

Proprietà geotecniche di tufi vulcanici italiani

M. OTTAVIANI*

SOMMARIO: Sono riportate le caratteristiche meccaniche di 28 tufi litoidi dovuti all'attività di 6 complessi vulcanici dell'Italia centrale e meridionale. La notevole variabilità di tali caratteristiche è messa in relazione con i processi genetici e diagenetici subiti dai tufi esaminati. Sono proposte relazioni lineari tra resistenza a compressione uniaassiale ed a trazione e porosità che possono risultare utili per stime di prima approssimazione. Sono inoltre riportate alcune osservazioni sia sul rapporto tra resistenza a compressione e resistenza a trazione, sia sul rapporto tra resistenza a compressione misurata su campioni asciutti e resistenza a compressione misurata su campioni imbibiti.

1. Introduzione

Le formazioni piroclastiche litoidi o tufi hanno larga diffusione in Italia affiorando per notevoli estensioni specialmente in Italia centrale e meridionale.

I tufi sono stati e sono tuttora largamente utilizzati come materiali da costruzione e non solo nelle zone sopra indicate. Recentemente disposizioni di legge riguardanti l'obbligo di rispettare alcuni parametri tecnici e di resistenza hanno posto l'accento sulla necessità di definire più compiutamente le proprietà dei tufi da cui è possibile ricavare materiale da costruzione.

In una recente nota [NAPPI e OTTAVIANI, 1986] sono state riportate le caratteristiche geologiche e geotecniche di alcune formazioni piroclastiche litoidi provenienti dai maggiori complessi vulcanici delle regioni sopra indicate. Nella nota sono state presentate le proprietà fisiche e meccaniche di 19 tufi originati dall'attività di 5 complessi vulcanici. I dati, in parte ottenuti dagli autori ed in parte riportati nella letteratura, hanno fornito un quadro abbastanza esauriente delle formazioni sedi di più intensa attività estrattiva. In particolare è stata messa in luce la notevole variabilità delle proprietà geotecniche dei tufi esaminati e si è indicata l'influenza dei fattori genetici e diagenetici su tali proprietà.

Si è così potuto affermare che i diversi tipi di meccanismo eruttivo, le condizioni di messa in posto ed i successivi processi di litificazione sono i fattori più importanti che determinano il comportamento meccanico dei tufi vulcanici. Infatti i prodotti piroclastici si possono originare da due tipi di meccanismo eruttivo: quello magmatico e quello idromagmatico in dipendenza della presenza o meno dell'interazione con l'acqua al momento dell'esplosione vulcanica.

Il meccanismo eruttivo incide sulle condizioni di messa in posto determinando principalmente la temperatura e la granulometria dei clasti. In genere hanno temperature più elevate e granulometria più grossolana i tufi provenienti da eruzioni magmatiche rispetto a quelle dei tufi provenienti da eruzioni idromagmatiche ma poiché sia temperatura che granulometria dipendono anche dalla distanza dal centro di eruzione è possibile che le caratteristiche dei tufi varino anche all'interno della stessa unità litologica. Infatti i processi di litificazione possono a loro volta essere primari e secondari. Si definiscono primari quando i clasti hanno elevata temperatura e la litificazione avviene sostanzialmente per saldatura tra i clasti. I processi secondari sono invece dovuti principalmente alla formazione negli interstizi tra i clasti di minerali zeolitici che assumono così una funzione di cementante. Poiché i processi di zeolitizzazione sono tanto più intensi quanto minori sono la temperatura e la dimensione dei clasti è possibile che le caratteristiche geotecniche dei tufi siano nel complesso notevolmente variabili.

Nella nota prima citata è stata infine suggerita una relazione lineare tra la resistenza a compressione dei tufi esaminati e la loro porosità. Infatti la porosità di un tufo rappresenta effettivamente, anche se non esclusivamente, il risultato dei processi genetici e diagenetici sopra descritti.

Nella presente nota sono riportate le caratteristiche geotecniche recentemente ottenute per altri 9 tipi di tufo, dovuti all'attività dei complessi vulcanici vicano, laziale e flegreo per offrire un quadro più esauriente di quello riportato in precedenza.

