

# **URETEK** **GEOPLUS®**

**La superconsolidante da 10.000 kPa**



**Note tecniche e risultati delle prove di  
laboratorio sulla resina espandente  
di ultima generazione Uretek Geoplus.**

A CURA DELLO STAFF TECNICO URETEK  
IN COLLABORAZIONE CON IL DIPARTIMENTO IMAGE  
DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA.

## **INDICE:**

### **1. INTRODUZIONE**

### **2. PARTE PRIMA** (a cura dello staff tecnico Uretek)

- a.** La tecnologia Uretek Deep Injections
- b.** Forza di espansione
- c.** Tempo di reazione
- d.** Grado di espansione
- e.** Modulo di elasticità
- f.** Resistenza alle sollecitazioni
- g.** Stabilità nel tempo
- h.** Coefficiente di permeabilità
- i.** Peso di volume
- j.** Stabilità della reazione

### **3. PARTE SECONDA** (risultati e interpretazione delle prove eseguite sulla resina Uretek Geoplus a cura del dipartimento IMAGE dell'Università degli Studi di Padova)

- a.** Premessa
- b.** Prove di compressione verticale con espansione laterale libera
- c.** Prove di trazione
- d.** Prove di espansione in condizioni edometriche
- e.** Prove a flessione
- f.** Osservazioni conclusive

## **1. INTRODUZIONE**

Da alcuni anni nel mondo della geotecnica si è assistito all'affermarsi del metodo Uretek Deep Injections per il consolidamento dei terreni di fondazione. In un primo tempo il metodo, inventato e brevettato a livello europeo da Uretek, ha incontrato una certa freddezza da parte dei tecnici, che lo ritenevano non sufficientemente testato.

Oggi, a diversi anni di distanza, il consenso dei tecnici è enorme e si fonda sul grandissimo numero di interventi eseguiti con successo da Uretek nelle condizioni più diverse sia in Italia che all'estero.

Per mantenere il primato tecnologico che la contraddistingue, Uretek ha intrapreso una serie di studi e di ricerche, avvalendosi del fondamentale aiuto dell'Università degli Studi di Padova, tendenti a migliorare sia la tecnica di intervento che i prodotti impiegati. I risultati non si sono fatti attendere ed hanno portato ad un miglioramento sostanziale della metodologia applicativa.

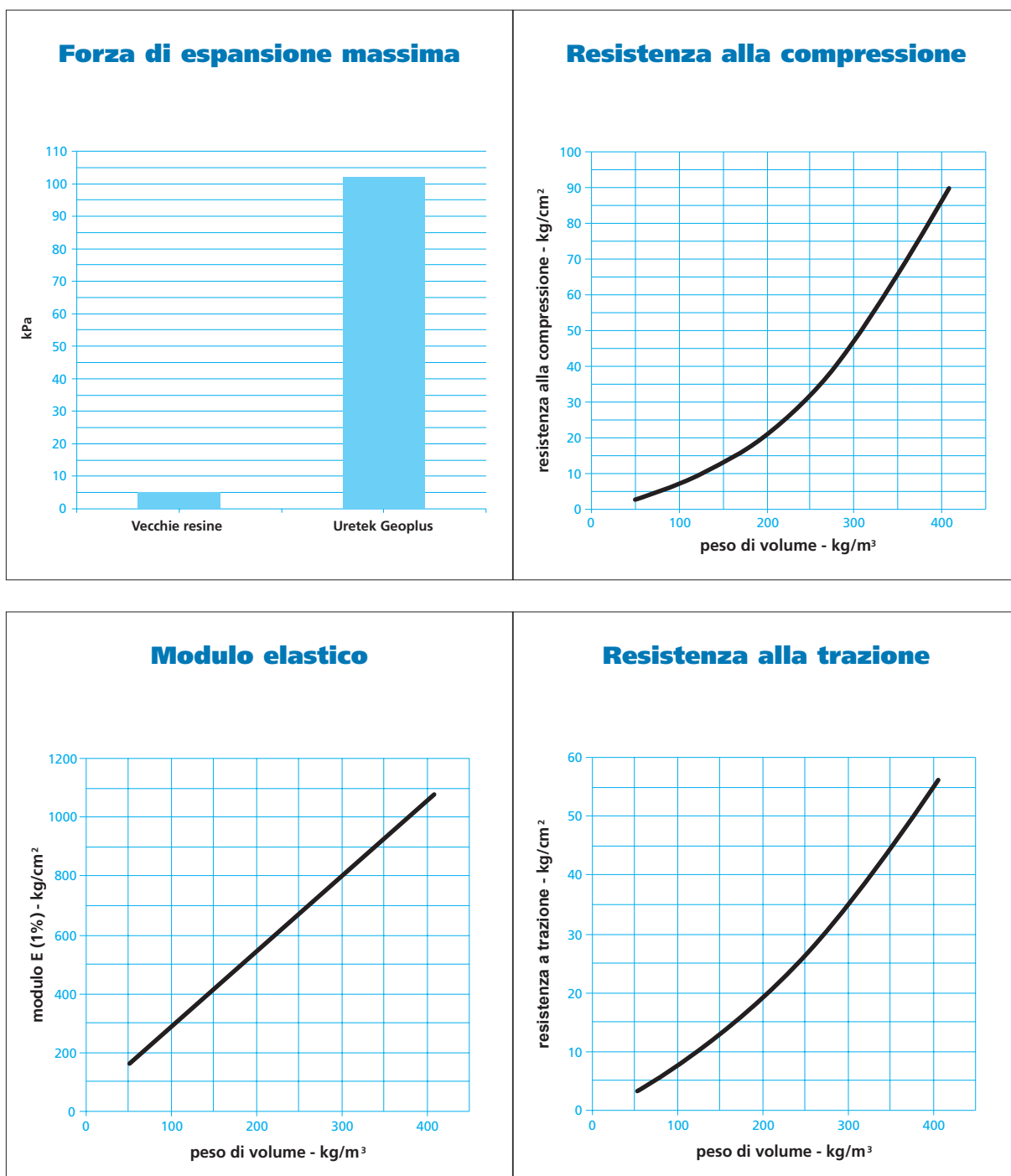
L'innovazione più significativa riguarda però la resina impiegata: Uretek può oggi presentare la resina Uretek **GEOPUS®**, studiata appositamente per le iniezioni in profondità e prodotta in esclusiva per Uretek.

