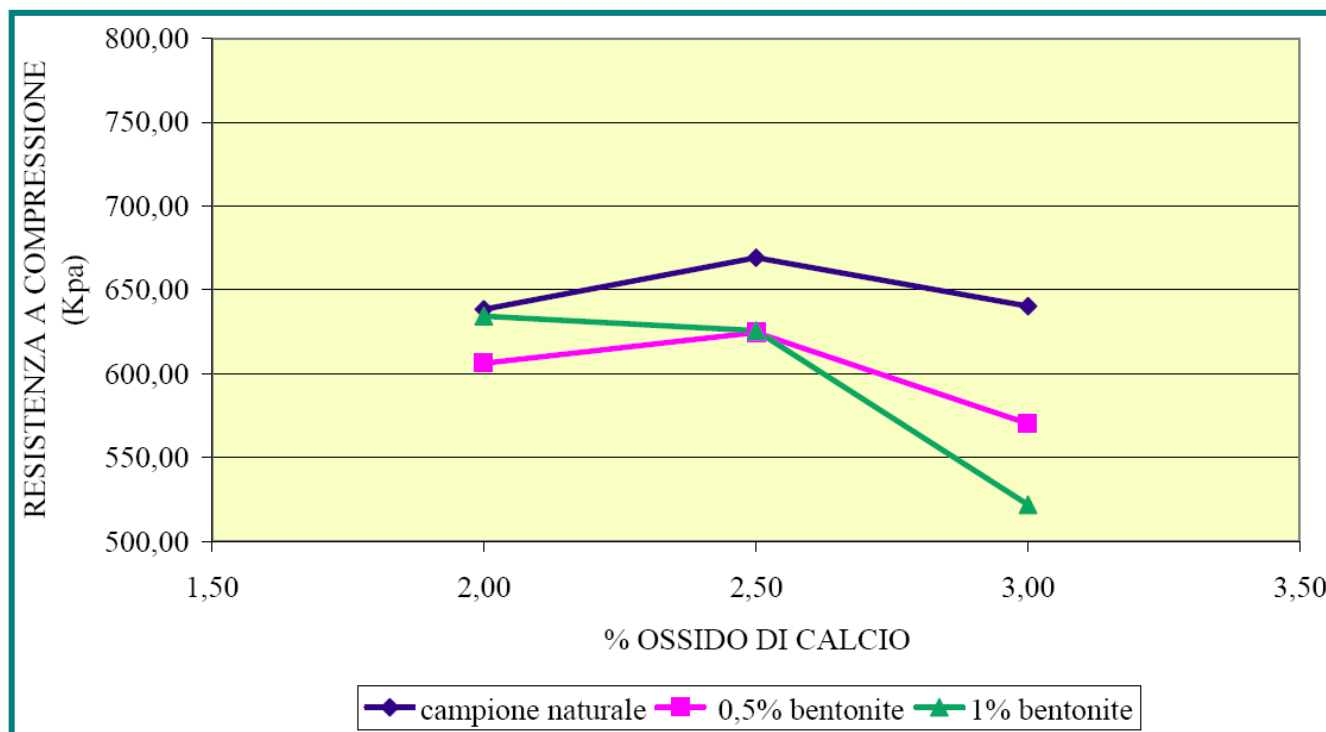
CaO(%)	campione naturale	0,5% bentonite	1% bentonite
2,00	1,45	1,49	1,46
2,50	1,43	1,50	1,50
3,00	1,44	1,50	1,48



# Gli studi preliminari – i risultati

## Variazione della resistenza a compressione (Kpa)

CaO(%)	campione naturale	0,5% bentonite	1% bentonite
2,00	638,26	606,26	634,22
2,50	669,25	624,57	625,62
3,00	640,35	570,21	521,92



# Gli studi preliminari – i risultati

---

- ❑ L'aggiunta di calce al terreno “**inquinato**” con **bentonite** porta ad una **diminuzione** dei valori del limite di liquidità e dell'indice di plasticità e contemporaneamente la frazione fine diminuisce notevolmente.
- ❑ I valori della **densità** secca massima tendono ad **aumentare** con la presenza di bentonite nella miscela, così come i valori del **contenuto ottimale in acqua**
- ❑ All'**aumentare** del contenuto in bentonite i valori della resistenza a compressione presentano una **modesta diminuzione**, di circa il 10% tale da non inficiare i risultati del trattamento a calce

# Linea Bologna – Verona **lo studio delle miscele**

Verificata la fattibilità dell' uso dei terreni provenienti da scavi, compresi quelli **“inquinati” con bentonite**, sono state modificate e adattate al progetto le specifiche allora tecniche esistenti in funzione dell' idea di utilizzare le terre stabilizzate con calce anche per la realizzazione del corpo del rilevato

Tenendo conto dei risultati degli studi preliminari i terreni provenienti dallo scavo dei pali sono stati utilizzati solo per la bonifica del piano di posa o quando il rilevato era confinato tra muri

Lo studio delle miscele è stato in 2 fasi:

- Studio in laboratorio
- Verifica su scala reale per mezzo di campi prova



# Linea Bologna – Verona **lo studio delle miscele**

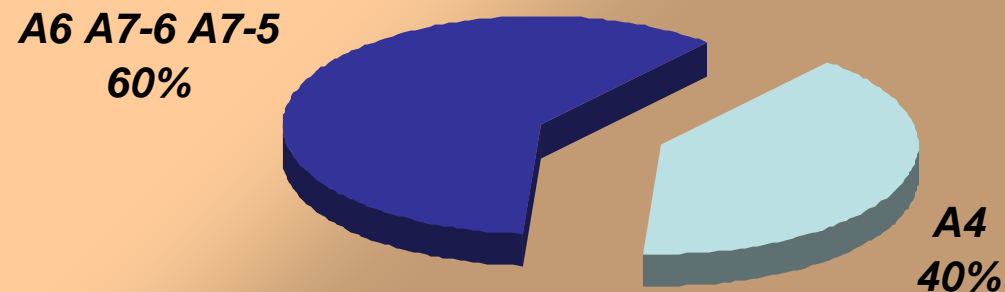
Per la caratterizzazione dei terreni di imposta dei rilevati, lungo il tracciato della nuova linea ferroviaria, sono stati eseguiti circa 150 pozzetti geognostici, profondi fino a 4 metri e sono stati prelevati campioni a varie altezze

Su questi campioni sono state eseguite le seguenti prove per la loro classificazione:

- ❖ *analisi granulometrica per via umida ai setacci con aperture da 2.00 mm – 0.425 mm – 0.075 mm [ASTM D422-63(R02)];*
- ❖ *determinazione dei limiti di liquidità e di plasticità [CNR-UNI 10014];*
- ❖ *classificazione [CNR-UNI 10006];*
- ❖ *contenuto in sostanze organiche [ASTM D 2974 – (00)].*

# Linea Bologna – Verona **lo studio delle miscele**

Dai risultati è emerso che:



# La realizzazione dei rilevati – lo studio delle miscele

**Per le prove successive sono stati miscelati tutti i terreni prelevati per i 2 gruppi al fine di avere campioni omogenei su cui sviluppare le successive prove per verificare il loro trattamento con calce**

**Le prove eseguite sui campioni di terreno naturale sono state**

- ❖ 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 contenuto in nitrati;
- ❖ determinazione del consumo iniziale di calce (CIC);
- ❖ prova di costipamento AASHTO Modificato;
- ❖ determinazione dell'indice di portanza immediata (IPI);
- ❖ determinazione dell'indice CBR postsaturazione

# La realizzazione dei rilevati – **lo studio delle miscele**

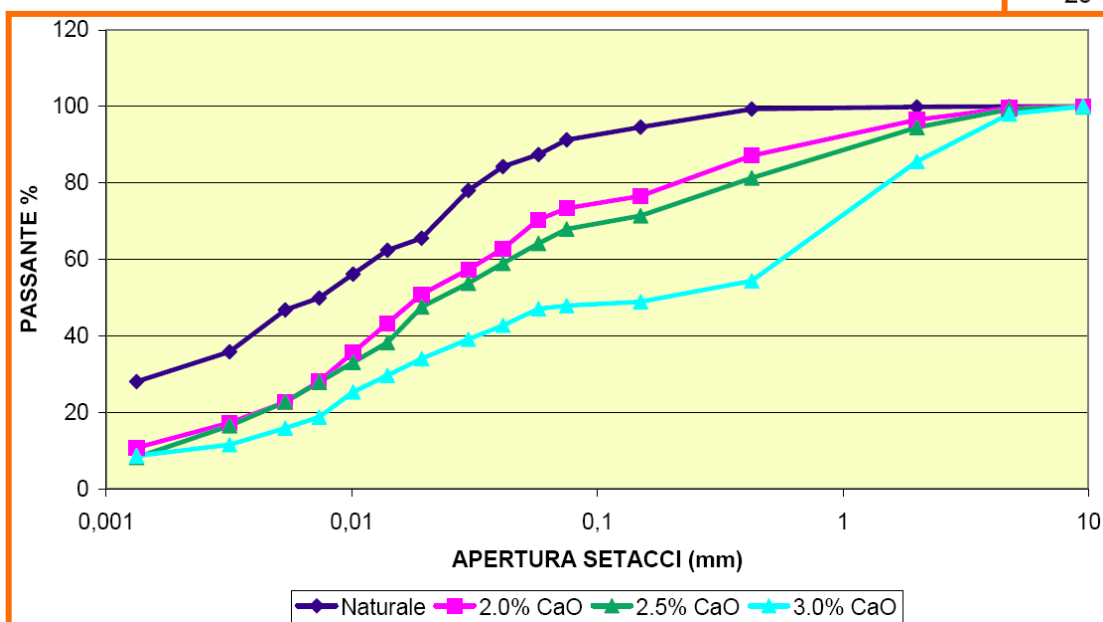
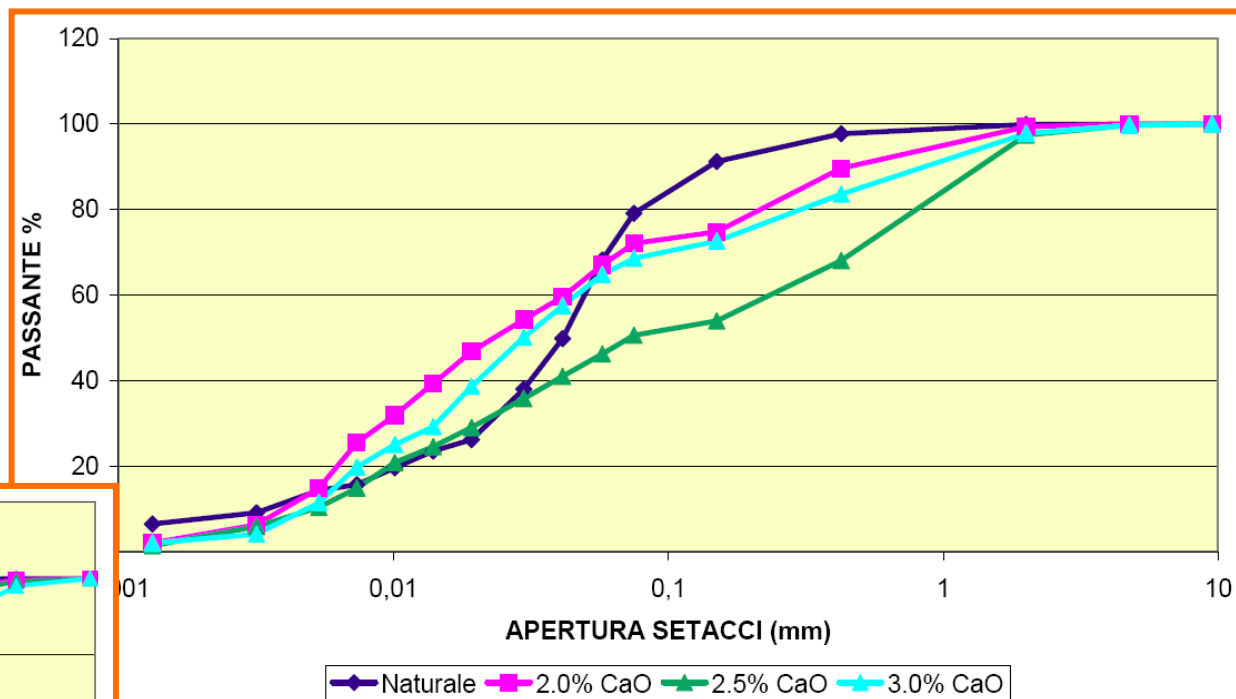
**Verificato che i terreni erano adatti ad essere miscelati con calce, si è provveduto, per ciascuno dei due campioni, a realizzare tre diverse miscele con contenuto di calce crescente (2.0% - 2.5% - 3.0%); sulle quali si sono eseguite le seguenti prove**

- ❖ determinazione dei limiti di Atterberg;
- ❖ analisi granulometrica per via umida con setacci e con aerometro;
- ❖ prova di costipamento AASHTO Modificata;
- ❖ determinazione dell'indice di portanza immediata (IPI);
- ❖ determinazione dell'indice CBR postsaturazione a 7 e 28 giorni di maturazione;
- ❖ determinazione del rigonfiamento;
- ❖ determinazione della resistenza a compressione dopo 24 ore, 7 e 28 giorni di maturazione;
- ❖ prove triassiali CD con diversi tenori di umidità ( $W_{ott}$ ,  $W_{ott}+2\%$ ,  $W_{ott}-2\%$ ) a 28 giorni di maturazione su campioni "tal quali" e dopo completa immersione per 7 giorni in acqua.

# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## Analisi granulometrica

**A<sub>4</sub>**



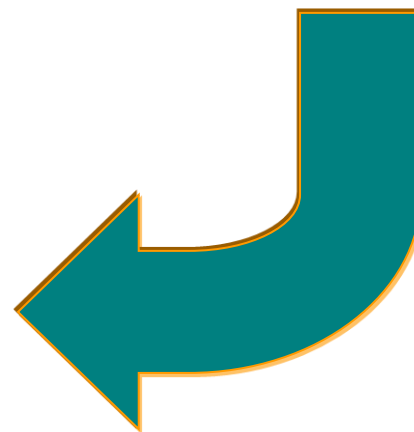
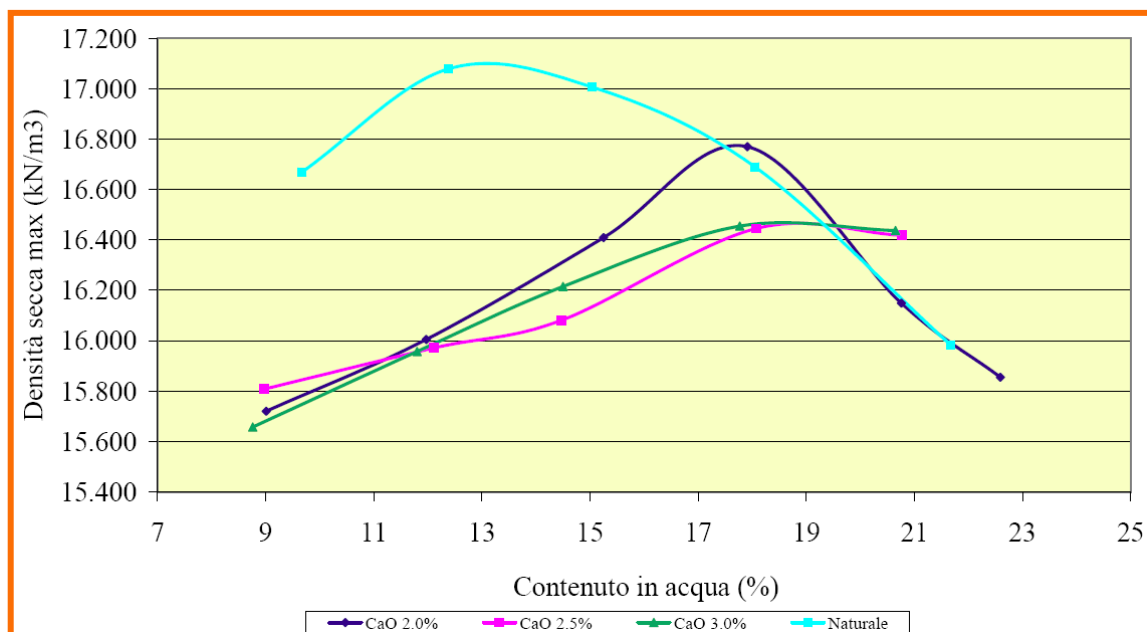
**A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>**

# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## PROVA DI COSTIPAMENTO CON AASHTO MODIFICATA

**A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>**

Naturale		CaO 2.0%		CaO 2.5%		CaO 3.0%	
W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$
9,67	16.669	9,01	15.720	8,97	15.808	8,76	15.657
12,38	17.079	11,97	16.005	12,11	15.971	11,8	15.957
15,03	17.007	15,25	16.409	14,47	16.081	14,5	16.215
18,05	16.690	17,91	16.770	18,07	16.445	17,77	16.455
21,67	15.983	20,76	16.149	20,77	16.418	20,65	16.437
		22,59	15.855	23,4	15.784	23,02	15.941

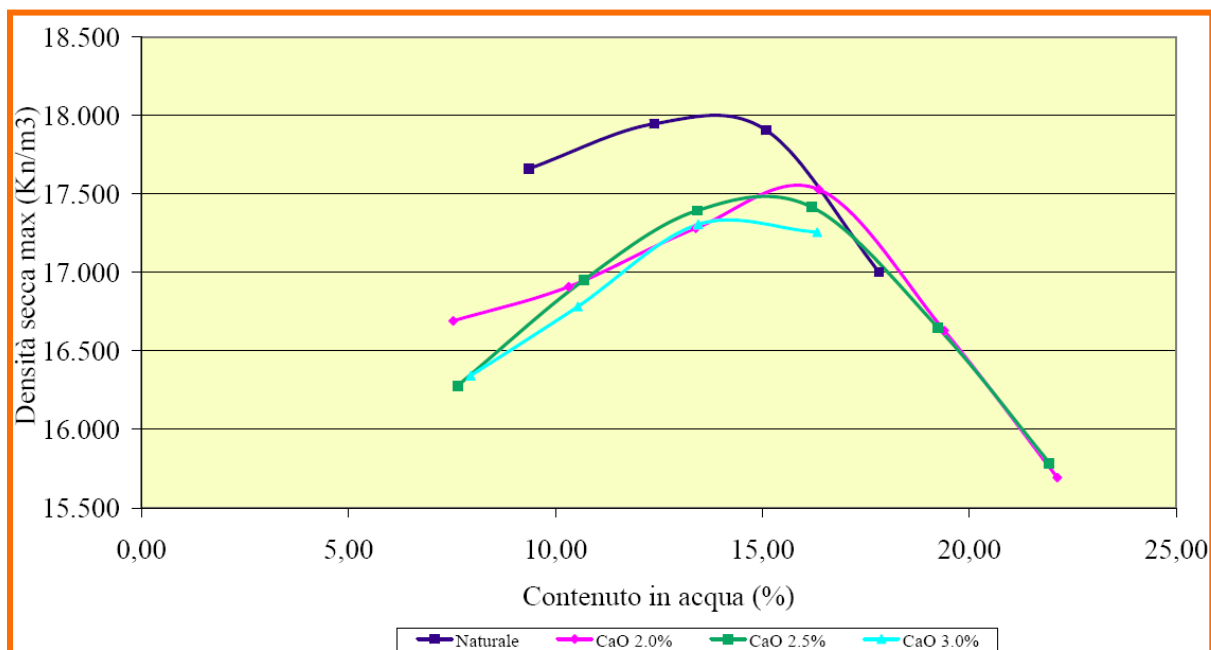


# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## PROVA DI COSTIPAMENTO CON AASHTO MODIFICATA

**A<sub>4</sub>**

Naturale		CaO 2.0%		CaO 2.5%		CaO 3.0%	
W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$	W(%)	$\gamma_d$
9,36	17.660	7,53	16.691	7,64	16.279	7,95	16.342
12,38	17.946	10,32	16.909	10,68	16.950	10,54	16.782
15,09	17.905	13,39	17.281	13,42	17.393	13,45	17.306
17,81	17.004	16,36	17.528	16,19	17.416	16,32	17.256
		19,39	16.629	19,24	16.648	19,3	16.605
		22,12	15.693	21,93	15.786	21,91	15.760

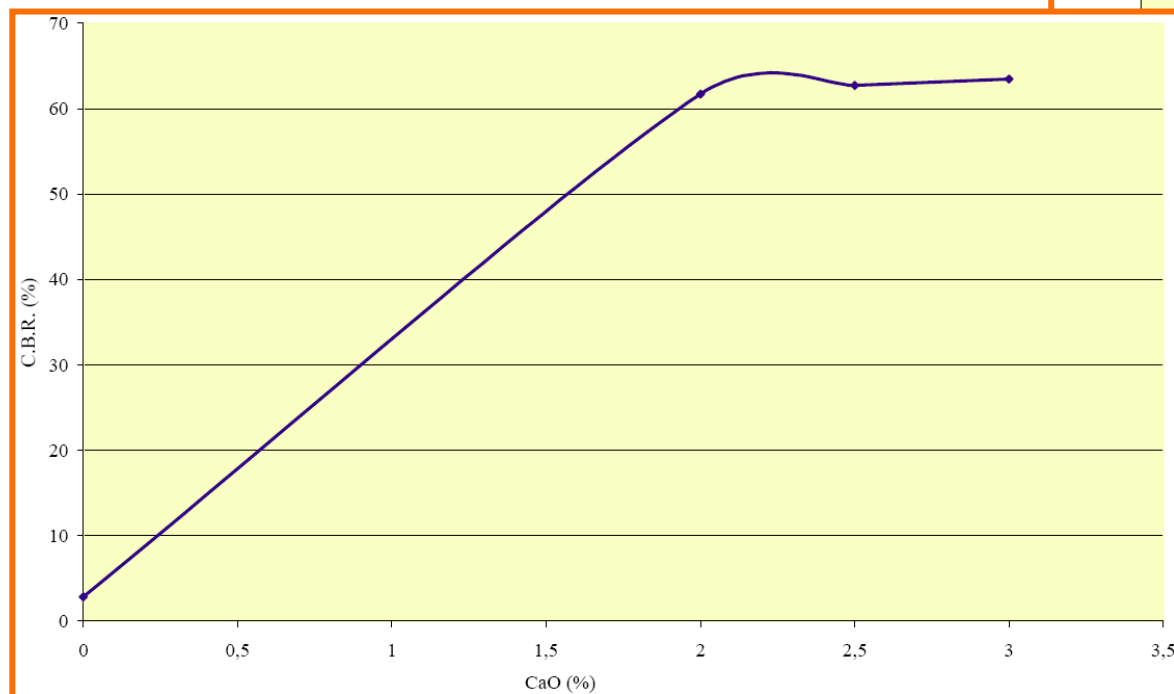
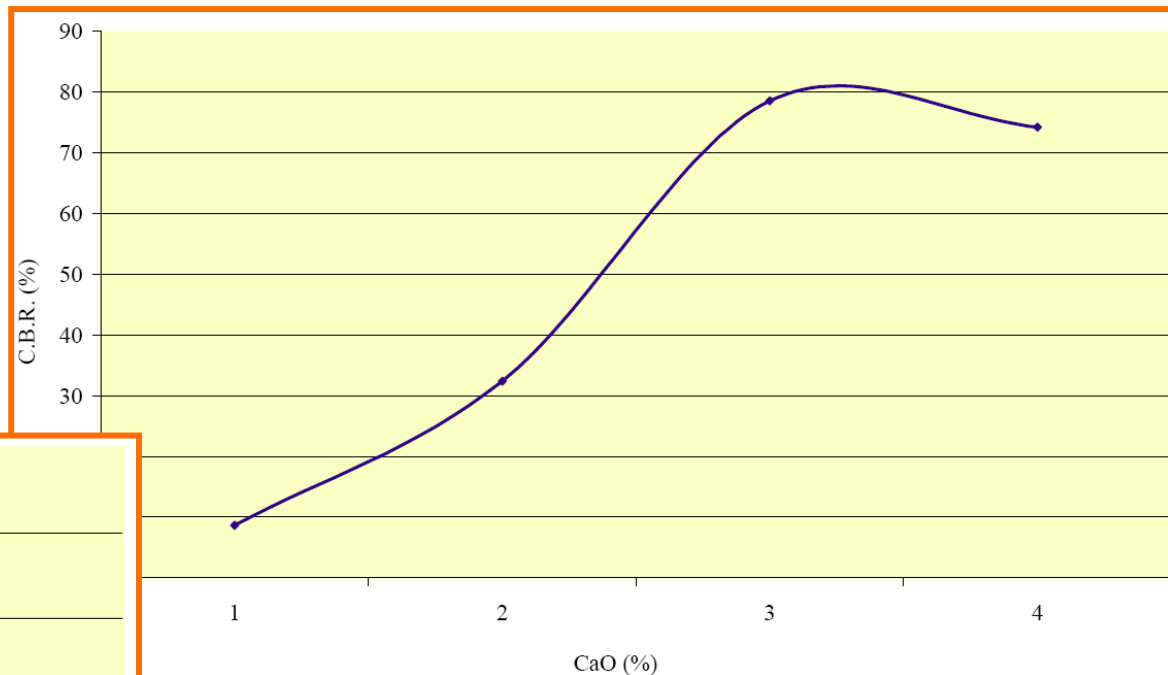




# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## Indice di Portanza Immediata

