

# Sul consolidamento di terreni del Napoletano mediante iniezioni di miscele a basso costo

L. ESPOSITO\*

**SOMMARIO:** Per consentire il passaggio della galleria del nuovo collettore di Napoli orientale al di sotto di due palazzine, si è reso necessario consolidare una fascia di terreno pozzolanico posto al di sopra della calotta.

L'intervento di consolidamento, che è stato preceduto da una prova di iniezione, è stato realizzato per mezzo di iniezioni di una miscela ternaria costituita da acqua cemento e bentonite.

Vengono di seguito discusse le problematiche di questo intervento di consolidamento, inusuale per quanto riguarda il tipo di miscela che tra l'altro è di costo relativamente contenuto.

## 1. Premessa

Nell'ambito della costruzione della galleria di un collettore fognario nella periferia orientale della città di Napoli, si è reso necessario il sottopasso di due edifici. Poiché la distanza tra estradosso della calotta ed il piano di posa presunto delle fondazioni era piuttosto modesta, circa 10 metri, ed essendo i terreni interessati completamente sciolti si è deciso il loro consolidamento al fine di evitare danni ai fabbricati sovrastanti durante la fase di scavo della galleria [BAKER *et al.*, 1981].

Prima della scelta del tipo di intervento più adatto si è decisa la esecuzione di una prova di iniezione da condurre in una zona adiacente a quella da trattare. Inoltre in un'area poco distante sono state eseguite delle prove di permeabilità per cui si disponeva anche di valori attendibili del coefficiente di permeabilità.

Un secondo intervento si rendeva necessario per tenere attiva una strada comunale. L'interesse di questo secondo intervento risiede, tra l'altro, nel ridottissimo spessore della copertura che presentava un valore minimo di circa 3,0 metri.

Lo scopo del presente lavoro è quello di discutere i problemi posti da questi interventi di consolidamento e dei risultati ottenuti con il tipo di tecnica di iniezione e di miscela prescelti; classica per quanto riguarda la prima ed inusuale per quanto riguarda la seconda.

Infatti la tecnica di iniezione adottata è quella del tubo a «manchette» o valvolato, mentre la miscela adoperata è di tipo ternario costituita da acqua, cemento e bentonite.

Questo tipo di miscela ha il pregio di un costo contenuto ed è dotata di una buona rigidità ed iniettabilità [CAMBEFORT, 1967; PAPADIKIS, 1955, 1959].

\* Luigi Esposito, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Calabria, Arcavacata di Rende-Cosenza.

## 2. Stratigrafia del sito e caratteristiche dei terreni

Nella figura 1 è riportata una sezione stratigrafica schematica, nella stessa figura è indicata anche la posizione relativa tra galleria e piano di posa delle fondazioni dei fabbricati.

In ogni caso la stratigrafia può così riassumersi:

- dal piano campagna fino a 16 metri di profondità si è rilevata la presenza di un banco di pozzolana con intercalazioni di pomice di piccole dimensioni (al più un centimetro). In superficie la pozzolana si presenta piuttosto rimaneggiata;

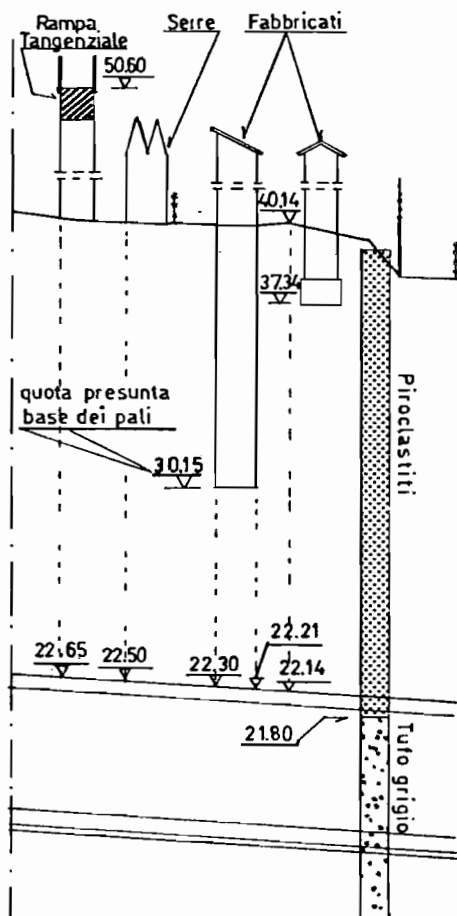


Fig. 1. - Stratigrafia del sito e posizione relativa tra il piano presunto di fondazione e la galleria.

- dai 16 metri e fino al termine della zona esplorata si è rinvenuta una formazione di tufo grigio campano che per i primi metri si presenta ossidato ed alterato.

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle formazioni interessate sono state condotte sia prove in sito che di laboratorio, i valori medi ottenuti sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. - Caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni

|                      | Contenuto d'acqua W % | Grado di saturazione S % | Peso della unità di volume di volume Kh/m <sup>3</sup> | Angolo di attrito Ø' gradi | Coesione drenata KPa |
|----------------------|-----------------------|--------------------------|--|----------------------------|----------------------|
| Piroclastiti sciolte | 26                    | 45                       | 13,4   | 31                         | 108                  |
| Tufo grigio campano  | 30                    | 52                       | 17,5   | 40                         | 152                  |

Le prove di permeabilità eseguite hanno fornito un valore del coefficiente di permeabilità di  $4 \times 10^{-4}$  cm./sec. Questo valore del coefficiente di permeabilità non deve sorprendere perché i terreni interessati presentano sempre dei valori del grado di saturazione in sito piuttosto bassi (compresi tra il 40 ed il 60%).