Uretek **GEOPUS®** sarà analizzata diffusamente nelle pagine che seguono.

Nella prima parte, a cura dello staff tecnico Uretek, verranno riassunte le caratteristiche principali del metodo Uretek Deep Injections e della resina Uretek **GEOPUS®** in riferimento alle più comuni applicazioni.

Nella seconda parte presenteremo la relazione pervenutaci dall'Università degli Studi di Padova, con i commenti del Prof. Ing. Giuseppe Ricceri e del Prof. Ing. Marco Favaretti del dipartimento IMAGE sez. Geotecnica dell'Università degli Studi di Padova, contenente la descrizione dettagliata delle prove eseguite sulla resina Uretek **GEOPUS®**.

## **TABELLA RIASSUNTIVA DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA RESINA ESPANDENTE URETEK GEOPLUS.**



I risultati presentati nella tabella sono esaminati e commentati diffusamente nella relazione del Prof. Ing. Giuseppe Ricceri e del Prof. Ing. Marco Favaretti dell'Università degli Studi di Padova riportata a partire da pagina 9.

La tabella esposta si riferisce a test eseguiti specificatamente sulla resina Uretek Geoplus e non possono essere estesi ad altre resine, potendosi rilevare variazioni anche molto significative.

I certificati completi dell'Università di Padova relativi ai test citati sono eventualmente a disposizione.

## **2. PARTE PRIMA**

### **a. La tecnologia Uretex Deep Injections**

La resina Uretex **GEOPLUS®** viene iniettata allo stato liquido attraverso dei condotti nei quali viene spinta dall'azione meccanica di una pompa fino a fuoriuscire nel terreno da consolidare.

I condotti vengono inseriti in fori di diametro inferiore ai 20 mm praticati direttamente nella fondazione in modo da trattare con precisione il volume di terreno sottostante la fondazione medesima.

La pressione di iniezione non è elevata e non è particolarmente rilevante ai fini della riuscita dell'intervento.

Il grado di compattazione del terreno ottenibile è infatti funzione della forza di espansione della resina e non della pressione alla quale viene iniettata.

Al momento dell'iniezione, la miscela sviluppa una reazione chimica esotermica che ne induce il cambiamento di stato da liquido a solido con conseguente aumento di volume correlato allo sviluppo di una forza di espansione.

La resistenza incontrata dalla resina nella fase di espansione determina in modo inversamente proporzionale l'aumento di volume mentre implica una forza di espansione direttamente proporzionale ad essa.

La reazione chimica è molto rapida e il composto solido che ne deriva possiede già da subito le caratteristiche fisico-meccaniche definitive.

La reazione, confinata dal terreno circostante, trasferisce l'energia prodotta direttamente alla struttura dello stesso, comprimendolo e, dove possibile, aggregandolo.

La miscela Uretex **GEOPLUS®**, infatti, una volta iniettata nel terreno, si comporta in maniera differente a seconda della natura del mezzo incontrato:

- ➡ se il terreno è granulare la miscela permea i vuoti e, fungendo da legante idraulico, produce un conglomerato monolitico di notevoli caratteristiche meccaniche;
- ➡ se il terreno è di natura coesiva, la miscela non permea i vuoti, ma forma un fitto reticolo di lame simili all'apparato radicale di una pianta producendo un ammasso compresso e irrobustito dalle lame stesse;

In entrambi i casi la resina trasferisce al terreno ospitante una forte azione di compressione frutto della reazione chimica.

Di seguito, riassumiamo le caratteristiche della resina Uretex **GEOPLUS®** determinanti al fine della riuscita dell'intervento.

## **b. Forza di espansione**

La forza massima di espansione della miscela Uretek **GEOPLUS®** in condizioni edometriche è di 10.000 kPa. Tale caratteristica è fondamentale per il buon esito del trattamento Uretek Deep Injections. A seguito della reazione chimica, la resina Uretek **GEOPLUS®** trasmette al terreno un'azione di precompressione che lo induce ad una diminuzione di indice dei vuoti. Tale forzatura contribuisce ad anticipare anche eventuali cedimenti futuri, compensandoli.

La forza di espansione generata dalla reazione chimica diminuisce con l'aumentare del grado di espansione della resina stessa. Ciò significa che il grado di espansione si auto-regola in funzione del confinamento. Per semplificare il processo, si può pensare di schematizzare il sistema terreno-resina Uretek **GEOPLUS®** come due molle interagenti fra loro: la molla 'Geoplus' e la molla 'terreno'.

All'uscita del tubo di iniezione la molla 'Geoplus' è completamente contratta. Inizia l'espansione a scapito del terreno ospitante. Il sistema sarà in equilibrio quando la molla 'Geoplus' avrà raggiunto un grado di espansione tale che la forza da lei generata risulti uguale alla reazione opposta dal terreno compresso. A questo punto il sistema è in equilibrio e viene consolidato dal cambiamento di stato della miscela che diviene solida. La resistenza offerta dalla resina solida è superiore alla reazione del terreno compresso, quindi il sistema rimane stabile nel tempo.

Tale processo avviene in un tempo molto rapido e in maniera puntuale nell'ammasso di terreno. Queste due caratteristiche fanno ragionevolmente pensare ad un'azione dinamica che induce sovrappressioni interstiziali molto basse e ne favorisce la dissipazione in tempi molto rapidi.

## **c. Tempo di reazione**

La reazione chimica che induce l'espansione della resina e il cambiamento di stato da liquido a solido si conclude molto rapidamente. Ciò comporta una serie di vantaggi:

➤ il confinamento della resina in un intorno di massimo m 2,00 dal punto di iniezione.