**A<sub>4</sub>**



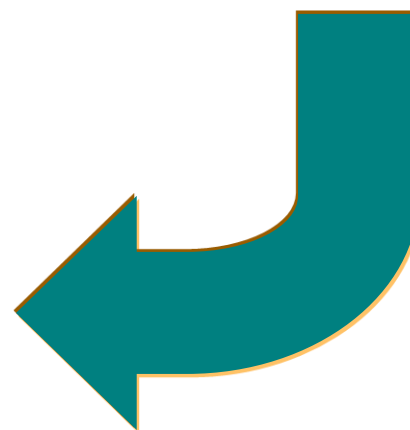
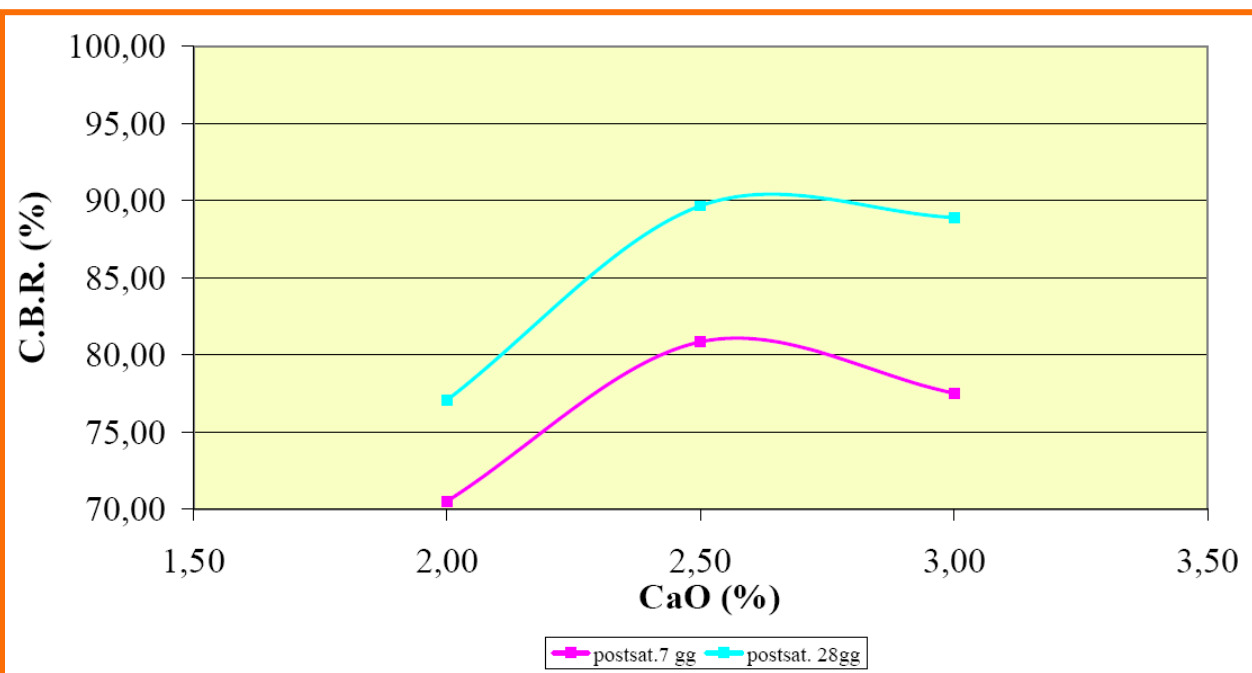
**A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>**

# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## INDICE CBR

**A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>**

Postsatur. - 7 gg + 4 gg		Postsatur. - 28 gg + 4 gg	
C.B.R. (%)	CaO(%)	C.B.R. (%)	CaO(%)
70,50	2,00	77,05	2,00
80,83	2,50	89,64	2,50
77,50	3,00	88,89	3,00

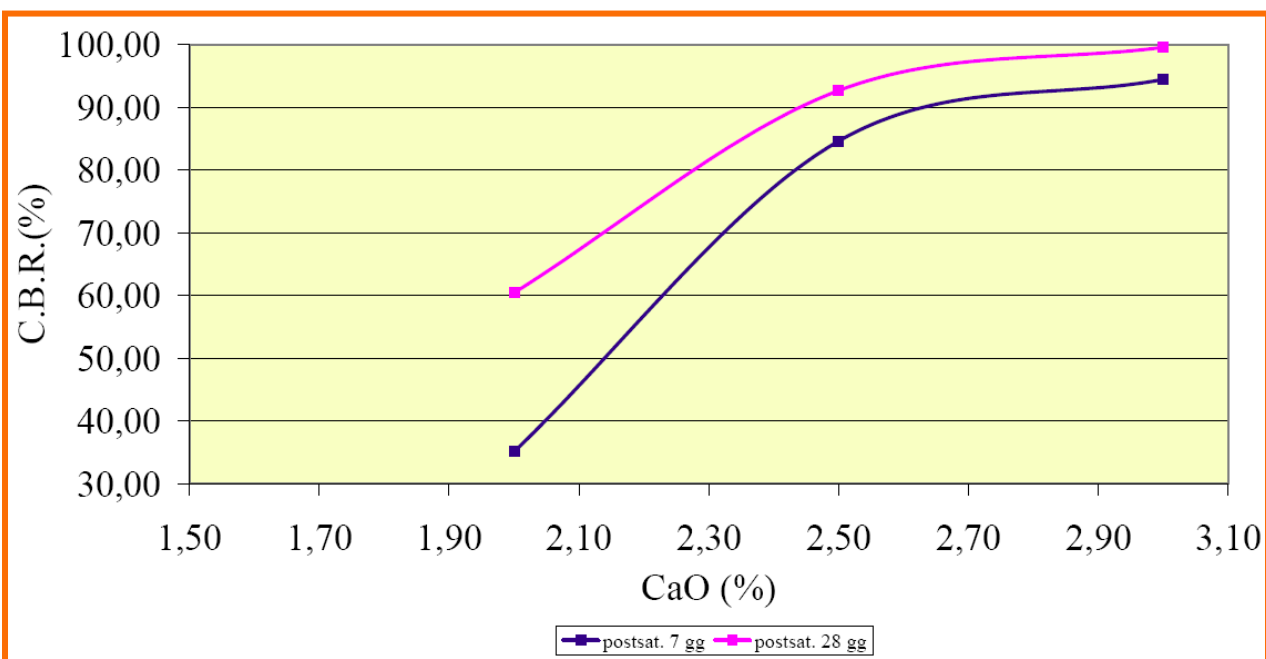


# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

## INDICE CBR

**A<sub>4</sub>**

Postsatur. - 7 gg + 4 gg		Postsatur. - 28 gg + 4 gg	
C.B.R. (%)	CaO(%)	C.B.R. (%)	CaO(%)
35,08	2,00	60,43	2,00
84,60	2,50	92,66	2,50
94,42	3,00	99,54	3,00

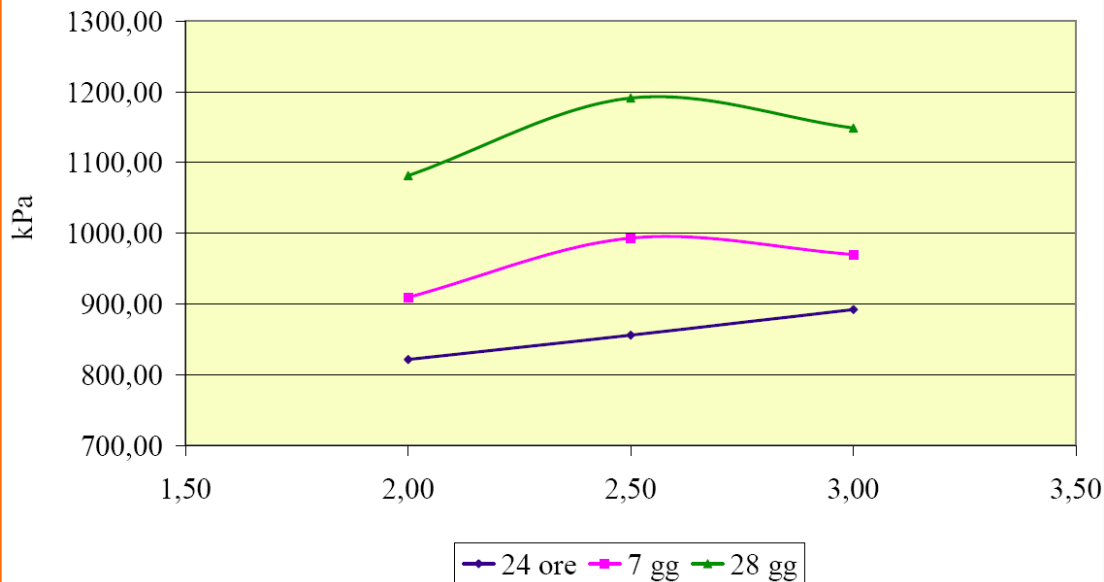


# Linea Bologna - Verona **i risultati dello studio delle miscele**

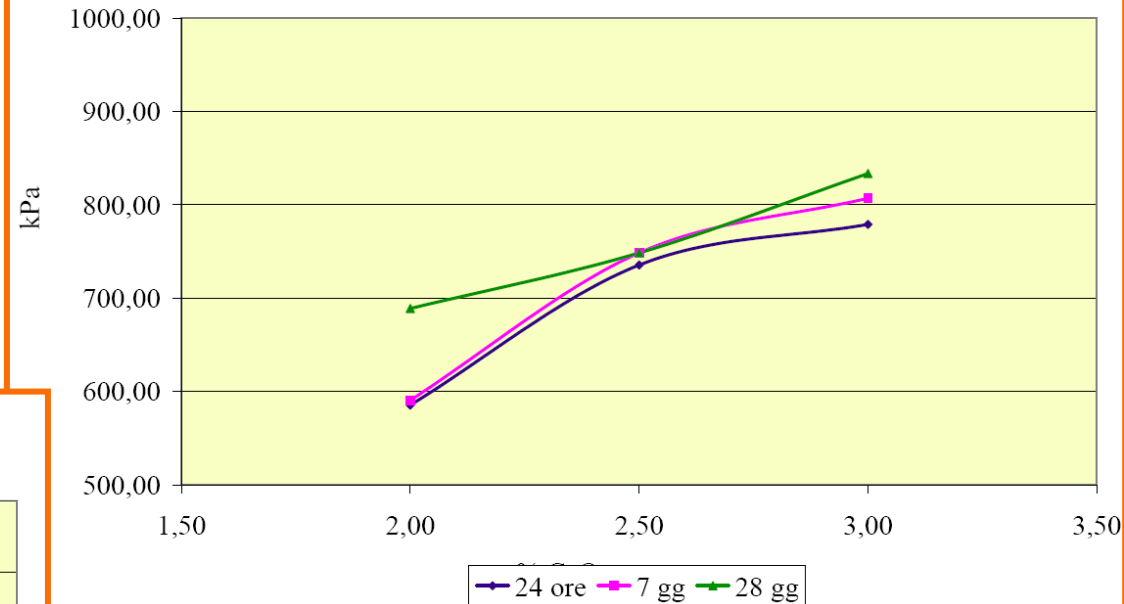
## Resistenza a compressione

A<sub>4</sub>

COMPRESSIONE SEMPLICE



COMPRESSIONE SEMPLICE



A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>

## **Linea Bologna - Verona *i campi prova***

**Sulla base dei risultati delle prove di laboratorio sono stati eseguiti 2 campi prova, uno per ognuno dei due tipologie di terreno**

**In entrambi i casi le percentuali di ossido di calce utilizzate sono (% in peso):**

➤ **2,0 %**

➤ **2,5 %**

# Linea Bologna - Verona **i campi prova**

Per la realizzazione del campo prova sono state eseguite le stesse operazioni previste per la successiva realizzazione dei rilevati:

- **scotico del terreno interessato dal campo per una profondità di 30 cm ed allontanamento del terreno di risulta**
- **fresatura del terreno di base per una profondità di 50 cm, fino a che le zolle abbiano una dimensione tale che tutto il terreno risulti passante al setaccio con aperture da 40 mm**
- **controllo dell'umidità del terreno fresato**
- **taratura della spandicalce al fine di ottenere il dosaggio di calce voluto**
- **determinazione degli schemi di rullatura in area adiacente al campo prova**
- **spandimento della calce ed ulteriore fresatura del terreno al fine di ottenere una miscelazione omogenea e comunque fino a che tutto il terreno miscelato non risulti passante al setaccio da 25 mm**



# Linea Bologna - Verona **i campi prova**

- **controllo dell'umidità della miscela terra-calce**
- **compattazione dello strato di terreno in sito così ottenuto, con passaggi di rullo a piastre e successivi passaggi di rullo liscio sia in conformazione statica che vibrante, così come previsto dallo schema precedentemente determinato**
- **esecuzione delle prove di controllo previste**
- **realizzazione del secondo strato del cassonetto di bonifica e degli altri 3 strati successivi, dello spessore di 30 cm, con terreno miscelato con ossido di calcio in un' area adiacente al campo prova**

***Appare evidente che dovendo eseguire le prove di controllo in giorni successivi alla messa in opera del terreno stabilizzato gli strati successivi a quello di bonifica in sito avevano una larghezza decrescente lasciando una striscia dello strato sottostante accessibile per l' esecuzione delle prove.***



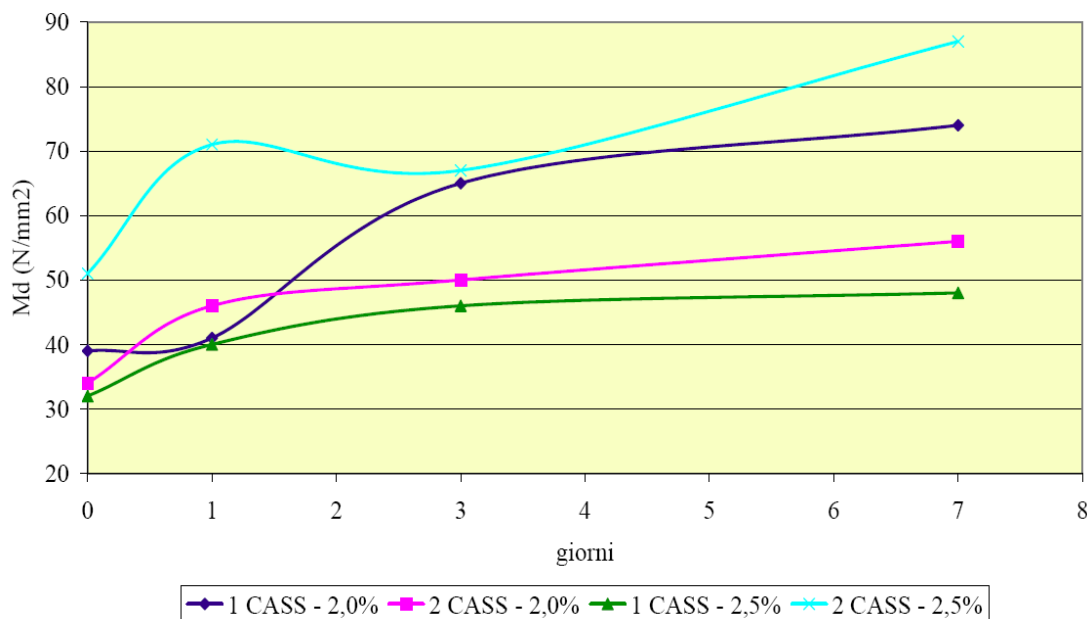
# I risultati dei campi prova – **Piano di imposta**

## Densità in sito

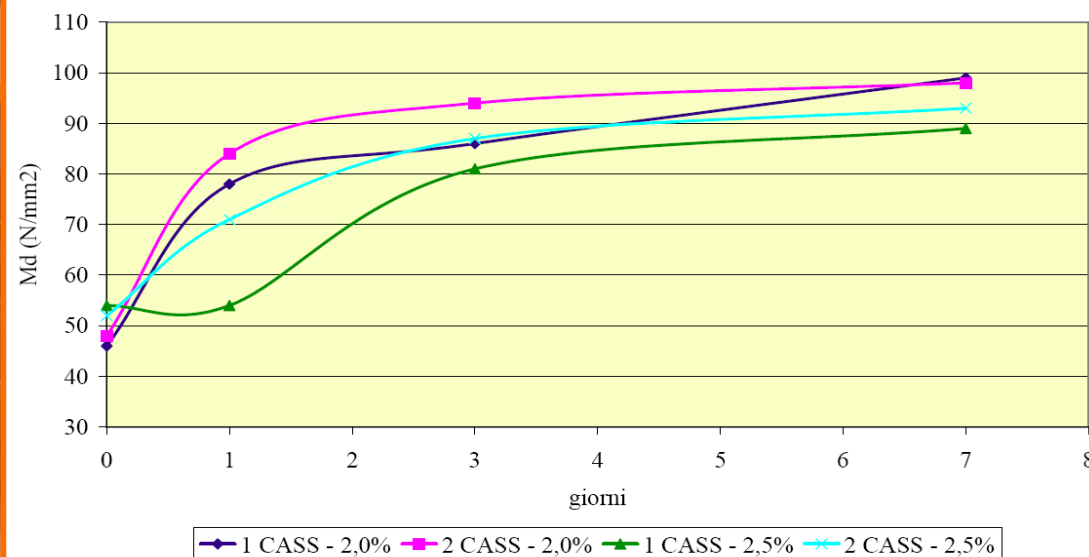
**> 90%**

MOZZI-PONTELLI

ANDAMENTO MODULO PIANO DI IMPOSTA



ANDAMENTO MODULO PIANO DI IMPOSTA



**A<sub>4</sub>**

**A<sub>6</sub> - A<sub>7-6</sub> - A<sub>7-5</sub>**

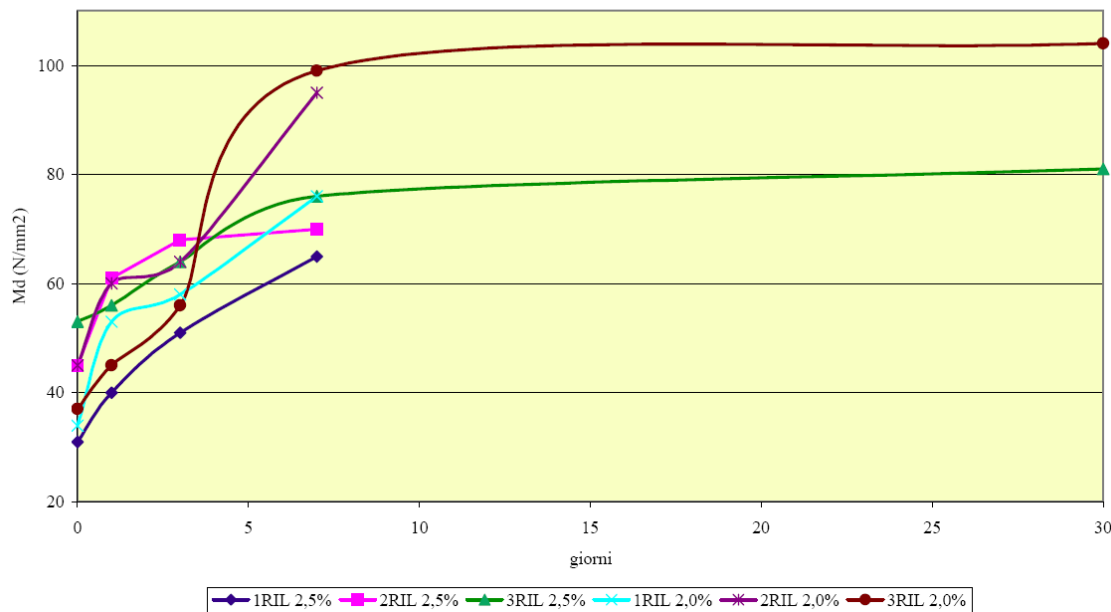
# I risultati dei campi prova – **Corpo rilevato**

Densità in sito

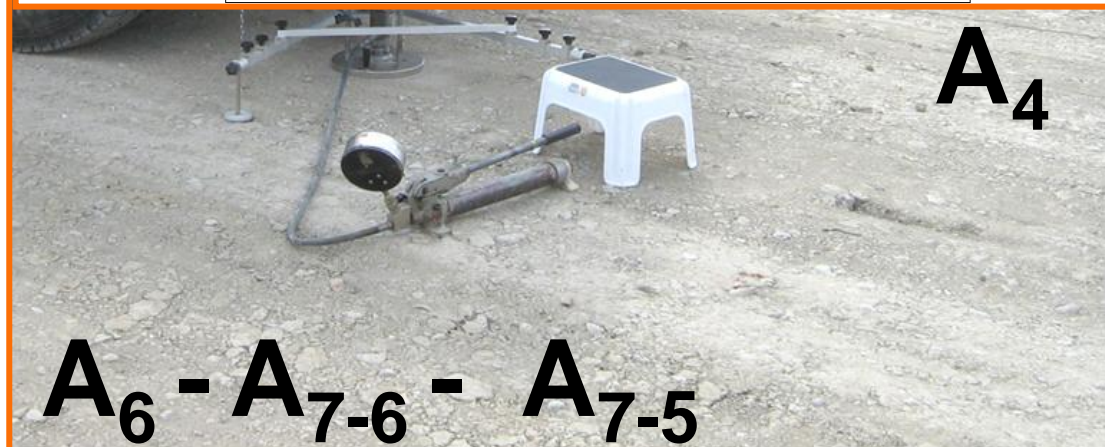
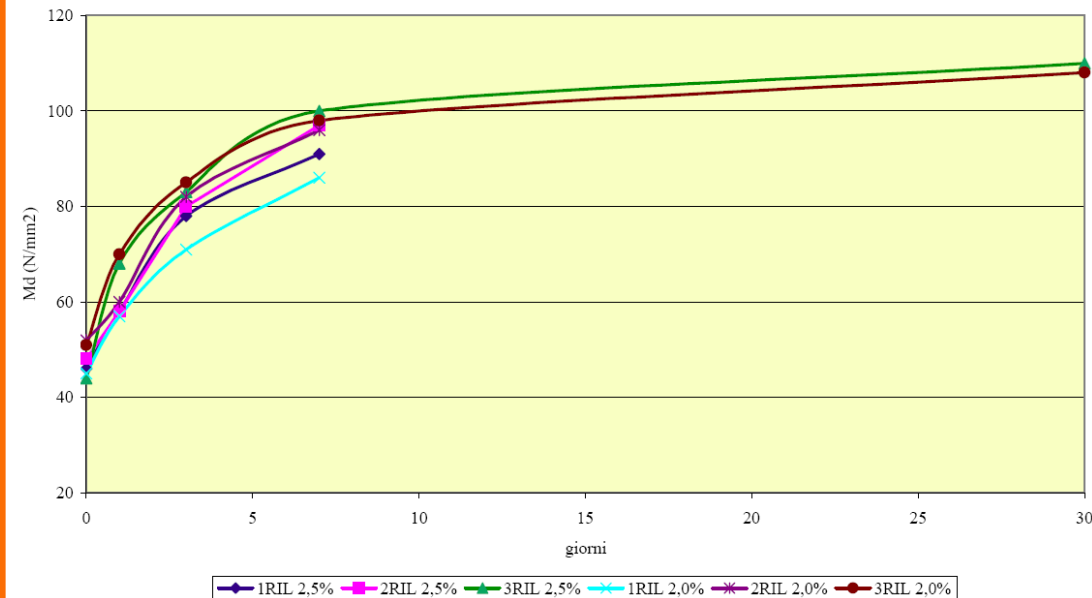
> 95%

MOZZI-PONTELLO

ANDAMENTO MODULO CORPO RILEVATO



ANDAMENTO MODULO CORPO RILEVATO



# I risultati dei campi prova – Prove triassiali

Dall' ultimo strato si sono prelevati dei blocchi di terreno stabilizzato e sono stati ricavati diversi provini per prove triassiali UU e CD

Le prove sono state eseguite su provini:

## ➤ Tali e quali (TQ)

- ❑ Sottoposti a 5 cicli di imbibizione ed essiccamento (completa imbibizione in acqua per 4 giorni ed essiccamento in forno a  $105^{\circ}$  per 24 ore) e successiva saturazione in acqua per 7 giorni (R)

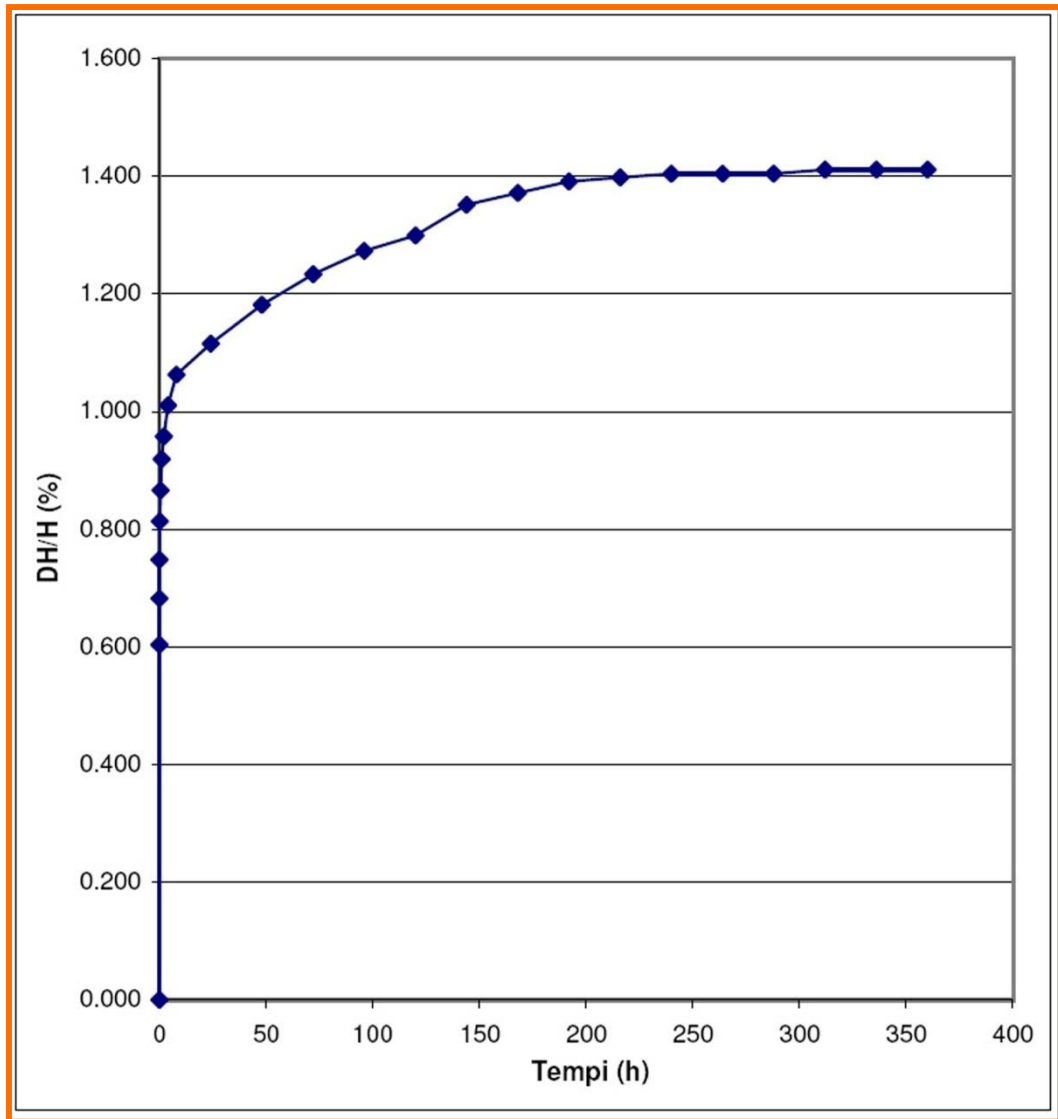
Campione	% CaO	$c'$ (KPa)	$\varphi'$ ( $^{\circ}$ sess.)	$c_u$ (KPa)
$A_4$ TQ	2.0	57	34	672
$A_4$ R	2.0	77	30	547
$A_6 - A_{7-6} - A_{7-5}$ TQ	2.0	32	35	446
$A_6 - A_{7-6} - A_{7-5}$ R	2.0	75	34	332