Sulla base di tutti i risultati delle prove in sito e di laboratorio e nell'intento di un contenimento dei costi si è deciso l'adozione di una miscela di tipo stabile costituita da acqua, cemento e bentonite. Il consolidamento vero e proprio è stato preceduto da una prova di iniezione le cui modalità esecutive ed i cui risultati verranno discussi nel paragrafo successivo.

### 3. Prova di iniezione

La prova di iniezione si è resa necessaria per stabilire la composizione più idonea della miscela, per rilevare le pressioni di iniezione e i relativi raggi di azione e le caratteristiche dei terreni a trattamento avvenuto. Sono stati quindi adoperati due tipi diversi di miscele facendo variare i rapporti tra cemento ed acqua, per cui si sono ottenute anche diverse densità.

Le miscele, denominate 1 e 2, sono risultate così costituite (per ogni mc. di miscela):

| componente | miscela 1 | miscela 2 |
|------------|-----------|-----------|
| acqua      | kg. 100   | kg. 100   |
| cemento    | kg. 25    | kg. 33    |
| bentonite  | kg. 0,750 | kg. 0,750 |

Nella prima fase di iniezione è stata usata sempre la miscela 1, mentre nelle fasi successive, specie per le valvole che avevano segnalato un maggiore assorbimento, si è adoperata la miscela 2.

Nelle figure 2 e 3 sono riportati lo schema della

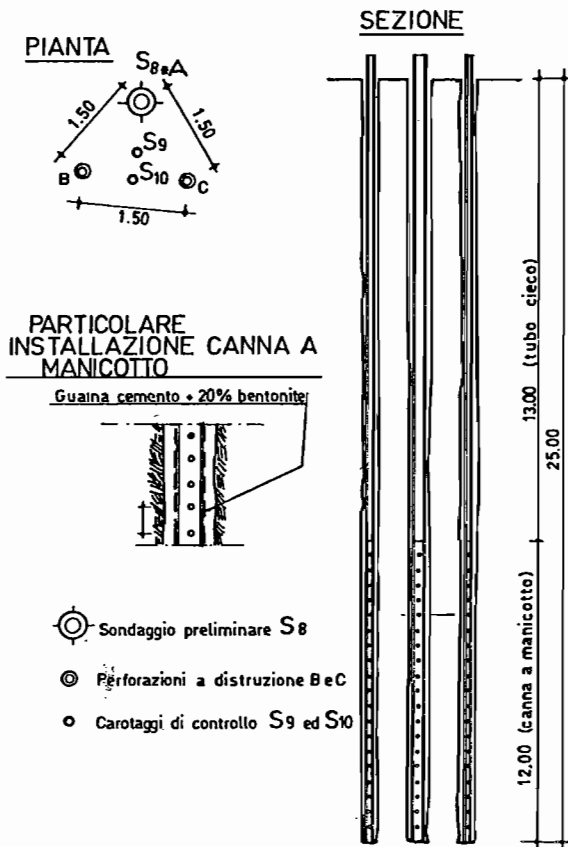


Fig. 2. - Schema della prova di iniezione.

| Quote Relative | Quote Assolute | STRATIGRAFIA                                    | SISTEMA di perforazione<br>diametro Campioni intatti | Sondaggio 8      |                |
|----------------|----------------|---|--|------------------|----------------|
|                |                |   |  | H <sub>2</sub> O | PIEZOMETRO     |
|                |                |   |  |                  | prof.          |
| 0,80           |                | Copertura vegetale                              | COLAZIONE<br>Ø 131mm - Ø 86mm                        |                  | non installato |
| 1,80           |                | Pozzolana                                       |  |                  |                |
| 2,80           |                | Pomici e sabbia                                 |  |                  |                |
| 4,50           |                | Sabbie fini e pomici                            |  |                  |                |
| 5,20           |                | Pozzolana, pomici, ceneri                       |  |                  |                |
| 7,00           |                | Sabbie fini, pomici e materiali sciolti         |  |                  |                |
| 8,00           |                | Pomici e lapilli pomici frammentati a sabbie    |  |                  |                |
| 13,50          |                | Pozzolana sabbiosa con pomici                   |  |                  |                |
| 14,00          |                | Livello pomici                                  |  |                  |                |
| 17,00          |                | Sabbia con numerose pomici e scorie             |  |                  |                |
| 19,80          |                | Pomici, scorie ed inclusi lavici                |  |                  |                |
| 20,30          |                | Pozzolana e pomici                              |  |                  |                |
| 22,00          |                | Sabbie e ceneri vulcaniche                      |  |                  |                |
| 23,50          |                | Pomici, lapilli e scorie                        |  |                  |                |
| 25,20          |                | Pomici lapilli e scorie frammentate a pozzolana |  |                  |                |

Fig. 3. - dettaglio stratigrafico della zona trattata.

prova ed il dettaglio stratigrafico della zona in cui è stata condotta la prova.