Da questa caratteristica ne deriva:

- l'utilizzo completo senza sprechi del materiale iniettato;
- la possibilità di evitare danni causati da infiltrazioni non controllate di materiale nelle zone circostanti;
- la precisa localizzazione del volume di terreno trattato;

➤ il trasferimento dell'energia chimica di reazione al terreno con un'azione 'dinamica'.

Tale proprietà fa supporre una similitudine con le azioni dinamiche di costipamento prodotte da mezzi meccanici sui rilevati stradali e ferroviari;

- tempi di lavorazione molto rapidi, nell'ordine di circa 10 metri lineari di fondazione al giorno per ogni squadra di intervento supponendo di trattare il terreno fino alla profondità di tre metri dal piano di appoggio della fondazione. Ovviamente, per esigenze di maggiore rapidità è possibile prevedere l'utilizzo di più squadre;
- la rilevazione immediata dell'esito dell'intervento. L'iniezione di resina è monitorata da rilevatori laser ancorati alla struttura soprastante e prosegue fino a quando si osserva un inizio di sollevamento della struttura stessa: ciò indica che il terreno di fondazione ha raggiunto un grado di compressione ed addensamento tali da renderlo capace di resistere non solo alle tensioni statiche generate dalla struttura ma anche alle tensioni dinamiche, molto superiori alle statiche, che si sviluppano all'atto del sollevamento. La rapidità dell'espansione della resina e della sua definitiva stabilizzazione in forma solida permettono altresì di controllare immediatamente con prove geotecniche in situ la buona riuscita dell'intervento.
- la controllabilità del processo attraverso rilevatori laser posti sulla struttura in modo da evidenziarne i movimenti e garantire la sicurezza dell'intervento.

#### **d. Grado di espansione**

Il grado di espansione della miscela Uretek **GEOPLUS®** varia da 2 a 20 volte in funzione della resistenza incontrata e quindi 1 dm<sup>3</sup> di miscela può generare un composto solido di volume variabile da 2 a 20 dm<sup>3</sup>. Tale caratteristica permette:

- il riempimento di eventuali vuoti presenti nel terreno di fondazione o all'interfaccia fra terreno e piano di posa della fondazione;
- la compensazione immediata del volume perso dal terreno costipato dall'azione espandente della resina.

#### **e. Modulo di elasticità**

Il modulo elastico della miscela Uretek **GEOPLUS®** è paragonabile a quello di un terreno di fondazione variando tra 10 e 80 MPa a seconda della densità raggiunta.

La letteratura geotecnica indica che un carico indotto al terreno da una fondazione si distribuisce in profondità diminuendo di intensità ed aumentando di impronta.

La teoria di Bussinesq insegna come calcolare tale variazione di stati tensionali ad una profondità generica 'z'.

Nel caso di fondazioni profonde in calcestruzzo o acciaio, più rigide del terreno ospitante, le tensioni vengono per la maggior parte trasferite in profondità.

Un terreno trattato con resina Uretek **GEOPLUS®** non varia le sue caratteristiche di rigidità e quindi la distribuzione degli sforzi negli strati profondi non varia con l'esecuzione dell'intervento.



Pertanto, anche se il volume trattato non coincide con tutto il volume interessato dalla diffusione dei carichi, ma solo con la parte maggiormente soggetta alle tensioni, gli strati di terreno sottostanti che risentivano limitatamente dell'azione dei carichi in superficie prima dell'intervento Uretek, rimangono interessati in maniera uguale dopo l'intervento.

È sufficiente, quindi, trattare il volume di Bussinesq che ha risentito e risente delle maggiori tensioni indotte dal carico dell'edificio.

Non implicando una redistribuzione significativa delle tensioni nel terreno, il trattamento Uretek Deep Injections è proposto anche per interventi parziali o localizzati.

## **f. Resistenza alle sollecitazioni**

Le proprietà meccaniche della resina Uretek **GEOPLUS®** sono state studiate presso i laboratori dell'Università degli Studi di Padova. Di seguito viene riportata la relazione descrittiva redatta dai Responsabili della Ricerca.

Per quanto riguarda la resistenza alla compressione, il materiale risulta avere un ottimo comportamento in relazione agli scopi per cui è impiegato.

Sottolineiamo che i risultati ottenuti si riferiscono alla resistenza di collasso dei provini e non alla vera e propria resistenza di rottura. Infatti, al termine della prova e dopo lo scarico, i provini hanno riassunto la posizione originaria.

Per l'utilizzo per il quale viene impiegata la resina Uretek **GEOPLUS®**, è sempre verificato che la resistenza a compressione è maggiore della forza di espansione sviluppata a parità di grado di espansione. Tale proprietà è fondamentale per la non reversibilità del processo Uretek Deep Injections.

Anche la resistenza a trazione e a flessione sono risultate più che soddisfacenti e benché tali caratteristiche non appaiano particolarmente rilevanti negli interventi Uretek Deep Injections, si può ritenere che contribuiscano al miglioramento del terreno trattato.

## **g. Stabilità nel tempo**

Per ogni lavoro svolto Uretek fornisce una garanzia di stabilità del prodotto consolidato per un periodo di 10 anni. Data la natura del composto, però, la durata è sicuramente molto superiore al periodo suddetto. Lo testimonia il fatto che le prime applicazioni Uretek risalgono al 1975 e che non risultano variazioni significative nelle caratteristiche meccaniche e volumetriche della resina impiegata.

La resina **GEOPLUS®** rappresenta un'evoluzione delle resine impiegate allora e mantiene questa fondamentale proprietà.



## **h. Coefficiente di permeabilità**

La resina Uretek **GEOPPLUS®** possiede un coefficiente di permeabilità di  $10^{-8}$  m/s.

Tale valore, se confrontato con la permeabilità dei terreni, è simile a quello delle argille ed è molto inferiore a quello delle sabbie e delle ghiaie.