# I risultati dei campi prova – Prove di creep

**A<sub>4</sub> Tal quale**

**Carico Verticale 650 KPa)**

**Deformazione Massima 1,075 mm**

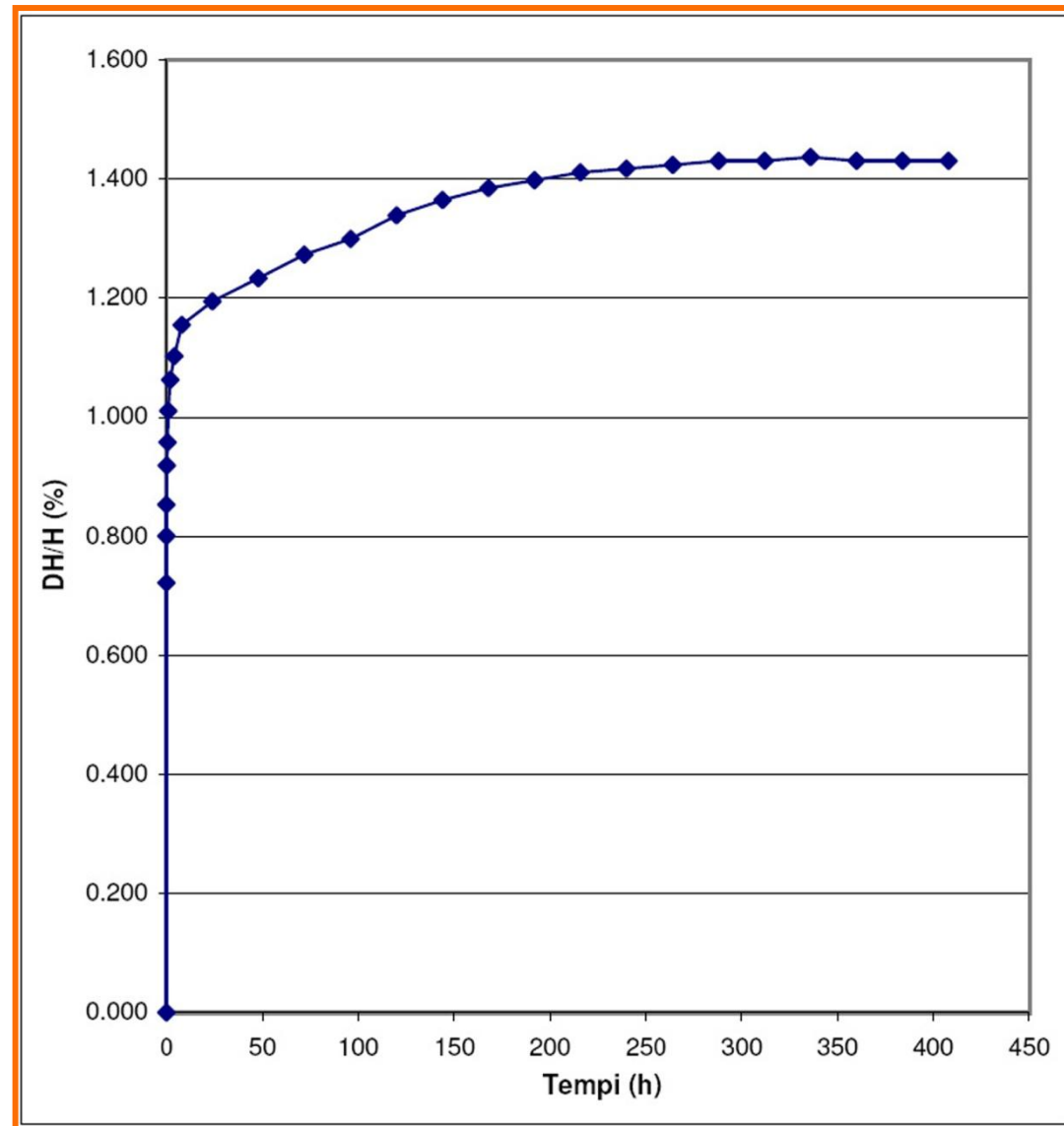


# I risultati dei campi prova – Prove di creep

**A<sub>4</sub>** dopo cicli di imbibizione ed essiccamento e saturazione

**Carico Verticale 600 KPa)**

**Deformazione Massima 1,090 mm**



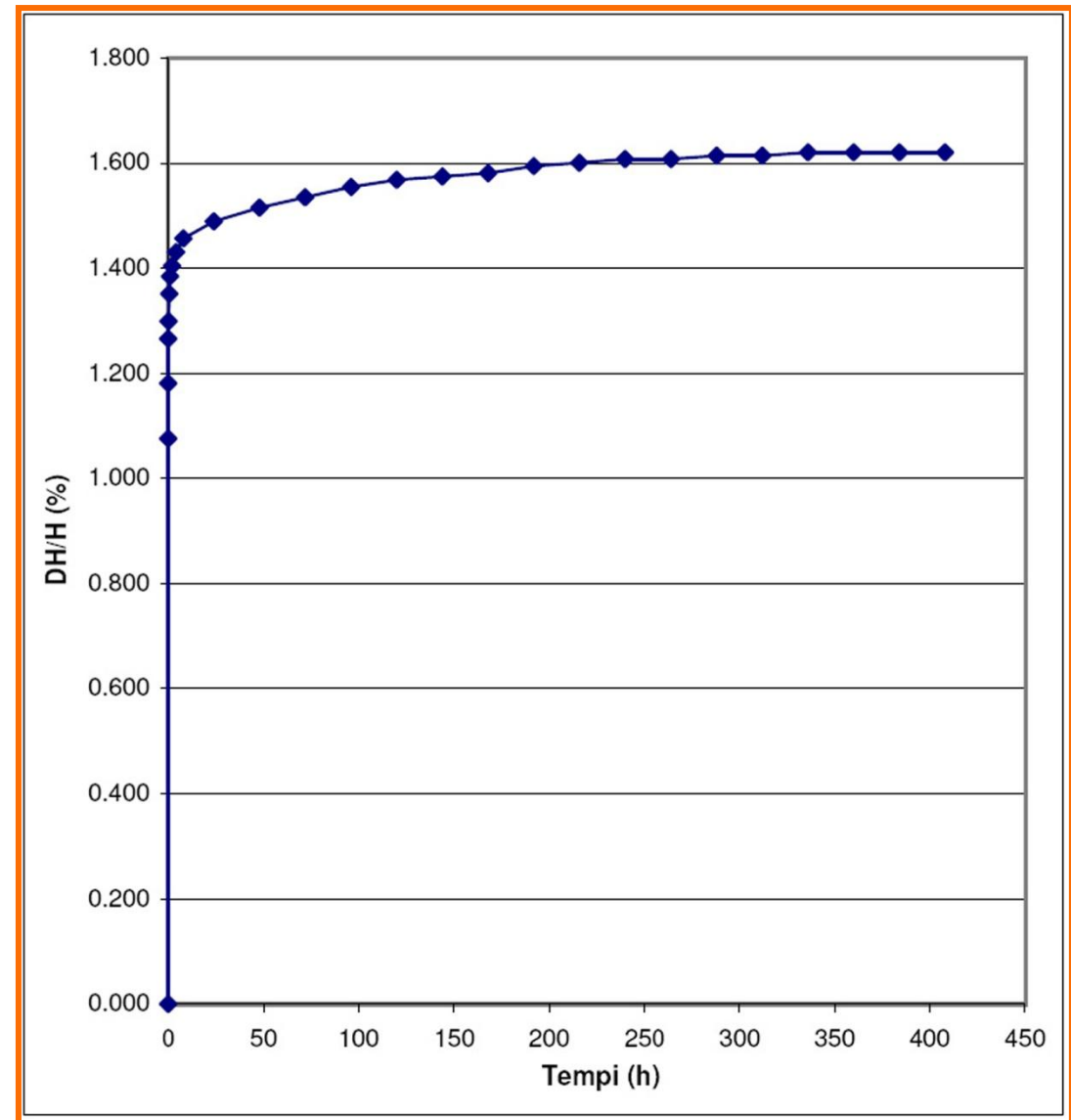


# I risultati dei campi prova – Prove di creep

**A<sub>6</sub>** Tal quale

Carico Verticale 600 KPa)

Deformazione Massima **1,235** mm

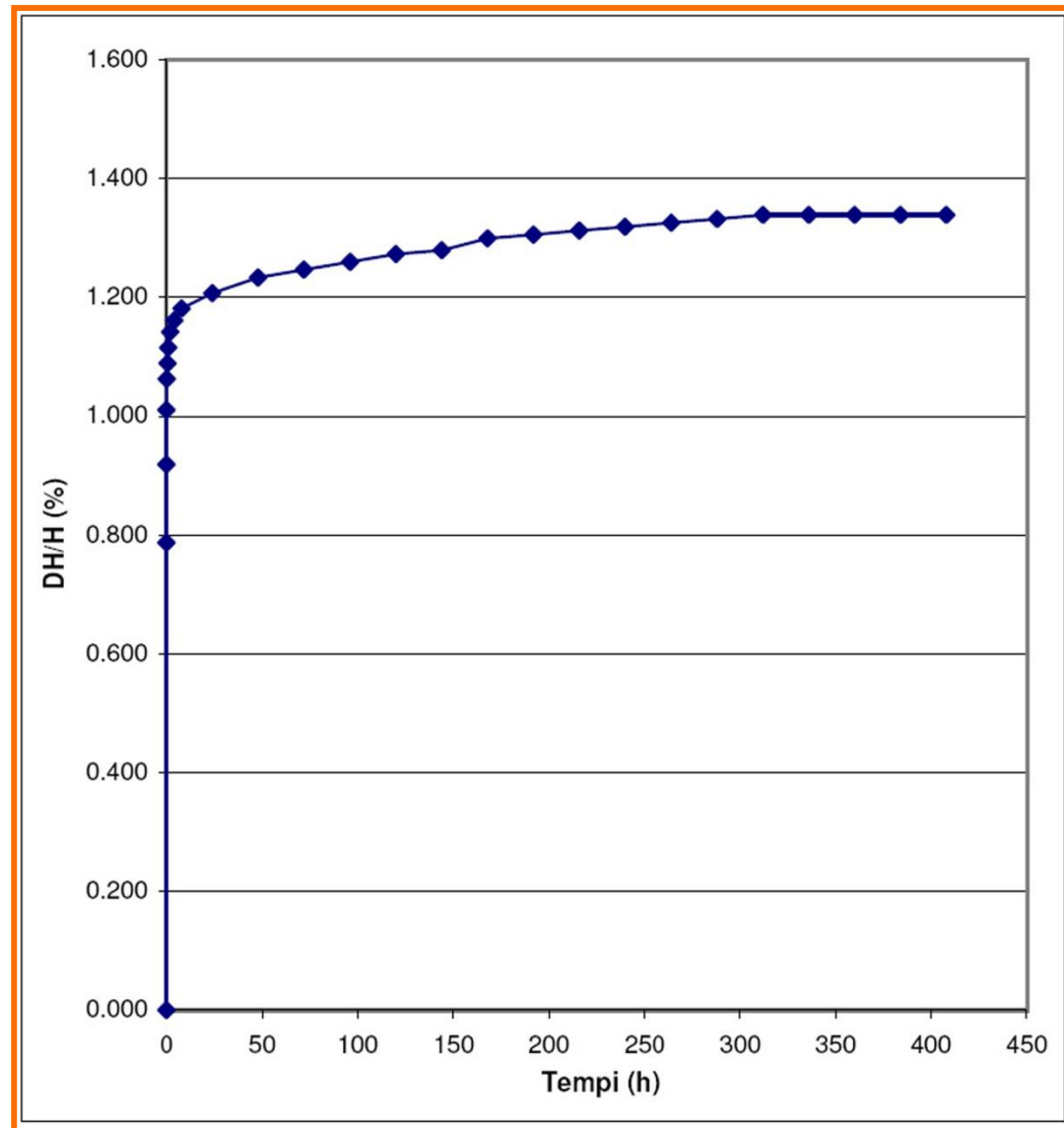


# I risultati dei campi prova – Prove di creep

**A<sub>6</sub>** dopo cicli di imbibizione ed essiccamento e saturazione

**Carico Verticale 550 KPa)**

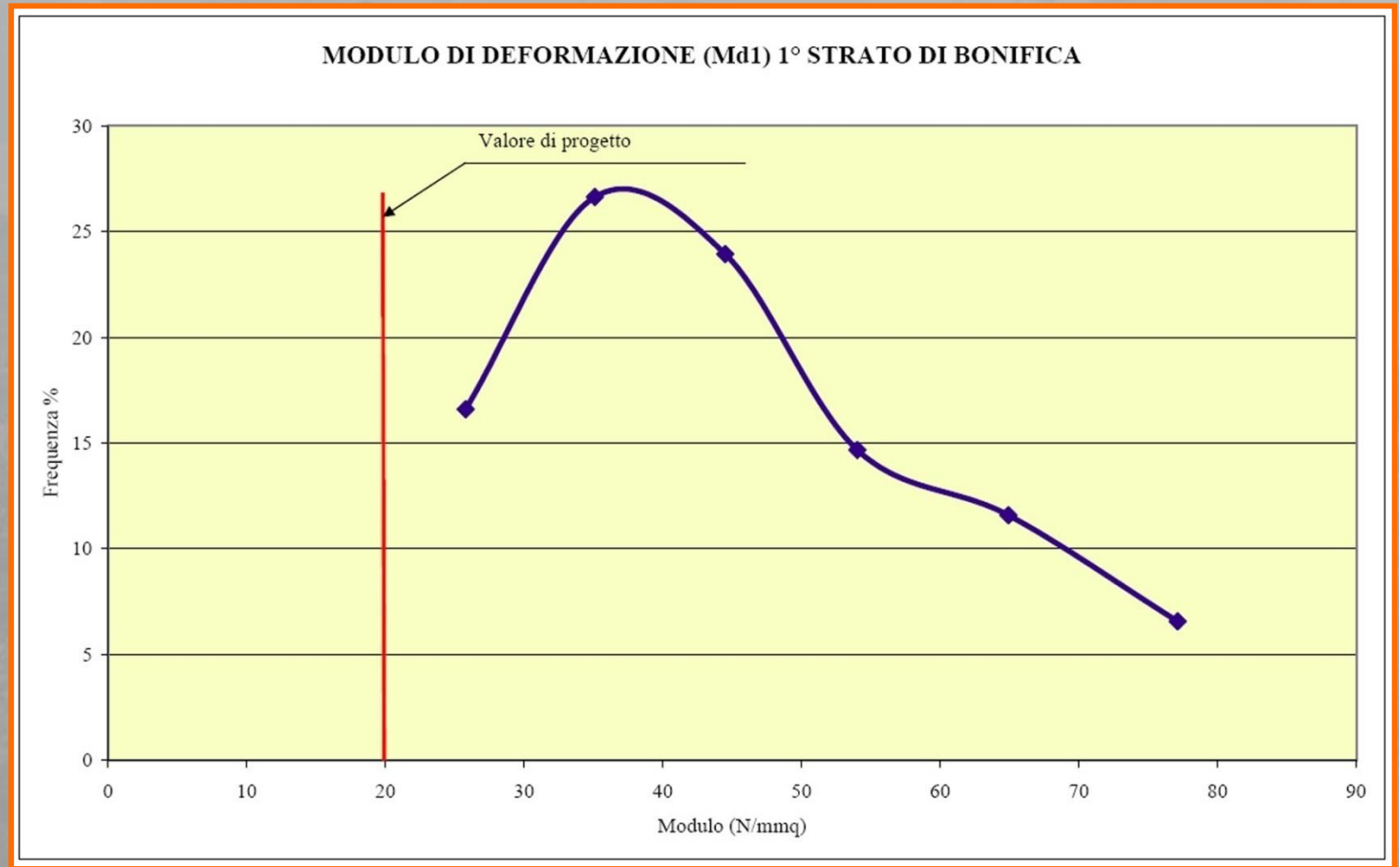
**Deformazione Massima 1,120 mm**





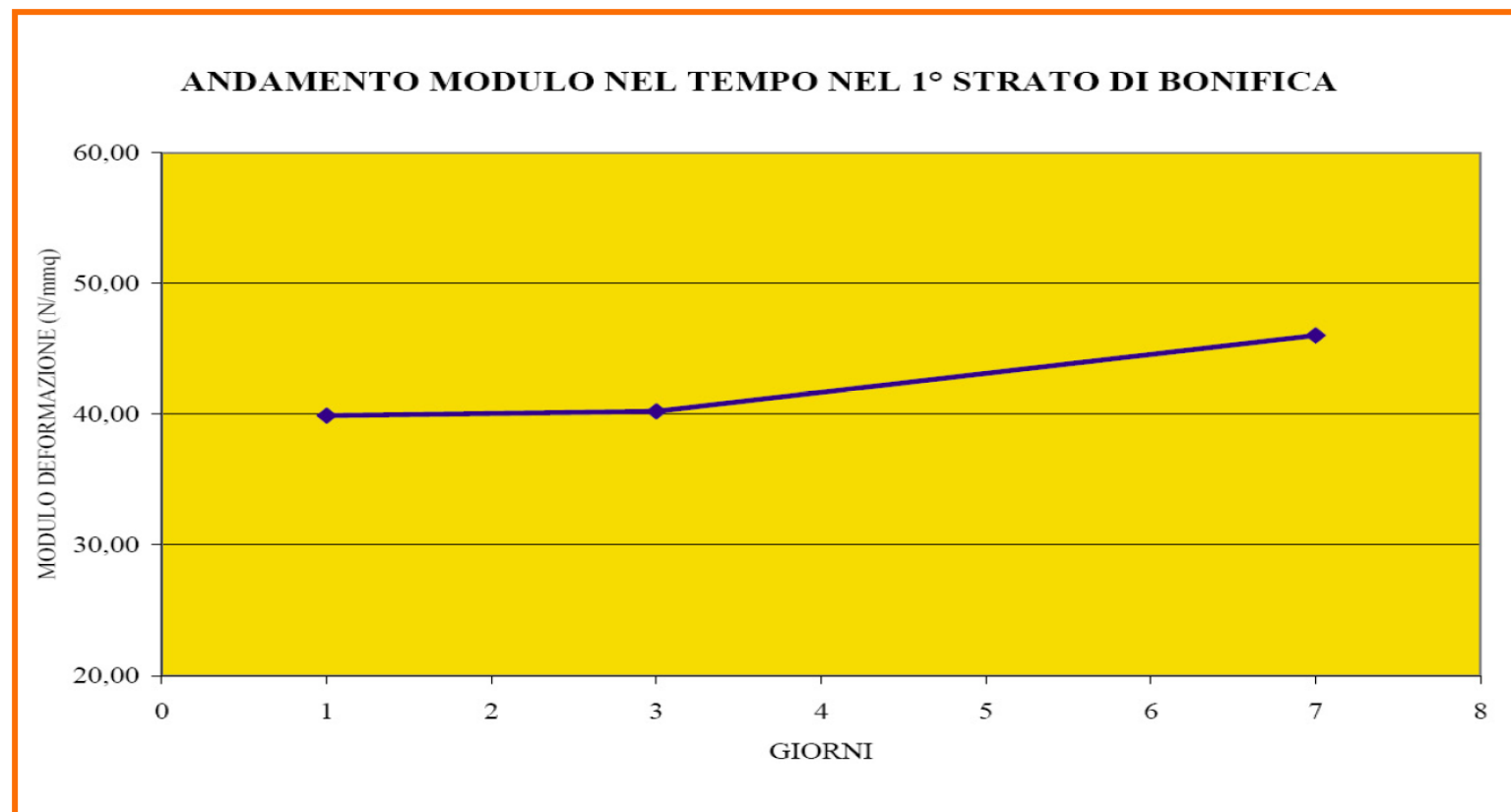
# Rilevati – Prove di controllo 1° strato bonifica in sito

La media del Modulo di deformazione è stata di **44,69** N/mm<sup>2</sup> con una deviazione standard di **14,61** N/mm<sup>2</sup>



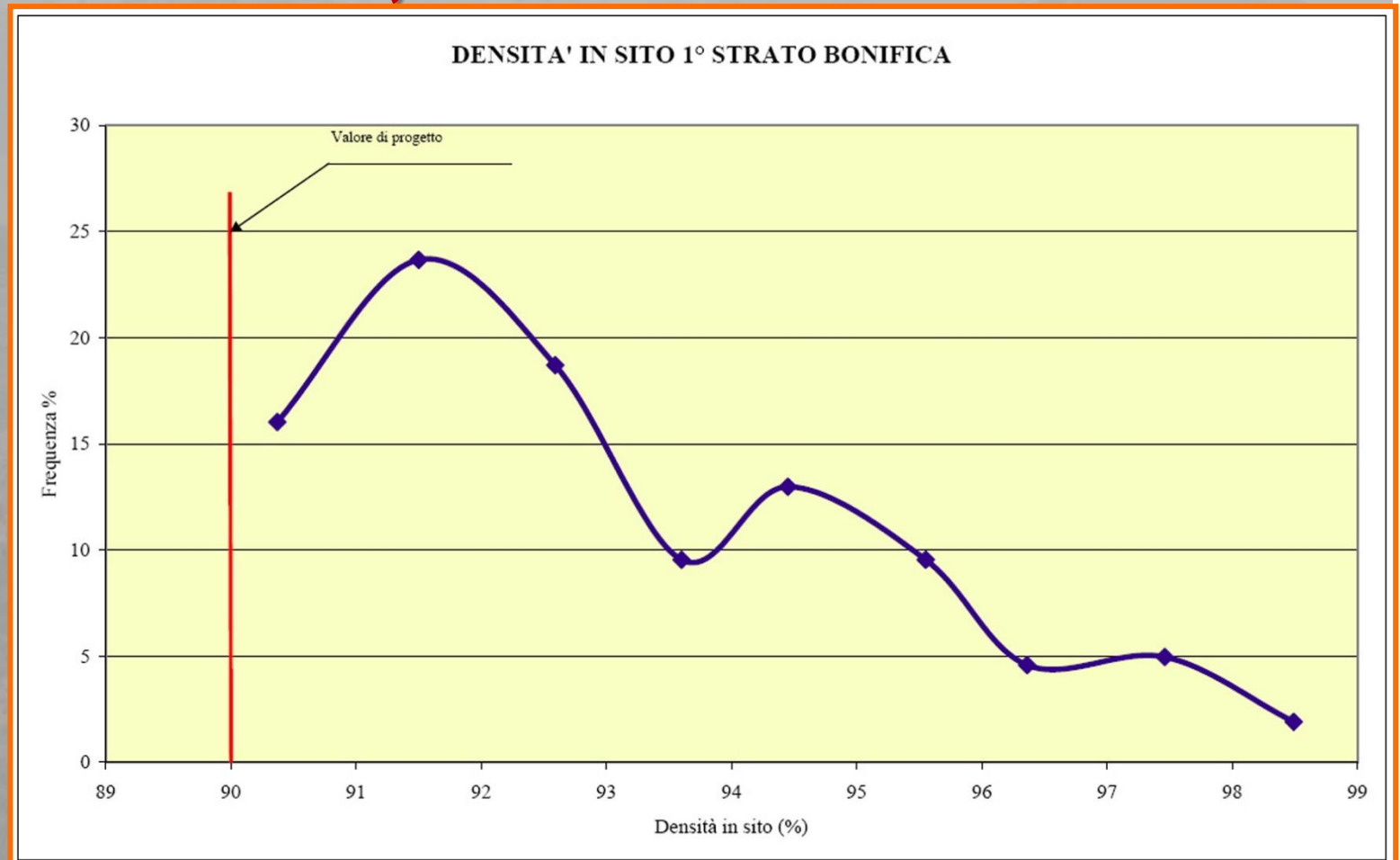
# Rilevati – Prove di controllo 1° strato bonifica in sito

GIORNI	MODULO DEFORMAZIONE	DEVIAZIONE STANDARD
g	N/mm <sup>q</sup>	N/mm <sup>q</sup>
1	47,98	12,91
3	49,21	19,09
7	51,43	16,91



# Rilevati – Prove di controllo 1° strato bonifica in sito

La media della densità in sito è stata **93,07 %** una deviazione standard di **2,15 %**

