

V CONGRESSO INTERNAZIONALE DI GEOTECNICA
Parigi, luglio 1961

ALCUNE ESPERIENZE SU MISCELE DI INIEZIONI

L. COEN, M. F. GUIDUCCI, F. MERCOGLIANO, R. SOLLAZZO (*)

DIREZIONE COSTRUZIONI DELLA SOCIETA' ROMANA DI ELETTRICITA'

SOMMARIO - Si espongono i risultati di esperienze eseguite su varie miscele per iniezioni, composte da cemento, polvere di calcare, limo, bentonite, con lo scopo di determinare le caratteristiche più importanti per l'impiego e nell'ipotesi che i terreni da iniettare siano assorbenti. Si espongono anche le esperienze effettuate su provini di miscele aventi sino a quattro anni di stagionatura. Viene descritto un caso in cui le iniezioni di miscele ternarie, eseguite con modalità e precauzioni particolari, hanno consentito di eliminare alcune perdite per filtrazione nel corpo di una diga di terra.

1. - Nella presente comunicazione si prendono in considerazione alcune miscele per iniezioni aventi lo scopo d'impermeabilizzare o consolidare terreni mediamente assorbenti.

In tali condizioni le miscele da iniettare devono rispondere a ben determinati requisiti. Occorre infatti che il terreno interessato dalle iniezioni si estenda notevolmente rispetto all'area interessata dalla costruzione; è anche necessario che vengano raggiunti i valori di resistenza a rottura e di permea-

presente nota, i materiali disponibili erano:

- cemento;
- limo e argilla;
- bentonite;
- calcare macinato in polvere.

I materiali sono stati sperimentati in varie combinazioni fra loro, come riportato nella Tabella n. 1, con l'aggiunta dell'acqua necessaria a rendere la

TABELLA 1

materiale	Parti in peso dei componenti la miscela											
	misc. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cemento	50	25	15	25	47,5	45	42,5	25	25	25	6	7,5
calcare in polvere		25						22,5	20	17,5		
limo o argilla			35	25							33,2	41,5
bentonite					2,5	5	7,5	2,5	5	7,5	0,8	1
acqua	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	60	50

bilità fissati in relazione alle caratteristiche della costruzione.

In generale, per le iniezioni nei terreni del genere sopradescritto si adoperano i materiali che, oltre a risultare i più idonei per lo scopo da raggiungere, siano anche i più facilmente approvvigionabili, risultando, anche per tale motivo, di più basso costo.

Nella località ove gli scriventi hanno avuto occasione di compiere le prove, di cui si riferisce nella

miscela iniettabile mediante gli usuali strumenti di cantiere.

Dei vari materiali adoperati si forniscono, in seguito, le varie caratteristiche naturali, sia granulome-

(*) Dott. Ing. Luciano COEN, Dirigente Impresa di Costruzioni ASTALDI, Roma - Dott. Ing. M. Fernando GUIDUCCI, Assistente di *Scienza delle Costruzioni*, Fac. Ingegneria, Università di Roma - Dott. Ing. Franco MERCOGLIANO, libero professionista, Napoli - Dott. Ing. Renato SOLLAZZO, libero professionista, Foggia.

triche che di consistenza (Figg. 1, 2, 3, 4). Dell'acqua adoperata viene riportata in nota (1) l'analisi chimica.

Le miscele sono state eseguite cercando di realizzare, per quanto possibile, le stesse condizioni di mescolamento per ogni miscela; in particolare si è constatato che per il comportamento futuro della miscela grande importanza rivestono i seguenti parametri:

- a) tempo di mescolamento;
- b) energia di mescolamento.

Circa l'ultimo parametro, i risultati sono relativi all'energia ottenuta effettuando il mescolamento in un'impastatrice a movimento planetario della potenza di 1 CV. Dei tre cambi di velocità a disposizione,

tivo spappolamento del componente limoso o argilloso: solo dopo avvenuto tale spappolamento risulta conveniente aggiungere gli altri componenti (cemento, calcare in polvere). Dato che esistono oggi in commercio spappolatori di terre fini di grande potenza e di ottimo rendimento, il relativo problema di cantiere sembra risolto;

b) è opportuno che l'energia di mescolamento risulti la più elevata possibile: in tal modo le varie strutture dei materiali adoperati si omogenizzano sino a costituire un nuovo materiale;

c) il tempo di mescolamento può essere fissato a piacere per le miscele che non contengano limi o argille (bentoniti comprese) miste al cemento: nel

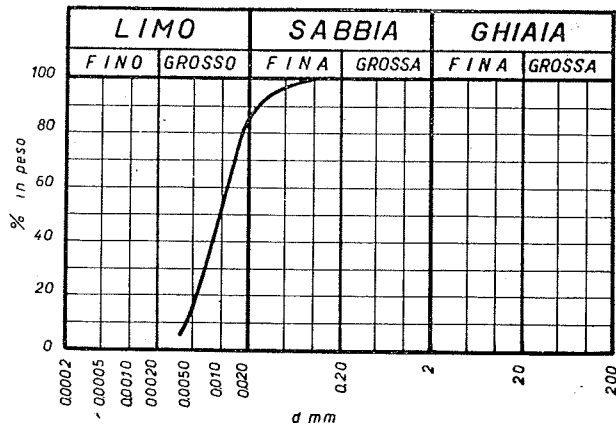
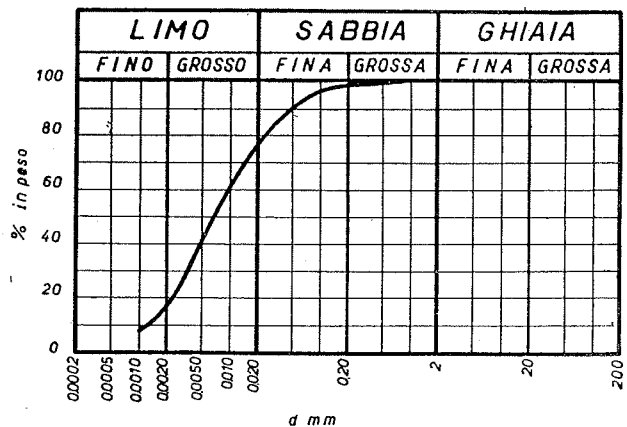
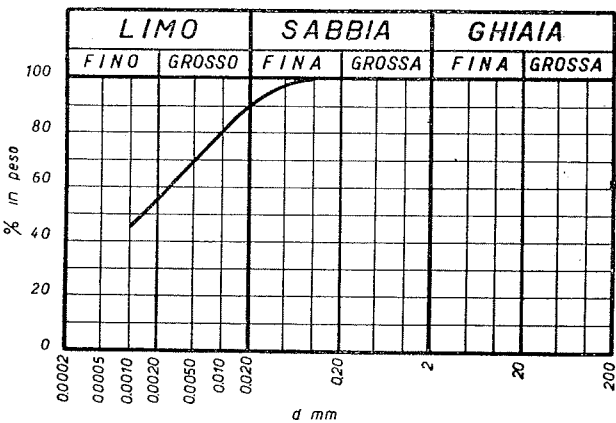


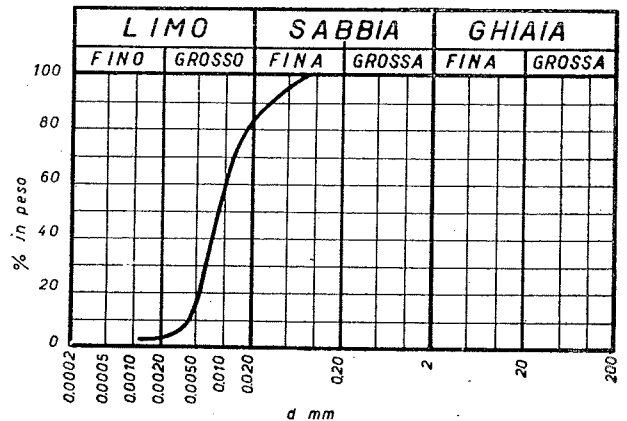
Fig. 1 - Granulometria del cemento (Barletta, 550 pozzolanico)



Gs = 2,71 gr/cm³ LL = 0,515; PL = 0,204
Fig. 2 - Granulometria del limo



Gs = 2,61 gr/cm³ LL = 4,322; PL = 0,433
Fig. 3 - Granulometria della bentonite (pontina)



Gs = 2,69 gr/cm³ LL = 0,232; PL = 0,171
Fig. 4 - Granulometria del calcare in polvere (Barletta)

è stato adoperato il primo cambio (meno veloce) per il tempo necessario a versare tutti gli ingredienti della miscela nell'acqua già pronta nel recipiente; il secondo (più veloce) per il rimanente del tempo di mescolamento stabilito uguale per tutte le miscele: 4 minuti primi.

In proposito si osserva:

a) le miscele composte di materiali limosi o argillosi (comprese le bentoniti) richiedono il preven-

to caso che vi sia cemento (è il caso più generale) bisogna tener conto del fenomeno di presa, il quale, comunque, non interviene prima di qualche ora dalla formazione della miscela.