Una volta iniettata, la resina riduce notevolmente la permeabilità dell'ammasso granulare evitando successive azioni di dilavamento. Il dilavamento, infatti, è funzione della quantità di acqua di filtrazione e della velocità di scorrimento.

## **i. Peso di volume**

La miscela Uretek **GEOPPLUS®** ha un peso di volume variabile con il grado di espansione. L'evidenza empirica mostra che una volta consolidata nel terreno di fondazione ha un peso di volume variabile da 150 a 300 kg/m<sup>3</sup>. Tale valore è circa 6-12 volte inferiore al peso di volume di un terreno e 3-6 volte inferiore all'acqua.

Il trattamento Uretek Deep Injections, quindi, non aumenta il carico del terreno trattato.

## **j. Stabilità della reazione**

La reazione chimica della resina Uretek **GEOPPLUS®** ha raggiunto il massimo livello di stabilità. Infatti, a differenza delle resine utilizzate fino ad ora e come si potrà verificare confrontando la nostra precedente documentazione, le caratteristiche della resina Uretek **GEOPPLUS®** sono assai meno variabili per una data densità, portando ad una più precisa ed accurata previsione delle proprietà assunte dalla resina una volta iniettata nel terreno.

### **3. PARTE SECONDA**

#### **a. Premessa**

La resina URETEK GEOPLUS è stata sottoposta ad alcune prove di laboratorio al fine di valutarne le principali caratteristiche fisiche e meccaniche. In particolare sono state eseguite:

- prove di compressione verticale con espansione laterale libera
- prove di espansione verticale in condizioni edometriche
- prove di trazione semplice
- prove di flessione

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio geotecnico e il laboratorio di ingegneria sanitaria-ambientale del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (IMAGE) dell'Università di Padova, e nel laboratorio materiali del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova.

Sono state prese come riferimento le seguenti normative e metodiche:

- Norma UNI 6350-68 "Materie plastiche cellulari rigide – Determinazione delle caratteristiche a compressione"
- Norma UNI 8071 "Materie plastiche cellulari rigide – Determinazione delle caratteristiche a trazione"
- Norma UNI 7031-72 "Materie plastiche cellulari rigide – Determinazione del carico a flessione"

Nel seguito vengono presentati i risultati delle sperimentazioni e alcune elaborazioni che consentono di descrivere più compiutamente il reale comportamento della resina.

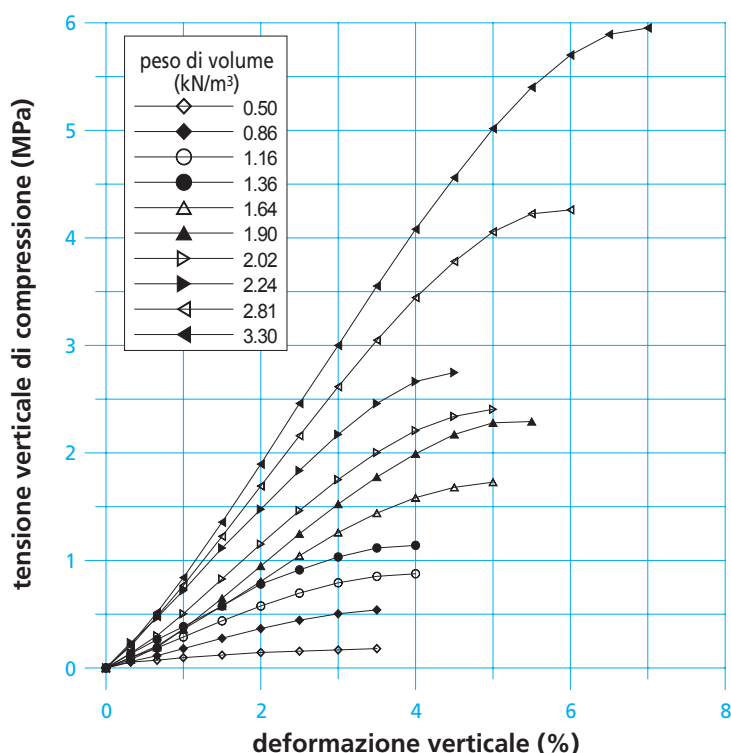
#### **b. Prove di compressione verticale con espansione laterale libera**

La sperimentazione è stata condotta presso il Laboratorio Geotecnico del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova, facendo riferimento alla Norma UNI 6350-68.

Per l'applicazione del carico verticale è stata utilizzata una pressa capace di mantenere nel corso della prova una velocità di avanzamento prefissata, costante e pari a 0.5 mm/minuto.

La sperimentazione è stata condotta su provini di forma cubica, aventi lato di 50 mm peso di volume compreso tra 0.5 kN/m<sup>3</sup> e 3.3 kN/m<sup>3</sup>. Sono stati sottoposti a prova 5 provini per ciascuna densità indagata. La massima resistenza a compressione è stata definita come il rapporto tra il carico massimo riscontrato durante l'esecuzione della prova e l'area della superficie iniziale della sezione normale alla direzione del carico.

In Figura 1 sono riportati gli andamenti della tensione verticale di compressione in funzione della deformazione verticale del provino e della densità iniziale della miscela. Nella figura sono riportate le curve sperimentali ricavate nel corso di n.10 prove condotte su provini di miscela differenti. La miscela presenta una resistenza alla compressione semplice fortemente dipendente dalla sua densità iniziale. La condizione di massima resistenza è risultata caratterizzata non da una rottura vera e propria del provino, ma da una perdita di allineamento tra asse verticale del provino e asse del pistone di carico che rendeva impossibile la continuazione della prova; il provino si inclinava infatti verso le zone di resistenza inferiore, non essendo al suo interno perfettamente omogeneo.