Nel diagramma di figura 4 sono riportati gli assorbimenti per ciascuno dei tre fori (espressi in litri di miscela) e gli assorbimenti totali della terna di prova. È da tenere presente che i tubi valvolati sono stati installati a partire da 13 metri di profondità e fino ai 25 metri, pertanto hanno una lunghezza complessiva di 12 metri.

Dai diagrammi di figura 4 si rileva che nella fascia dai 13 ai 19 metri gli assorbimenti sono stati soddisfacenti per i fori B e C, mentre sono risultati molto bassi per il foro A.

Nella fascia dai 22 ai 25 metri gli assorbimenti sono risultati bassi per i fori B e C e praticamente nulli per il foro A. Decorso il tempo necessario per la maturazione delle miscele sono stati eseguiti due sondaggi di controllo con carotaggio continuo.

Per ottenere carote e campioni significativi i due fori sono stati eseguiti con carotiere doppio tipo T<sub>2</sub> ed un campionatore a doppio tubo tipo DENISON MAZIER.

Nei diagrammi di figura 4 unitamente ai valori degli assorbimenti sono riportati i valori delle percentuali di carotaggio ed i valori degli R.Q.D. ottenuti.

Per il sondaggio S<sub>9</sub> fino ai 15,5 metri di profondità i valori di R.Q.D. sono nulli, mentre dai 15,5 ai 17,5 metri sono pari al 76%. Per il sondaggio S<sub>10</sub> nel primo tratto e cioè dai 13 ai 15 metri i valori di

R.Q.D. sono bassi e pari al 10%, mentre nel secondo tratto e cioè dai 15,00 ai 18,20 metri i valori sono molto più alti e pari al 60%.

Per la zona inferiore e cioè dai 18,50 metri circa e fino ai 25,00 le iniezioni hanno avuto effetti soltanto nel tratto compreso tra i 22 ed i 25 metri di profondità con valori di R.Q.D. pari al 42% per l'S<sub>9</sub> e del 32% per l'S<sub>10</sub>. I bassi valori di R.Q.D. rilevati per l'ultimo tratto stanno ad indicare che il tufo grigio è comunque poco iniettabile con questo tipo di miscela come era da attendersi. La prova di iniezione ha permesso di stabilire che la fascia di terreno che più interessava, e cioè quella compresa tra i 15 ed i 18 metri, ha risposto bene al tipo di trattamento.

Si è infatti passato da un materiale sciolto ad uno lapideo di media consistenza.

Si è inoltre constatata l'importanza della qualità della guaina di cementazione che viene realizzata intorno ai tubi a «manchettes» sul buon esito dell'iniezione. Infatti i bassi valori degli assorbimenti del foro A che coincide con il sondaggio S<sub>8</sub>, sono dovuti proprio al notevole spessore della guaina. Infatti trattandosi di un foro di sondaggio a carotaggio continuo, aveva un diametro maggiore dei fori B e C. Infine dall'esame delle carote prelevate dai due carotaggi di controllo è risultato evidente che in fase di iniezione si era verificato il fenomeno del «claquage» [CAMBEFORT, 1967].