2. Tufi esaminati

I dati ottenuti sono relativi alle seguenti formazioni: tufi rossi a scorie nere (complesso vulcanico Vicano) raccolti nella cava situata presso Grotte Santo Stefano a circa 15 km a Nord-Est di Viterbo (campioni VS1 e VS2) ed altri, della stessa origine,

* prof. ing. Mario OTTAVIANI. Prof. Ass. di Complementi di Geotecnica, Dipart. Idraulica, Trasporti e Strade, Università di Roma «La Sapienza».

raccolti in due cave situate in prossimità di Civitacastellana (VC1 e VC2); tufo lionato, Vulcano laziale, raccolto in una cava alla periferia est di Roma (LL1 ed LL2) ed in una cava situata presso Galliciano (LL3) a circa 30 km ad est di Roma. Altri dati sul tufo lionato sono riportati da CAMPONESCHI *et al.* [1982] (LL4).

Infine sono anche riportati i dati ottenuti da EVANGELISTA [1980] per i tufi gialli napoletani originati dal complesso vulcanico dei Campi Flegrei (FN3).

Nella Tabella 1 sono riportati sia i dati presentati da NAPPI ed OTTAVIANI [1986] sia quelli relativi ai tufi sopra indicati.

Le misure di resistenza a compressione uniassiale sono state ottenute su campioni cilindrici di diametro 74 mm e altezza $h = 2D$ a velocità di carico ridotta ($v = 0.20$ mm/min.). In ogni prova è stato eseguito almeno un ciclo di carico e scarico con sollecitazioni di compressione pari a circa il 70% del carico di rottura. La resistenza a trazione è stata ottenuta per mezzo di prove indirette (brasiliiana).

I valori riportati vanno considerati indicativi perché anche se ottenuti da un numero di provini mai inferiore a 20 non derivano certamente da un campionamento sistematico delle formazioni esaminate.

3. Risultati delle prove di laboratorio

1. I due tufi VR1 e VR2 sono stati prelevati in due cave contigue a diversi livelli di profondità. Come sopra riportato, si tratta di tufi rossi a scorie nere originati con un meccanismo eruttivo di tipo magmatico. Le cave sono situate a distanza di circa 25 km a nord dal centro eruttivo. Questi tufi presentano un'elevata porosità ed una granulometria piuttosto grossolana. Le dimensioni dei clasti sono maggiori per i tufi VR2 del livello inferiore che includono inoltre molte pomice.

I valori medi della resistenza a compressione uniassiale su campioni asciutti, sono risultati piuttosto bassi pari a $3,5$ MN/m² per VR1 ed a $2,1$ MN/m² per VR2. La resistenza su campioni imbibiti mostra una riduzione di circa il 50% di σ_c per entrambi i tufi. La resistenza a trazione risulta pari a circa 1/7 della resistenza a compressione uniassiale.

I tufi di Civitacastellana, della stessa natura dei precedenti, si trovano a circa 20 km ad est del centro eruttivo. Il tufo VC1, che è stato raccolto a circa 3 km ad ovest di Civitacastellana, presenta colore rossastro, granulometria grossolana ed un notevole contenuto di scorie di grandi dimensioni in parte alterate. Il tufo VC2 di colore grigiastro e di

granulometria analoga ma meno alterato ed ossidato di VC1 è stato raccolto in una cava situata a circa 5 km a sud ovest di Civitacastellana.

La resistenza media a compressione di VC2 è risultata nettamente più elevata di quella di VC1; infatti la σ_c di VC1 è risultata pari a 3.9 MN/m² mentre la σ_c di VC2 è risultata pari a 6.0 MN/m². In fig. 1 sono riportate tipiche curve $\sigma-\epsilon$ per il tufo VC2 ottenute su campioni asciutti ed imbibiti sottoposti a due cicli di carico e scarico.

2. La formazione del tufo lionato, originato dal complesso vulcanico laziale, ha notevole estensione nella zona ad est ed a sud di Roma. Sono state esaminate tre diverse qualità di tufo lionato.

I tufi LL1 ed LL2 sono stati prelevati nella stessa cava situata ad est di Roma tra la località di Lunghezza e quella di Settecamini a distanza di circa 20 km dal centro di eruzione. I due tufi rappresentano il livello inferiore LL1 ed il livello superiore LL2 ed hanno caratteristiche abbastanza diverse. Nel livello di base si trovano tufi di colore rosso e tufi nerastri con valore medio del peso dell'unità di volume secco $\gamma_d = 14.0$ kN/m³ e granulometria più grossolana di quella del livello più alto dove γ_d è invece pari a 15.7 kN/m³. Anche le caratteristiche di resistenza sono diverse, più alte per LL2 dove σ_c è pari a 11.0 MN/m² che non per LL1 per cui σ_c è pari a 5.7 MN/m². La resistenza media a compressione uniassiale per i tufi imbibiti è pari a 3.0 MN/m² per LL1 ed a 6.5 MN/m² per LL2 con una riduzione di oltre il 40% rispetto ai tufi asciutti. In fig. 2 e 3 sono riportate le curve $\sigma-\epsilon$, ottenute su campioni asciutti ed imbibiti, rispettivamente per LL1 e per LL2.