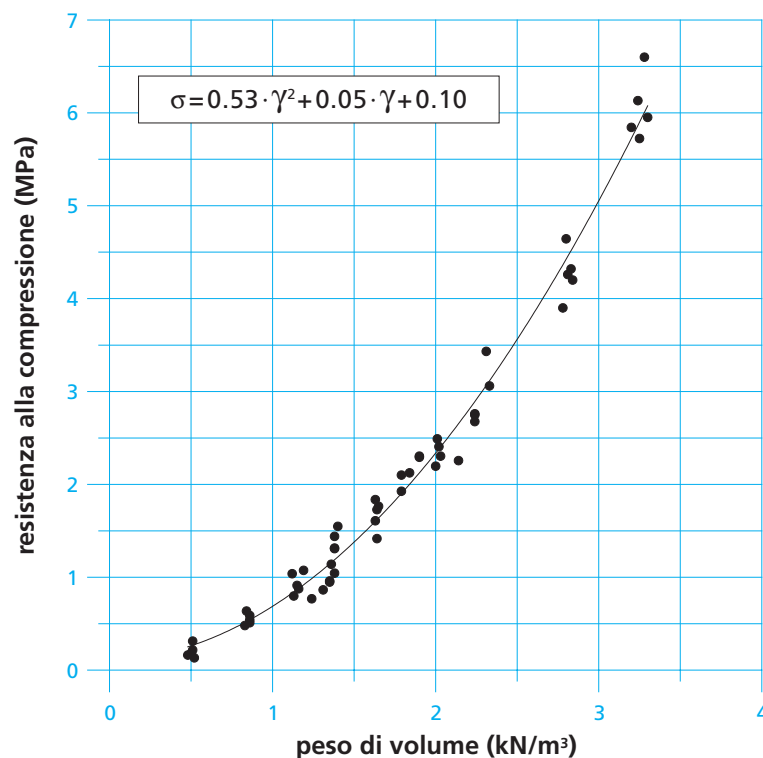
**Figura 1** – Prova di compressione verticale con espansione laterale libera: andamento medio della tensione verticale in funzione della deformazione verticale e del peso di volume unitario del provino

Eliminando la forza verticale applicata il provino riassume le dimensioni geometriche e la propria forma cubica iniziali. Il materiale, pur in presenza di alcune evidenti eterogeneità e almeno nel campo tensionale esaminato, ha presentato un buon grado di isotropia, dato che i valori di resistenza a compressione determinati sono risultati indipendenti dalla disposizione del provino cubico sulla pressa.

## DEFINIZIONI

- **PESO DI VOLUME:** rapporto tra il peso totale e il volume totale del provino (in kN/m³);
- **DEFORMAZIONE VERTICALE:** rapporto percentuale tra abbassamento verticale e altezza iniziale del provino (in %)
- **TENSIONE VERTICALE:** rapporto tra la forza verticale applicata e l'area della superficie iniziale della sezione normale alla direzione del carico (in MPa)
- **RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE:** rapporto tra la forza verticale applicata massima e l'area della superficie iniziale della sezione normale alla direzione del carico (in MPa)
- **MODULO DI ELASTICITA':** rapporto tra tensione verticale e deformazione verticale registrati in corrispondenza di una deformazione verticale di 0.33% (E1), di 0.67% (E2) e di 1% (E3), (in MPa)

All'interno del campo di pesi di volumi  $\gamma$  indagato, tra 0.5 kN/m<sup>3</sup> e 3.3 kN/m<sup>3</sup>, sono state determinate resistenze medie alla compressione semplice variabili tra 0.2 MPa e 6 MPa. I valori massimi di resistenza sono stati conseguiti in corrispondenza di deformazioni verticali  $\varepsilon$  comprese tra 3.5% (provini di densità iniziale modesta) e 7% (provini di densità iniziale elevata). I valori della resistenza a compressione più elevati, determinati sottoponendo a compressione i provini maggiormente densi, sono caratteristici di rocce tenere e sono ben superiori a quelli dei terreni sciolti.

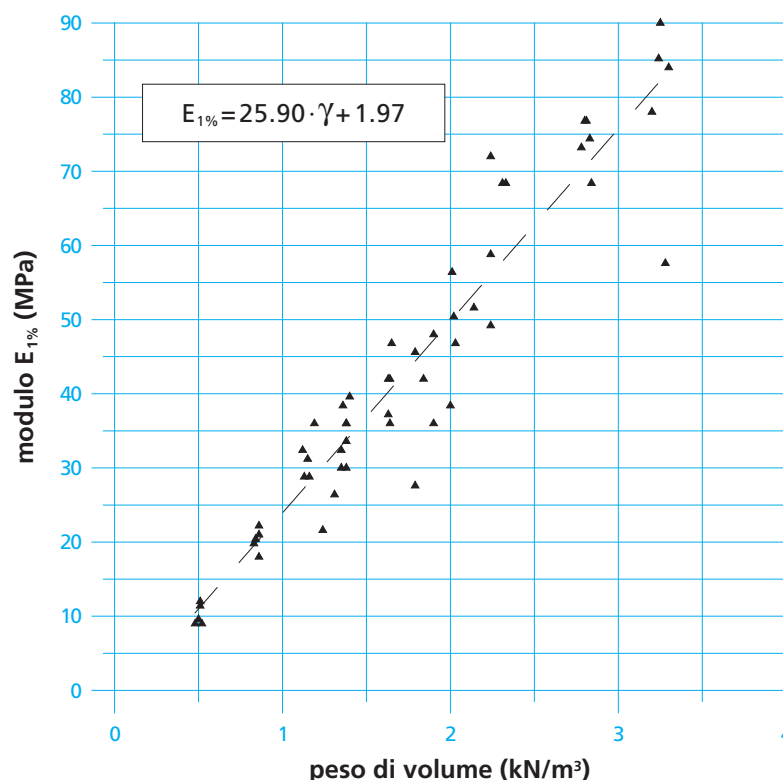


**Figura 2** – Prova di compressione verticale con espansione laterale libera: andamento della tensione verticale in funzione della deformazione verticale e del peso di volume unitario del provino

La Figura 2 riporta i valori della resistenza alla compressione determinati su n.55 provini di densità differente in funzione del peso di volume unitario della miscela.