Questo fenomeno che si verifica in tutti i tratta-

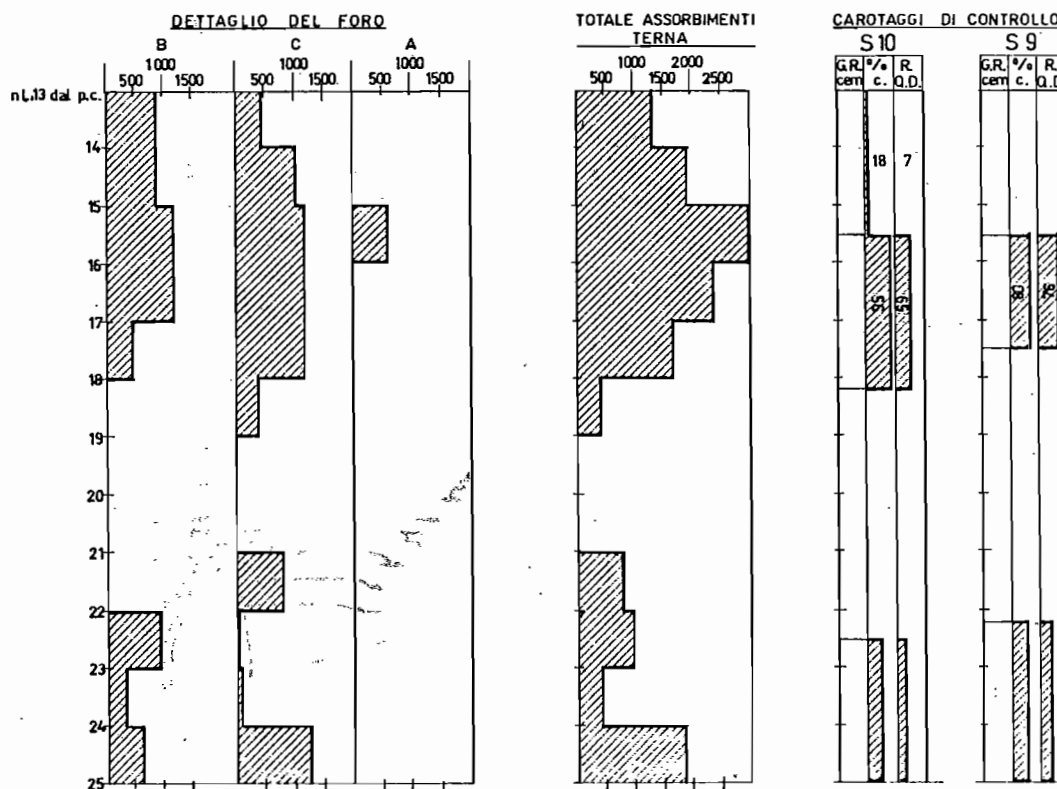


Fig. 4. - Diagrammi degli assorbimenti ottenuti nella prova di iniezione, e relativi valori delle % di carotaggio e di R.Q.D.

menti con iniezioni, quale che sia il tipo di miscela, consiste nella comparsa di fessure all'interno del terreno che vengono riempite dalla miscela stessa. Per valori della pressione di iniezione contenuti, queste fessure sono dirette secondo piani normali alla tensione principale minima, quindi sono di norma verticali («claquage» verticale). Per valori delle pressioni di iniezione elevate, compaiono fessure dirette anche secondo piani orizzontali («claquage» orizzontale).

Mentre il «claquage» verticale non è un fenomeno pericoloso, ma anzi lo si ritiene indispensabile per la buona riuscita del trattamento, quello orizzontale può creare problemi a causa degli innalzamenti del piano campagna che può provocare [CAMBEFORT, 1967]. Sulla scorta dei risultati ottenuti dalla prova di iniezione si è deciso di procedere alla esecuzione del trattamento vero e proprio che verrà discusso di seguito.

#### 4. Intervento di consolidamento in corrispondenza dei fabbricati

A protezione degli edifici di cui si è detto in precedenza, siti al di sopra della zona di scavo (si veda la planimetria di figura 5), si è proceduto al consolidamento della fascia di piroclastiti sciolte poste al di sopra del tufo grigio e per uno spessore di quattro metri [ZEIGLER, *et al.*, 1982].

Dei due edifici interessati dal consolidamento uno risultava ultimato, abitato e circondato da una zona attrezzata a verde, l'altro invece era in corso di ultimazione. Per non arrecare danni al giardino del primo fabbricato, i fori per le iniezioni sono stati eseguiti tutti a partire dal di fuori della recinzione e

con varie inclinazioni come si rileva dalla sezione di figura (6).

Per l'altro fabbricato questo problema non si è posto per cui è stato possibile l'esecuzione di fori verticali. Le perforazioni per l'installazione delle canne a manicotto sono state in totale 60 per una lunghezza complessiva di 1800 metri.

Inoltre sono stati installati 3 assestimetri, ubicati come nella planimetria di figura 5, per tenere sotto controllo le deformazioni del banco di piroclastiti sia nel corso del trattamento che in fase di scavo della galleria. Una particolare tecnica di perforazione ha permesso di ottenere dei fori molto ben alesati, e quindi delle guaine sottili e di spessore costante.

Inoltre in fase di iniezione, a differenza di quanto fatto in fase di prova, si sono tenuti costanti i volumi di miscela iniettata facendo variare le pressioni. A trattamento concluso si è rilevato che, pur essendo i volumi di miscela assorbiti superiori a quelli ottenuti in fase di prova, le relative pressioni misurate a bocca foro, sono risultate molto più basse (tab. 2). Questa maggiore efficienza delle iniezioni in fase di intervento è certamente dovuta, almeno in parte, alla migliore qualità delle guaine di cementazione ed alla maggiore fluidità della miscela caratterizzata dai seguenti rapporti tra i costituenti:

$$\begin{aligned} \text{cemento/acqua} &= 0,9 \\ \text{bentonite/cemento} &= 0,09 \end{aligned}$$

Durante la fase di iniezione si sono avuti alcuni fenomeni di risorgenza da tubi già iniettati. Questo fenomeno, descritto già dal CAMBEFORT, [1967], è indice della buona diffusione della miscela e dell'instaurarsi del «claquage» verticale. Durante la fase