La resistenza media a trazione è risultata di 0.68 MN/m² per LL1 e di 1.06 MN/m² per LL2 con un rapporto pari a circa 1/10 rispetto a σ_c .

Il tufo LL3 è stato prelevato in prossimità di Galliciano ad una distanza di circa 15 km a sud est rispetto alla cava precedente. Trattandosi di zona più vicina al centro di eruzione, i tufi presentano granulometria piuttosto fine con parecchi frammenti lavici inclusi e scarsità di clasti pomice. La resistenza media a compressione è risultata piuttosto elevata con un valore di 13.1 Mn/m² a fronte di una porosità del 37%. Per i provini imbibiti la σ_c è risultata pari a 11.6 Mn/m² con una riduzione rispetto ai provini asciutti di poco più del 10%.

I risultati ottenuti da CAMPONESCHI *et al.* [1982] sono invece relativi a tufi lionati situati a circa 30 km a sud di Roma nella zona circostante la cittadina di Ardea. Questi tufi hanno mostrato un valore medio di σ_c pari a circa 8.0 MN/m² con una porosità di circa il 51% ed una resistenza a trazione pari a circa 1/7 della resistenza a compressione.

TABELLA 1.

Tufo	γ_d	γ_s	n%	σ_c	σ_t	$\bar{\sigma}_c$	$\bar{\sigma}_t$	E-10 ²	c	φ	σ_c/σ_t	σ_t/σ_c		Referenza
VW1	11.9	25.2	53	4.4	0.72	4.0	0.65	20	—	—	6.1	0.91	Nenfro	[NAPPI ed OTTAVIANI, 1985]
VW2	10.7	23.8	55	2.5	0.41	2.2	—	18	—	—	6.1	0.88	Tufo rosso a scorie nere	[NAPPI ed OTTAVIANI, 1985]
YW3a	13.6	22.5	39	10.5	1.18	7.8	0.95	39	—	—	8.9	0.74	Tufo giallo, Sorano	[NAPPI ed OTTAVIANI, 1985]
VW3b	13.2	24.8	47	5.2	0.78	4.2	—	27	—	—	6.7	0.81	Tufo giallo, Monterone	[NAPPI ed OTTAVIANI, 1985]
VE1	13.4	24.5	45	6.8	0.90	4.6	0.56	—	—	—	7.5	0.68	Orvieto, A	[NAPPI <i>et al.</i> , 1982]
VE2	11.8	24.5	51	3.6	0.56	2.3	0.36	—	—	—	6.4	0.64	Orvieto, media B e C	[NAPPI <i>et al.</i> , 1982]
VE3	11.1	24.6	54	2.5	0.41	1.8	0.22	—	—	—	6.1	0.72	Orvieto, media due cave	[NAPPI <i>et al.</i> , 1982]
VE4	10.7	25.2	57	2.8	0.45	2.2	0.45	17	—	—	6.2	0.79	Orvieto	[MANFREDINI <i>et al.</i> , 1980]
ST1	12.0	25.0	52	2.9	0.47	1.9	0.15	—	—	—	6.2	0.65	V. Tiberina media livello inf.	[NAPPI <i>et al.</i> , 1979]
ST2	13.4	25.1	46	9.9	0.93	5.5	0.33	—	—	—	10.6	0.56	V. Tiberina media livello medio	[NAPPI <i>et al.</i> , 1979]
ST3	12.5	24.4	48	7.2	0.80	3.6	0.35	—	—	—	9.0	0.50	V. Tiberina media livello sup.	[NAPPI <i>et al.</i> , 1979]
SM	13.7	24.9	44	9.1	1.20	5.8	0.57	—	—	—	7.6	0.64	Tufo di Magliano	[NAPPI <i>et al.</i> , 1979]
VS1	12.0	26.1	54	3.5	0.47	1.9	—	14	—	—	7.4	0.54	Tufo rosso, livello inf., Grotte S. Stefano	[presente lavoro]
VS2	11.0	24.5	55	2.1	0.29	9.0	—	10	—	—	7.2	0.43	Tufo rosso, livello sup., Grotte S. Stefano	[presente lavoro]
VC1	12.8	24.8	49	3.9	0.76	3.6	—	—	—	—	5.1	0.93	Tufo rosso a scorie nere di Civitacastellana	[presente lavoro]
VC2	13.1	24.9	48	6.0	0.97	4.7	—	—	—	—	6.2	0.78	Tufo giallo di Civitacastellana	[presente lavoro]
CP1	21.1	26.3	20	21.4	2.16	—	—	93	9.5	29°	10.0	—	Peperino grigio di Viterbo	[BERRY e SCIOTTI, 1974]
CP2	19.3	25.9	25	22.0	2.58	—	—	92	10.1	34°	8.5	—	Peperino rosso di Viterbo	[BERRY e SCIOTTI, 1974]
LP	19.5	26.7	27	26.7	3.16	—	—	165	7.8	28°	8.4	—	Peperino di Albano	[BERRY e SCIOTTI, 1974]
LL1	14.0	24.6	43	5.7	0.68	3.0	—	—	—	—	8.4	0.53	Tufo lionato - Settecami livello inferiore	[presente lavoro]
LL2	15.7	25.8	39	11.0	1.06	6.5	—	—	—	—	10.1	0.59	Tufo lionato - Settecami livello superiore	[presente lavoro]
LL3	16.1	25.6	37	13.1	—	11.6	—	—	—	—	—	0.88	Tufo lionato - Gallicano	[presente lavoro]
LL4	12.5	25.1	51	8.0	1.00	—	—	—	—	—	8.0	—	Tufo lionato - Ardea	[CAMPONESCHI <i>et al.</i> , 1982]
FN1a	10.0	24.9	59	3.5	—	—	—	8	1.0	27°	—	—	Tufo giallo napoletano, T1a	[PELLEGRINO, 1970]
FN1b	11.0	24.4	55	5.8	—	—	—	15	1.8	27°	—	—	Tufo giallo napoletano, T1b	[PELLEGRINO, 1970]
FN2	14.0	24.5	43	13.0	—	—	—	30	3.5	28°	—	—	Tufo giallo napoletano, T2	[PELLEGRINO, 1970]
FN3	11.0	24.4	55	4.3	—	3.2	—	—	1.3	27°	—	0.75	Tufo giallo napoletano	[EVANGELISTA, 1980]
FC	11.8	24.4	52	5.3	0.67	—	—	25	—	—	7.9	—	Ignimbrite campana	[NAPPI ed OTTAVIANI, 1986]