Da essa si osserva come la resistenza alla compressione aumenti con il peso di volume della miscela. La dipendenza della resistenza alla compressione  $\sigma$  (MPa) dal peso di volume  $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) è stata espressa mediante l'equazione di una parabola di 2° grado di equazione:

$$\sigma = 0.53 \cdot \gamma^2 + 0.05 \cdot \gamma + 0.10$$



**Figura 3** – Prova di compressione verticale con espansione laterale libera: andamento del modulo di elasticità determinato per una deformazione assiale dell'1% in funzione del peso di volume del provino

Dalle curve sperimentali "deformazione verticale  $\varepsilon$  - tensione verticale di compressione  $\sigma$ " sono stati determinati i moduli di elasticità iniziali  $E$ , considerando in successione deformazioni verticali di riferimento  $\varepsilon$  pari a 0.33%, 0.67% e 1%. Sono così stati determinati i moduli  $E_{0.33\%}$ ,  $E_{0.67\%}$ ,  $E_{1\%}$ , ottenendo i seguenti intervalli di valori medi dei moduli  $E$ :

$$E_{0.33\%} = 15 \div 70 \text{ MPa} \quad E_{0.67\%} = 10 \div 75 \text{ MPa} \quad E_{1\%} = 10 \div 85 \text{ MPa}$$

Nella Figura 3 è riportato l'andamento del modulo di elasticità  $E_{1\%}$  in funzione del peso di volume del provino. La dipendenza del modulo  $E_{1\%}$  (MPa) dal peso di volume  $\gamma$  ( $\text{kN/m}^3$ ) è stata espressa mediante l'equazione di una retta di equazione:

$$E_{1\%} = 25.90 \cdot \gamma + 1.97$$

Nella Tabella 1 vengono riportati a titolo di confronto i campi di valori del modulo di elasticità  $E$  per diversi tipi di terreno. Si osserva come la miscela URETEK GEOPLUS assuma valori del modulo  $E$  confrontabili con quelli dei terreni sciolti. Ciò significa che in un terreno sottoposto a trattamento con miscela URETEK GEOPLUS la rigidezza media dell'ammasso non subirà variazioni significative.

In conclusione si può affermare che la forte dipendenza della resistenza alla compressione e del modulo di elasticità dalla densità iniziale della miscela, e la comparabilità dei moduli di elasticità della miscela con quelli propri dei terreni sciolti, costituiscono proprietà di grande interesse.

Infatti essendo la densità della miscela, utilizzata nelle applicazioni professionali, regolabile attraverso i tempi di iniezione e la quantità di miscela iniettata, sembra possibile giungere a codificare le operazioni di cantiere in virtù delle proprietà meccaniche che si vogliono conseguire nell'ammasso trattato. Il tutto senza alterare la rigidezza media complessiva dello stesso ammasso, che comporterebbe ridistribuzioni anomale delle tensioni applicate.

**Tabella 1** – Moduli di elasticità iniziale di diversi tipi di terreno sciolti (Das, Principles of Foundation Engineering, 2nd edition, PWS –Kent, Boston, Usa, 1990, pag. 161)

Tipo di terreno	E (MPa)	E (MPa) URETEK GEOPLUS®
Sabbia sciolta	10÷25	15÷85
Sabbia di densità media	15÷30	
Sabbia densa	35÷55	
Sabbia limosa	10÷20	
Sabbia e ghiaia	70÷180	
Argilla molle	2÷5	
Argilla di media consistenza	5÷10	
Argilla dura	10÷25	

### c. Prove di trazione

La sperimentazione è stata condotta presso il Laboratorio Materiali del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova.

Si è presa come riferimento la Norma UNI 8071, eccezion fatta per la forma della sezione trasversale dei provini, circolare e non rettangolare. Sono stati utilizzati provini di sezione trasversale variabile lungo l'asse, con rastremazione al centro del provino.

Il diametro della sezione trasversale ridotta, al centro del provino, risultava essere pari a 25 mm +/- 0.5 mm. Il diametro della sezione trasversale allargata, alle due estremità del provino, risultava essere pari a 40 mm.

## DEFINIZIONI

- **PESO DI VOLUME:** rapporto tra il peso totale e il volume totale del provino (in kN/m<sup>3</sup>);
- **TENSIONE DI TRAZIONE:** rapporto tra la forza verticale di trazione T applicata e l'area della superficie iniziale (diametro  $\phi$ ) della sezione normale alla direzione del carico, misurata in corrispondenza della zona rastremata (in MPa)
- **RESISTENZA A TRAZIONE:** rapporto tra la forza verticale di trazione T MASSIMA applicata e l'area della superficie iniziale (diametro  $\phi$ ) della sezione normale alla direzione del carico, misurata in corrispondenza della zona rastremata (in MPa)

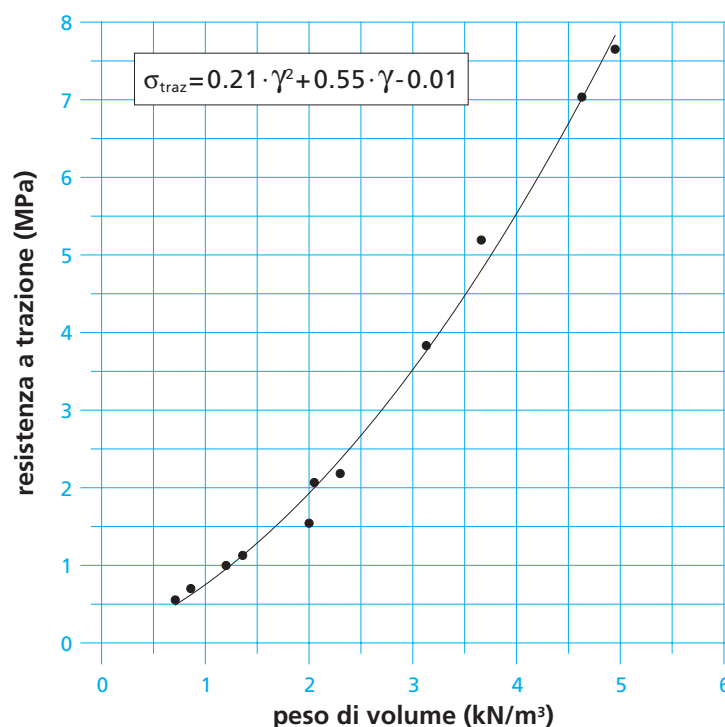
È stata utilizzata un'apparecchiatura di prova, per l'applicazione del carico verticale di trazione, capace di mantenere nel corso della prova una velocità di avanzamento costante pari a 5 mm/minuto. Sono stati utilizzati n.14 provini di densità variabile. È stato indagato un campo di pesi di volume compreso tra 0.7 kN/m<sup>3</sup> e 5 kN/m<sup>3</sup>.