Ciò premesso, i requisiti che gli scriventi hanno preso in particolare considerazione sono:

1) la perdita di acqua per sedimentazione nel tempo, dall'istante di formazione della miscela, mi-

(1) Caratteristiche dell'acqua impiegata per le miscele (analisi eseguita dal Laboratorio d'Ingegneria Sanitaria dell'Istituto di Costruzioni Idrauliche dell'Università di Napoli): Ph = 7,40; Conduttività K₁₈ = 7352 × 10⁻⁶ mhos/cm; Durezza totale (CaCO₃) = 270 mg/l; Durezza permanente (CaCO₃) = 15 mg/l; Ca⁺⁺ = 66,13 mg/l; Mg⁺⁺ = 25,54 mg/l; Cl⁻ = 32,60 mg/l; CaCO₃ = 165 mg/l; Mg (CaCO₃) = 105 mg/l; SO₄ = 78 mg/l; Residuo fisso (105°C) = 551,40 mg/l.

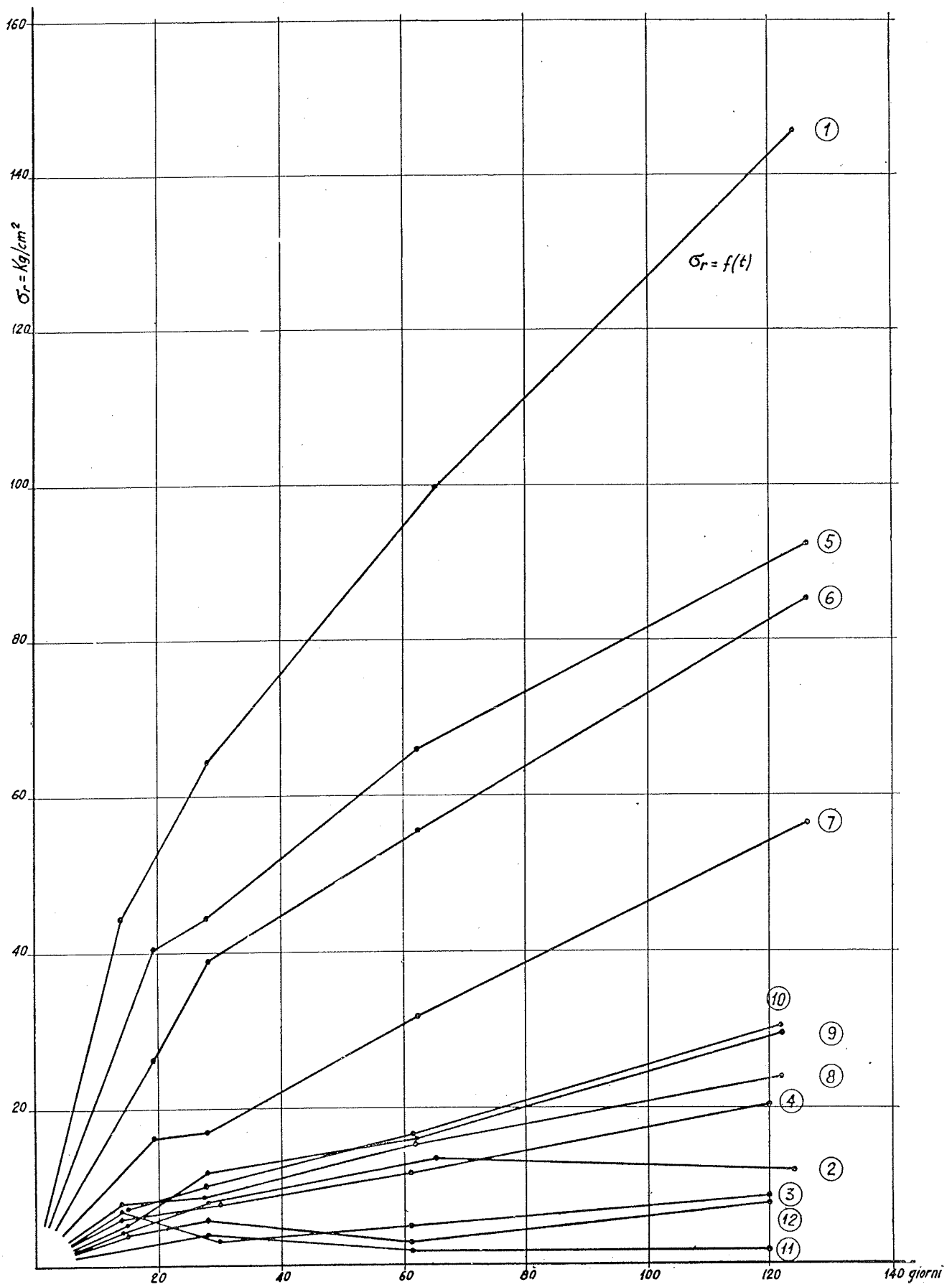


Fig. 5

surata come rapporto della diminuzione di volume al volume iniziale del provino;

2) l'andamento della resistenza a compressione nel tempo, misurato in base alla tensione unitaria necessaria per effettuare la rottura del provino (la stagionatura dei provini è sempre avvenuta in acqua);

3) l'aumento della viscosità nel tempo dall'istante di formazione della miscela, misurato mediante la penetrazione in centimetri nella miscela, a tempi determinati, di una particolare provetta cilindrica di vetro del peso di gr. 30 e del diametro di cm. 1,5.

L'indagine svolta ha potuto essere eseguita solo su un modesto numero di provini, per cui i risultati presentati, oltre ad essere relativi ai materiali tipici impiegati, hanno necessariamente solo un valore orientativo.

Da ciascuna miscela vennero prelevati 4 provini cubici (lato 7,1 cm.) da sottoporre a prove di rottura a compressione dopo vari periodi di stagionatura.

In laboratorio si sono rilevati i seguenti dati:

— peso di volume della miscela al momento della confezione;

— andamento, nelle prime ore dopo la confezione, della sedimentazione e della viscosità (quest'ultima se in presenza di additivi colloidali).

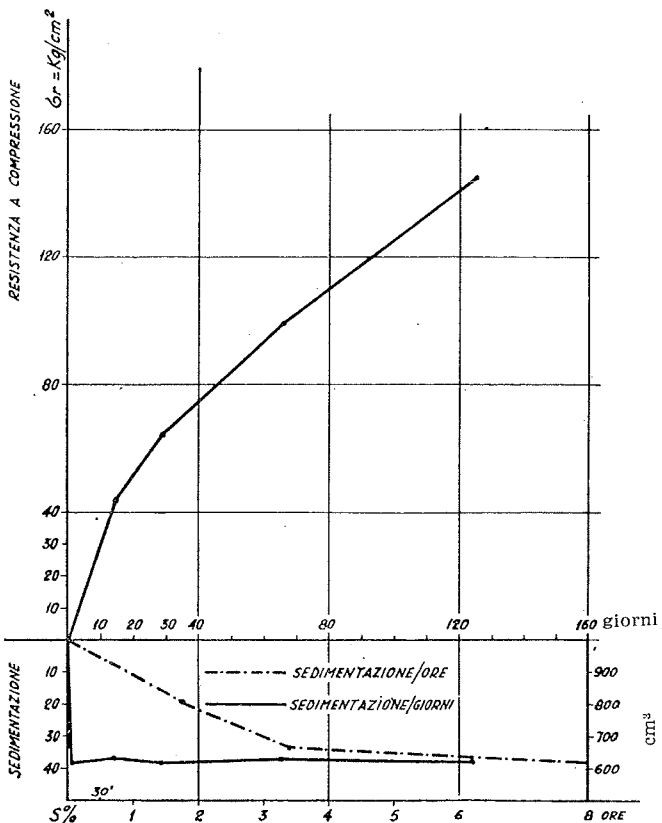


Fig. 6

La tabella n. 2 riepiloga i risultati delle prove eseguite.

Nella Fig. 5 sono riportate, per tutte le miscele esaminate, le variazioni delle resistenze a compressione in funzione del tempo di stagionatura.

La miscela n. 1 (50% di cemento + 50% di acqua) è servita di paragone per il comportamento di tutte le altre combinazioni, che possono essere raggruppate come segue:

- cemento e additivo inerte (miscela n. 2);
- cemento e additivo colloidale (miscele nn. 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12);
- cemento, additivo inerte e additivo colloidale (miscele nn. 8, 9, 10).

Dai risultati ottenuti si rileva:

Miscela cemento-acqua (Fig. 6)

Presenta perdite d'acqua per sedimentazione fino al 38% del volume iniziale e resistenze meccaniche fino a 145 kg/cm² a 120 gg. di stagionatura.

Miscela cemento-inerte-acqua (Fig. 7)

Presenta perdite d'acqua più modeste e pari al 12% del volume iniziale; le resistenze meccaniche sono diminuite fino all'8% del valore di quelle della miscela cemento-acqua. Le stesse miscele, eseguite con la mescolazione in acqua di un agglomerante speciale (50% di cemento pozzolanico + 50% di calcare, macinati preventivamente assieme in cemeniteria) hanno presentato un'ulteriore diminuzione della perdita d'acqua per sedimentazione fino al 6% del volume iniziale ed un aumento delle resistenze meccaniche dall'8 al 18% del valore di quelle della miscela cemento-acqua.