(σ , c, E: MN/m²; γ : kN/m³); ($\bar{\sigma}_c$, $\bar{\sigma}_t$: valori per campioni imbibiti).

4. Discussione dei risultati

Dall'esame dei dati presentati nella Tabella 1 risultano sostanzialmente confermate le osservazioni riportate nella nota precedente di NAPPI e OTTAVIANI [1986] sull'influenza delle condizioni genetiche e diagenetiche sul comportamento meccanico dei tufi vulcanici.

In particolare le curve di fig. 1, 2 e 3 mostrano l'andamento non lineare delle curve sforzi deformazioni e l'evidente isteresi relativa ai cicli di carico e scarico.

Anche la relazione lineare tra porosità e resistenza a compressione dei tufi è confermata (v. fig. 4). L'espressione: σ_c (MN/m²) = $a - b n$ dove a risulta pari a 35 e b pari a 0.65 approssima abbastanza bene i dati e la fascia compresa tra le rette in cui $a = 35 \pm 10\%$ include tutti i punti con l'eccezione di due.

In fig. 5 viene riportata anche la relazione lineare fra peso secco dell'unità di volume γ_d e σ_c data dall'espressione: σ_c (MN/m²) = $21 \gamma_d - 20$. Anche in questo caso una variazione del 10% del valore del coefficiente a fa ricadere quasi tutti i dati nella fascia che ne deriva.

La disponibilità di un maggiore numero di dati ha consentito inoltre di diagrammare la resistenza a trazione σ_t in funzione della porosità. Appare anche per questo parametro la possibilità di interpolare con una relazione lineare i dati disponibili (Fig. 6). La retta di interpolazione ha l'espressione: σ_t (MN/m²) = $4 - 0.58 n$.