La resistenza a trazione, come quella a compressione, ha evidenziato una sua forte dipendenza dalla densità della miscela, aumentando con la densità iniziale della miscela stessa. I risultati sperimentali riportati nella Figura 4 presentano resistenze a trazione  $\sigma_{\text{traz}}$  comprese tra 0.5 MPa e 8 MPa in corrispondenza di pesi di volume unitari compresi tra 0.7 kN/m<sup>3</sup> e 5 kN/m<sup>3</sup>.

La dipendenza dalla resistenza a trazione  $\sigma_{\text{traz}}$  (MPa) dal peso di volume  $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) è stata espressa mediante l'equazione di una parabola di 2° grado di equazione:

$$\sigma_{\text{traz}} = 0.21 \cdot \gamma^2 + 0.55 \cdot \gamma - 0.01$$

Per le attuali applicazioni previste da Uretek la resistenza a trazione della miscela sembra rivestire una minore rilevanza rispetto alle altre proprietà meccaniche indagate. Tuttavia in vista di nuove applicazioni tale parametro può assumere importanza perché consente di fornire o incrementare un tipo di resistenza (quella a trazione) al terreno trattato.



**Figura 4** – Prova di trazione semplice: andamento della resistenza a trazione in funzione del peso di volume della miscela



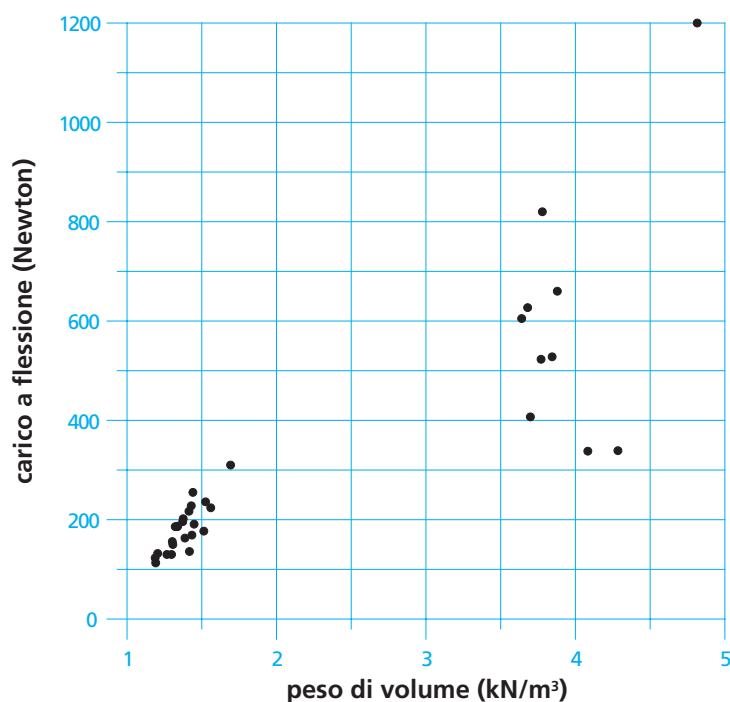
#### **d. Prove di espansione in condizioni edometriche**

(La resina Uretek Geoplus possiede una forza massima di espansione in condizioni edometriche pari a 10.000 kPa. Non ci è possibile trascrivere in maniera integrale i risultati delle prove di espansione della resina Uretek Geoplus poiché facenti parte integrante del know how Uretek e oggetto di brevetto industriale.)

#### **e. Prove a flessione**

La sperimentazione è stata condotta presso il laboratorio del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova. Si è presa come riferimento la Norma UNI 7031-72. È stata utilizzata una macchina per prove a flessione in grado di operare ad una prefissata e costante velocità di spostamento del coltello di applicazione del carico. L'apparecchiatura di prova presenta un coltello di applicazione del carico e due appoggi fissi distanti 80 mm. La sezione trasversale dei provini esaminati presentava forma rettangolare di larghezza di 25 mm (+/- 0.4 mm) e altezza 20 mm (+/- 0.4 mm).

Sono stati sottoposti a prova di flessione n.35 provini di densità variabile. È stato indagato un campo di pesi di volume compreso tra 1.19 kN/m<sup>3</sup> e 4.81 kN/m<sup>3</sup>. Il carico a flessione è stato assunto pari al valore del carico applicato al momento della rottura.



**Figura 7** – Prova di carico a flessione

Nella Figura 7 sono riportati i valori del carico a flessione espressi in funzione del peso di volume della miscela. Si osserva come nei casi precedenti che all'aumentare della densità della miscela anche il carico di flessione incrementa il suo valore.

#### **DEFINIZIONI**

- > **PESO DI VOLUME:** rapporto tra il peso totale e il volume totale del provino (in kN/m<sup>3</sup>);
- > **CARICO A FLESSIONE:** carico applicato sulla mezzzeria del provino al momento della rottura (in N)

Rispetto alle altre determinazioni sperimentali, si osserva una maggiore dispersione dei dati, in corrispondenza alle densità di prova più elevate. Si ritiene che tale circostanza sia legata all'influenza di una non perfetta omogeneità dei provini sul tipo di determinazione in esame.