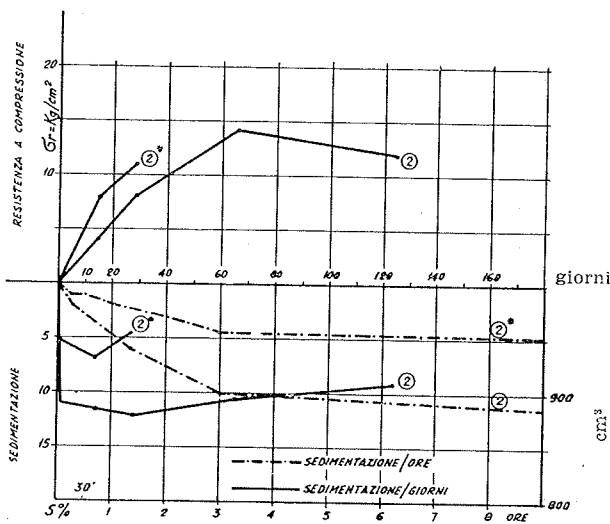


Fig. 7 - Cemento-inerte-acqua

Miscela cemento-colloide-acqua

1) *Cemento-bentonite (Fig. 8)*

Nei rapporti in peso bentonite-cemento 0,052, 0,111, 0,176, presentano rispettivamente perdite d'acqua per sedimentazione del 23, 16, 5% e resistenze meccaniche pari al 64, 54, 32% di quelle corrispondenti alla miscela cemento-acqua.

TABELLA 2

Miscela n.	Composizione in peso					Caratter. iniziali		Caratteristiche al momento della rottura				Perdita di acqua per sedimentaz. $S = \frac{V_r - V_r'}{V_r} \cdot 100$ %	Viscosità cm					Resistenza a compressione		
	Cemento	Polvere calcare	Bentonite	Limo argilloso	Acqua	Umidità w_1 %	Peso di volume $\gamma_1 = \text{gr/cm}^3$	Peso provino (Pr) gr	Volume provino (Vr) cm^3	Umidità w_r %	Peso di volume $\gamma_r = \text{gr/cm}^3$		0 min	15 »	30 »	1 ora	2 »	3 »	4 »	stagion. gg.
1	50	—	—	—	50	100	1,495	403,70	226,80	51,3	1,779	—36						14	44,00	
1	50	—	—	—	50			398,50	221,80	49,0	1,797	—38						28	64,00	
1	50	—	—	—	50			395,10	225,50	45,1	1,752	—37						65	99,34	
1	50	—	—	—	50			398,65	223,90	45,7	1,780	—37,5						124	144,80	
2	25	25	—	—	50	100	1,452	500,10	317,60	76,5	1,575	—11,5						14	4,00	
2	25	25	—	—	50			499,50	315,10	79,3	1,585	—12						28	8,00	
2	25	25	—	—	50			496,25	320,80	84,6	1,547	—10,5						65	13,76	
2	25	25	—	—	50			501,40	316,50	74,0	1,584	—11,8						124	11,90	
2*	25	25	—	—	50	100	1,472	514,30	333,00	86,9	1,544	—7						14	7,80	
2*	25	25	—	—	50			526,60	341,30	79,5	1,543	—4,5						29	11,27	
3	15	—	—	35	50	100	1,468	544,30	373,20	91,4	1,459	+5						14	6,80	
3	15	—	—	35	50			545,00	361,90	90,3	1,506	+1	8,00	7,10				30	2,96	
3	15	—	—	35	50			546,50	367,10	90,0	1,489	+2,5						61	4,88	
3	15	—	—	35	50			548,95	364,50	88,2	1,506	+1,8						120	8,81	
3*	15	—	—	35	50	100	1,467	534,90	357,90	88,8	1,495	0,00						15	4,92	
3*	15	—	—	35	50			531,90	352,90	88,7	1,507	—1,40	9,20	6,70	3,70	1,40	0,00	15	4,36	
3*	15	—	—	35	50			534,80	365,50		1,463	+2,00						28	3,89	
3*	15	—	—	35	50			528,40	358,33		1,475	0,00						28	3,89	
3*	15	—	—	35	50			534,40	363,40		1,471	+1,40						28	3,87	
4	25	—	—	25	50	100	1,495	551,90	362,90	84,2	1,521	+1						14	5,90	
4	25	—	—	25	50			558,80	365,50	81,0	1,529	+2	9,10	8,90				30	7,82	
4	25	—	—	25	50			554,80	367,10	85,6	1,511	+2,5						61	11,69	
4	25	—	—	25	50			548,00	362,96	86,3	1,510	+1,4						120	20,51	
5	47,5	—	2,5	—	50	100	1,495	475,00	267,20	60,4	1,778	—25,5						19	40,00	
5	47,5	—	2,5	—	50			469,80	273,20	53,6	1,720	—23,5	10,40	10,30	9,50	9,20	7,90	28	44,00	
5	47,5	—	2,5	—	50			466,20	274,20	52,1	1,700	—23,5						62	63,47	
5	47,5	—	2,5	—	50			476,30	281,20	51,1	1,694	—21,5						126	91,94	
6	45	—	5	—	50	100	1,486	493,80	292,40	66,3	1,689	—18,5						19	26,00	
6	45	—	5	—	50			499,40	322,40	61,1	1,549	—10,0	10,10	9,80	9,50	9,10	7,90	28	38,60	
6	45	—	5	—	50			490,30	301,40	63,4	1,626	—16,0						62	54,55	
6	45	—	5	—	50			543,80	357,90	58,0	1,519	0,0						126	83,32	
7	42,5	—	7,5	—	50	100	1,480	517,00	322,60	78,6	1,602	—10,0						19	16,00	
7	42,5	—	7,5	—	50			507,70	330,20	72,1	1,538	—8,0	10,00	9,80	9,50	9,00	7,50	28	16,40	
7	42,5	—	7,5	—	50			565,50	339,10	69,3	1,550	—5,5						62	31,51	
7	42,5	—	7,5	—	50			531,30	344,70	72,8	1,541	—4,0						126	55,94	
8	25	22,5	2,5	—	50	100	1,461	526,20	322,60	88,3	1,631	—10,0						15	8,00	
8	25	22,5	2,5	—	50			532,80	299,90	80,8	1,777	—16,0	10,80	10,60	10,60	10,60	8,60	28	8,40	
8	25	22,5	2,5	—	50			522,70	344,20	76,1	1,519	—3,9						62	15,34	
8	25	22,5	2,5	—	50			541,30	350,20	75,2	1,547	—2,0						122	23,64	
8*	25	22,5	2,5	—	50	100	1,461	537,40	357,80	81,9	1,502	0,0						14	10,76	
8*	25	22,5	2,5	—	50			537,40	359,40		1,496	0,0	9,70	9,30	8,40	6,00	2,50	33	15,76	
8*	25	22,5	2,5	—	50															
8*	25	22,5	2,5	—	50															
9	25	20	5	—	50	100	1,461	548,20	352,90	85,1	1,553	—1,0						15	5,00	
9	25	20	5	—	50			525,99	352,70	92,4	1,491	—1,0	10,50	10,50	10,50	10,10	7,50	28	11,70	
9	25	20	5	—	50			545,40	362,40	86,5	1,505	+1,1						62	15,82	
9	25	20	5	—	50			502,50	309,30	76,4	1,625	—14,0						122	29,34	
9*	25	20	5	—	50	100	1,469	533,10	357,90	87,6	1,489	0,0						14	9,92	
9*	25	20	5	—	50			543,30	368,60		1,474		8,00	7,20	6,60	3,10	0,50	33	27,46	
9*	25	20	5	—	50							+2,8								
10	25	17,5	7,5	—	50	100	1,454	535,50	347,80	91,0	1,540	—3,0						15	7,00	
10	25	17,5	7,5	—	50			545,40	332,70	87,9	1,639	—7,0	10,30	10,20	10,00	8,80	6,80	28	10,00	
10	25	17,5	7,5	—	50			547,10	369,10	86,0	1,505	+3,1						62	20,31	
10	25	17,5	7,5	—	50			549,50	373,20	86,1	1,472	+5,0						122	29,90	
10*	25	17,5	7,5	—	50	100	1,448	531,20	360,40	89,6	1,474	0,0						14	14,77	
10*	25	17,5	7,5	—	50			531,20	363,50	91,1	1,461	+1,4	4,00	3,60	2,60	1,00	0,00	33	32,46	
10*	25	17,5	7,5	—	50															
10*	25	17,5	7,5	—	50															
11	6	—	0,8	33,2	60	150	1,334	Rotto durante la sfornatura				—2,0						15	—	
11	6	—	0,8	33,2	60			482,40	350,80	96,1	1,375	+1,0	10,90	10,60	9,60	4,10	1,30	28	3,96	
11	6	—	0,8	33,2	60			490,60	360,40	132,4	1,361	+1,0						61	1,97	
11	6	—	0,8	33,2	60			489,65	362,95	137,6	1,349	+1,4						120	2,35	
12	7,5	—	1	41,5	50	100	1,470	529,05	355,30	93,6	1,485	—0,8						15	4,02	
12	7,5	—	1	41,5	50			535,30	360,40		1,485	+1,0	2,80	2,80	1,50	0,00	—	28	5,88	
12	7,5	—	1	41,5	50			545,60	371,70	93,9	1,468	+4,0						61	2,89	
12	7,5	—	1	41,5	50			544,55	370,10	92,9	1,471	+3,0						120	8,75	

Annotationi - Le miscele contrassegnate con * sono state confezionate con agglomerante speciale preparato dalla Cementeria di Barletta macinando contemporaneamente i seguenti componenti nelle proporzioni in peso di: Clinker da Cemento 31%, Pozzolana 18%, Calcare 50%, Gesso 1%.