Il rapporto tra resistenza a compressione e resistenza a trazione varia per i tufi considerati tra 5 e 10 con un valore medio di circa 7.8. In fig. 7 tale rapporto è stato riportato in funzione della porosità n . Si può notare che pur non manifestandosi una relazione analitica tra i due parametri il rapporto

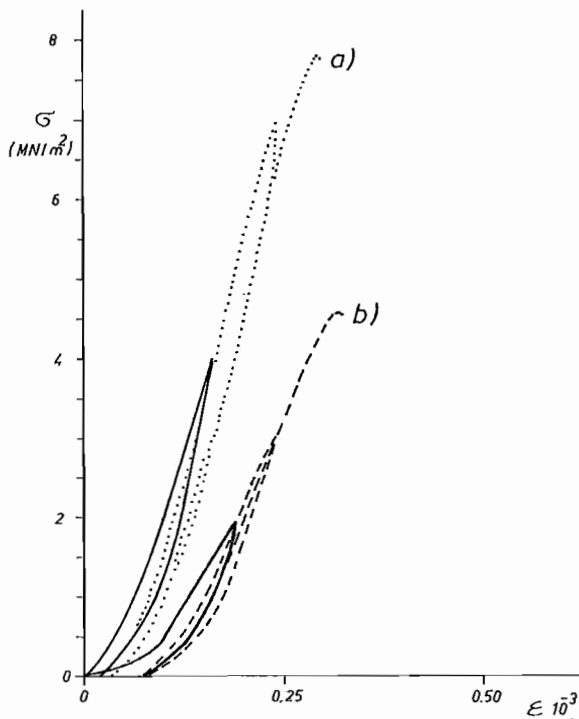


Fig. 1. - Curve $\sigma-\epsilon$ per i tufi VC2: a) campione asciutto; b) campione imbibito.

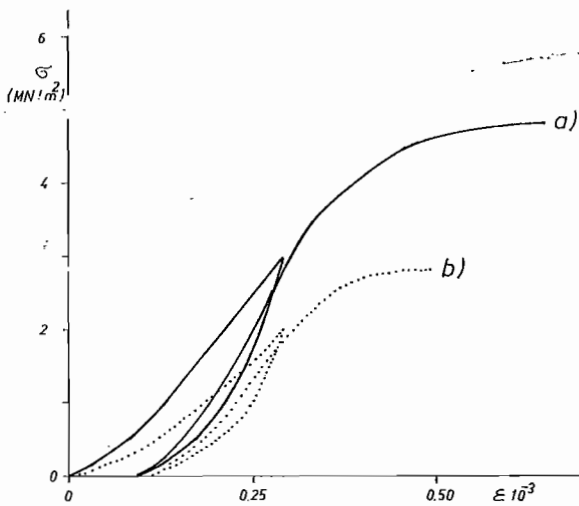


Fig. 2. - Curve $\sigma-\epsilon$ per i tufi LL1: a) campione asciutto; b) campione imbibito.

σ_c/σ_t assume valori più bassi del valore medio per porosità maggiori e viceversa.

Un altro aspetto interessante del comportamento dei tufi è quello relativo alla diminuzione della resistenza a compressione misurata su campioni imbibiti d'acqua rispetto a quella misurata su campioni asciutti.

Il coefficiente di riduzione della σ_c per campioni imbibiti rispetto alla σ_c per campioni asciutti oscilla tra il 43 ed il 93% con un valore medio del 67%. In questo caso non appare una chiara dipendenza dell'entità della riduzione né rispetto alla porosità, né rispetto ai valori di σ_c . Questo compor-

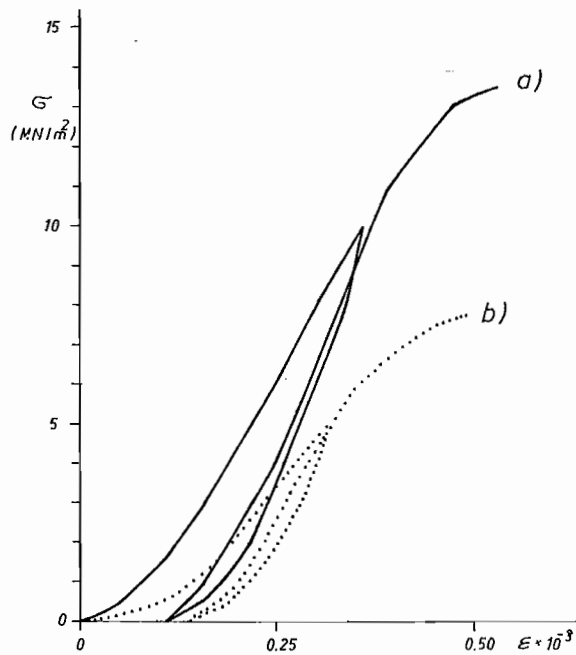


Fig. 3. - Curve $\sigma-\epsilon$ per i tufi LL2: a) campione asciutto; b) campione imbibito.

tamento è stato discusso in dettaglio da EVANGELISTA [1980] per i tufi gialli napoletani (FN3 nella tabella 1) e da MANFREDINI *et al.* [1980] per i tufi rossi a scorie nere di Orvieto (VE4 nella tabella 1) ma non sembra che vi siano ancora interpretazioni indiscutibili del fenomeno stesso.