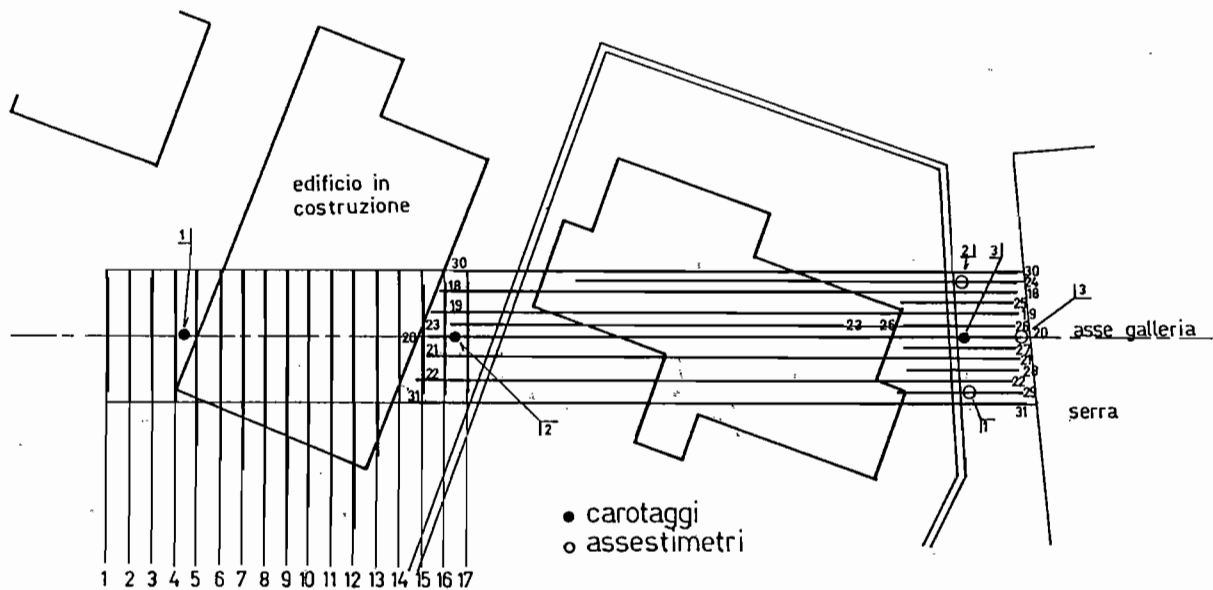


Fig. 5. - Planimetria della zona consolidata con ubicazione dei carotaggi di controllo e degli assestimetri.

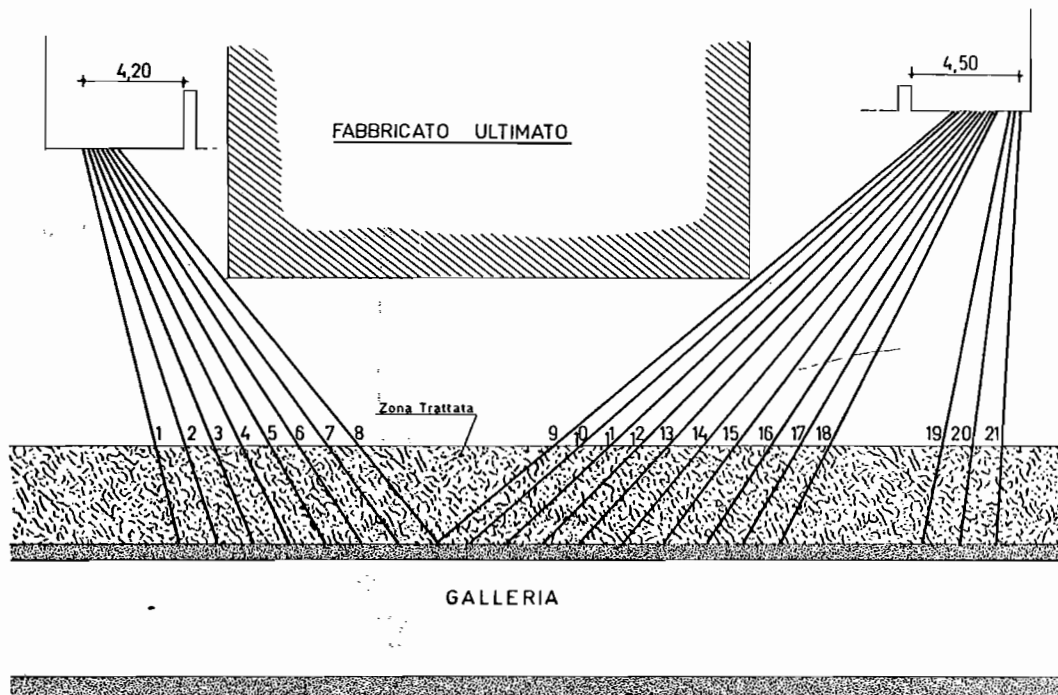


Fig. 6. - Sezione schematica della zona consolidata con indicazione di alcuni dei fori di iniezione.

Tabella 2. - Pressioni di iniezione ed assorbimenti di alcuni fori

| Data     | N° Foro | Pressione media KPa | Assorbimenti medi lt. |
|----------|---------|---------------------|-----------------------|
| 2/12/85  | B       | 260                 | 120                   |
| 2/12/85  | B       | 260                 | 120                   |
| 3/12/85  | C       | 242                 | 190                   |
| 10/12/85 | A       | 500                 | 90                    |
| 1/9/87   | 18/1    | 163                 | 250                   |
| 2/9/87   | 18/2    | 165                 | 260                   |
| 2/9/87   | 18/3    | 164                 | 250                   |
| 3/9/87   | 18/4    | 183                 | 260                   |
| 4/9/87   | 18/5    | 163                 | 250                   |