2) Cemento-limo (Fig. 9)

Presentano sedimentazione nulla e tendenza al rigonfiamento nella stagionatura in acqua; le resistenze meccaniche, nei rapporti in peso limo/cemento

ne ma resistenze meccaniche trascurabili anche dopo 60 gg di stagionatura dato che il rapporto limo + bentonite/cemento è 7,50.

Dal punto di vista dell'andamento della viscosità nel

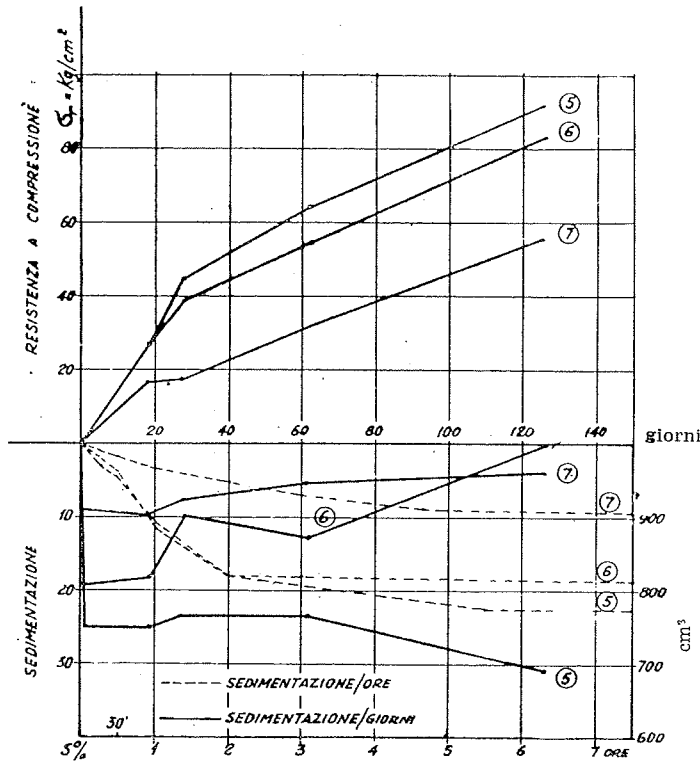


Fig. 8 - Cemento-bentonite

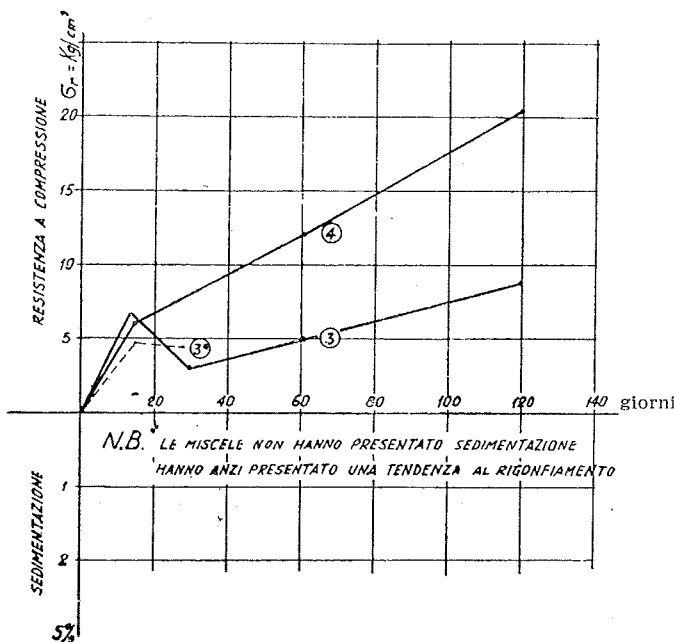
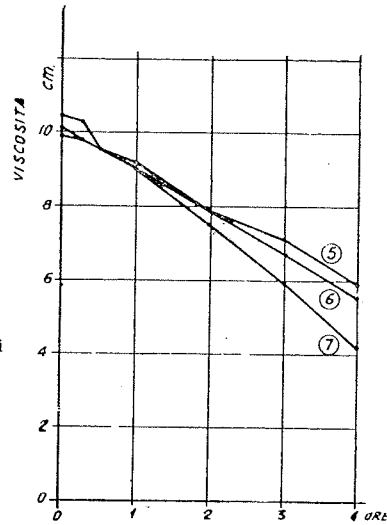


Fig. 9 - Cemento-limo

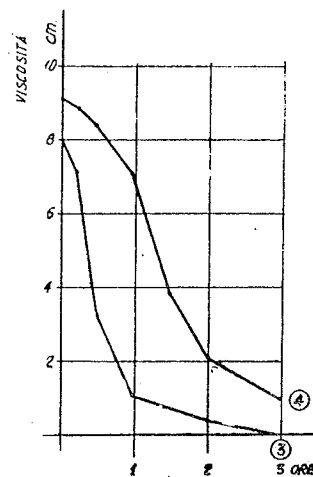
2,34 e 1,00, variano rispettivamente dal 5 al 12% di quelle della miscela cemento-acqua.

3) Cemento-limo-bentonite

Presentano notevolissima stabilità alla sedimentazio-

tempo, fissando come limite inferiore di pompaggio l'affondamento di 3 cm. dell'asta di misura già citata per riguardo ai normali mezzi di cantiere, è risultato che:

— le miscele cemento-bentonite sono iniettabili in



un intervallo di tempo dalle 4 alle 5 ore dopo confezione;

— le miscele cemento-limo in un intervallo da 30 a 90 minuti primi;

— le miscele cemento-limo-bentonite in un intervallo da 15 a 60 minuti primi.

Le note proprietà tixotropiche di tali miscele consentono comunque il rimescolamento anche oltre i li-

Per le previsioni di comportamento delle miscele esaminate si può quindi concludere:

— Le miscele di solo cemento presentano basse rese volumetriche a causa della perdita d'acqua per sedimentazione; per contro le resistenze meccaniche sono elevate malgrado il contenuto d'acqua.

— L'aggiunta di additivi, inerti o colloidali, singolarmente o in combinazione tra loro, migliora sen-

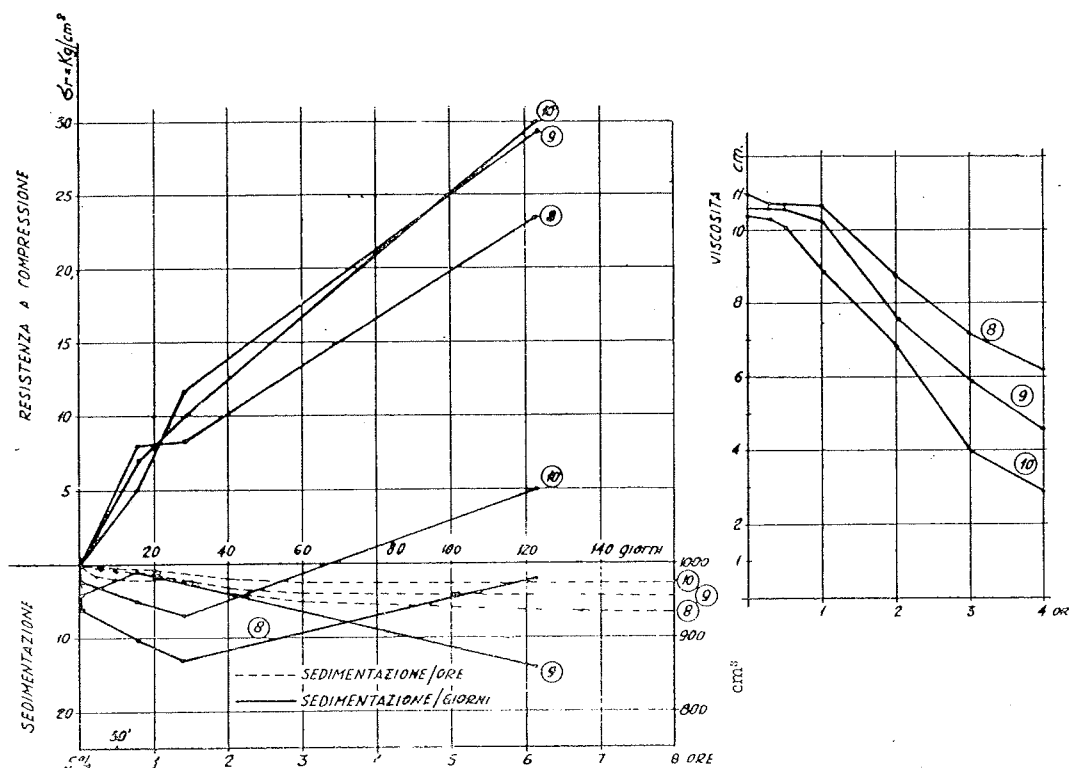


Fig. 10 - Cemento-inerte-colloide-acqua

miti indicati, talvolta anche per parecchie ore, purché prima dell'inizio della presa del legante.