Per le attuali applicazioni previste da Uretek la resistenza a flessione della miscela sembra rivestire una minore rilevanza rispetto alle altre proprietà meccaniche indagate. Tuttavia in vista di nuove applicazioni tale parametro può assumere importanza perché consente di fornire o incrementare un tipo di resistenza (quella a flessione) al terreno trattato.

## **f. Osservazioni conclusive**

Al termine di questa prima fase di sperimentazione di laboratorio condotta su provini di miscela URETEK GEOPLUS è possibile sottolineare come tutte le proprietà meccaniche indagate (resistenza a compressione, a trazione, a flessione) abbiano registrato un miglioramento nei propri valori massimi all'aumentare della densità della miscela.

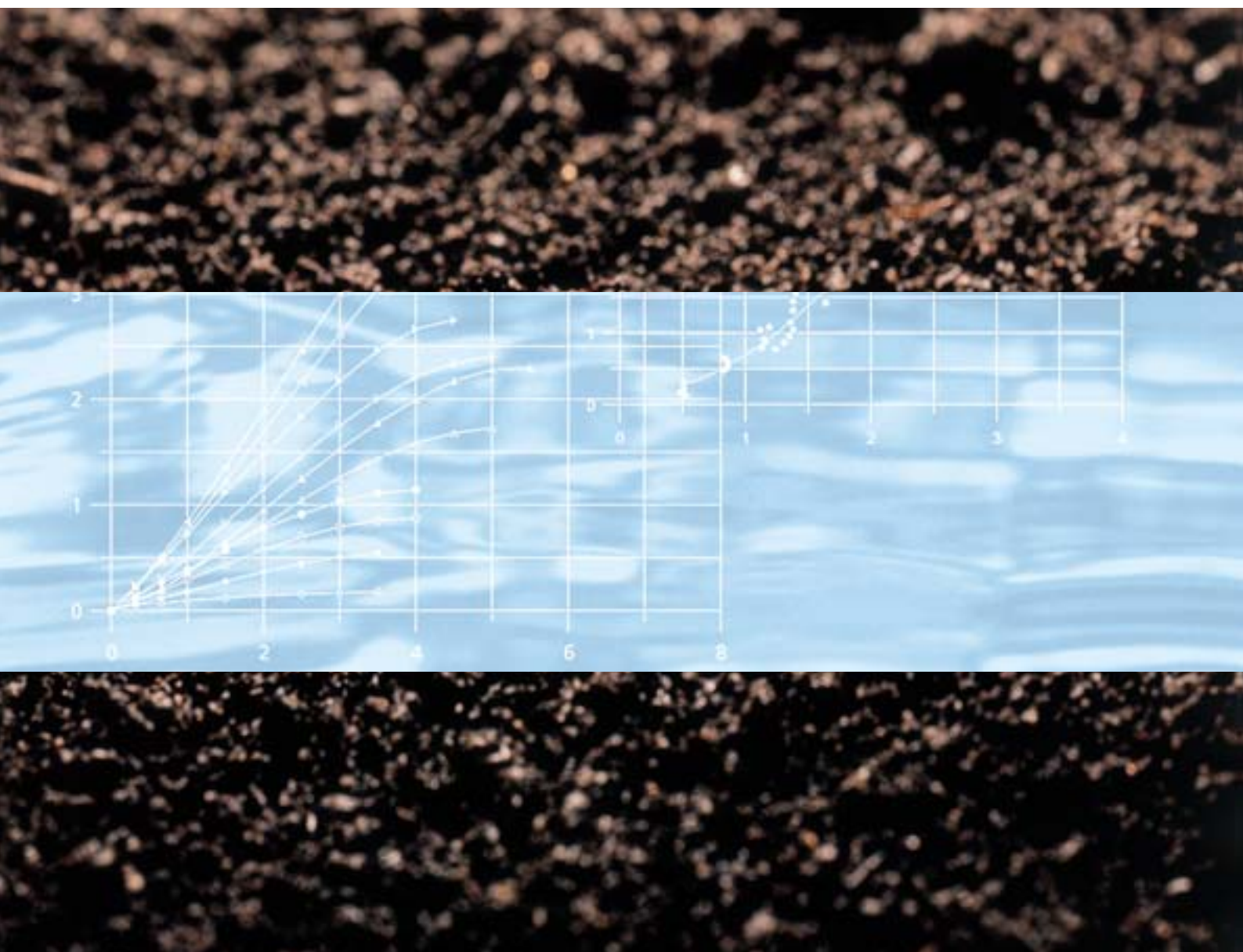
Un altro aspetto che merita considerazione è costituito dal fatto che la miscela iniettata produce nel terreno un incremento di resistenza complessiva senza alterarne in maniera rilevante la rigidità.

Relativamente alle proprietà a trazione e a flessione della miscela si è sottolineato come un terreno sciolto sia pressoché privo di entrambe queste caratteristiche e come un'inezione di miscela possa fornire o aumentare la resistenza a trazione e a flessione dell'ammasso sottoposto a consolidamento con miscela URETEK GEOPLUS.

La metodologia sperimentale utilizzata per l'esecuzione della prova di espansione in condizioni edometriche ed i risultati ottenuti costituiscono, al momento, documentazione riservata in quanto oggetto di brevetto industriale. Il materiale possiede una forza massima di espansione in condizioni edometriche pari a circa 10 MPa, che rappresenta un valore orientativo della forza massima di compressione che la miscela può produrre nel terreno oggetto delle operazioni di consolidamento con iniezioni di miscela URETEK GEOPLUS.

# URETEK GEOPLUS®

**La superconsolidante da 10.000 kPa**



**URETEK®**  
**SISTEMI ESPANDENTI**  
NEL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI

Numero Verde  
**800-323999**