Tabella 3. - Risultati delle misure assestimetriche (le profondità sono espresse in metri)

| Numero Assestimetro e data di lettura | Punto di misura e quota relativa |       |       |       |       |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 1                                | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1                                     |                                  |       |       |       |       |
| Lettura iniziale 1-7-87               | 1,465                            | 2,401 | 3,373 | 4,355 | 4,382 |
| Let. a fine tratt. 26-10-87           | 1,465                            | 2,401 | 3,371 | 4,354 | 4,381 |
| Lettura finale 5-11-87                | 1,465                            | 2,401 | 3,372 | 4,355 | 4,382 |
| 2                                     |                                  |       |       |       |       |
| Lettura iniziale 1-7-87               | 1,506                            | 2,502 | 3,403 | 4,400 | 5,456 |
| Let. a fine tratt. 26-10-87           | 1,506                            | 2,401 | 3,402 | 4,399 | 5,455 |
| Lettura finale 5-11-87                | 1,506                            | 2,502 | 3,403 | 4,400 | 5,456 |
| 3                                     |                                  |       |       |       |       |
| Lettura iniziale 1-7-87               | 1,512                            | 2,424 | 3,453 | 4,455 | 5,408 |
| Let. a fine tratt. 26-10-87           | 1,512                            | 2,424 | 3,452 | 4,454 | 5,407 |
| Lettura finale 5-11-87                | 1,512                            | 2,424 | 3,453 | 4,455 | 5,408 |

di iniezione non si è rilevato nessun innalzamento significativo del piano campagna come si evince dalle misure assestimetriche riportate in tabella 3.

Il controllo della buona riuscita dell'intervento è stato condotto attraverso la esecuzione di fori a carotaggio continuo, la cui ubicazione è riportata in figura 5.

### 5. Carotaggi di controllo e misure assestimetriche

I carotaggi di controllo sono stati eseguiti, come già si è detto in precedenza, nei punti indicati sulla planimetria di figura 5. Nei diagrammi di figura 7 sono riportate le percentuali di carotaggio e i valori di R.Q.D.

Come si può notare dai risultati ottenuti la zona consolidata è ben individuata tra le profondità di 12-16 metri di profondità. I valori della percentuale di carotaggio e di R.Q.D. variano da foro a foro e si mantengono costanti per tutto lo spessore del materiale trattato. I valori più elevati delle percentuali di carotaggio e di R.Q.D. si sono avuti chiaramente per la parte centrale della zona trattata (65% per il sondaggio S<sub>2</sub>) mentre i più bassi si sono avuti per le zone periferiche con il 40% per l'S<sub>3</sub> ed il 20% per l'S<sub>1</sub>. L'esame delle carote ha permesso di rilevare una diffusa microfessurazione diretta verticalmente, con le fessure completamente riempite di miscela.

Queste fessure, manifestazione del fenomeno del «claquage» verticale, sono più numerose ed evi-

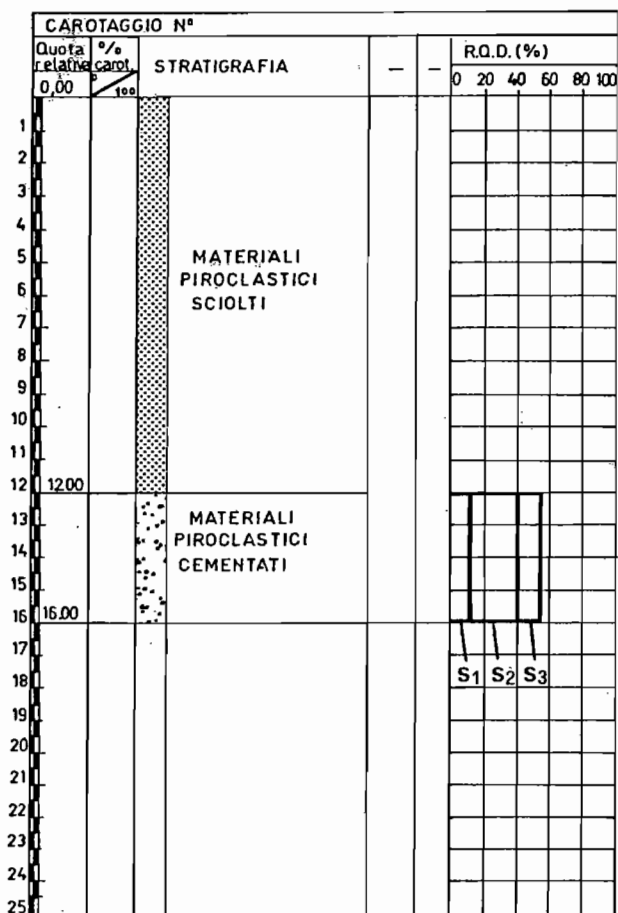


Fig. 7. - Stratigrafia dopo il consolidamento ed indicazione dei valori di R.Q.D. ottenuti.

denti nelle zone a granulometria più fine. Non si sono rilevate tracce di fessure orizzontali a conferma dell'assenza di «claquage» orizzontale.

Per l'installazione delle colonne assestometriche (modello D111 della S.I.S. Geotecnica), si è scelta una zona più periferica, figura 5, per evitare che gli strumenti venissero danneggiati dalle operazioni di perforazione e di iniezione.

Questa scelta obbligata si è rivelata molto opportuna perché le parti periferiche della zona trattata, per quanto detto in precedenza, sono quelle che risultano meno consolidate e quindi più soggette a cedere in fase di scavo della galleria.

Le misure agli assistimetri sono state eseguite ad intervalli regolari di tempo, e fino alla esecuzione delle iniezioni di intasamento a tergo del rivestimento definitivo.