Miscela cemento-inerte-colloide-acqua (Figg. 10-11)

Presentano perdite d'acqua per sedimentazione progressivamente decrescenti con l'aumento della bentonite; le resistenze meccaniche oscillano tra il 16,50 ed il 21% rispetto a quelle della miscela cemento-acqua ed hanno raggiunto valori pari al 26,50-35,00-53,50% di quelle delle miscele di cemento-bentonite con pari contenuto di bentonite.

Le stesse miscele, ripetute con l'impiego dell'agglomerante speciale già citato (in sostituzione del cemento e della polvere di calcare mescolati in laboratorio) hanno dimostrato sensibili miglioramenti della resa volumetrica e delle resistenze meccaniche.

Per quanto riguarda la viscosità, salva la possibilità di rimescolamento prima dell'inizio della presa del legante, tali miscele sono risultate iniettabili entro limiti variabili da 3 a 6 ore dopo confezione.

sibilmente la resa volumetrica a scapito della resistenza meccanica.

— I pesi di volume delle miscele iniettate, in gr/cm^3 , a sedimentazione avvenuta sono variati mediamente da 1,777 per il solo cemento a 1,753 per cemento-inerte, 1,501 per cemento-limo, 1,625 per cemento-bentonite, 1,422 per cemento-limo-bentonite e 1,586 per cemento-inerte-bentonite.

Di particolare interesse l'esame dei diagrammi (Fig. 12) della variazione delle resistenze meccaniche a 14, 28, 60 e 120 gg. di stagionatura in funzione del rapporto bentonite/cemento, dai quali si nota come nelle miscele cemento-bentonite la resistenza diminuisca sistematicamente con l'aumentare del rapporto stesso mentre nelle miscele cemento-inerte-bentonite essa tenda ad aumentare con l'aumentare del rapporto da 0 a 0,20 per poi mantenersi costante fino al valore 0,30.

Si potrebbe desumere che, per queste ultime miscele, l'aggiunta di bentonite entro determinati limiti

migliori la dispersione dell'inerte nel legante rendendo la malta più omogenea.

2. - Il risanamento e l'impermeabilizzazione delle gallerie di un impianto idroelettrico dell'Italia Centrale furono eseguiti negli anni 1954-55 mediante l'impiego su vasta scala di malte acqua-argilla-cemento.

Si riferisce qui di seguito sulle prove effettuate sia in fase preliminare, sia su campioni prelevati in sito e mantenuti per oltre 4 anni in acqua a temperatura ambiente.

I valori della densità e della viscosità (REDWOOD) risultano per le diverse malte dalla Fig. 14.

I tempi di inizio di presa (misurati mediante l'ago di VICAT) risultano dalla tabella seguente:

Dosaggio in cemento (% in peso)	20	30	40	50
Tempo inizio presa (ore)	25	20,45'	17,15'	13,30'

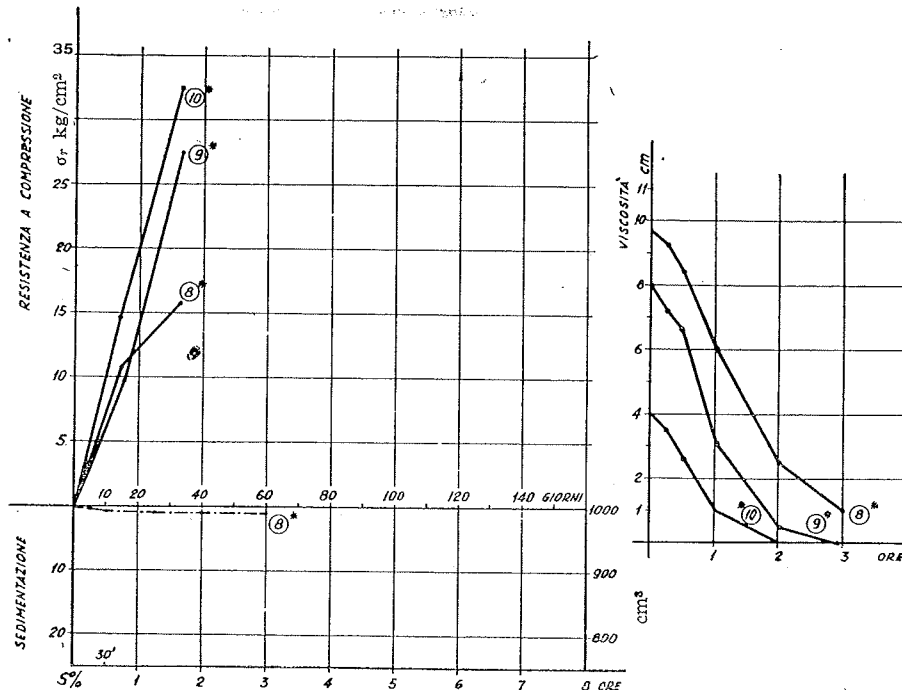


Fig. 11 - Cemento-inerte-colloide-acqua

a) Prove preliminari eseguite al tempo dei lavori

Disponendosi in sito di un'argilla di media plasticità le cui caratteristiche risultano dalla Fig. 13, si sono studiate le caratteristiche meccaniche di malte con percentuali di cemento variabili dal 20% al 50% in peso totale.

Il cemento impiegato era del tipo « 500 » pozzolanico di produzione corrente delle cementerie di Segni.

Le caratteristiche particolari di impiego di queste malte discendono dalla possibilità di trasportarle per lunghi tratti mediante pompaggio in tubazioni di diametro ridotto. Da ciò il particolare interesse di conoscere la densità, la viscosità, la stabilità (intendendo con questa la stabilità alla decantazione o perdita d'acqua) e soprattutto il tempo massimo che può intercorrere tra la preparazione e la posa in opera, tempo che è in funzione di quello di inizio di presa della malta, considerata come una comune malta di cemento.

Per le miscele a tre componenti (argilla-cemento-acqua) è utile la rappresentazione su un diagramma triangolare nel quale possono essere riportate, oltre alla composizione, anche le altre caratteristiche delle miscele (1).

(1) Vedi Terzo Congresso di Meccanica dei Terreni - Zurigo 1953.

Come può notarsi quindi le miscele, che pure gelificano in tempo brevissimo, possono dopo riagitazione essere impiegate anche dopo tempi notevolmente lunghi.

Le prove di resistenza a compressione eseguite a 7 e a 28 giorni di stagionatura in acqua sono indicate in Fig. 15.

Si può rilevare che l'andamento è fortemente variabile con la percentuale di cemento e che l'andamento dell'indurimento è molto rallentato rispetto alle ordinarie malte: infatti il rapporto tra la resistenza a 7 e 28 giorni oscilla tra 0,30 e 0,45, contro i valori usuali notevolmente più alti.

Nella tabella seguente sono riportati per le varie miscele i relativi rapporti:

Percentuali di cemento	20%	30%	40%	50%
R 7				
R 28	0,35	0,37	0,42	0,44

b) Prove su campioni prelevati in sito eseguite dopo due anni circa di stagionatura

Su campioni prelevati in sito e conservati in acqua sono state eseguite prove di compressione, di trazione