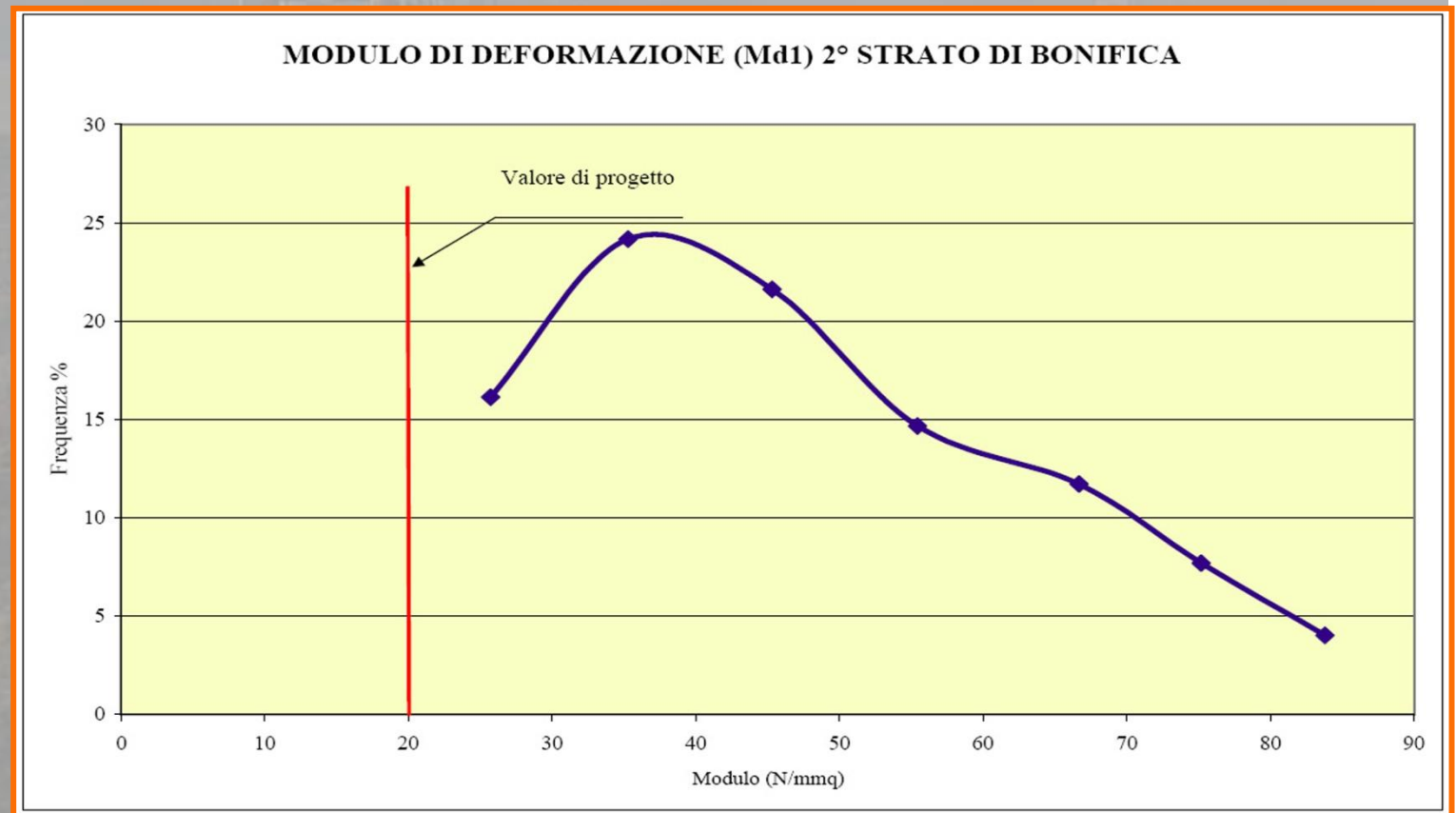


# Rilevati – Prove di controllo 2° strato bonifica

## MODULO DI DEFORMAZIONE:

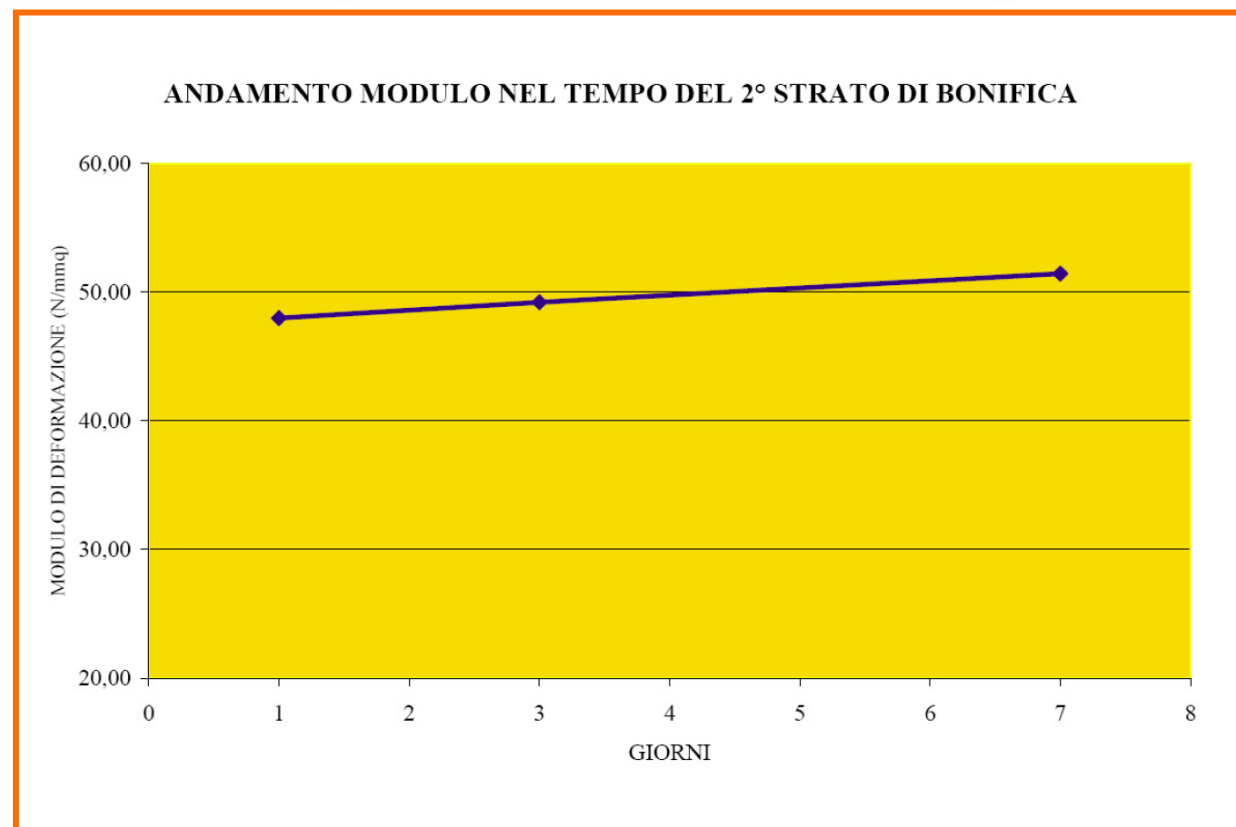
media **48,45 N/mm<sup>2</sup>**

deviazione standard **17,91 N/mm<sup>2</sup>**



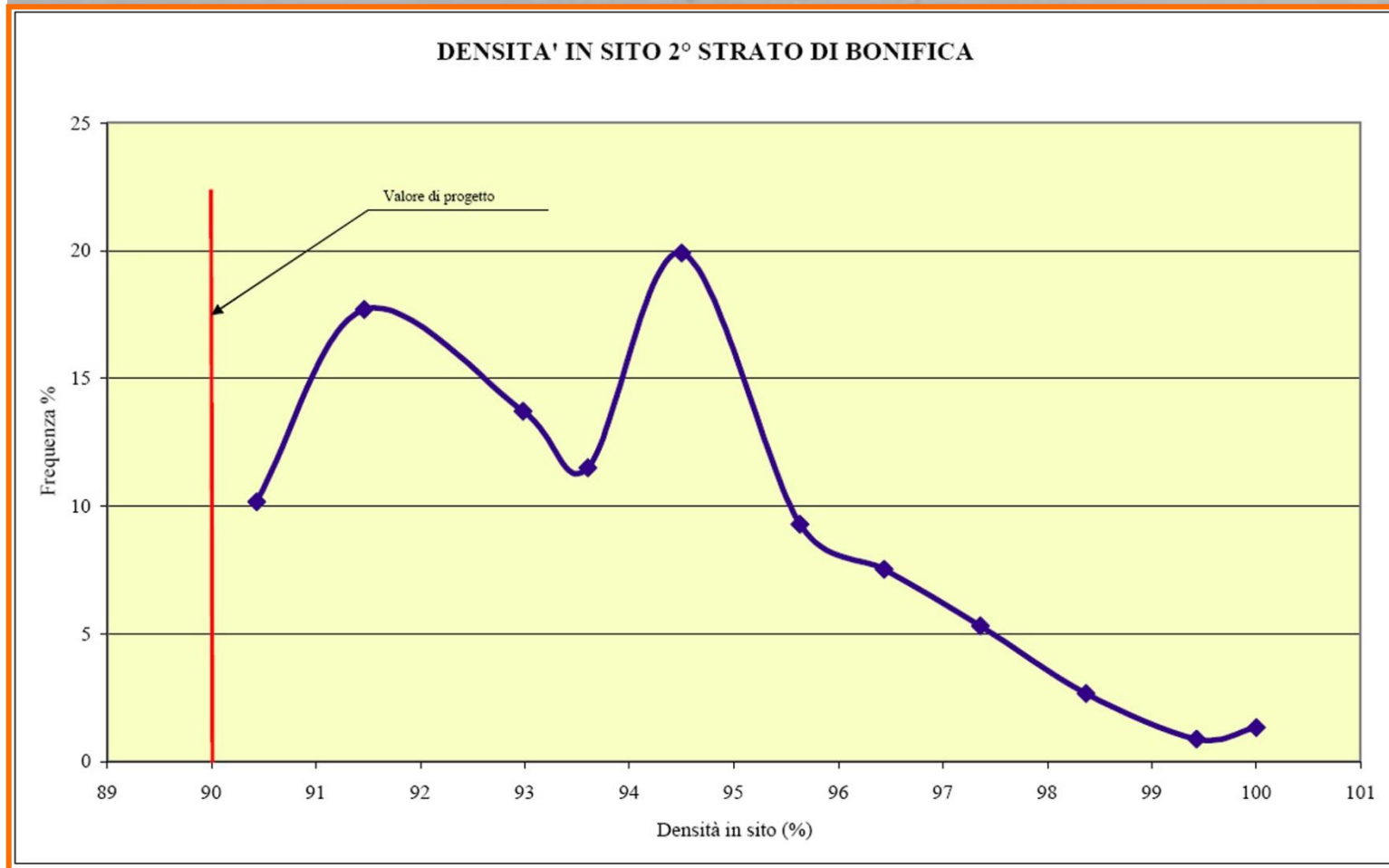
# Rilevati – Prove di controllo 2° strato di bonifica

GIORNI g	MODULO DEFORMAZIONE N/mm <sup>2</sup>	DEVIAZIONE STANDARD N/mm <sup>2</sup>
1	47,98	12,91
3	49,21	19,09
7	51,43	16,91



# Rilevati – Prove di controllo 2° strato bonifica

La media della densità in sito è stata **93,80 %** una deviazione standard di **2,32 %**



# Rilevati – Prove di controllo corpo rilevato

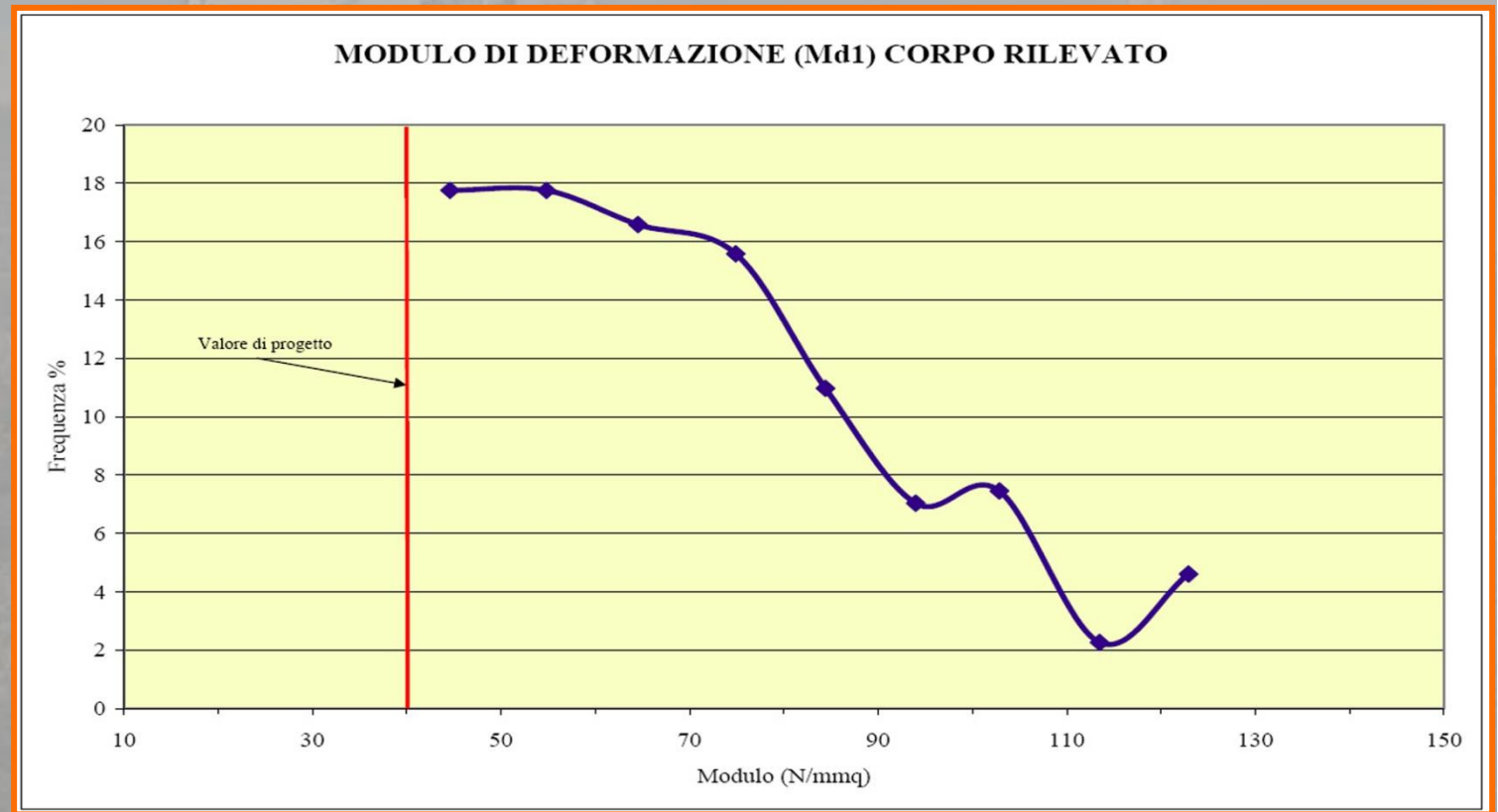
## MODULO DI DEFORMAZIONE

media

**71,74 N/mm<sup>2</sup>**

deviazione standard

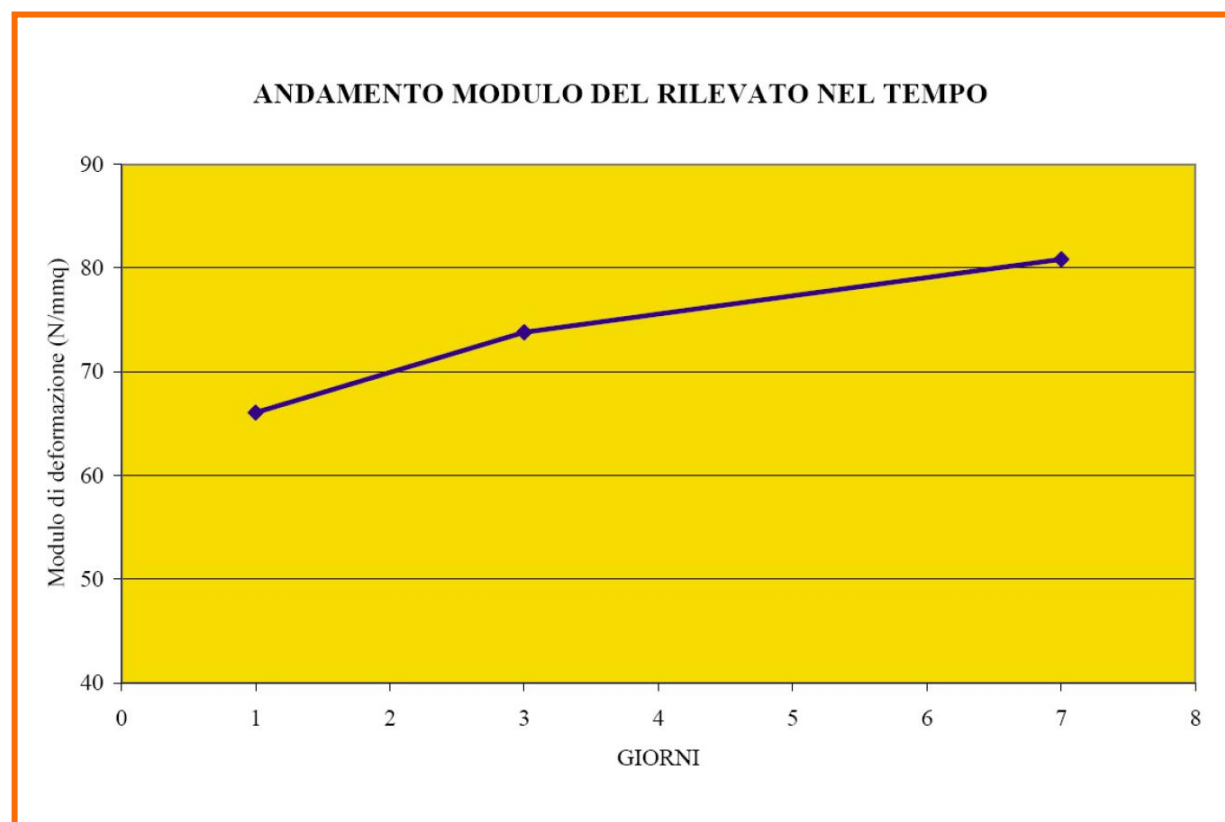
**22,08 N/mm<sup>2</sup>**





# Rilevati – Prove di controllo corpo rilevato

TEMPO g	MODULO DEFORMAZIONE N/mm <sup>2</sup>	DEVIAZIONE STANDARD N/mm <sup>2</sup>
1	66,06	19,72
3	73,79	24,56
7	80,83	23,79



# Rilevati – Prove di controllo corpo rilevato

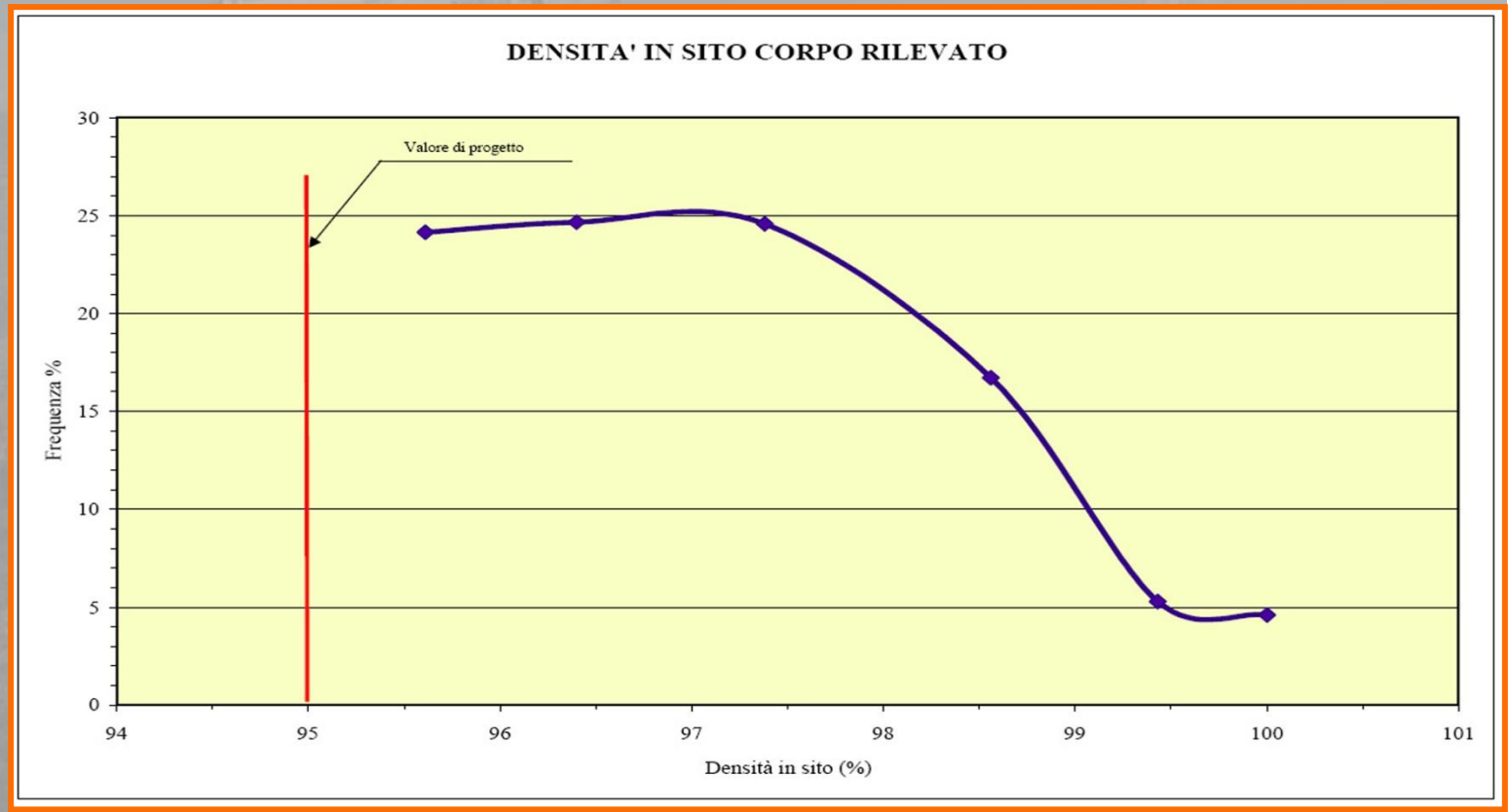
## DENSITA' IN SITO

media

**97,80 %**

deviazione standard

**2,32 %**



## Linea Pontremolese tratta **Solignano-Osteriaza**

**Il tratto interessato dal raddoppio è tra la stazione di Solignano e il PM di Osteriaza prima dell' ingresso nella stazione di Fornovo.**

**Il volume di terreno proveniente dagli scavi e di cui è stato previsto da trattare per la realizzazione dei rilevati è di circa **250.000 m<sup>3</sup>****

## Linea Pontremolese **lo studio delle miscele**

I terreni da studiare erano rappresentati da argilla e limo argilloso classificabili nei gruppi **A<sub>7-6</sub>** ed **A<sub>6</sub>** della classifica UNI 10006.

In considerazione del valore del consumo iniziale di calce (CIC = 1.44%), lo studio di laboratorio è stato eseguito con 3 miscele terre-calce:

- A** - contenuto di ossido di calcio del 2.0% sul peso del terreno secco
- B** - contenuto di ossido di calcio del 2.5% sul peso del terreno secco
- C** - contenuto di ossido di calcio del 2.5% sul peso del terreno secco

**Le prove eseguite sui campioni di terreno naturale sono state**

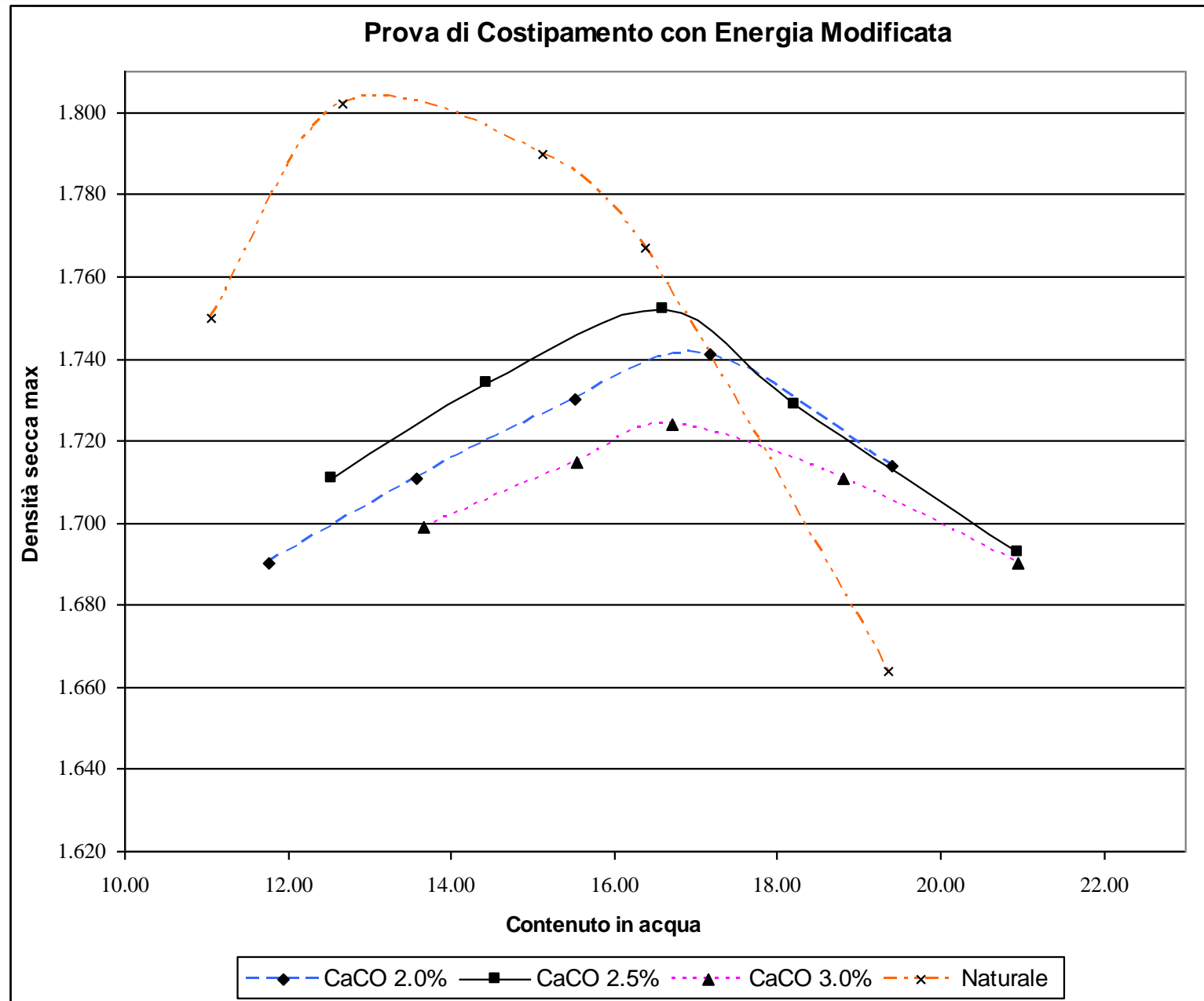
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- analisi granulometrica per via umida con setacci e con aerometro;
- determinazione del contenuto in sostanze organiche;
- determinazione del contenuto in solfati;
- determinazione del contenuto in nitrati;
- determinazione del consumo iniziale di calce (CIC);
- prova di costipamento AASHTO Modificato;
- determinazione dell'indice di portanza immediata (IPI);
- determinazione dell'indice CBR postsaturazione