Nella tabella 3 sono riportate la lettura iniziale, eseguita prima del consolidamento, quella eseguita a termine del trattamento e quella finale. Dai valori riportati si può notare che gli spostamenti della zona soggetta a consolidamento sono praticamente inesistenti sia in fase di iniezione che di scavo, e da dire ancora che il massimo valore del cedimento, che coincide con la lettura finale, è stato registrato dopo circa 3 o 4 giorni dal termine dello scavo.

Ben diversa è risultata la situazione al di fuori della zona consolidata, infatti dalle misure topografiche di precisione predisposte per il controllo dei cedimenti del piano campagna si sono rilevati spostamenti anche di qualche centimetro.

In fase di scavo della galleria è stato possibile osservare direttamente il fenomeno del «claquage» verticale, caratterizzato da numerose intrusioni di miscela nella sezione di scavo.

## 6. Secondo intervento di consolidamento

Questo secondo intervento di consolidamento è molto meno esteso del primo come risulta dalla planimetria di figura 8. L'interesse di questo secondo trattamento risiede, come detto in precedenza, nella sua superficialità avendo una copertura minima nella zona di calotta di circa 3,0 metri.

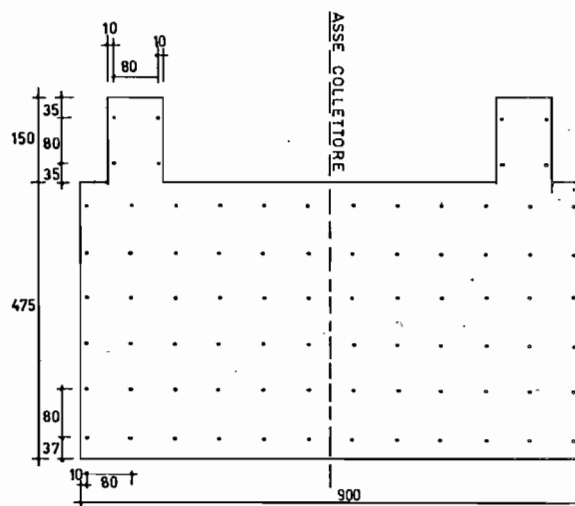


Fig. 8. - Stralcio planimetrico del secondo intervento di consolidamento.

Altro motivo di interesse è quello della composizione della miscela per la cui confezione si è fatto ricorso ad un fluidificante di tipo chimico (REO-BUILD della Mac Mediterranea) in sostituzione della bentonite. In tal modo si è ottenuta una miscela che è risultata, a parità di iniettabilità con la precedente, molto più stabile perché ha richiesto una minore quantità di acqua, per cui i rapporti caratteristici sono:

$$\text{cemento/acqua} = 2/1$$

$$\text{Reobuild/cemento} = 0,02$$

La notevole iniettabilità della miscela ha permesso di contenere i valori della pressione, misurati a bocca foro, entro valori assai bassi (al massimo 12 atm. per le valvole più profonde site a circa 13 metri dal piano campagna).

Il contenimento delle pressioni di iniezione è

molto importante specie in trattamenti superficiali come quello in esame. Altra caratteristica peculiare di questa miscela è il tempo di maturazione che è risultato circa la metà di quello che occorre per una miscela ternaria di tipo classico.

In fase di scavo si è potuto constatare la eccellente diffusione della miscela che ha conferito ai terreni sciolti preesistenti le caratteristiche di una roccia lapidea tenera di buona consistenza.

Infatti per i campioni prelevati in fase di scavo, si è ottenuto una tensione media di rottura per compressione semplice di circa 700 KPa. Nelle figure 9 e 10 sono riportate la sezione longitudinale ed una sezione trasversale della zona consolidata.

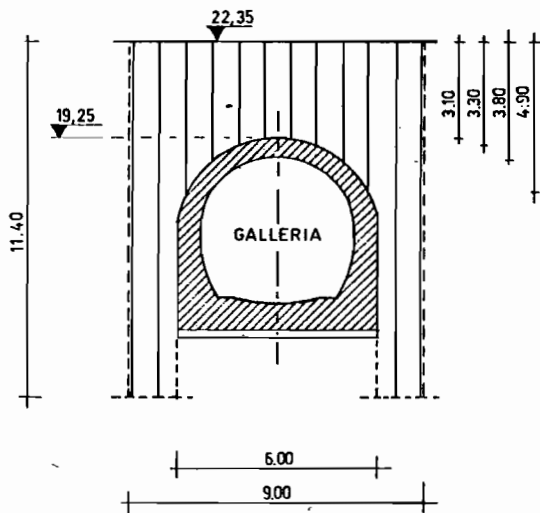


Fig. 9. - Sezione trasversale della galleria in corrispondenza del secondo intervento di consolidamento.

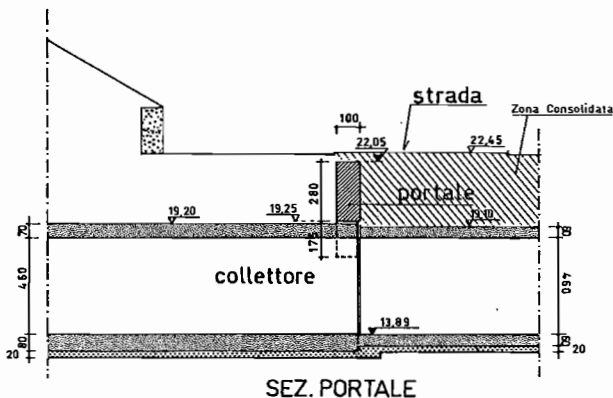


Fig. 10. - Sezione longitudinale della galleria in corrispondenza del secondo intervento di consolidamento.