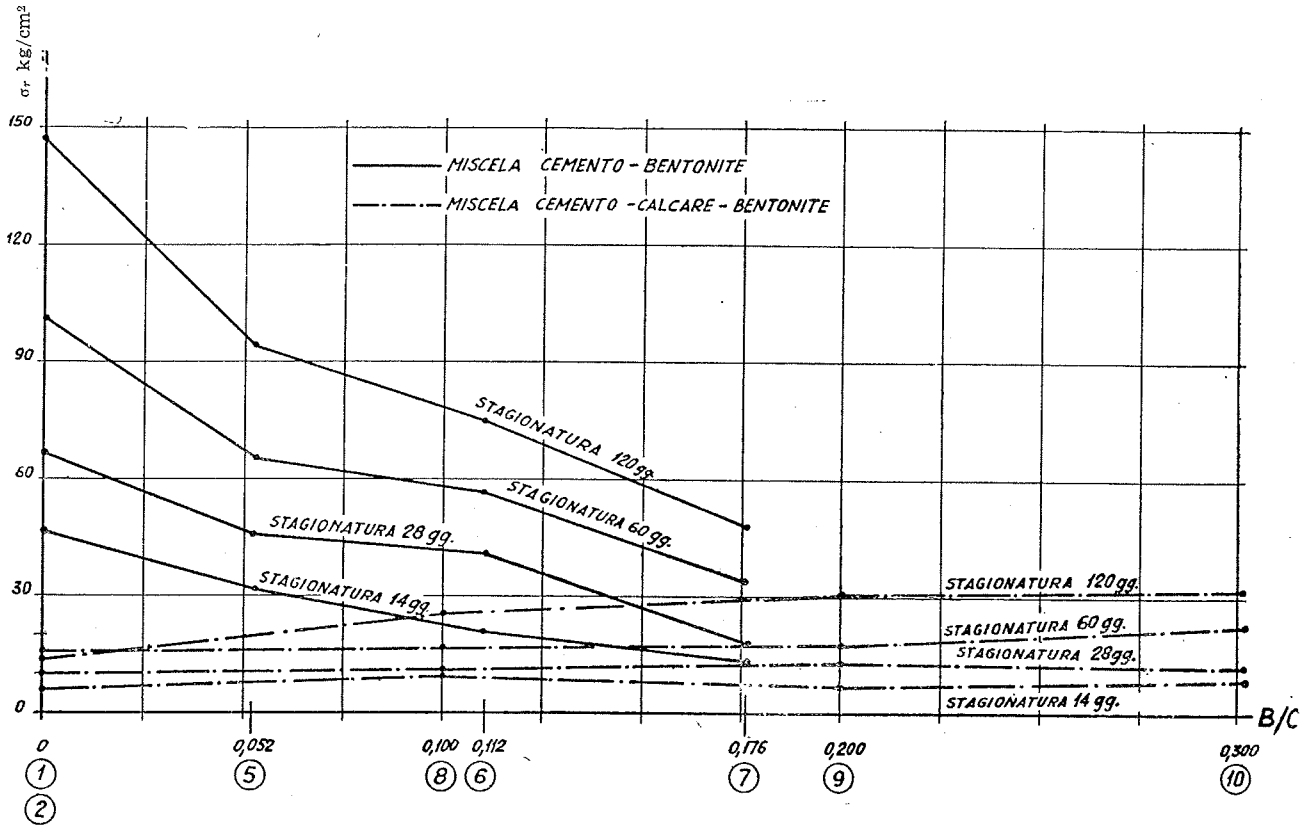
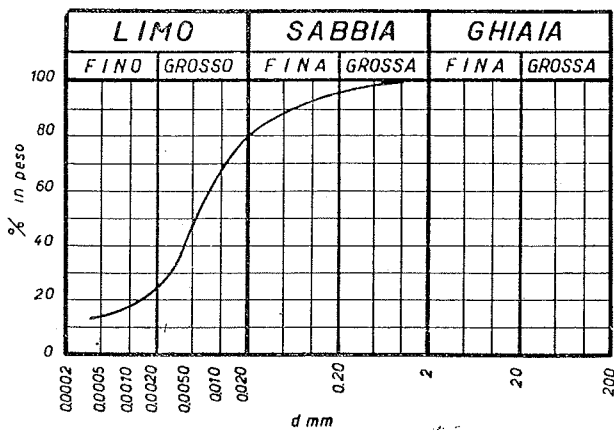


Fig. 12 - Sulle ascisse: B/C = rapporto dei pesi bentonite-cemento



LL = 0,488; PE = 0,266; RL = 0,190
Fig. 13

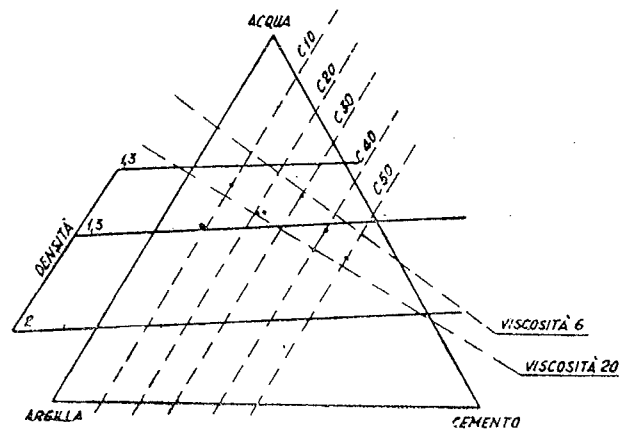


Fig. 14

e determinazione del modulo elasto-plastico dopo un tempo di due anni circa dalla confezione delle malte.

I risultati medi delle prove di compressione e di trazione risultano dalla tabella seguente:

Malta con dosaggio di cemento nella percentuale in peso del	30%	40%	50%
carico di rottura a compressione kg/cm ²	34,0	44	70
carico di rottura a trazione kg/cm ²	11,20	12,50	15,90

Le determinazioni del modulo elasto-plastico risultano dai grafici delle Figg. 16, 17.

c) Prove eseguite su campioni aventi 4 anni di stagionatura

Un'altra serie di campioni di malta è stata conservata sino al 1959 e sui campioni sono state ripetute le prove di compressione con ricerca del modulo elasto-plastico.

E' stata anche eseguita mediante prove triassiali la ricerca della curva intrinseca.

Nelle Figg. 18, 19, 20 sono riportate le prove di compressione mentre nella Fig. 21 è riportata la prova triassiale.

3. - Si cita un'interessante applicazione di iniezioni di miscele cemento-argilla-bentonite-acqua effettuate nel corpo della diga in terra di Selva della Società Idro-

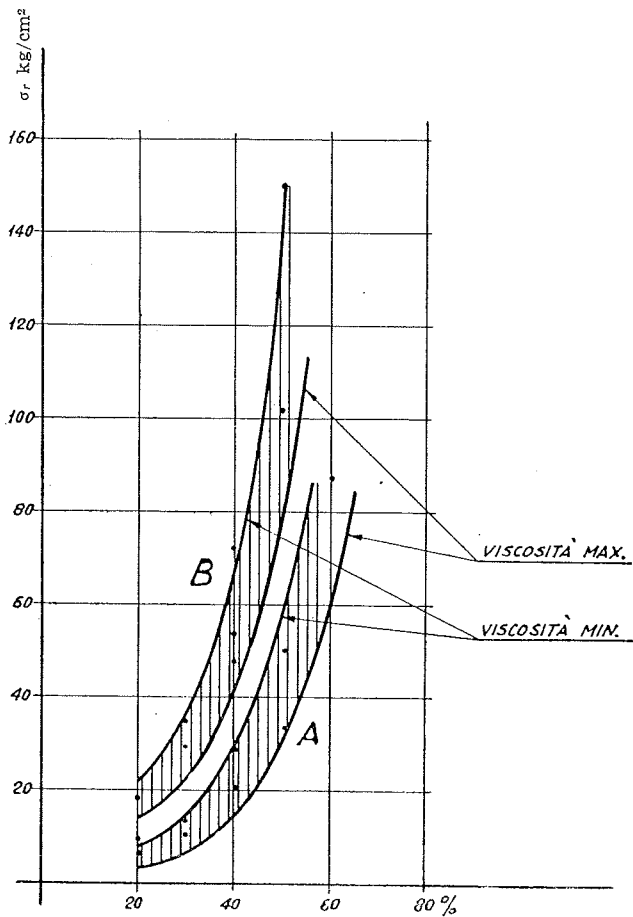


Fig. 15 - Sulle ascisse è indicata la percentuale del cemento in peso
 A = Prove a 7 gg.
 B = » » 28 »

Dall'osservazione dei risultati delle prove si rileva:

a) che la resistenza a compressione delle malte ternarie cresce nel tempo fino a raggiungere dopo anni resistenze anche rilevanti (vedi Fig. 22);

b) che la resistenza a trazione è notevole e proporzionalmente più elevata di quella dei conglomerati normali: la cosa può essere spiegata con l'intervento della coesione della pasta argillosa, che mentre influenza poco la resistenza a compressione, si somma con quella del cemento nella prova di trazione;

c) che il modulo di elasticità è sempre molto basso, in relazione alle resistenze a rottura che si raggiungono, e risulta notevolmente variabile in funzione della sollecitazione normale;

d) la curva intrinseca del materiale mostra che questo possiede caratteristiche meccaniche intermedie tra quelle di un materiale di tipo argilloso e quelle di un conglomerato cementizio magro.