# Linea Pontremolese – **lo studio delle miscele**

**le prove eseguite sui terreni miscelati sono state:**

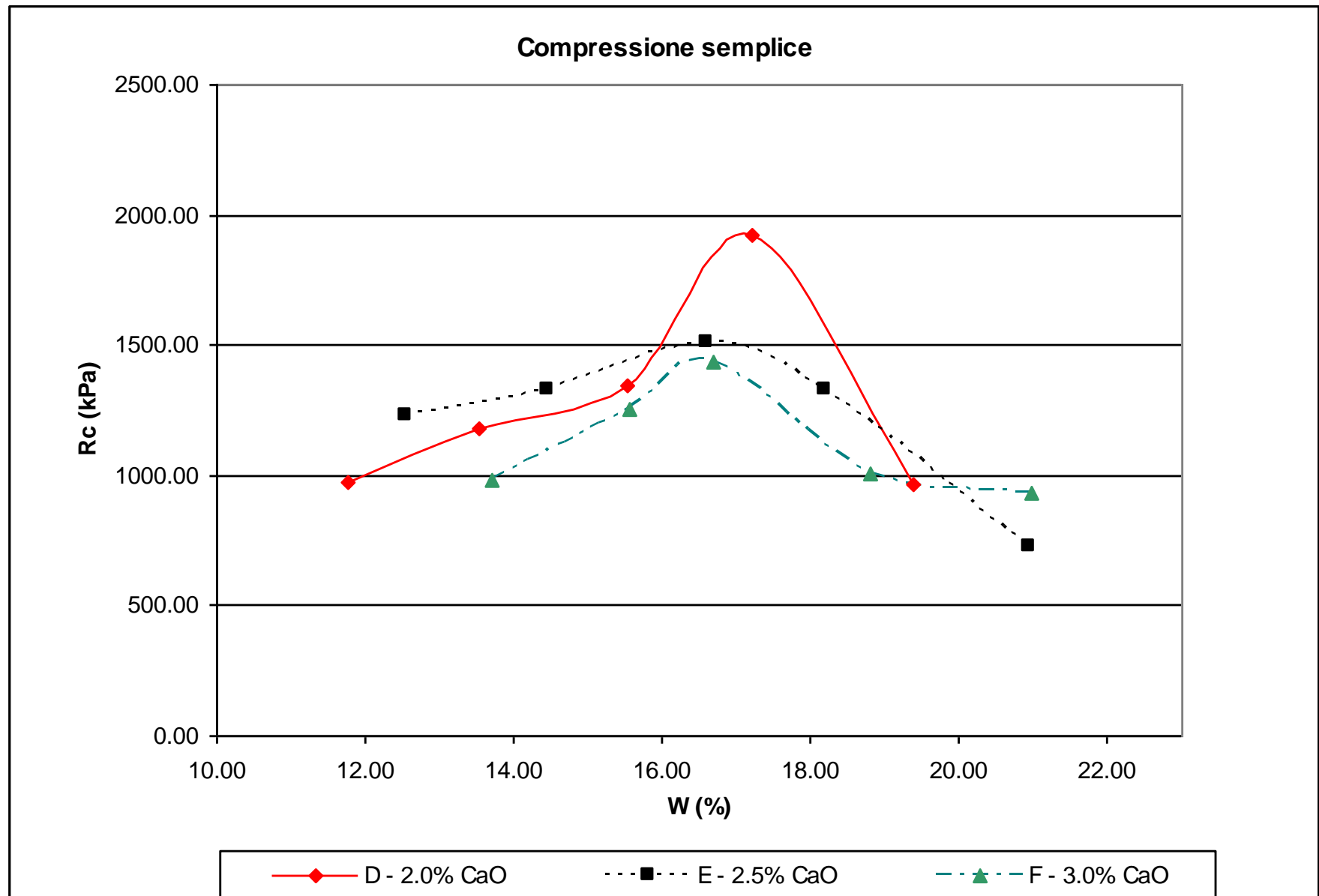
- ☐ determinazione dei limiti di Atterberg;
- ☐ analisi granulometrica per via umida con setacci e con aerometro;
- ☐ prova di costipamento AASHTO Modificata;
- ☐ determinazione dell'indice di portanza immediata (IPI);
- ☐ determinazione dell'indice CBR postsaturazione a 7 e 28 giorni di maturazione;
- ☐ determinazione del rigonfiamento;
- ☐ determinazione della resistenza a compressione dopo 24 ore, 7 e 28 giorni di maturazione;
- ☐ maturazione;

# Linea Pontremolese – lo studio delle miscele



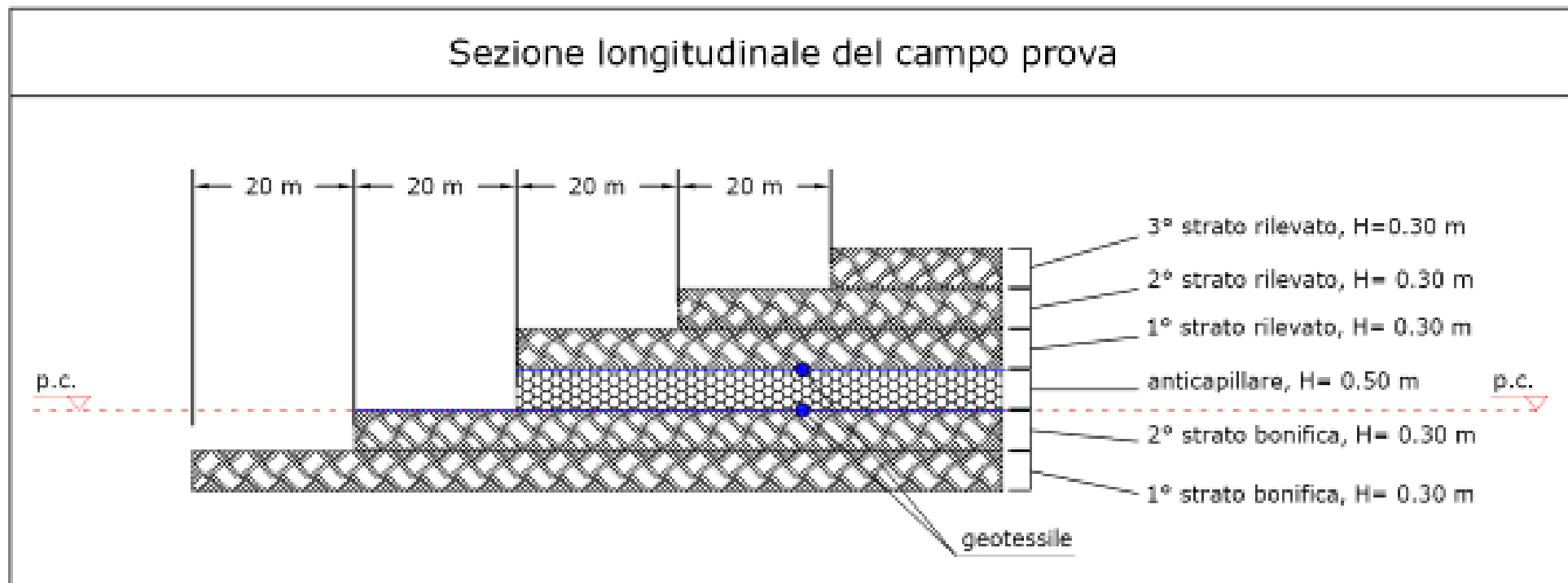


# Linea Pontremolese – lo studio delle miscele



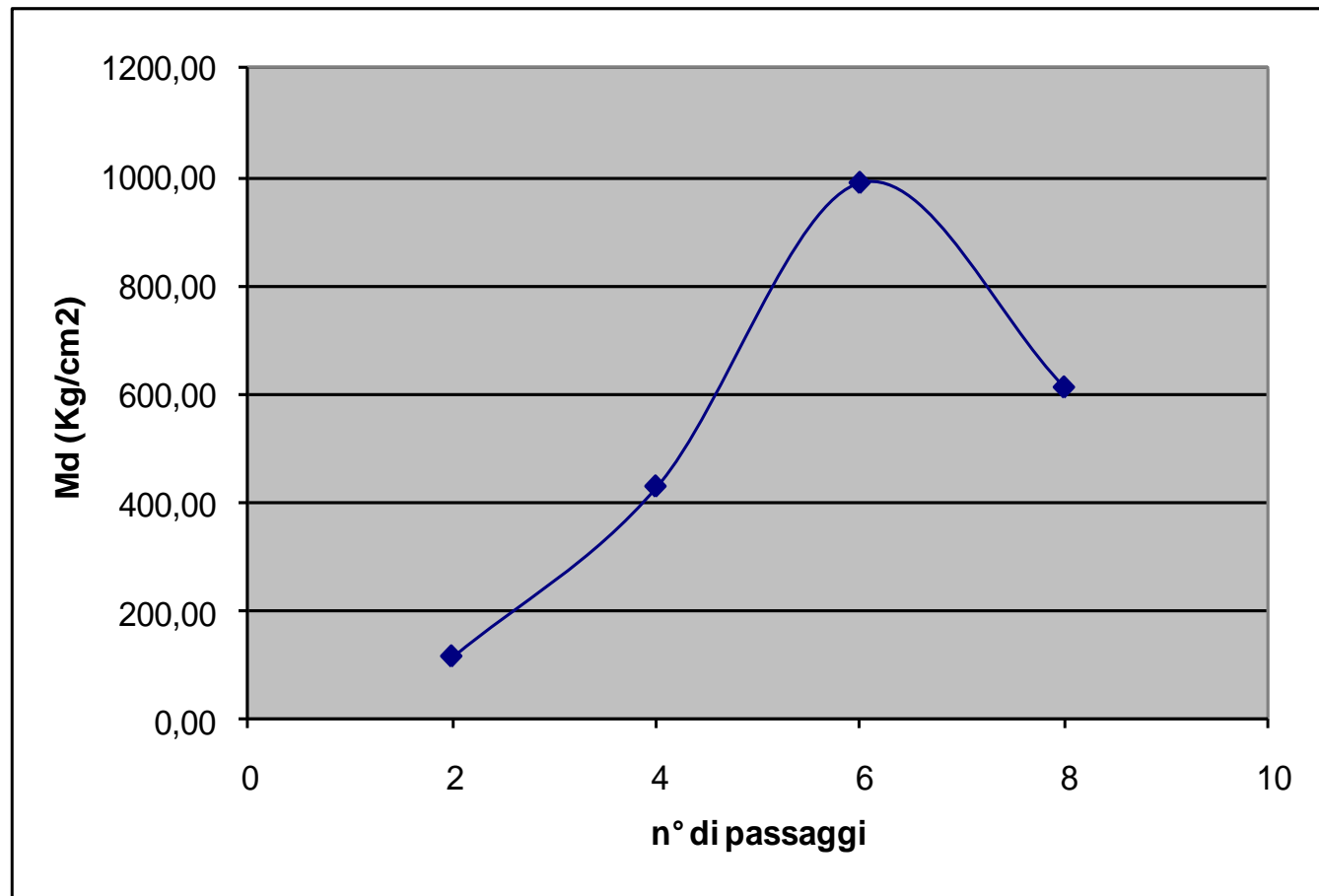
# Linea Pontremolese – **il campo prova**

## Lo schema del campo prova



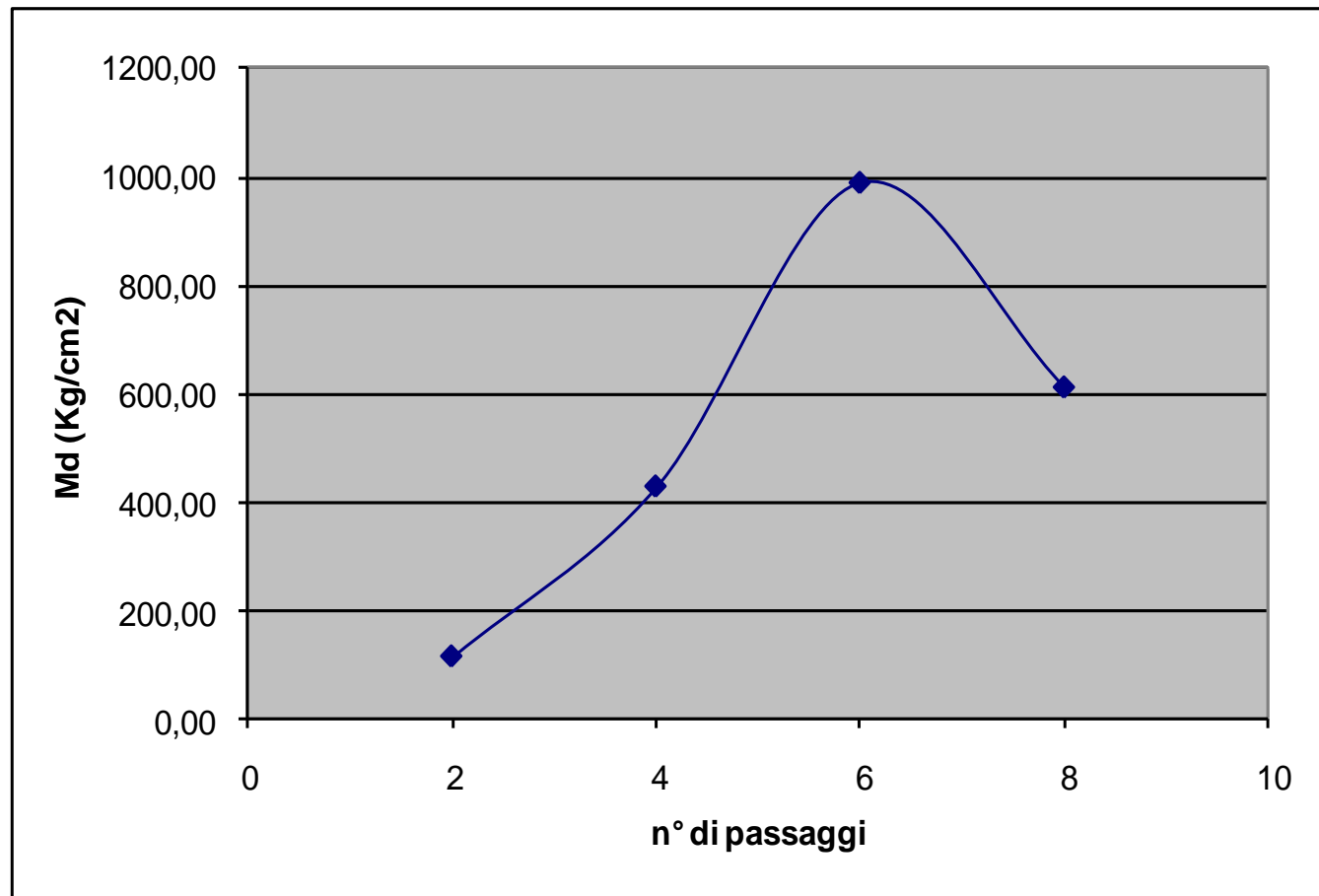
# Linea Pontremolese – **il campo prova**

## Lo schema di rullatura



# Linea Pontremolese – **il campo prova**

## Lo schema di rullatura



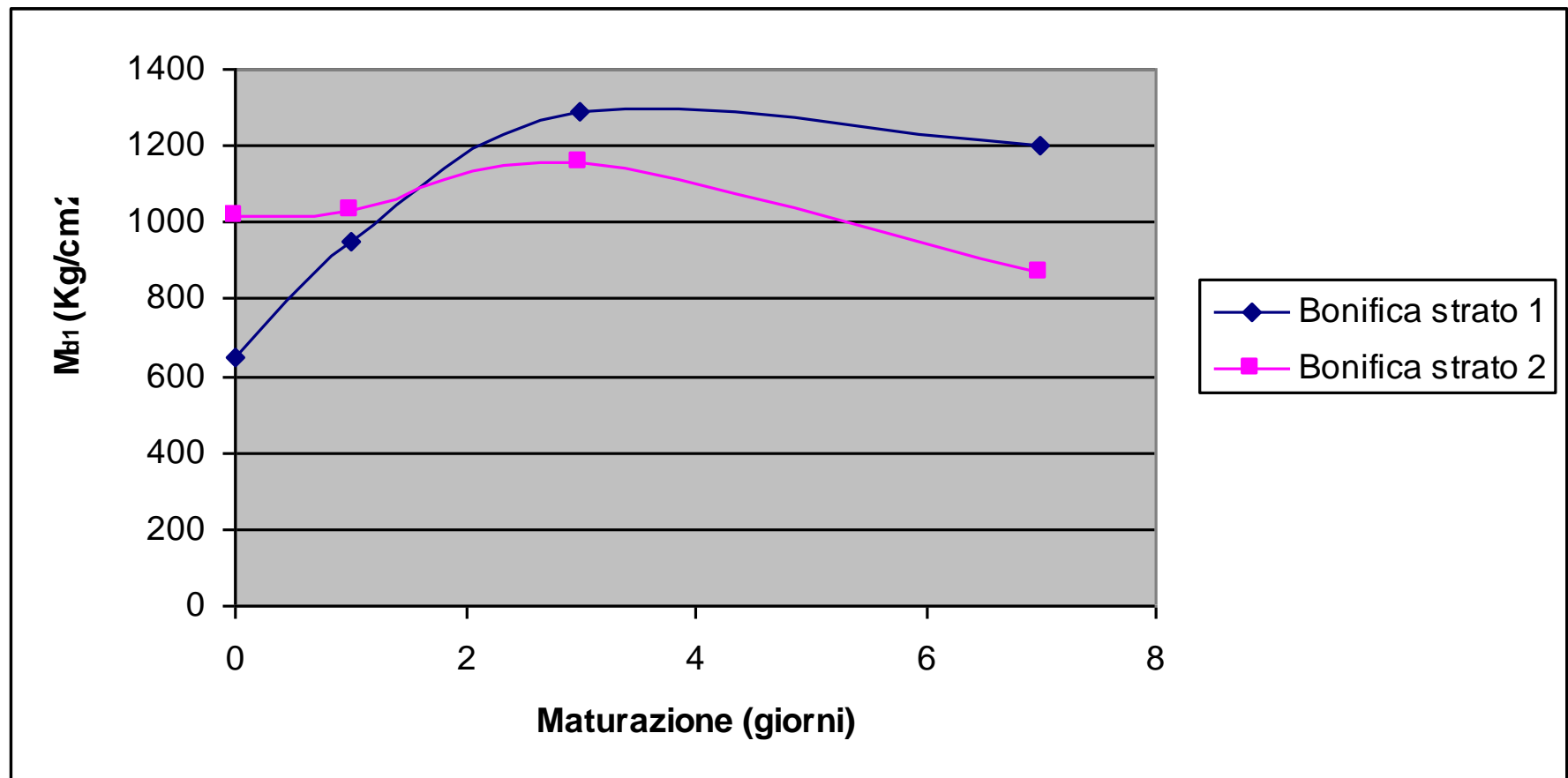
# Linea Pontremolese – **il campo prova**

1 strato bonifica			2 strato bonifica		
Prova	$\gamma_d$	Compattazione	Prova	$\gamma_d$	Compattazione
(n )	(Mg/m <sup>3</sup> )	(%)	(n )	(Mg/m <sup>3</sup> )	(%)
1	1.663	94.9	1	1.674	95.5
2	1.667	95.1	2	1.650	94.1
3	1.704	97.2	3	1.666	95.0
4	1.652	94.3	---	---	---
Media	1.670	95.3	Media	1.663	94.8

# I risultati dei campi prova – **Bonifica**

## Densità in sito

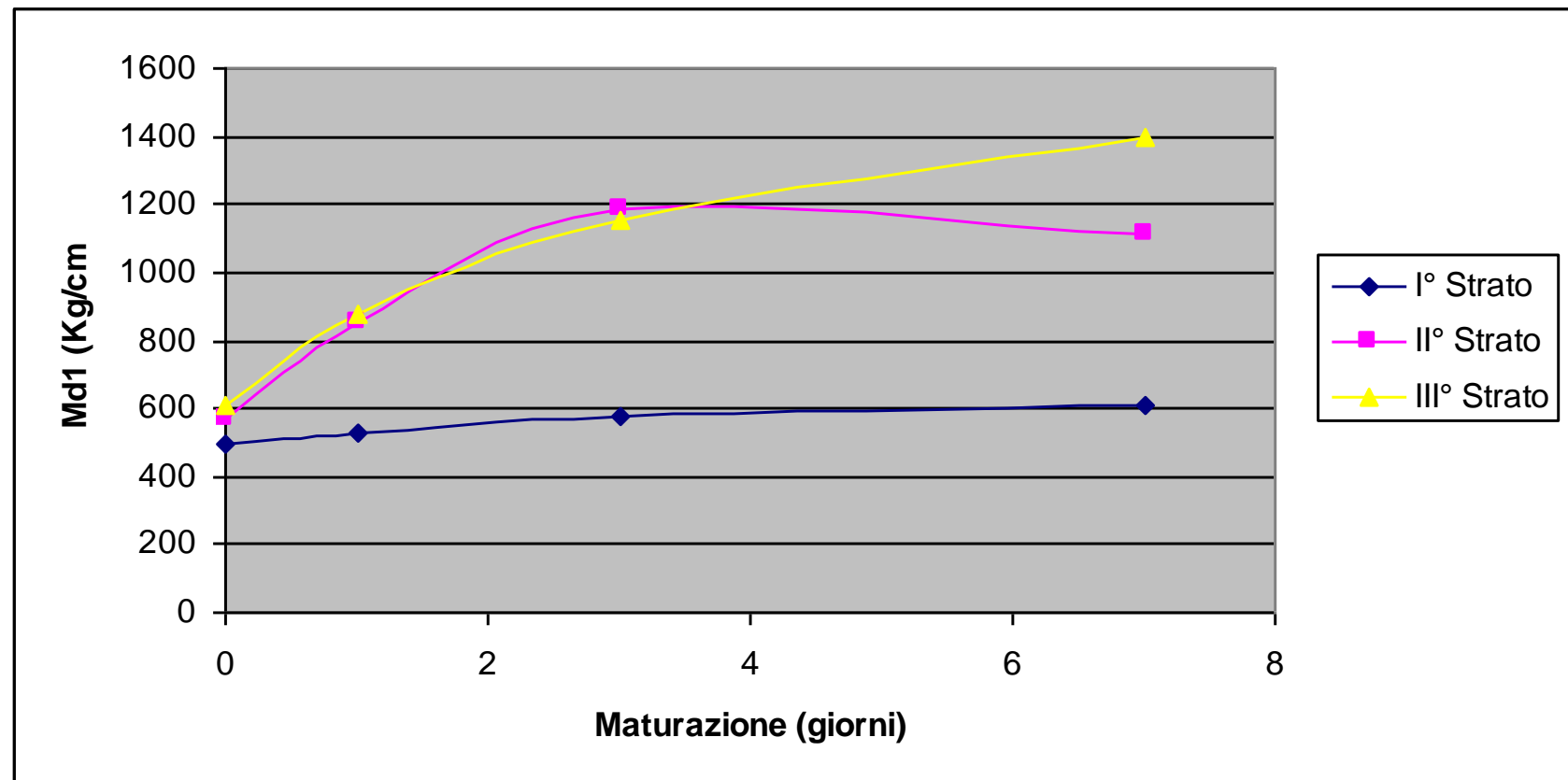
### Circa 95%



# I risultati dei campi prova – **Rilevato**

## Densità in sito

### Circa 97%





# Controllo costruzione – Strati di Bonifica

## MODULO DI DEFORMAZIONE:

media	<b>77</b>	N/mm <sup>2</sup>
deviazione standard	<b>35,34</b>	N/mm <sup>2</sup>

## DENSITA' IN SITO:

media	<b>95</b>	%
deviazione standard	<b>2</b>	%

# Controllo costruzione – **Costruzione**

## **MODULO DI DEFORMAZIONE:**

media	<b>84,46</b>	N/mm <sup>2</sup>
deviazione standard	<b>23,51</b>	N/mm <sup>2</sup>

## **DENSITA' IN SITO:**

media	<b>97,76</b>	%
deviazione standard	<b>1,18</b>	%

# Controllo costruzione – **Costruzione**





# Controllo costruzione – **Costruzione**







***Grazie per l'attenzione***





# **GESTIONE E PRATICA DEI CANTIERI:**

## **SCHEMI DI LAVORAZIONE, ATTREZZATURE, LOGISTICA, COSTI E PRODUZIONE**

# FASI DI LAVORAZIONE

La tecnica di stabilizzazione delle terre si realizza attraverso 5 fasi, ognuna delle quali riveste fondamentale importanza per la buona riuscita del processo:

## 1. PREPARAZIONE DEL TERRENO

1. CONTROLLO DELL'UMIDITA' NATURALE

## 2. STESA DELLA CALCE

## 3. MISCELAZIONE

3. CONTROLLO E CORREZIONE DELL'UMIDITA'

## 4. COMPATTAZIONE

## 5. PROTEZIONE



# ATTREZZATURE

---

Oltre alle classiche attrezzature per il movimento terra, sono necessarie le seguenti macchine operatrici specifiche:

1. LO SPANDICALCE
2. IL PULVIMIXER
3. IL RULLO A PIEDE DI MONTONE
4. IL GRAEDER
5. IL RULLO LISCIO FERRO-GOMMA
6. IL RULLO GOMMATO

# 1. PREPARAZIONE DEL TERRENO

# FASE 1: PREPARAZIONE DEL TERRENO

- ✗ Consiste nell'asportazione della parte vegetale e degli eventuali trovanti presenti nello spessore di terreno da trattare. L'entità della asportazione si valuta di volta in volta in funzione della presenza di **sostanza organica decomposta**.
- ✗ Contestualmente si predispone la superficie piana in coerenza con il progetto altimetrico dell'opera.
- ✗ Sul terreno preparato si procederà alla misura dell'umidità per capire se durante la successiva lavorazione si dovrà aggiungere o togliere acqua.
- ✗ **IMPORTANTE:** La sostanza organica decomposta sottrae calce alla reazione con l'argilla, depotenziandone fortemente l'azione stabilizzante.





## 2. STESA DELLA CALCE

## FASE 2: STESA DELLA CALCE

- ✖ Si esegue con idonee attrezzature a dosaggio volumetrico o gravimetrico a seconda della tecnologia disponibile.
- ✖ La quantità (q) di calce in kg da stendere per ogni m<sup>2</sup> di superficie si calcola nel seguente modo:

$$q = \gamma \times (c/100) \times s$$

dove:  $\gamma$  = densità max secca della terra da trattare in kg/m<sup>3</sup>;

c = la quantità di calce (in %)  
stabilita dallo studio di mix-design;

s = spessore dello strato finito in m;





## FASE 2: LA STESA DELLA CALCE

- ✖ Il controllo della quantità di calce stesa si esegue quotidianamente pesando il quantitativo raccolto su di una superficie nota, al passaggio dello spandicalce.
- ✖ E' ammessa una tolleranza del 10% circa che corrisponde al grado di precisione delle macchine spandicalce.



**AVVERTENZA:** non si deve commettere l'errore di diminuire il quantitativo di calce in presenza di terre asciutte: il dosaggio è stabilito in fase di progetto delle miscele in funzione della reattività con l'argilla.