## 7. Conclusioni

Da quanto esposto risulta evidente che i terreni piroclastici possono essere consolidati in maniera soddisfacente per mezzo di miscele ternarie e quindi di costo relativamente contenuto.

Determinante per la buona riuscita del tratta-

mento sono risultati essere la tecnologia esecutiva dei fori dalla quale dipende lo spessore della guaina di cementazione intorno ai tubi a «manchette»; ovviamente il tipo di miscela ed infine il verificarsi del fenomeno del «claquage» verticale [CAMBEFORT, 1967].

Molto promettente appare l'uso di fluidificanti di tipo chimico per la confezione di miscele ternarie. Il ricorso a fluidificanti di questo tipo non è nuovo anche se gli esempi di trattamenti con miscele che li hanno usati sono pochi.

Nel caso particolare i risultati sono stati eccellenti sia per quanto riguarda stabilità ed iniettabilità sia per quanto concerne i valori finali di resistenza del materiale trattato.

Si ritiene tuttavia necessario ripetere l'esperienza per trattamenti più estesi prima di consigliarne un uso intensivo per la confezione delle miscele.

## RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia il Consorzio C.P.R.2 per aver consentito la pubblicazione dei dati riportati nel presente lavoro, l'Italgeo di Caserta per la collaborazione prestata.

## BIBLIOGRAFIA

- BACKER W.H., MAC PHERSON H.H. and CORDING E.J. (1981) - *Compaction grouting to limit ground movement*. Technical Report, U.S. Department of Transportation, april, 1981.
- CAMBEFORT H. (1967) - *Injection des sols*. Eyrolles, Paris.
- PAPADIKIS M. (1955) - *Rhèologie des suspension de ciment*. Revue des Matériaux des constructions, may.
- PAPADIKIS M. (1959) - *L'iniettabilità des coulis et mortiers de ciment*. Revue des Matériaux des Constructions, dec.
- ZEIGLER E.J. and WIRTH J.L. (1982) - *Soil stabilization by grouting on BALTIMORA subway*. A.S.C.E. Specialty Conference on Grouting in Geotechnical Engineering, New Orleans, february.

## SUMMARY

### Soil stabilization by grouting in Naples area with low cost mixture

In this paper the results of soil improvement by grouting, necessary to enabling the passage of a tunnel under two buildings, are presented.

The tunnel is part of drain trunk-line of eastern outskirts of the city of Naples. In the fig. 1 the site stratigraphy and the relative position between the foundations of the buildings and the tunnel are shown. The stratigraphy can be summarized as follow:

- the formation of loose volcanic soils, called «pozzolana», is present from ground surface to about 16 metres.
- the formation of soft volcanic rock, called grey «tufo», is present from 16 metres to the bottom of the explored zone.

In the table 1 the physico-mechanical characteristics of the «pozzolana» are reported. Before benniging treatment, the injectability test is conducted with the aim of establishing the type of mixture. As a matter of fact, two different types of mixtures, with diverse density and rigidity, are used. Both mixture are made up by cement, water and bentonite: the scheme of the test is showed in fig. 2. At the end of in jection test two borings with continuous sampling were

carried out to verify the grout efficiency. The results obtained, as R.Q.D. values, are shown in fig. 4 together the absorption of the mixtures. Since the results of injection test are quite satisfactory the execution of grouting treatment have been decided on. The holes for treatment execution are placed as in the plan of fig. 5; their slopes are showed in fig. 6. The mixture used for the treatment have the following characteristics ratios:

$$\begin{aligned} \text{cement/water} &= 0,9 \\ \text{bentonite/cement} &= 0,09 \end{aligned}$$

Some values of adsorptions and pressure measured during grouting operations are reported in tab. 2, and are compared with those measured during injection test. From the values reported it is evident that the pressures measured in the grouting phase are lower than those measured in the test. Conversely the absorptions are greater. The author believes that the greater efficiency revealed in the treatment phase is probably due to the best quality of cementation sheeting around the «manchette» tubes.

No rise of the ground surface during grouting is measured, as it is evident from the values of settlements reported in tab. 3.

From the same values it can be see that the settlements measured in the phase of tunnel excavation are negligible. Whereas in the non treated zone settlements of some centimeters are mesured.

The value of R.Q.D. obtained from borings carried out at the end of soil grouting are summarized in fig. 7.

A second treatment of soil by grouting became necessary so as to keep a city street opened (see figs. 9 and 10). The interest in this second treatment lies in the small depth of the soil, about 3 metres, above the tunnel, and in the composition of the mixture; a chemical additive is used instead the bentonite.

In this manner a major fluidity and stability is obtained.

Another advantage is the time required for the setting, about half of that for the standard mixture.

In both the treatments the examination of samples taken from borings have established the presence of vertical fracturing.

From all the results obtained can be concluded that the «pozzolana» is treated in a satisfactory manner with ternary mixtures and thus of relatively low cost.