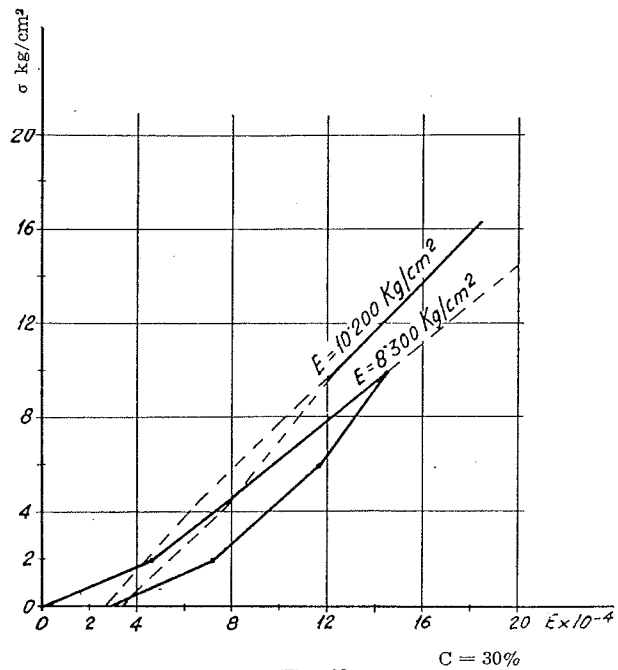


Fig. 16 C = 30%

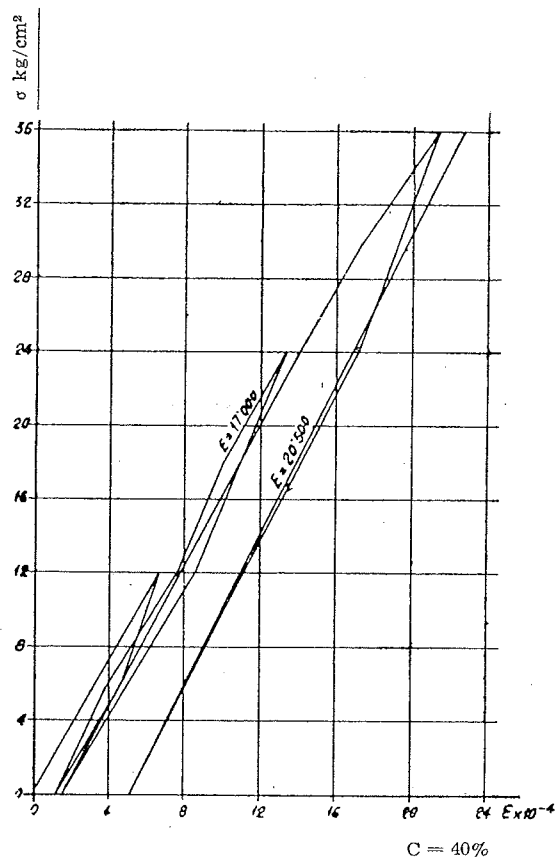


Fig. 17 C = 40%

elettrica Alto Liri che sbarra il fiume Rapido a monte di Cassino.

La diga in terra di Selva è del tipo semiomogeneo come risulta dalla sezione in Fig. 23.

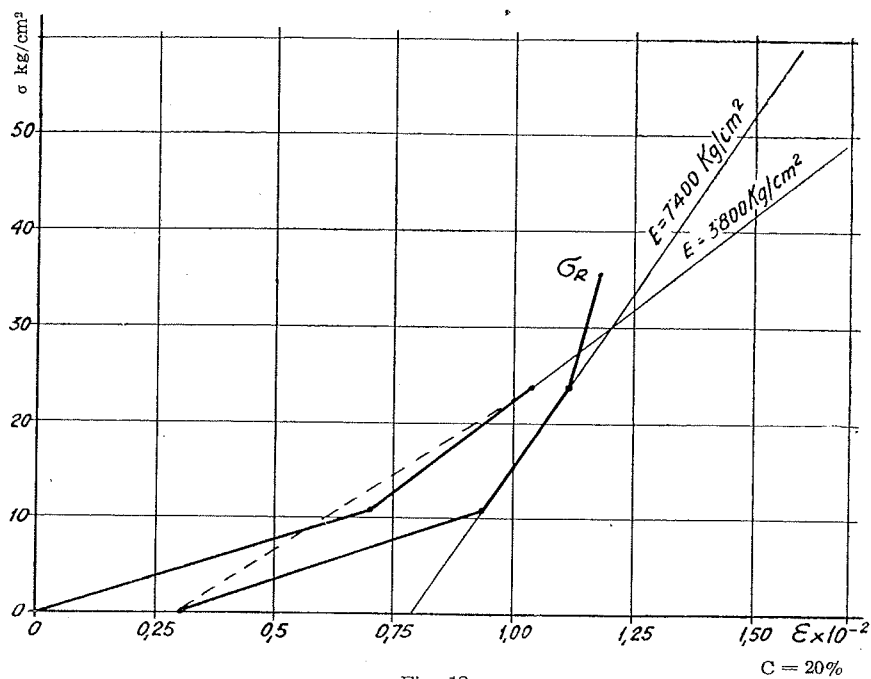


Fig. 18

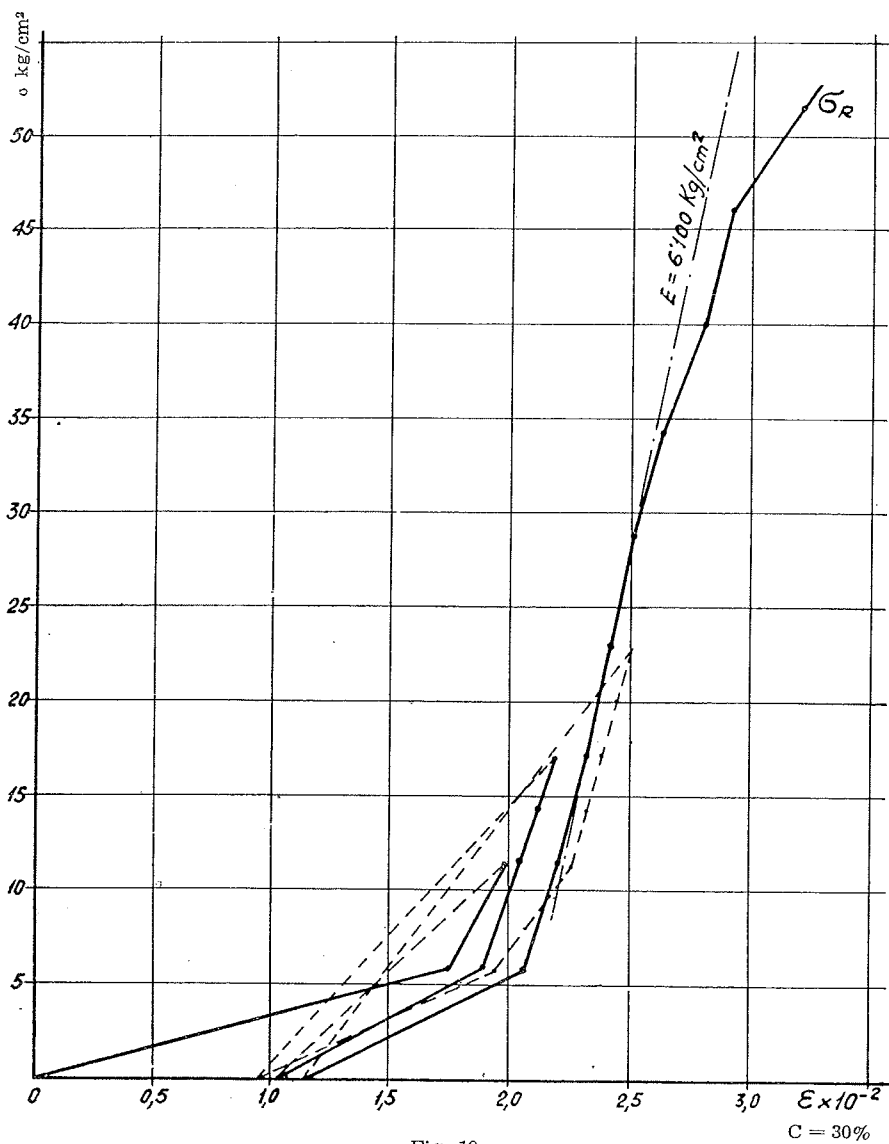


Fig. 19

Il controllo delle filtrazioni attraverso il corpo della diga spinse la Società costruttrice ad esaminare la possibilità di adottare qualche provvedimento atto a ridurne l'entità. Detto controllo venne ese-

vie preferenziali in fondazione e nel corpo del rilevato, vie tra di loro distinte.

Fu quindi deciso di tentare la diminuzione delle filtrazioni mediante iniezioni impermeabilizzanti, tali

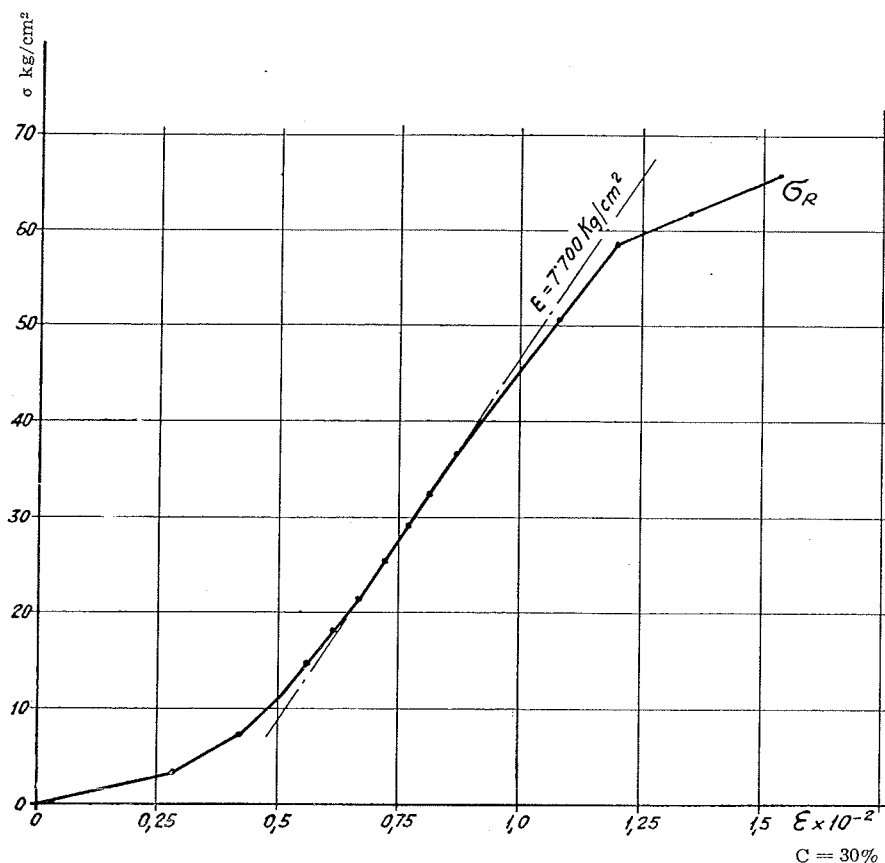


Fig. 20

guito mediante i collettori ed i cunicoli posti al piede del filtro inclinato di valle con serbatoio mantenuto a livello costante a quota m 880.

da ridurre o completamente annullare le vie preferenziali percorse dalle filtrazioni nel corpo diga.