Le curve delle figure 1, 2 e 3 confermano inoltre la caratteristica tendenza del tufo a subire un rigonfiamento nella fase di imbibizione [EVANGELISTA, 1980]. Infatti le curve per i campioni imbibiti mostrano una più accentuata deformazione permanente al compimento del primo ciclo di carico e scarico rispetto a quanto manifestato dai campioni asciutti.

5. Conclusioni

Le proprietà fisiche e meccaniche dei tufi esaminati mostrano una notevole variabilità che appare chiaramente legata ai processi genetici e diagenetici subiti dai tufi stessi. Granulometria, temperatura di messa in posto, grado di zeolitizzazione sono le caratteristiche che più incidono sul comportamento meccanico dei tufi.

È stato possibile ottenere relazioni lineari tra resistenza a compressione ed a trazione e porosità che possono risultare di qualche utilità per stime di prima approssimazione.

È stata proposta una relazione lineare anche tra σ_c e γ_d che consentirebbe di evitare la misura del γ_s dei tufi, non sempre di facile determinazione.

È stato osservato che il valore della resistenza a trazione è molto minore della resistenza a compres-

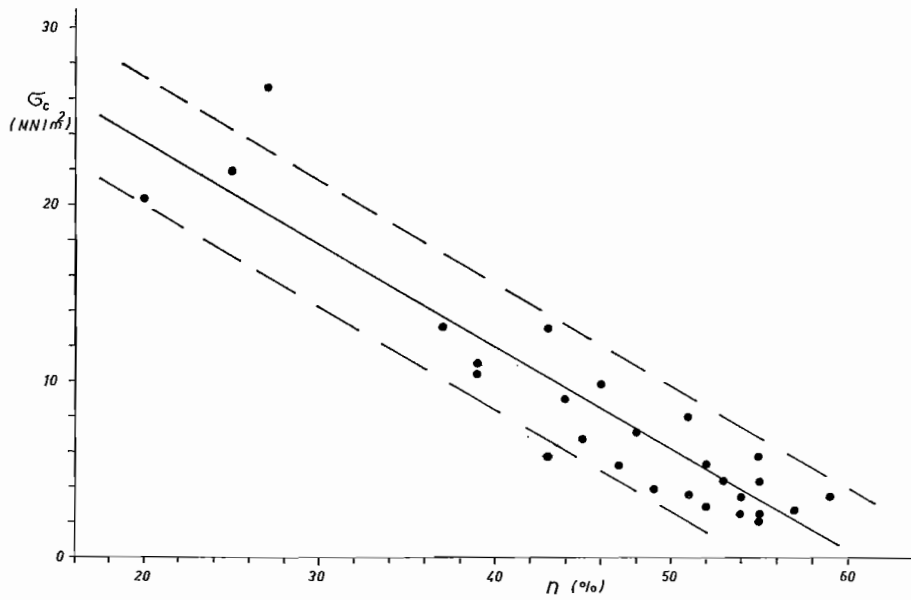


Fig. 4. - Relazione tra resistenza a compressione uniassiale σ_c e porosità n per tutti i tufi considerati.