**Il sottodosaggio della calce compromette la durabilità dell'opera a lungo termine perché limita le reazioni pozzolaniche.**

# 3. MISCELAZIONE



## FASE 3: MISCELAZIONE

- ✘ La miscelazione della terra con la calce avviene mediante il pulvimixer. La profondità di lavorazione varia da 30cm a 50cm a seconda delle indicazioni del progetto.
- ✘ La velocità di avanzamento del pulvimixer dipende dal tipo di terreno, dal grado di addensamento, dall'umidità e dalla potenza della macchina, e incide in modo determinante sulla produttività.
- ✘ La larghezza di lavorazione varia a seconda del tipo di macchina da 2m a 2,5m.



# FASE 3: MISCELAZIONE

- ✘ Dopo la miscelazione della terra con la calce si devono controllare la granulometria, la omogeneità e la profondità dello strato miscelato.
- ✘ La miscela si ritiene idonea quando appare di colore omogeneo e la componente limo - argillosa è interamente passante al setaccio da 25 mm.
- ✘ Mediamente, per raggiungere un grado di miscelazione soddisfacente il pulvimixer deve effettuare da 2 a 3 passaggi.





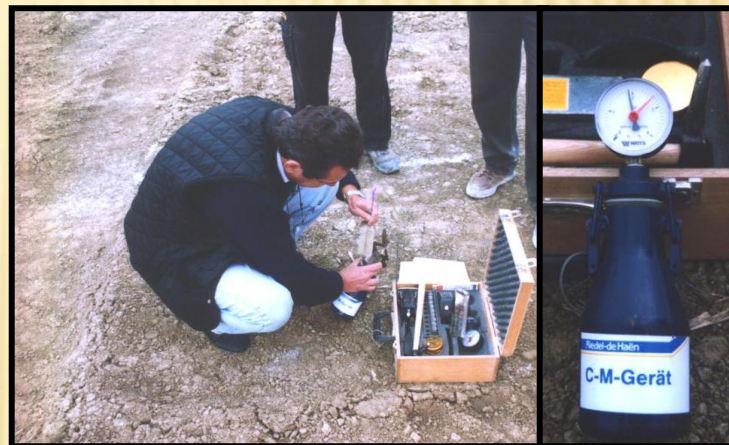
# FASE 3: MISCELAZIONE

- ✘ **IMPORTANTE 1:** una miscelazione insufficiente lascia nello strato zolle di materiale limo-argilloso “non modificato” che causano problemi di rigonfiamento e ritiro a contatto con l’acqua;
- ✘ **IMPORTANTE 2:** la non omogenea distribuzione della calce crea “zone deboli” nello strato che causeranno problemi alla pavimentazione stradale.



## FASE 3B: CONTROLLO E CORREZIONE DELL'UMIDITA'

- ✘ Il contenuto d'acqua della miscela, al momento della compattazione, deve essere vicino al contenuto ottimo Proctor.
- ✘ Quando si è nella necessità di aggiungere acqua, l'operazione deve essere sempre seguita da un passaggio di pulvimixer per omogeneizzare la distribuzione dell'acqua nello strato.
- ✘ **IMPORTANTE:** lavorare in eccesso d'acqua impedisce il conseguimento della densità di progetto; al contrario in una miscela troppo asciutta non si sviluppano le reazioni pozzolaniche di indurimento.





# 4. COMPATTAZIONE

# FASE 4: COMPATTAZIONE

- ✘ L'operazione di compattazione inizia **quando la calce viva si è completamente spenta** e si sono conclusi i cosiddetti “effetti di breve termine”.
- ✘ Per garantire il completo spegnimento della calce si devono attendere circa 2h dalla fine della miscelazione all'inizio della compattazione.
- ✘ Il peso dei rulli deve essere adeguato allo spessore dello strato da compattare: è quasi sempre sconsigliato eccedere i 40cm di strato finito compattato.





## FASE 4: COMPATTAZIONE

- ✗ Il tipo ed il numero dei passaggi dei rulli si stabilisce con l'obiettivo di raggiungere la densità massima Proctor indicata dal laboratorio, lungo tutto lo spessore dello strato in lavorazione.
- ✗ Per la compattazione in profondità delle terre coesive si usano i rulli “a piede di montone”.
- ✗ L'operazione si completa con un rullo liscio ferro-gomma e/o un rullo interamente gommato, che permettono di ottenere la chiusura in superficie.





## FASE 4: COMPATTAZIONE

- ✘ **IMPORTANTE 1:** una compattazione insufficiente, o con rulli non adeguati compromette pesantemente tutto il lavoro svolto in precedenza.
- ✘ **IMPORTANTE 2:** anche un eccesso di compattazione, se eseguito su di uno strato esile appoggiato su di un terreno naturale soffice può danneggiare lo strato appena realizzato.
- ✘ **IMPORTANTE 3:** è sempre sconsigliato riprendere la compattazione su di uno strato eseguito nei giorni precedenti, perché si andrebbero a demolire i legami formatisi nel frattempo.



# 5. PROTEZIONE



## FASE 5: PROTEZIONE

- ✘ Le terre stabilizzate con la calce non costituiscono mai uno strato di finitura.
- ✘ Nelle ore successive alla compattazione si deve provvedere alla posa di uno strato di protezione che consenta il mantenimento del giusto grado di umidità.
- ✘ Durante la realizzazione dei rilevati, la protezione si ottiene con la posa dello strato di rilevato successivo.



# FASE 5: PROTEZIONE

- ✘ Nel caso di realizzazione dell'ultimo strato della sottostruttura, la protezione si può ottenere posando, tutto o in parte, lo strato di fondazione in misto granulare.
- ✘ **IMPORTANTE 1:** l'eccessivo essiccamento superficiale dello strato trattato provoca la formazione di crepe che permettono l'infiltrazione di acqua e il deterioramento progressivo dell'intero strato.
- ✘ **IMPORTANTE 2:** il gelo costituisce un rischio serio; in questo caso la protezione si ottiene posando uno spessore di almeno 15 cm di materiale protettivo





# LA GESTIONE DEI PROBLEMI

# LA GESTIONE DEI PROBLEMI

I problemi che si manifestano durante la lavorazione, se correttamente interpretati, si possono risolvere in corso d'opera.

In alcuni casi la comparsa dei problemi si manifesta anche dopo diverso tempo dalla messa in opera.

In ogni caso, anche in queste situazioni, nella maggioranza dei casi si è in grado di risalire alla causa e successivamente di porvi rimedio.

# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 1. LAVORAZIONE IN DIFETTO D'ACQUA:

è causa frequente di ammaloramento dello strato dopo l'apertura del traffico.

In mancanza del necessario quantitativo d'acqua, non solo non si ottengono le densità in fase di compattazione, ma soprattutto non si innescano le reazioni pozzolaniche di indurimento.

**Il materiale rimane sciolto e poco addensato:** va da sé che sotto l'effetto dei carichi vi saranno dei cedimenti.



# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 1. LAVORAZIONE IN DIFETTO D'ACQUA: RIMEDIO

Si interviene aggiungendo il necessario quantitativo di acqua per raggiungere il contenuto ottimale indicato dal laboratorio.

Dopo l'aggiunta di acqua si procede con un passaggio di pulvimixer per distribuirne il quantitativo nell'intero strato in lavorazione, e poi si procede alla compattazione.

Normalmente **non è necessario** aggiungere altra calce.

# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 2. LAVORAZIONE ESEGUITA A TEMPERATURE TROPPO BASSE:

Il trattamento con calce eseguito a temperature inferiori ai 5 °C non apporta nessun beneficio.

A queste temperature la calce si comporta come un inerte, pertanto non si innescano ne i processi di scambio ionico ne le reazioni pozzolaniche.

Se lo strato trattato in queste condizioni, viene sollecitato prima che vi sia un significativo periodo di rialzo delle temperature, si deteriorerà molto rapidamente.

# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 2. LAVORAZIONE ESEGUITA A TEMPERATURE TROPPO BASSE: RIMEDIO

Se lo strato non è stato sollecitato e non ha subito gli effetti del gelo, basterà attendere un sufficiente periodo di maturazione a temperature positive per raggiungere le portanze attese.

Se lo strato si è degradato a causa del gelo o del traffico, si deve intervenire con una nuova miscelazione e la eventuale correzione del contenuto d'acqua.

L'aggiunta di nuova calce è necessaria solo nel caso che lo strato, dopo il deterioramento ha subito anche un dilavamento ad opera dell'acqua per cui sotto l'effetto dei carichi, evidenzia ancora un comportamento di tipo plastico.



# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

---

## 3. MANCATA PROTEZIONE

Anche quando il trattamento fosse stato eseguito a regola d'arte, la mancata protezione dall'eccessivo essiccamento o dal gelo comporterà il progressivo deterioramento a partire dalla superficie superiore.

# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 3. MANCATA PROTEZIONE: RIMEDIO

Quando il danno è localizzato in pochi cm della parte superiore, basterà provvedere all'asportazione di questi prima della posa del successivo strato.

Nel caso in cui l'esposizione sia stata prolungata, e si siano formate fessure profonde, può rendersi necessario il rifacimento completo dello strato, con l'apporto di nuovo legante e verifica dell'umidità.

# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 4. TIPO E/O QUANTITATIVO DI LEGANTE NON IDONEO

Il tipo ed il quantitativo di legante da utilizzare sono determinanti dal laboratorio per il conseguimento delle prestazioni di progetto.

Accade, che in presenza di terreni limo – sabbiosi con scarso contenuto di argilla, al mancato ottenimento dei risultati si cerca di porre rimedio addizionando dell'altra calce, ottenendo così risultati ancora peggiori.

Anche l'utilizzo di calce con alto contenuto di Magnesio ( $MgO > 7\%$ ) genera due tipi di problemi:

- il sottodosaggio di Ossido di Calcio ( $CaO$ );
- un potenziale pericolo di rigonfiamento per la tardiva idratazione del Ossido di Magnesio.



# ALCUNI DEI PROBLEMI PIU' FREQUENTI

## 5. CONSIDERAZIONI GENERALI

L'identificazione della causa del problema è determinante per porvi rimedio in tempi brevi e con costi ragionevoli.

Salvo rarissime eccezioni, non è quasi mai necessario procedere all'asportazione completa dello strato e alla sua sostituzione con nuovo materiale.

Nella maggioranza dei casi il problema si risolve ripristinando le condizioni di umidità e di densità ottimali individuati dal laboratorio.

La calce aerea è un legante “facile”, che in relazione ai suoi tempi di reazione medio lunghi, a differenza del cemento, consente di rimediare agli errori senza perdere le quantità aggiunte.

# LOGISTICA E PRODUZIONI

# LOGISTICA E PRODUZIONI

- ✘ Un cantiere ben organizzato produce mediamente da **1000 a 1200 m<sup>3</sup>/giorno** di miscela stabilizzata in opera per ogni squadra di lavorazione.
- ✘ Per movimentare 1000 m<sup>3</sup> di terra dalla zona di scavo alla zona di lavorazione ci vogliono circa 40 viaggi con mezzi d'opera da 38 tonnellate.
- ✘ Ipotizzando di operare con una miscela di calce al 3%, sarà necessario ricevere in cantiere dalle 50 alle 60 tonnellate di calce giornaliere.





# LOGISTICA E PRODUZIONI



- ✘ Per evitare che la mancata consegna della calce provochi la fermata di tutte le attività del cantiere, si deve predisporre un'adeguata capacità di stoccaggio che garantisca l'autosufficienza per almeno due giornate di lavoro.

# LOGISTICA E PRODUZIONI

- ✖ E' molto importante predisporre nelle vicinanze del luogo di lavoro un punto di approvvigionamento di acqua dolce: **spesso nei periodi estivi la carenza d'acqua è causa di rallentamento della produzione.**
- ✖ Si consideri che per alzare del 5% l'umidità di 1000 m<sup>3</sup> di terre possono servire fino a 90.000 litri d'acqua ogni giorno.





# COSTI DI LAVORAZIONE



# COSTI DI LAVORAZIONE

Per la sistemazione in rilevato di **1000 m<sup>3</sup>/giorno** di terre provenienti dagli scavi in ambito di cantiere, in strati non superiori ai 40 cm mediante stabilizzazione a calce, escluso l'approvvigionamento e il trasporto delle terre, serve una squadra di lavoro così composta:

N.1 OPERAIO CAPOSQUADRA  
N.2 OPERAI QUALIFICATI  
N.1 PALA MECCANICA  
N.1 SPANDICALCE  
N.1 PULVIMIXER  
N.1 AUTOBOTTE PER L'ACQUA  
N.1 RULLO A PIEDE DI MONTONE  
N.1 RULLO LISCIO  
N.1 GRADER  
N.1 SILO DI STOCCAGGIO LEGANTE

**5,0 €/m<sup>3</sup> + spese  
generali e utili di  
impresa.**

# COSTI DI LAVORAZIONE

Ai costi precedentemente esposti bisogna aggiungere quelli del legante.  
Ipotizzando una percentuale di calce del 3% sul peso secco delle terre si ha:  $1000 \text{ m}^3 \times 1,7 \text{ t/m}^3 \times 3\% \times 80,0 \text{ €/t} = 4,10 \text{ €/m}^3$

IN TOTALE, CONSIDERANDO UNA PRODUZIONE MEDIA DI  $1000 \text{ m}^3/\text{giorno}$ , ED UNA MISCELA AL 3% DI CALCE SI HANNO:

$9,10 \text{ €/m}^3 + \text{spese generali} + \text{utili di impresa}$





**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE**

# ***CGS CONSOLIDAMENTI S.R.L.***

## ***La nostra Azienda***

# CHI SIAMO

- **CGS Group spa**

CGS Consolidamenti srl

- CGS Ambiente (ramo)

- CGS LAB (ramo)

100%



CGS Energia srl

70%



E.R.A. srl

30%



CGS Consolidamenti Romania srl

100%



# CERTIFICAZIONI



ISO 9001 



**SOA:** OG3, OG6, OG12

ISO 14001



Registrazione **EMAS**

OHSAS 18001





## A photograph showing a manual pressure pump (red and black) connected via a hose to a hydraulic cylinder. The cylinder is mounted on a stand and is connected to a mechanical component, likely a valve or actuator, which is part of a larger system. A pressure gauge is attached to the pump to monitor the pressure during the test. The background shows a large, light-colored industrial container with a yellow warning triangle.

**PROGETTO**

4 cm Strato di Usura Drenante  
6 cm Strato di Binder  
11 cm Strato di Base bituminosa  
25 cm Strato di Misto cementato da impanto  
15 cm Strato di Misto Granulare Stabilizzato

Rilevato realizzato con A2-4

**VARIANTE 1**

4 cm Strato di Usura Drenante  
6 cm Strato di Binder  
25 cm Strato di Base riciclata in sito con bitume schiumato  
35 cm Strato di Misto cementato realizzato in sito

Rilevato realizzato con A2-4

**VARIANTE 2**

4 cm Strato di Usura Drenante  
6 cm Strato di Binder  
25 cm Strato di Base riciclata con K0 con bitume schiumato  
35 cm Strato di Misto cementato realizzato in sito

Rilevato realizzato con A2-4



## **DIVISIONE AMBIENTE:**

- Consulenza ambientale
- Caratterizzazione di siti contaminati
- Bonifica e recupero di siti contaminati  
*(Iscrizione in Categoria 9 dell'Albo Gestori Ambientali).*
- Gestione di impianti mobili di recupero rifiuti.
- Intermediazione rifiuti  
*(Iscrizione in Categoria 8 dell'Albo Gestori Ambientali).*

## *STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI*

**STABILIZZAZIONE:** Trattamento di un materiale contaminato (es. terre o fanghi) mediante miscelazione con reagenti, al fine di ottenere un materiale chimicamente più stabile.

## *STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI*

Ai fini ambientali, la stabilizzazione è prevalentemente utilizzata per il trattamento di materiali (terreni, fanghi ecc.) contaminati da metalli pesanti (Cr, Pb, As, Hg, Cd, Zn).

E' denominata anche INERTIZZAZIONE perché è finalizzata a rendere inerte un materiale contaminato, in modo che questo non possa essere dannoso per l'ambiente e per la salute.

# STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI

## *Leganti comunemente utilizzati per la stabilizzazione:*

- Calce (ossido di calcio oppure calce idrata a seconda delle necessità);
- cemento Portland o cemento pozzolanico;
- Materiali pozzolanici (ceneri);

## *Altri materiali utilizzati:*

- Silicati (argille modificate);
- Solfuri (agenti riducenti - es. per Cr e Mn);
- Polimeri o altri composti brevettati.

# *STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI*

## **CASO DI STUDIO: Stabilizzazione in sito per fini ambientali:**

- **Ex Deposito di prodotti petroliferi;**
- Cause contaminazione: perdite da serbatoi interrati;
- Contaminanti presenti: idrocarburi;
- Zona contaminata: variabile tra 2 e 7 m dal p.c.;
- Tipologia trattamento: binario calce + cemento Portland;
- Area contaminata: circa 1.000 mq.



# *STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI*

## Segue - CASO DI STUDIO: Stabilizzazione in sito

### *Procedura seguita:*

- Rimozione e smaltimento terreno contaminato fino ai valori di legge;
- Prelievo campioni di fondo scavo per analisi chimiche su tal quale e test di cessione;
- Definizione del mix design finalizzato a ridurre i valori di Carbonio Organico Disciolto (DOC) nel test di cessione;
- Stabilizzazione binaria calce + cemento ai fini dell'ulteriore messa in sicurezza del sito;
- Prelievo campioni per il collaudo intervento.

# *STABILIZZAZIONE PER FINI AMBIENTALI*

## **CASO DI STUDIO: Ex deposito carburanti**

La stabilizzazione ha avuto la duplice funzione di contenere l'eventuale contaminazione residua e di migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno.



**Spandimento leganti e miscelazione al terreno**

- Stabilizzazioni a calce
- Stabilizzazioni a cemento
- Stabilizzazioni binarie
- Bitumi schiumati
- Riciclati a freddo (emulsione)
- Riciclati da impianto
- Stabilizzazioni con resine e polimeri
- Bonifiche di siti inquinati



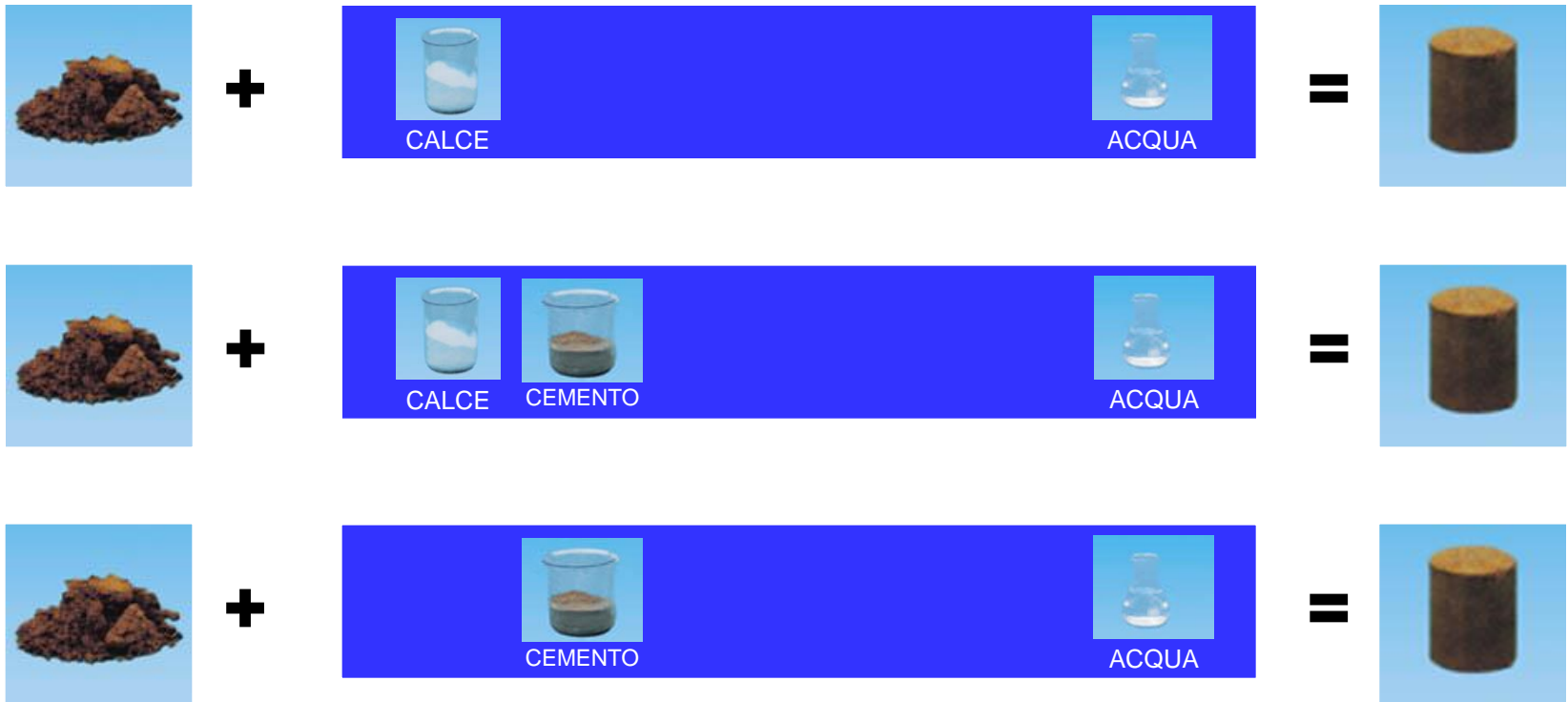
- Costruzione di piazzali
- Urbanizzazioni
- Costruzioni di rilevati
- Manutenzioni e riqualificazioni di pacchetti stradali
- Misti cementati
- Banchine Portuali
- Piste e aree di sosta aeroportuali
- Pre - qualifiche e progettazioni di pacchetti (mix design)





# LE LAVORAZIONI





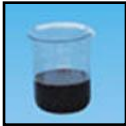

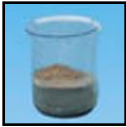



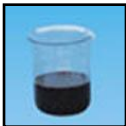

## Trattamento dei terreni



## Materiali :



+

		
cemento		acqua
		
	emulsione	acqua
		
	Bitume schiumato	acqua
		
cemento	emulsione	acqua
		
cemento	bitume schiumato	acqua

=





# LAVORAZIONI PARTICOLARI

- Bonifica di un fondo fangoso (PC)
- Terra rinforzata (SI)
- Rinforzo di sottofondi portanti per appoggio platee di fondazione (FC)

# Polo logistico di PC

CGS ha utilizzato la stabilizzazione per permettere inizio delle lavorazioni



# Polo logistico di PC



Napoli - 18 Aprile 2012



# Polo logistico di PC

Stabilizzazione del sottofondo  
3.5% CaO spessore 45-50 cm  
funzione di asciugatura

Stabilizzazione 2° strato  
3% CaO spessore 45-50  
funzione portante

Situazione prima dell'intervento di CGS.



Situazione dopo l'intervento di CGS.



# Terre Armate

CGS - la stabilizzazione appoggio di rilevati





# Terre Armate

CGS - le terre armate per rilevati





# Terre Armate

CGS - le terre armate per rilevati

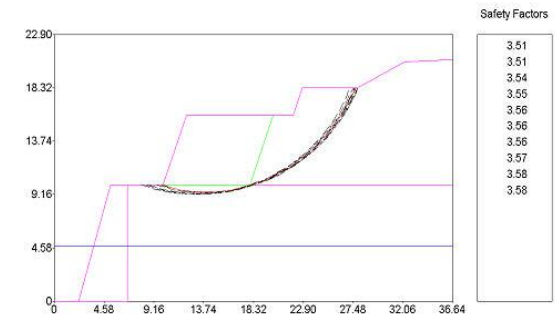
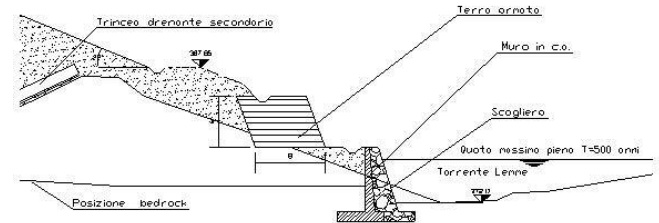
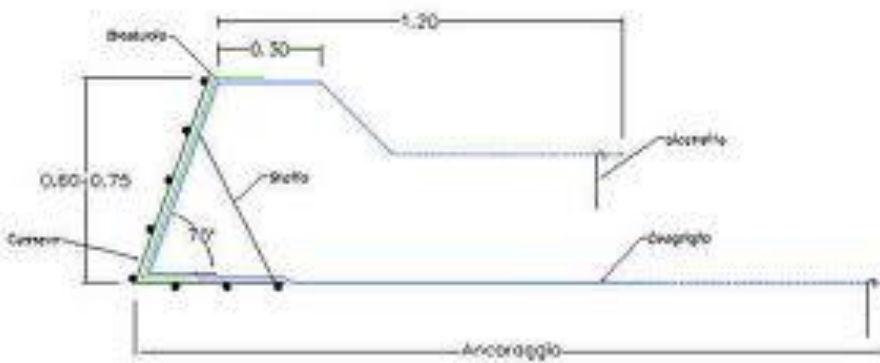


Napoli - 18 Aprile 2012



# Terre Armate

## CGS - le terre armate per rilevati



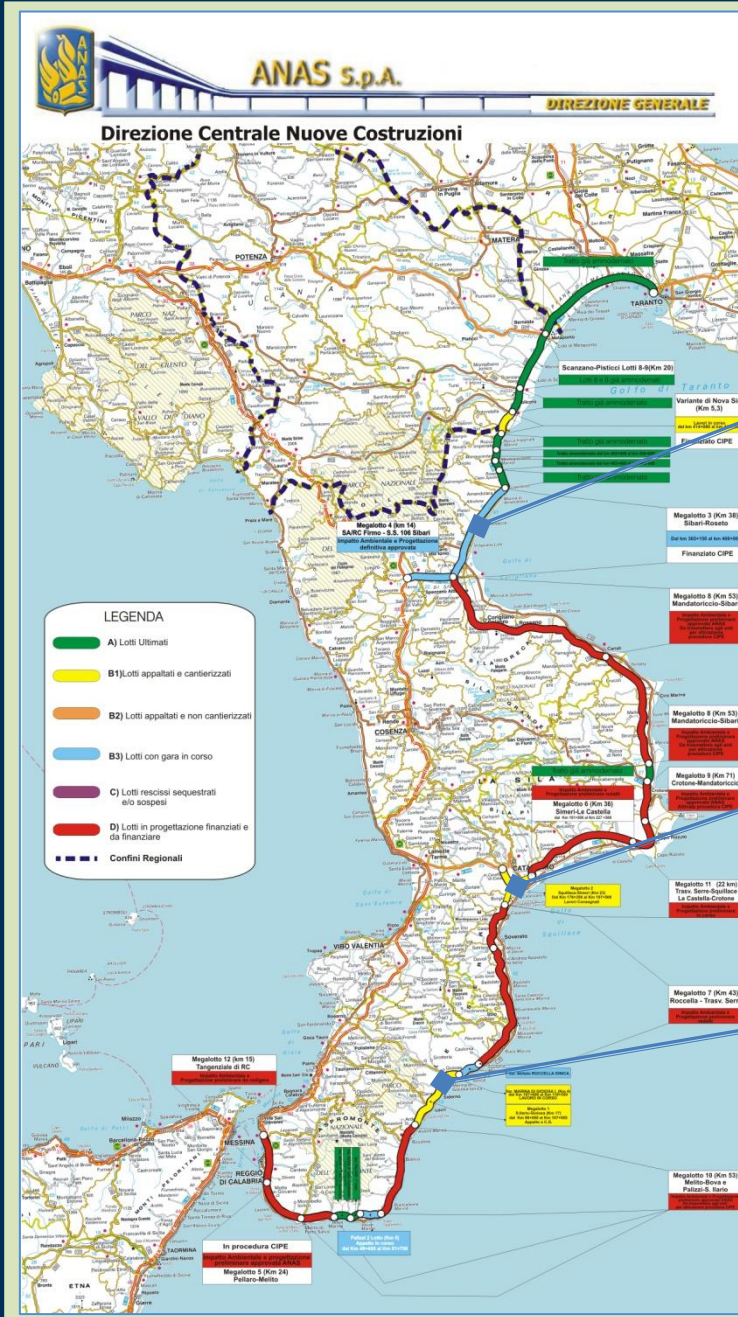
# Rinforzo di sottofondi

CGS - le terre rinforzate per appoggio platee di fondazione





# ESPERIENZE ASTALDI IN CALABRIA NELLA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI - NUOVA S.S.106 p.c. ANAS



## MEGALOTTI NUOVA S.S. 106 "JONICA"

### In avvio la fase di progettazione:

**DG41/08 (società di progetto SIRJO S.C.p.A)**  
Realizzazione della E90, tratto **S.S.106**, dallo svincolo di **Sibari** allo svincolo di **Roseto Capo Spulico**.  
(In A.T.I. con Impregilo S.p.A.)