S'iniettarono pertanto tre file di fori verticali a partire dal coronamento. I fori di ciascuna fila erano distanziati di 2 metri; le file distavano fra loro di 1 metro; i fori della fila centrale erano sfalsati rispetto a quelli delle due file esterne.

Venne iniettata la seguente miscela:

argilla	28,57 parti in peso su 100
cemento	5,36 parti in peso su 100
bentonite	1,79 parti in peso su 100
acqua	64,28 parti in peso su 100

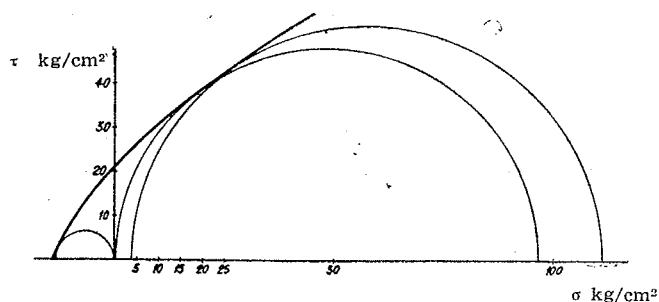


Fig. 21

Dopo 2 mesi si raggiunse lo stato di regime delle filtrazioni, che risultarono in totale 40 l/sec. I dati degli strumenti registratori delle pressioni e alcune prove appositamente eseguite portarono alla conclusione che le filtrazioni fossero dovute all'esistenza di

La pressione d'iniezione fu contenuta al disotto di 1 kg/cm² alla testa del foro. Solo per la fila centrale e per le maggiori profondità furono raggiunti i 2 kg/cm².

Nel novembre 1959 tali iniezioni ebbero termine; l'invaso fu portato a quota 885,50 e le filtrazioni, che con l'invaso a quota 880 erano diminuite da 40 a 2,47 l/sec, a quota 885,50 risultarono di 1/sec 3,20.

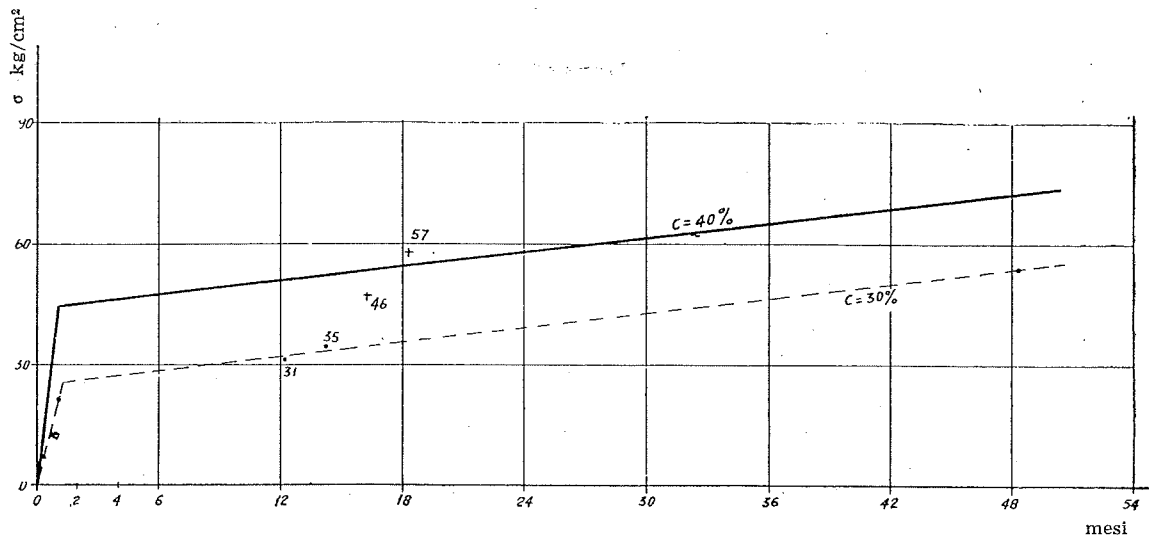


Fig. 22

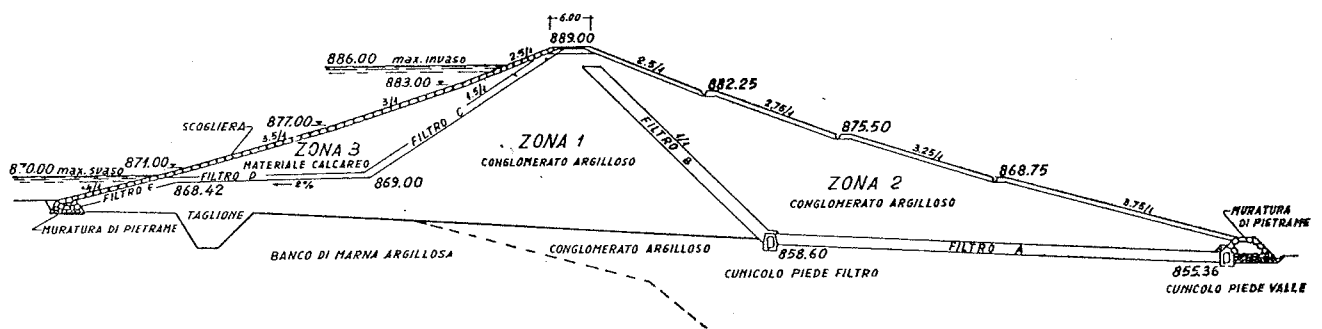


Fig. 23

SOMMAIRE: On expose les résultats des expériences faites sur quelques coulis d'injection, composés essentiellement de ciments, farines, limons et argiles, bentonites, dans le but de déterminer les caractères plus importants pour l'emploi, et dans l'hypothèse que les terrains intéressés soient moyennement absorbants.

On met particulièrement en relief les propriétés qui concernent:

a) la variation de la sédimentation au changement des composants des coulis, c'est à dire l'aptitude à conserver dans le temps toute l'eau de mouillage;

b) le temps maximum qui peut passer entre la formation du coulis et l'opération d'injection;

c) la résistance à la pression.

Les données exposées permettent de prévoir le comportement dans le temps de coulis égaux ou semblables à ceux expérimentés.

En outre, sur quelques champions de mortiers ternaires ayant jusqu'à quatre ans de durcissement l'expérience a été faite en divers cycles avec la recherche des divers rapports entre les résistances à la pression ou à la traction et la variation du module elasto-plastique. Les résultats montrent que la résistance des mortiers, ainsi que tous les autres caractères, augmente lentement dans le temps rejoignant à la fin des valeurs élevées par rapport à celles mesurées aux temps habituels de durcissement.

On cite un cas réel dans lequel les injections de coulis ternaires, exécutées avec modalités et précautions spéciales, ont permis d'éliminer les filtrations qui s'étaient produites dans le corps d'un barrage en terre du type mi-homogène.

SUMMARY: The results of tests on grouting mixtures of cement, fine crushed limestone, clayey silt and bentonite, carried out in order to determine their behaviour and characteristics in average conditions of absorption in the soil to be grouted, are reported.

The research had as object to determine:

1) The variation of the original volume of the mixture, i.e. the capacity to retain the initial moisture content, because of the addition of fine aggregates to the cement;

2) The suggested time interval between manufacturing the mixtures and their pumping in the grouting holes;

3) The compressive strength.

The reported data allow anticipations on the behaviour of grouting mixtures under conditions similar to those of the tested mixtures.

Further the results concerning the various tests carried out on grouting mixtures of cement, clayey silt, water, cured during 4 years are reported. The laboratory tests determined the compressive and tensile strengths and elasto-plastic modulus. The results show that the mixture strengths and the other characteristics increase slowly during the time but, at last, high values are obtained in reference with them recorded at the usual time of curing.

Reference is made to a practical operation of grouting carried out under particular schemes and cautions. The grouting of mixture of cement, clayey silt and bentonite achieved a remarkable reduction of the seepage through the impervious core of an earthfill dam.

finis qui