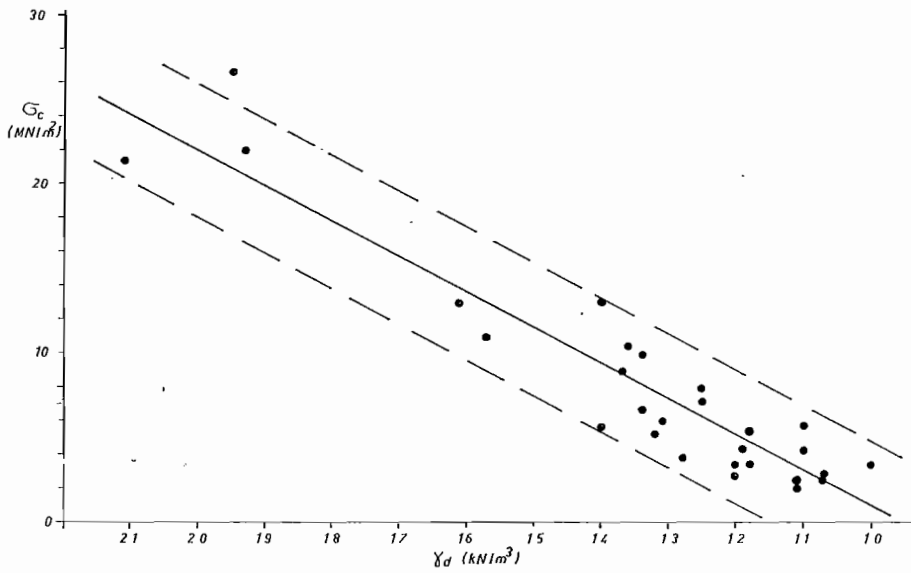


Fig. 5. - Relazione tra resistenza a compressione uniassiale σ_c e peso secco dell'unità di volume γ_d per tutti i tufi considerati.

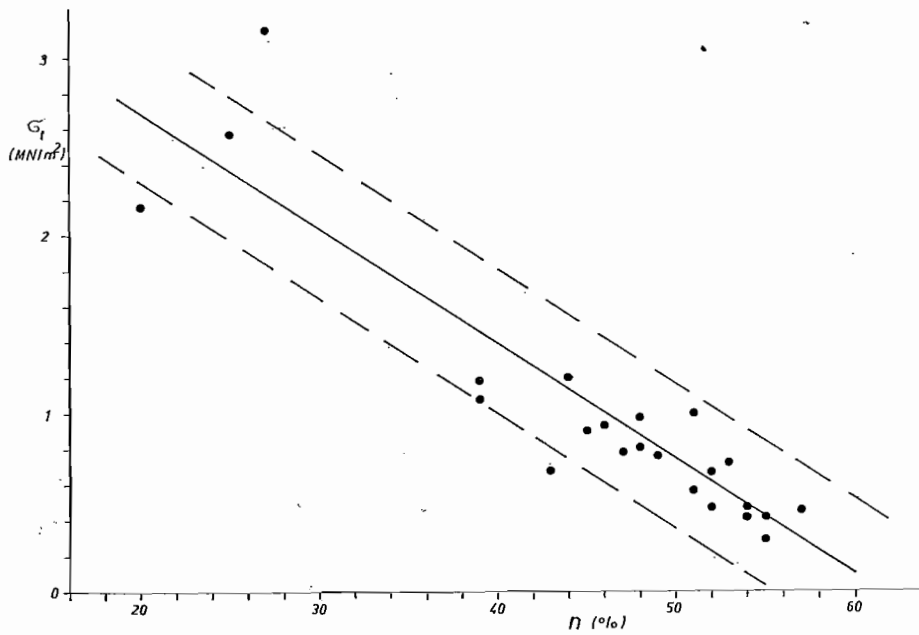


Fig. 6. - Relazione tra resistenza a trazione per campioni asciutti e porosità per i tufi considerati.

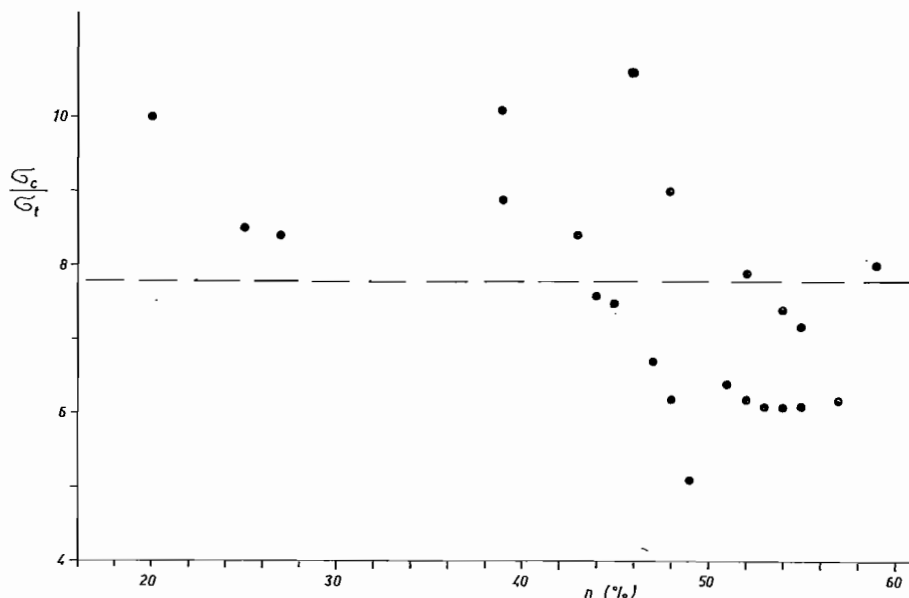


Fig. 7. - Relazione tra il rapporto σ_c/σ_t e porosità per i tufi considerati.

sione per tutti i tipi di tufo esaminati. Il valore medio del rapporto tra σ_c e σ_t è risultato pari a 6.8 con un intervallo di variazione da 5.1 a 10.6. Il valore di tale rapporto sembra dipendere dal valore della porosità assumendo valori più bassi per i tufi a porosità più elevata.