LUNGHEZZA TOTALE DI RILEVATI DA REALIZZARE: 39.000 m  
**Volume di terreno trattato da porre in opera: 1.900.000 mc**  
LUNGHEZZA TOTALE DI GALLERIE DA SCAVARE: 25.000 m  
\*Volumi di scavo complessivi: 4.400.000 mc  
(rispetto a 3.000.000 di mc di rilevato da realizzare)  
Numero di siti di deposito temporaneo: 15

### In fase di esecuzione:

**DG21/04 (CO.MERI S.p.A.)**  
Realizzazione della E90, tratto **S.S.106**, dallo svincolo di **Squillace** allo svincolo di **Simeri Crichi** e prolungamento della **S.S.280 "Dei due mari" (San Sinato-Germaneto)**.

LUNGHEZZA TOTALE DI RILEVATI REALIZZATI: 15.000 m (al 31.3.12)  
(previsti altri 8.200 m di rilevati lungo S.S.280)  
**Volume di terreno trattato posto in opera: 2.600.000 mc**  
LUNGHEZZA TOTALE DI GALLERIE SCAVATE: 13.265 m  
\*Volumi di scavo complessivi: 4.800.000 mc  
Numero di siti di deposito temporaneo: 10

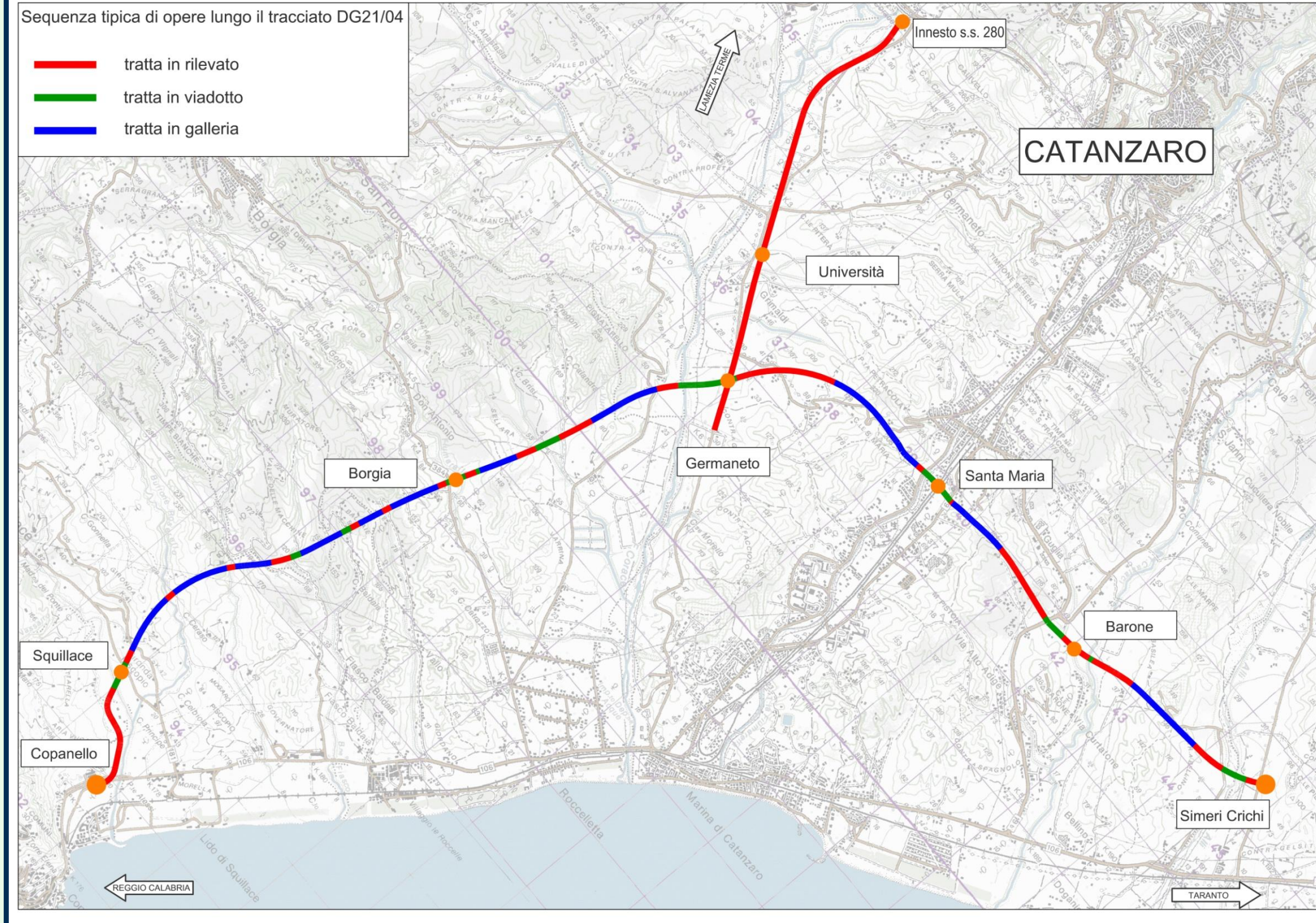
**DG22/04 (AR.GI S.C.p.A.)**  
Realizzazione della E90, tratto **S.S. 106**, da **Ardore a Marina di Gioiosa Ionica**.  
(In realizzazione da Gerace a Marina di Gioiosa Ionica)

LUNGHEZZA TOTALE DI RILEVATI PREVISTI: 9.730 m  
**Volume di terreno trattato previsto in opera: 954.300 mc**  
LUNGHEZZA TOTALE DI GALLERIE IN SCAVO: 5.230 m  
\*Volumi di scavo complessivi: 1.030.770 mc  
Numero di siti di deposito temporaneo: 9

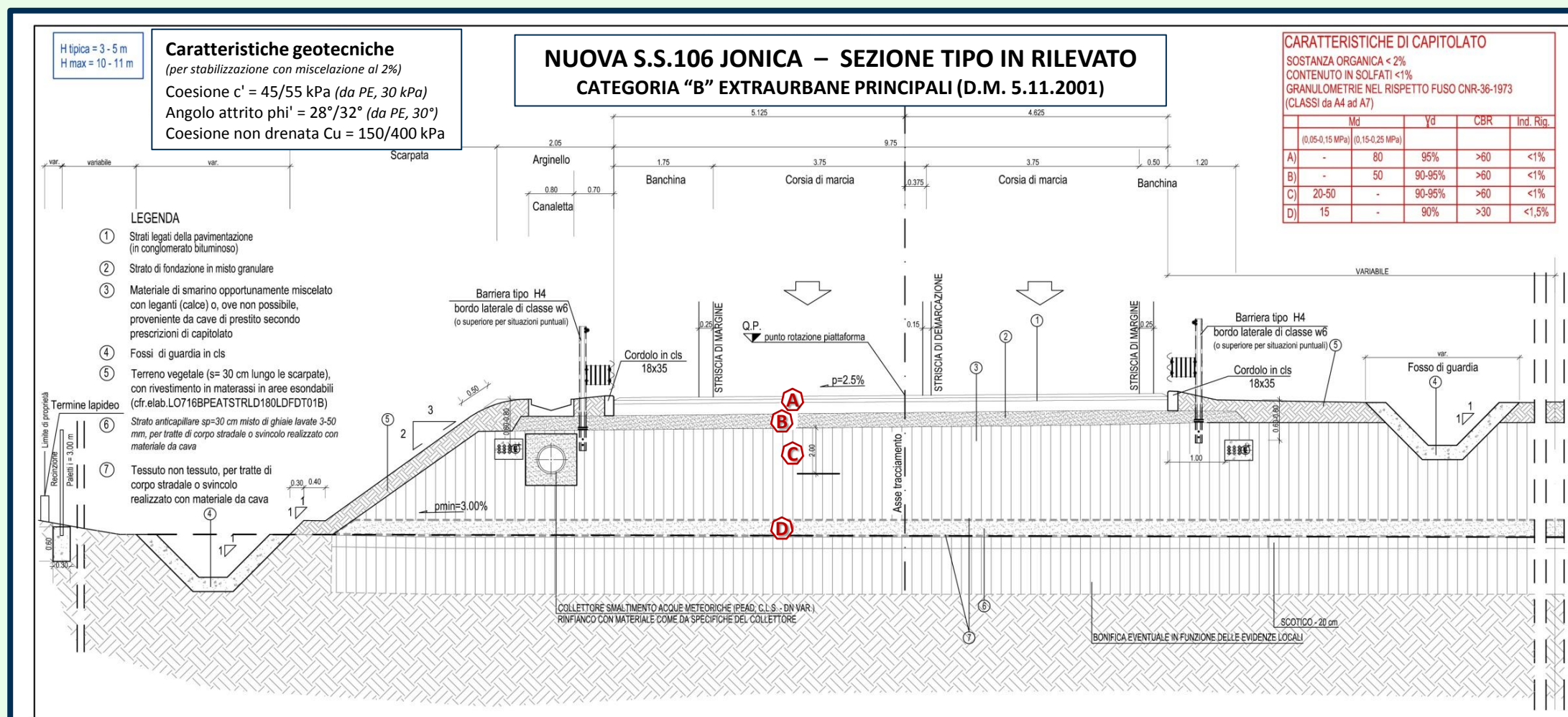
\*(incluse gallerie artificiali e trincee)

Sequenza tipica di opere lungo il tracciato DG21/04

- tratta in rilevato
- tratta in viadotto
- tratta in galleria



**Nota: le lunghezze di rilevati e gallerie si intendono somma dei dati delle due carreggiate**



### ATTIVITÀ PER CAMPI PROVA, ATTIVITÀ PROGETTUALI E DI AFFIDAMENTO

Studi di miscelabilità e progetto/analisi campi prova:  
22 relazioni di progetto (DG21/DG22)

Progetto Esecutivo di Dettaglio (al 31.03.12):  
630 elaborati e relazioni (DG21)  
140 elaborati e relazioni (DG22)

Gestione diretta di 15 contratti principali di affidamento con 4 Imprese esecutrici (DG21)  
Gestione di 3 contratti principali di affidamento con 3 Imprese esecutrici (DG22)  
Autorizzati oltre 70 subaffidamenti/subcontratti correlati, nell'ambito di appositi Protocolli di Legalità con le rispettive Prefetture (CZ, RC)  
(ex art. 118 e art. 176 commi 3,7 del D.Lgs. n. 163/2006 e s.m.i.)

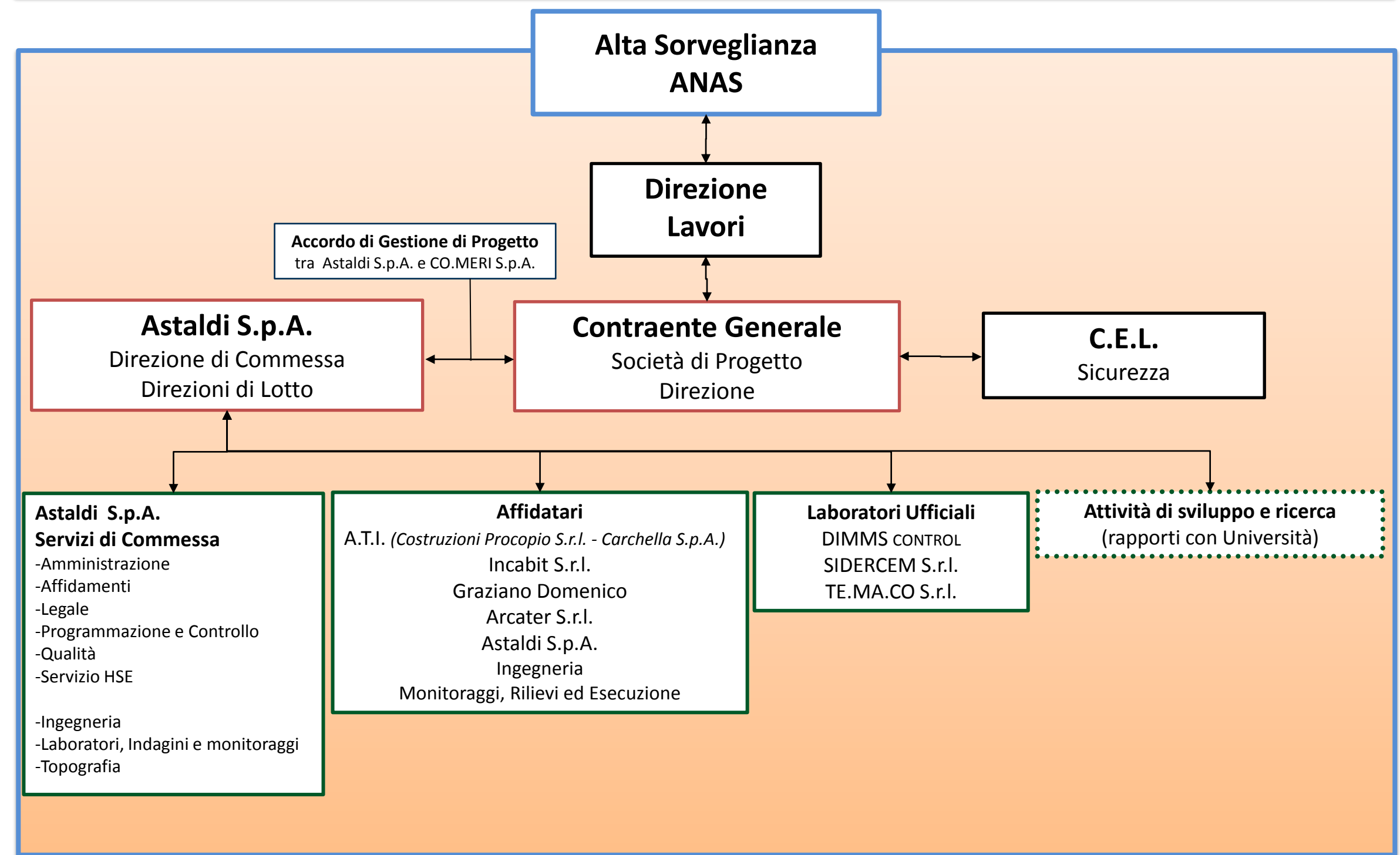
### DOSAGGI TIPICI DI TRATTAMENTO ADOTTATI

Indicativamente, C.I.C. + 0,5% (tipicamente per DG21 40 kg/mc, pari al 2% ca.)

### PRODUTTIVITÀ TIPICHE

Singolo treno di lavoro (fasi di trasporto e carico, stabilizzazione, rullatura...) 2.000-3.000 mc/g  
Produzioni mensili: 30.000-60.000 mc/mese  
Mesi di maggior produttività: giugno-settembre 80.000-100.000 mc/mese  
Produttività massima raggiunta 125.000 mc/mese (DG21)

## LAVORI RELATIVI AI CORPI STRADALI (DG21/DG22) ELEMENTI ORGANIZZATIVI IN REGIME DI CONTRAENTE GENERALE (D.Lgs. n.163/2006)

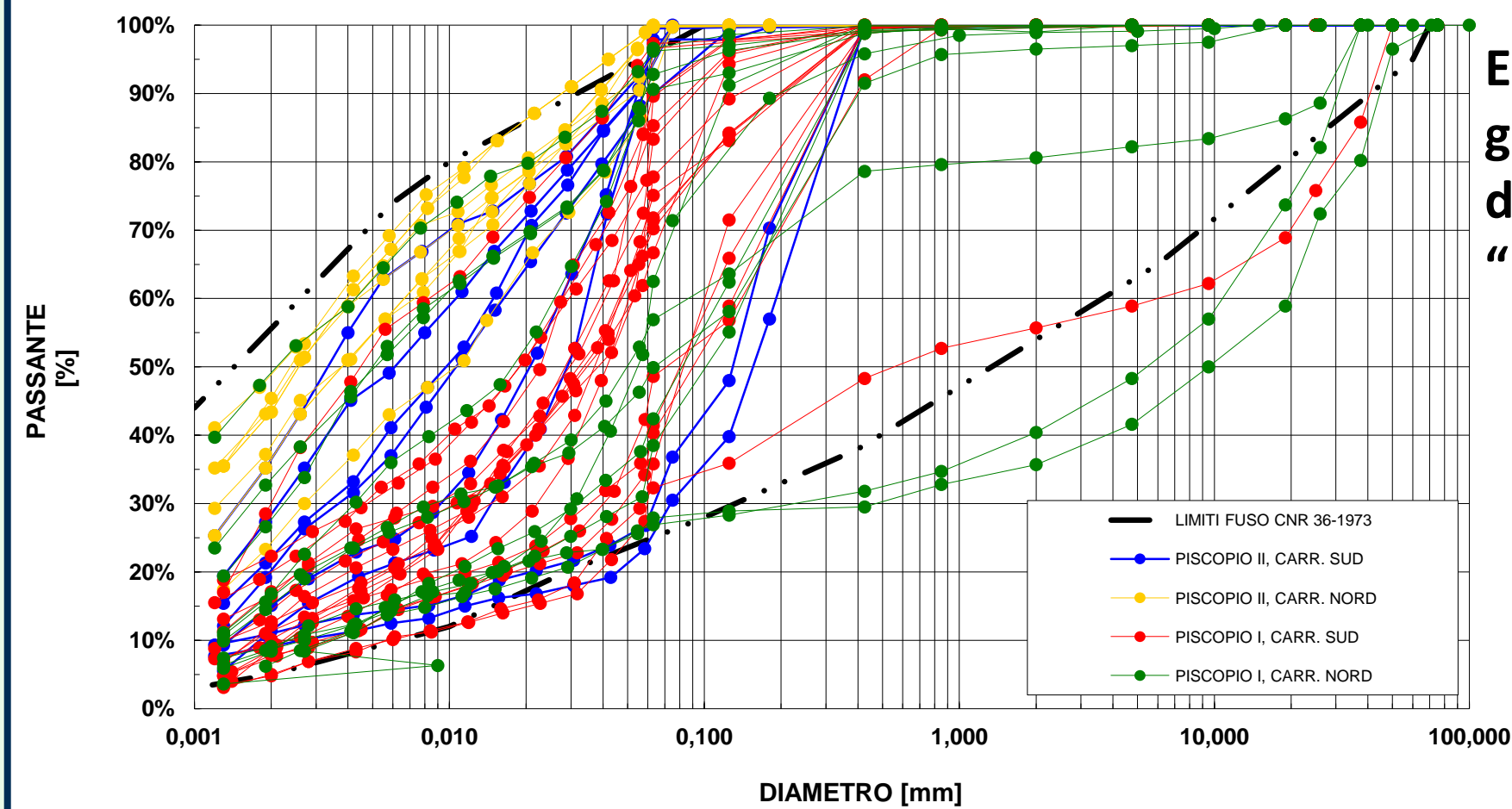


**ASTALDI**

**AR.GI scpa CO.MERI S.p.A.**  
A&S Engineering S.r.l.  
Direzione dei Lavori



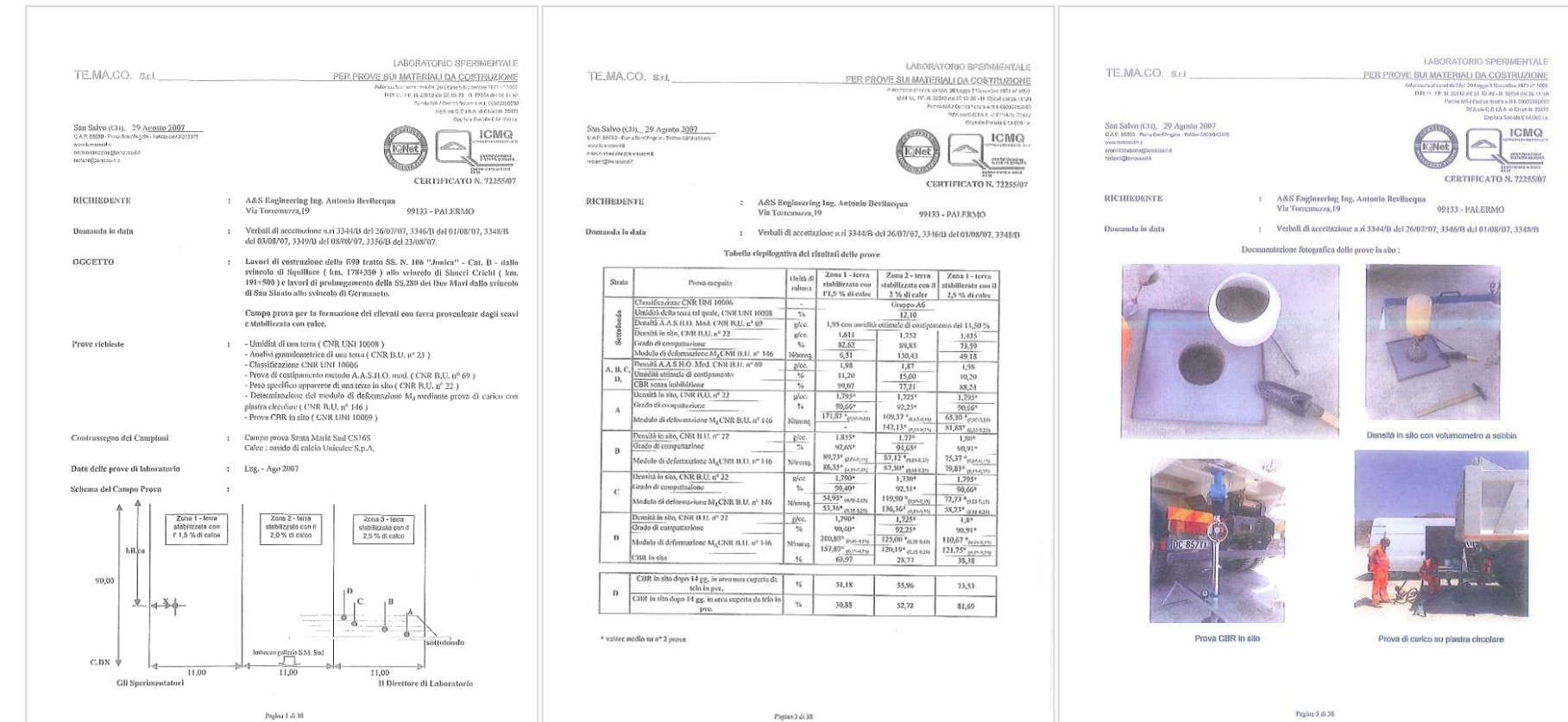
## SCAVI IN TERRENI DA "A4" AD "A7-6"