È stato confermato che i tufi imbibiti d'acqua mostrano una diminuzione dei valori di σ_c rispetto ai valori relativi ai tufi asciutti. Ciò è stato verificato in maniera più o meno accentuata per tutti i tufi esaminati. Lo studio dei motivi di questo fenomeno non è stato affrontato in questa sede. Sarebbe interessante verificare se questo comportamento, comune del resto ad altri tipi di rocce, possa presentare aspetti specifici legati al particolare tipo di porosità dei tufi od a proprietà particolari dal legante zeolitico.

Questa ricerca è stata svolta in collaborazione con il Centro di Studio per la Geologia Tecnica del CNR.

BIBLIOGRAFIA

- BERRY P., SCIOTTI M. (1974) - *I peperini del Lazio*. Proc. 1st Intern. Congress on Exploitation of Industrial Minerals and Rocks, Torino.
- CAMPONESCHI B., DE CASA G., GIGLIO G., VOLPONI E. (1982) - *Studio geologico-tecnico delle tavolette Ardea e Torre S. Lorenzo*. Rassegna dei lavori pubblici, V. 29, n. 4.
- EVANGELISTA G. (1980) - *Influenza del contenuto d'acqua sul comportamento del tufo giallo napoletano*. Atti XIV Convegno Nazionale di Geotecnica, Firenze.
- MANFREDINI G., MARTINETTI S., RIBACCHI T., SCIOTTI M. (1980) - *Problemi di stabilità della rupe di Orvieto*. XIV Convegno di Geotecnica, Firenze.
- NAPPI G., DE CASA G., VOLPONI E. (1979) - *Geologia e caratteristiche del tufo giallo della Via Tiberina*. Boll. Soc. Geol. It., 98.
- NAPPI G., CHIODI M., ROSSI S., VOLPONI E. (1982) - *L'ignimbrite di*

Orvieto nel quadro dell'evoluzione Vulcano-Tettonica dei Vulsini orientali. Caratteristiche geologiche e tecniche. Boll. Soc. It., 101.

NAPPI G., OTTAVIANI M. (1985) - *Caratteristiche geologiche e geotecniche dei tufi coltivati nei Vulsini occidentali*. II Convegno Nazionale, Attività estrattiva dei minerali di seconda categoria, Bari.

NAPPI G., OTTAVIANI M. (1986) - *Geological and Geotechnical characteristics of volcanic tuffs of central and southern Italy*. Proc. V Intern. Cong. IAEG, Buenos Aires.

PELEGRINO A. (1968) - *Compressibilità e resistenza a rottura del tufo giallo napoletano*. IX Convegno nazionale di Geotecnica, Genova.

PELEGRINO A. (1970) - *Mechanical behaviour of soft rocks under high stresses*. Proc. 2nd Intern. Congress of Rock Mechanics, Belgrado.

SUMMARY

Geotechnical properties of Italian volcanic tuffs

Mechanical properties of 28 tuffs originated by the activity of 6 volcanic complexes of central and southern Italy are presented. These properties show a large range of variation which depend mainly from the genetic and diagenetic processes undergone by the tuffs such as the eruptive mechanism, the temperature and the size of the clasts deposited and the degree of lithification after deposition.

Linear relationships between compressive and tensile strength and porosity are proposed which can be useful for preliminary estimates. The relationship between compressive strength and porosity (see fig. 4) is given by:

$$\sigma_c \text{ (MN/m}^2\text{)} = 4 - 0.58 n$$

The ratio between compressive and tensile strength for each tuff varies from 5 to 10 with an average value of 7.8. Such ratio seems to be lower than the average for larger values of porosity and viceversa (see fig. 7).

It has been confirmed that the compressive strength measured on saturated samples is always lower than that measured on dry samples. For the tuffs considered in this paper the ratio varies between 43 and 93% with an average value of 67%. This behavior does not seem to depend from the values of porosity or from the values of compressive strength of the tuffs.