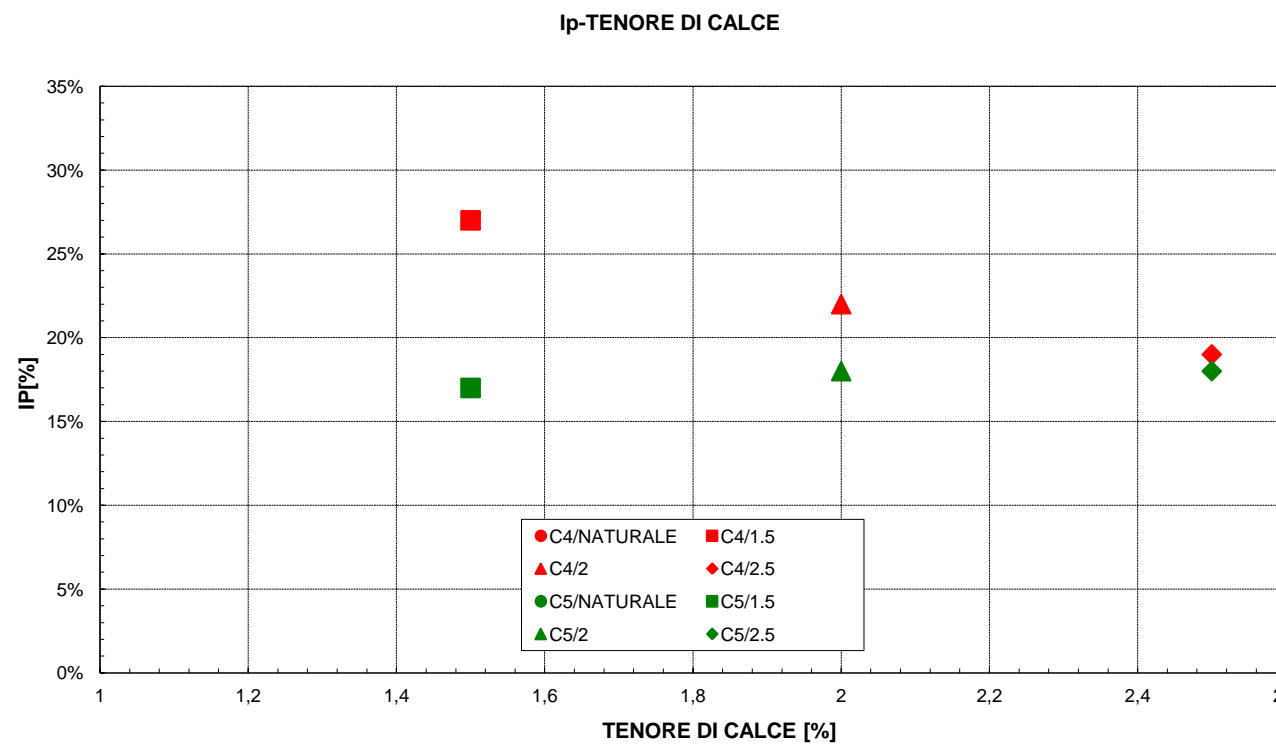
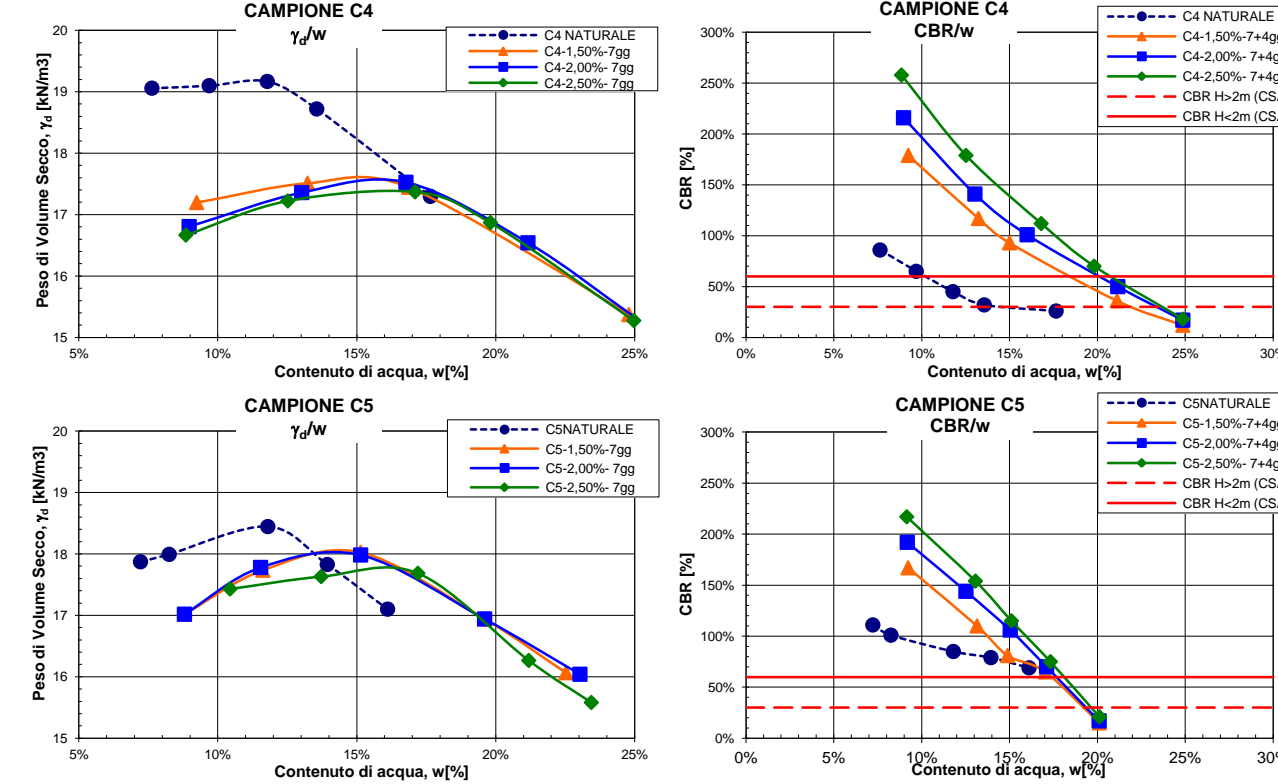
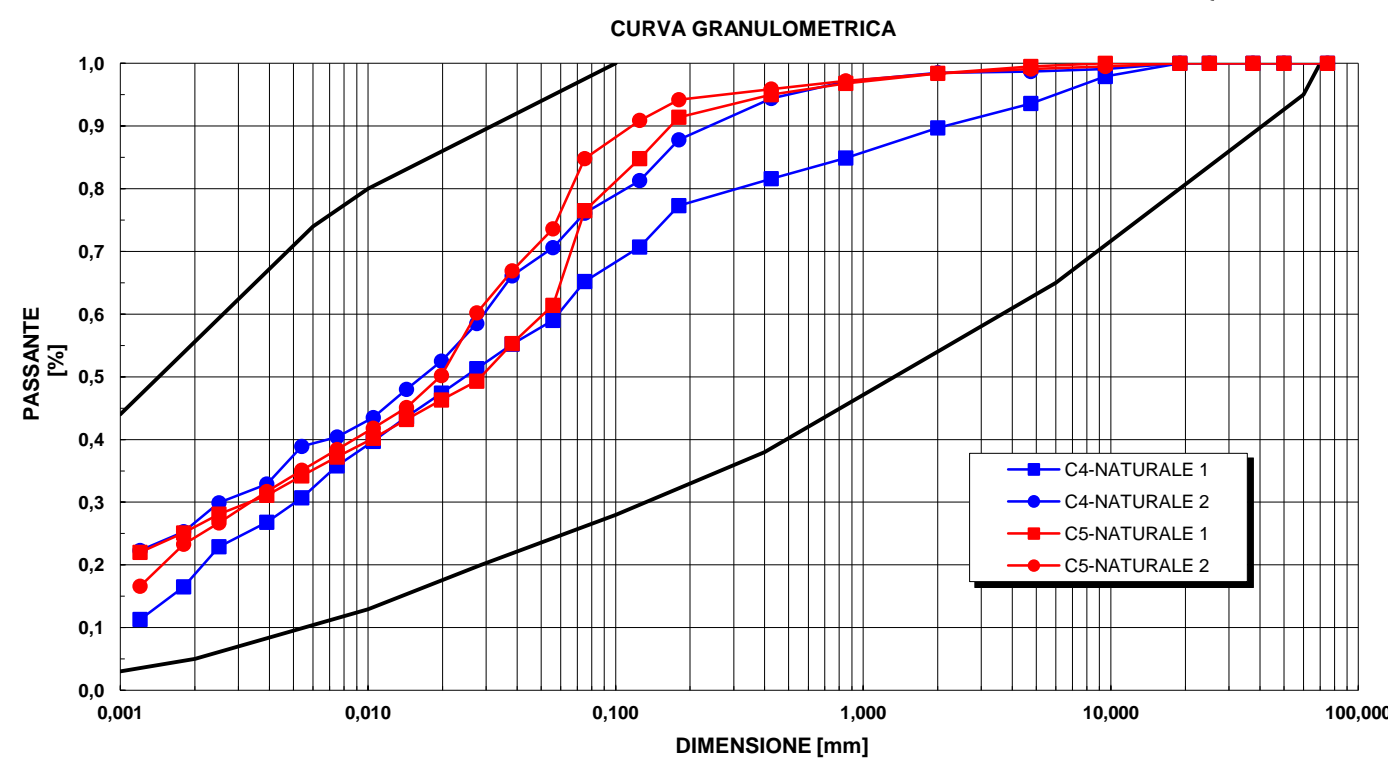
Esempio di fuso granulometrico di materiali di smarino dalle gallerie DG21 "Piscopio I" e "Piscopio II"

## PRIMI CAMPI PROVA (DG21)

STUDI PER LA DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO OTTIMALE DI CALCE (DA 1,5% A 2,5%)

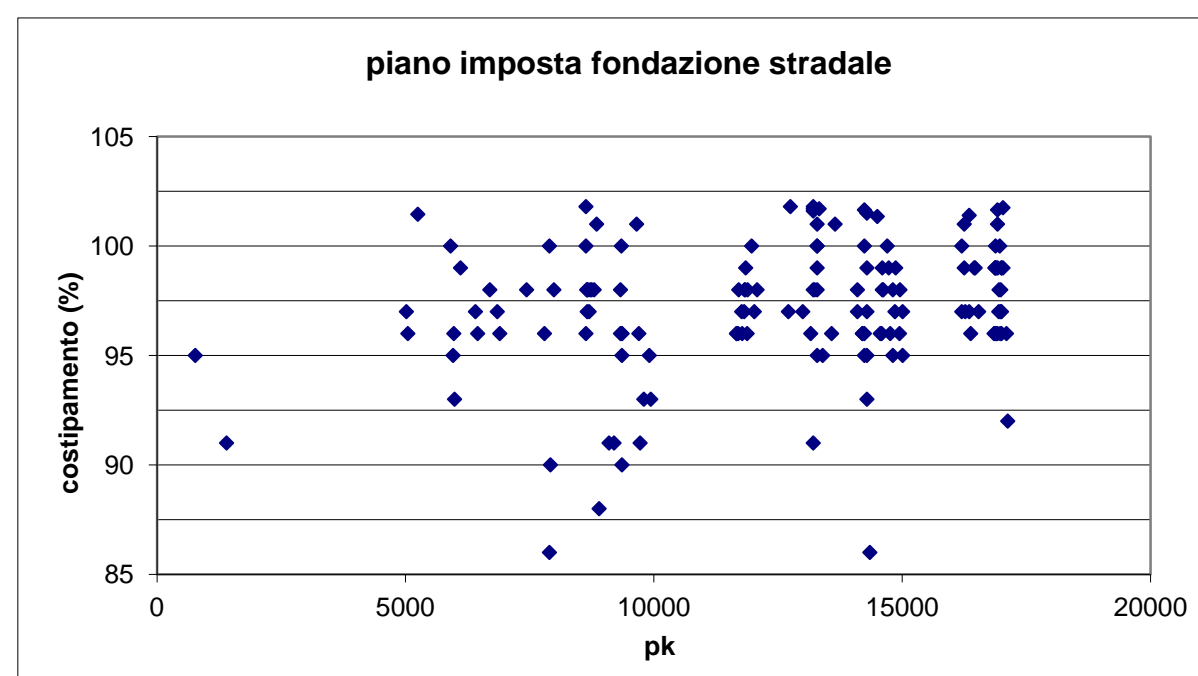
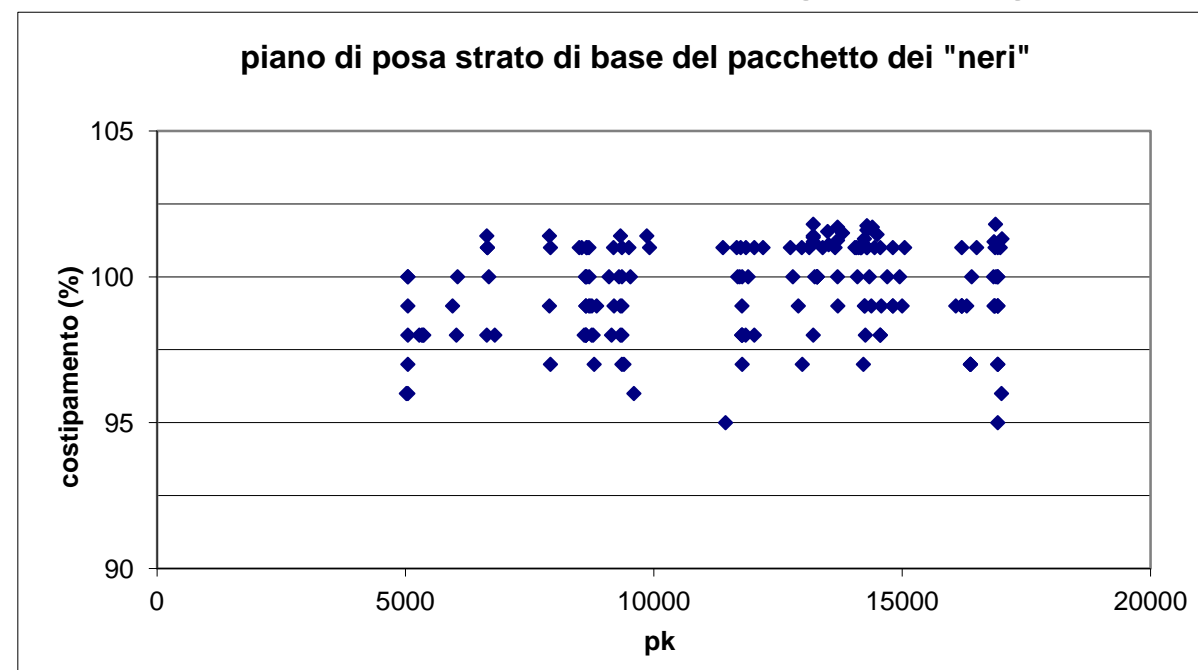
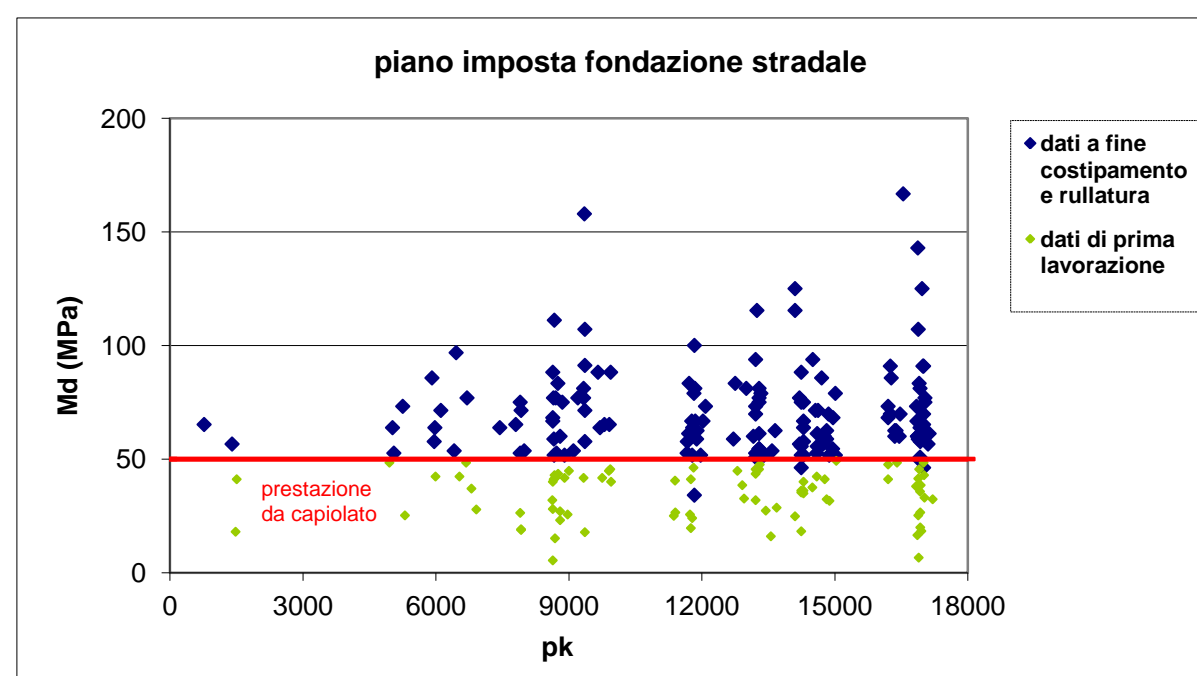
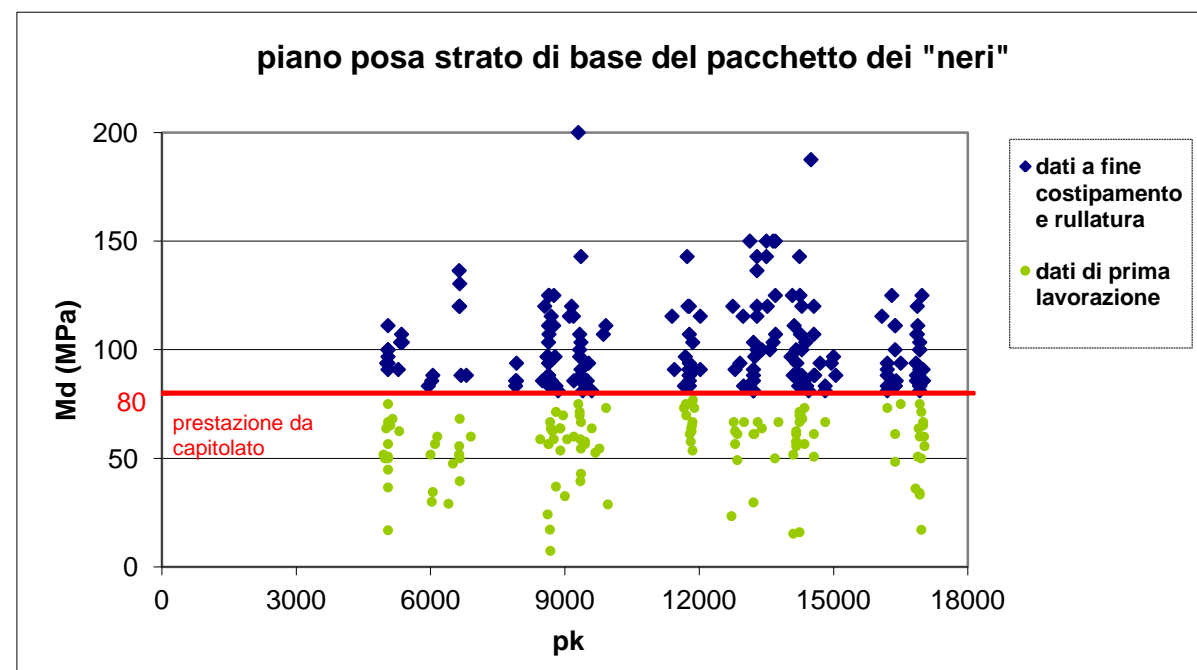


## ESEMPI DI PROVE DI QUALIFICA DEI TERRENI PROVENIENTI DA SCAVI E TRASPORTATI NEI DEPOSITI TEMPORANEI (DG21)



IN TOTALE PER DG21 E DG22, OLTRE 200 ATTIVITÀ DI DETERMINAZIONE E CLASSIFICA SECONDO C.N.R. 10006, COMPRENDENTI:  
Granulometrie, limiti di Atterberg, contenuto di sostanze organiche, contenuto in solfati, prove di tipo CBR e Proctor

## ESEMPI DI PROVE FINALI DI ACCETTAZIONE IN SITO (DG21)

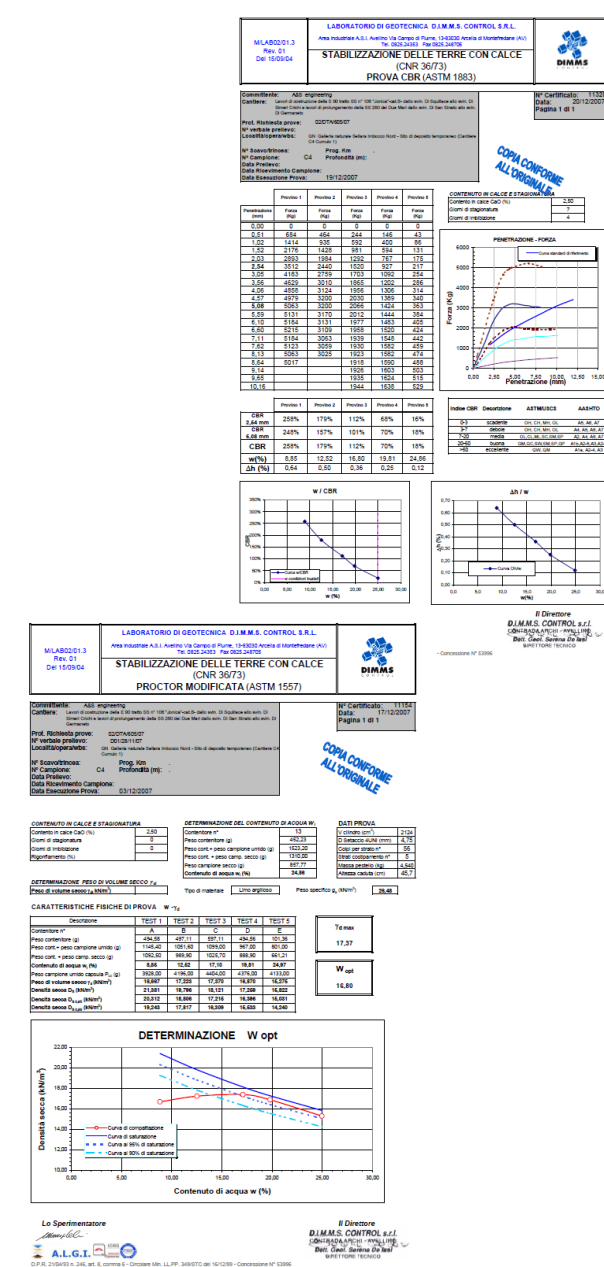


PUNTO (A) SEZIONE TIPO

PUNTO (B) SEZIONE TIPO

## PROVE DI ACCETTAZIONE EFFETTUATE AL 31.03.12 E PARAMETRI TIPICI

ESEMPI DI CERTIFICATI DA LABORATORI UFFICIALI



### TIPOLOGIA E NUMEROSITÀ DI PROVE

Prove DG21	Modulo di piastra Md	Peso di volume secco $\gamma_d$
Numero prove corpo rilevato	2744	2054
Piano di posa	312	312
Piano di fondazione	532	532
Prove DG22	Modulo di piastra Md	Peso di volume secco $\gamma_d$
Numero prove corpo rilevato	921	777

MAXILOTTO	INDICE DI PLASTICITÀ	CIC medi	OSSIDO DI CALCIO %	$\gamma_d$ , max (kN/mc)	W opt %
DG21	15 – 25	1,5%	2,0%	17,0 – 18,0	14 – 16
DG22	20 - 30	2,5 – 3,0%	3,0 – 3,5%	16,5 – 17,5	15 – 18

Indice di rigonfiamento (DG21)

(materiale su cumulo / materiale in sito)

variabile dal 25% al 35%

Indice di compattazione (DG21)

(materiale su cumulo / materiale a rilevato)

tipicamente tra 8% e 12%

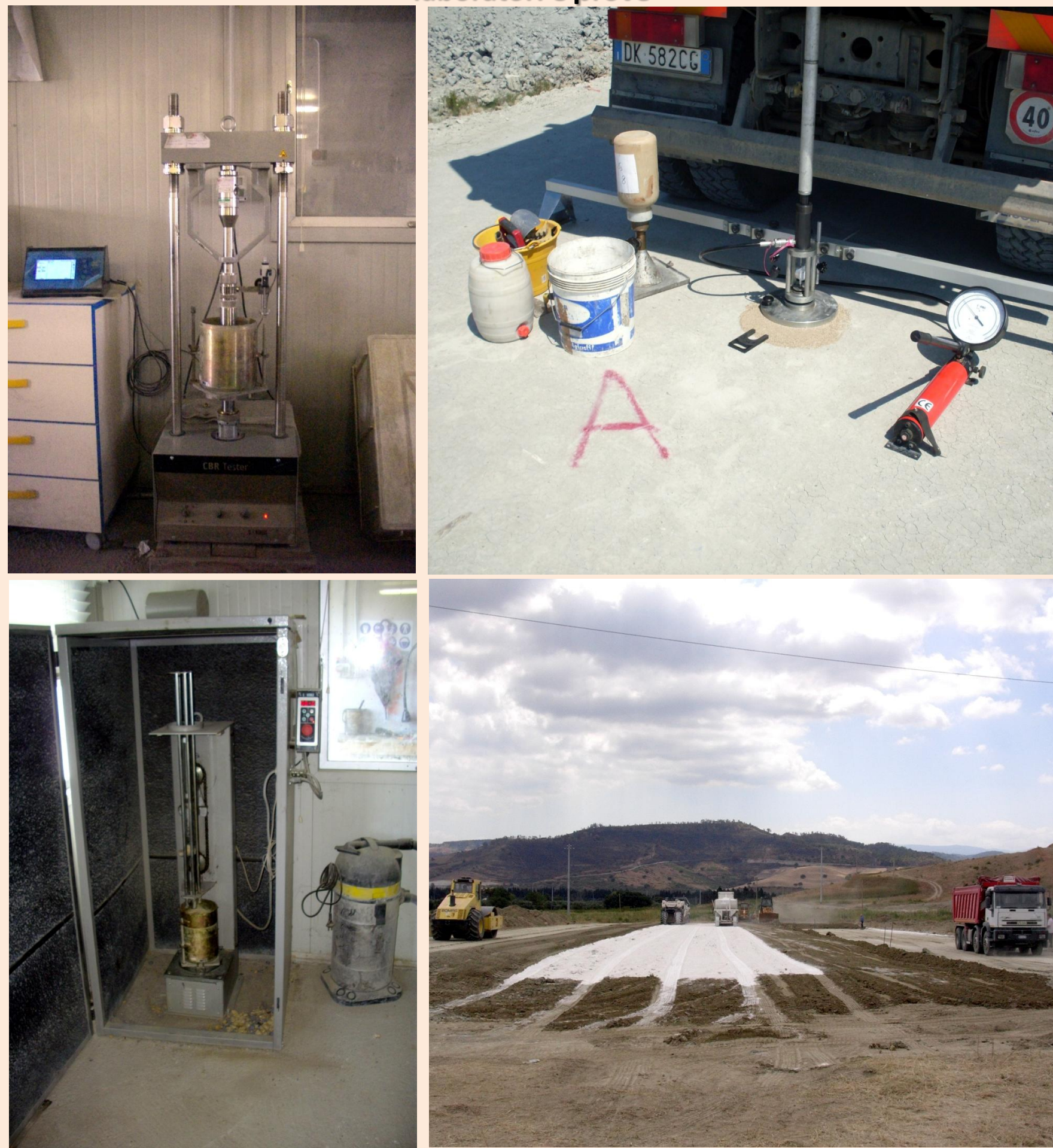
ESPERIENZE ASTALDI IN CALABRIA NELLA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI  
- NUOVA S.S.106 p.c. ANAS S.p.A. -



AR.GI scpa CO.MERI S.p.A.  
A&S Engineering S.r.l.  
Direzione dei Lavori



laboratori e prove



avvio lavorazioni



mezzi d'opera



opere in fase di realizzazione



**ESPERIENZE ASTALDI IN CALABRIA NELLA STABILIZZAZIONE A CALCE DEI TERRENI**  
**- NUOVA S.S.106 p.c. ANAS S.p.A. -**



**ASTALDI**

**AR.GI scpa CO.MERI S.p.A.**  
**A&S Engineering S.r.l.**  
 Direzione dei Lavori